

SEPT DOIGTS VIRUS HIBERNANT HYPNOSE CHAUSSETTES LONGÉVITÉ F-35  
MERCURE HUILES ESSENTIELLES GALAXIE NOIRE ACADEMIE SPERMATOZOÏDES

SCIENCE & VIE

# SCIENCE & VIE

DÉCEMBRE 2016 N°1191 MONDADORI FRANCE

**VOITURE  
AUTONOME**

PROGRAMMÉE POUR  
VOUS SACRIFIER ?

**CHAMP MAGNÉTIQUE**

LA TERRE PEUT DIRE  
MERCİ À LA LUNE

DÉCOUVERTE

# POURQUOI LE MONDE EXISTE

COMMENT LA MATIÈRE  
A GAGNÉ SON COMBAT  
CONTRE LE NÉANT

D: 6,90 € - BEL: 4,80 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 € - DOM A: 4,90 € - DOM A: 6,90 €  
ITA: 4,90 € - LUX: 4,80 € - PORT CONT: 4,90 € - CAN: 6,75 \$ CAN - MAR: 60 DH  
TOM S: 750 CFP - TOM A: 1,400 CFP - CH: 8,50 FS - TUN: 9 DTU

M 02578 - 1191 - F: 4,50 € - RD



POLLUTION INDUSTRIELLE **LES CHIFFRES SONT FAUX !**



Vivez une expérience magique à Disneyland® Paris  
grâce aux questions incroyables de vos enfants.  
Participez sur [scenic-magic.fr](http://scenic-magic.fr)



Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 3,9/6,1. Émissions CO<sub>2</sub> min/max (g/km) : 100/136.  
Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.  
Jeu valable du 30/10/2016 au 30/11/2016 inclus. Voir règlement sur [scenic-magic.fr](http://scenic-magic.fr)



Disneyland  
PARIS



RENAULT  
La vie, avec passion



© Anthony Bernier © Disney

# SCENIC ✨ magic

[scenic-magic.fr](http://scenic-magic.fr)

[renault.fr](http://renault.fr)





**JE SUIS**



**JE SUIS LE NOUVEAU NIKON D3400.** Impressionnez votre entourage en lui montrant des images extraordinaires, obtenues grâce à mon grand capteur de 24,2 millions de pixels et aux objectifs NIKKOR. Je me connecte à l'application SnapBridge<sup>(1)</sup> de Nikon pour transférer automatiquement et instantanément vos images via Bluetooth® vers votre périphérique mobile compatible<sup>(2)</sup>. Grâce à moi, il n'a jamais été aussi simple de partager des images exceptionnelles. Je suis ce que je partage. **nikon.fr**

<sup>(1)</sup> L'application SnapBridge de Nikon doit préalablement être installée sur le périphérique pour pouvoir être utilisée avec cet appareil photo.

<sup>(2)</sup> La fonction Bluetooth® intégrée de cet appareil photo est disponible uniquement avec des périphériques mobiles compatibles.

Pour savoir si votre périphérique est compatible et télécharger l'application SnapBridge, rendez-vous dans Google Play® ou dans l'App Store. La marque et les logos Bluetooth® sont des marques déposées de Bluetooth SIG, Inc. Android® et Google Play® sont des marques déposées de Google Inc.

\*Au cœur de l'image - RCS Créteil 337 554 968



*At the heart of the image\**





Anne Debroise  
a.debroise@mondadori.fr

## Quand l'éthique défie la technique

Que fera la voiture autonome quand elle aura le choix entre percuter un bus scolaire et s'envoyer dans le décor, avec ses passagers ? La question intéresse depuis quelque temps les psychologues, qui y voient un bel exercice de morale appliquée. Mais je n'ai pas voulu en rester à la théorie, et j'ai mené mon enquête auprès des constructeurs de voitures et de pilotes automatiques. Qui n'ont pas toujours apprécié mon insistance... Car la question est plus compliquée que ce qu'ils veulent bien reconnaître.



Mathieu Grousseau  
m.grousseau@mondadori.fr

## Des résultats préliminaires... et vertigineux

Dès la publication des premiers résultats de l'expérience T2K, au Japon, l'importance de l'événement m'a sauté aux yeux. Car ces résultats éclairent enfin la question de l'origine de la matière dans l'Univers, qui laisse les spécialistes désarmés depuis près d'un siècle. Certes, de cette observation à la conclusion, la route sera encore longue. Et après la douche froide du X, la prudence est de mise. Mais c'est sans conteste une histoire extraordinaire que celle de ce lien entre l'origine du monde matériel et quelques particules enregistrées par un détecteur géant enfoui sous une montagne. Une histoire qui méritait qu'on lui donne toute sa place.

Hervé Poirier  
h.poirier@mondadori.fr

## Au-delà du "Dieselgate"

Il y a un peu plus d'un an, l'annonce de la fraude aux tests antipollution de Volkswagen sur ses véhicules diesel a fait la une de tous les journaux. Qu'en dire dans nos colonnes ? A l'époque, nous étions revenus sur les défauts du diesel, *"une sale exception française"*. Mais ensuite ? Lancer une enquête sur les autres constructeurs ? Le gouvernement n'a pas tardé à commander ses propres tests. Et les autres secteurs ? Qu'en est-il de l'industrie chimique, du transport maritime ou de l'agriculture ? Leurs émissions déclarées sont-elles conformes à la réalité ? L'enquête de Vincent Nouyrigat montre que l'hypocrisie est générale.



**24**

## PLUS DE TERRES AGRICOLES N'IMPLIQUE PAS FORCÉMENT MOINS DE FORÊTS

Conciller forêt et agriculture n'est pas une question de développement durable. Les données de l'agriculture et de la forêt entre 1990 et 2010.

70 40% 21

**40**

## TOUS LES CHIFFRES SONT FAUX!

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

La norme Volkswagen est l'artefact qui cache la forte pollution des véhicules industriels. Les chiffres officiels ne correspondent pas du tout à la réalité. L'exemple de Vincent Mouyngat, chiffres à l'appui.

Automobiles: le grand écart entre les tests et la réalité

**48**

# POURQUOI LE MONDE EXISTE

D'où venons-nous ? Nous : c'est-à-dire les êtres humains, mais aussi la Terre, les planètes, les étoiles, les galaxies, l'Univers... A cette question, le big bang a apporté une réponse... en forme d'énigme. Car au commencement, autant de matière que d'antimatière furent créées ; or, la matière a triomphé. Pourquoi ? Une expérience vient, pour la première fois, de lever le voile. Elle a reconstitué l'incroyable réaction qui, 10<sup>-27</sup> seconde après le big bang, fit basculer le monde du côté de la matière. Avec un héros que nul n'attendait : le neutrino. Sans lui, nous ne serions tout simplement pas là. Ou notre monde serait devenu un antimonde...

PAR MATHIEU GROUSSON

COUVERTURE: MACHIAVELLICO D.R.

**70**

## Mais pourquoi ils vivent si longtemps ?

La méduse est l'animal qui vit le plus longtemps.

**86**

## L'ALGORITHME DE LA MORT

La voiture autonome est-elle capable de sauver des vies ?

**SCIENCE VIE** 8, rue François-Ony 92543 Montrouge Cedex  
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67  
E-mail : svmens@mondadori.fr  
Recevez *Science & Vie* chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 47. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com).

Un encart *Science&Vie Voyages-Croisière S&V* Irlande est jeté sur toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart *Science&Vie Voyages-Croisière S&V* Dubaï est jeté sur la diff. abonnés France Métro. Un encart Noël : "30 magazines à offrir ou à s'offrir" est jeté sur la diff. abonnés France Métro. Un catalogue Boutique *Science&Vie-Noël* est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un dépliant Boutique *Science&Vie-Noël* est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un encart Restaurants du cœur est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro.



## 08 Forum

## Actus

- 14 **Labos**  
C'est un gène désactivé qui nous a donné 5 doigts... au lieu de 7 ; mercure est toujours active : elle continue de rétrécir...
- 24 **Environnement**  
Plus de terres agricoles n'implique pas forcément moins de forêts ; en fait, la péninsule Antarctique est en train de refroidir...
- 30 **Médecine**  
On pourrait détecter plus tôt Parkinson, dans l'œil ; sur le continent américain, la vaccination a éradiqué la rougeole...
- 34 **Technos**  
Un nouveau design double la puissance des éoliennes en mer ; un quadriplace à piles...

## Événement

- 40 Pollution atmosphérique  
**Tous les chiffres sont faux !**

## A la Une

- 48 **POURQUOI LE MONDE EXISTE**
- 50 Le nouveau scénario de la création du monde
- 54 L'expérience qui montre comment la matière a pris le dessus
- 60 Le monde est symétrique... enfin presque

## Science &amp; découvertes

- 64 Géophysique  
**Champ magnétique terrestre : il serait né avec la Lune**
- 67 Neurologie  
**Hypnose : le cerveau livre son secret**
- 70 Biologie animale  
**Méduse, requin, oursin... : mais pourquoi ils vivent si longtemps ?**
- 76 Microbiologie  
**Permafrost : et s'il libérait des armées de virus...**

## Science &amp; techniques

- 82 Reproduction artificielle  
**Les cellules de peau peuvent faire des petits**
- 86 Voiture autonome  
**L'algorithme de la mort**
- 92 Armée de l'air  
**F-35, l'avion devenu son propre ennemi**

## Science &amp; futur

- 98 Une usine solaire pour dessaliniser l'eau de mer va voir le jour ; la toile d'araignée inspire un siège auto anti-mal de dos ; un biomatériau à base de champignons s'apprête à remplacer le polystyrène ; premiers tests pour l'avion propre et silencieux de Boeing ; la Nasa prépare déjà l'habitat spatial du futur ; la station d'exploration des océans se concrétise...

## La science &amp; la vie

## Science &amp; société

- 106 Paris en ligne, jeux vidéo... : les drogues numériques sont bien réelles
- 110 Huiles essentielles : elles ne sont pas sans risques...
- 112 Santé publique : près de la moitié des Français sont en surpoids

## Science &amp; vie pratique

- 114 Bon à savoir
- 116 Technofolies

## Science &amp; culture

- 122 Questions/Réponses
- 128 A voir / à lire spécial Noël
- 132 Il y a... 350 ans : et Colbert fonda l'Académie des sciences



# Forum

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

## Si la Terre est creuse et concave, alors le ciel est sous nos pieds!

J'ai été beaucoup séduit par la "théorie de la Terre creuse et concave" formulée par Mostafa Abdelkader et exposée dans votre article "Nous ne saurons jamais si nous vivons à l'extérieur ou à l'intérieur de la Terre" (S&V n° 1186, p. 66).

J'aimerais continuer cette récréation mentale en poussant un peu plus

loin la réflexion! Imaginons si vous voulez bien que nous vivions effectivement à l'intérieur d'une Terre creuse et concave... Vers où nous dirigerions-nous alors lorsque nous creuserions? Pourrait-on considérer que l'infiniment grand se trouverait... sous nos pieds?

*Richard Martin, Corbelin (38)*



**SV** Excellente question! Partons du principe que, par symétrie inversée, tout ce qui est au-dessus de nos têtes se trouve à l'intérieur de la sphère que

dessine la surface de la Terre, et que manteau, croûte, noyau... en forment l'extérieur. Dans ce cadre renversant, le cosmos n'est plus à voir comme une étendue infinie d'espace, mais comme une petite bulle perdue au sein d'un univers solide de roche, de fer et de nickel, comme l'est l'intérieur de la Terre. Qui serait, lui, structuré en couches comme un oignon avec, derrière la surface où nous vivons, une croûte, elle-même entourée d'un manteau, puis d'une enveloppe liquide infinie de métal en fusion. Logiquement, ce que nous appelons le centre de la Terre se trouverait rejeté dans un infini inatteignable. Vertigineux, non?

“ Vous parlez ouvertement des nouvelles stratégies dont se dotent les services antiterroristes (S&V n° 1189)... N'est-ce pas un peu risqué, dans la mesure où les terroristes aussi peuvent lire votre magazine ? ”

*Diana Gilli, Bouches-du-Rhône*



## Attentat: un risque sous-estimé

Dans l'encadré "Statistiques" de votre dossier sur l'antiterrorisme (n° 1189, p. 50), vous évoquez une loi de puissance dont le coefficient vaudrait 2,5. Selon mes recherches (pour un mémoire sur la modélisation des risques), il serait plutôt de 1,9: ainsi, pour 300 attaques faisant 10 victimes, il ne faut pas s'attendre à 1 attaque en faisant 100, mais à près de 4! Pour obtenir ce résultat, je m'appuie sur le nombre d'attentats survenus entre 1994 et 2014 dans la zone OCDE, plus adapté pour prédire le risque actuel en France que les données mondiales des 45 dernières années.

*Julien Messias, Neuilly-sur-Seine*



## Déclin des abeilles : et si on traitait la cause plutôt que l'effet...

**Dans le S&V de novembre (n° 1190), vous parlez de drones pour polliniser la flore à la place des abeilles (p. 107)... et du déclin de celles-ci en raison de l'effet probable des néonicotinoïdes sur leur sperme (p. 24). D'où mon idée: pourquoi ne pas fabriquer des drones concentrateurs de sperme qui, fécondés par les abeilles mâles, féconderaient à leur tour les abeilles femelles? Mais suis-je drone! Pourquoi ne pas traiter la cause au lieu de l'effet, et simplement cesser d'utiliser les néonicotinoïdes...**

Jean-Marie Stefani, Rennes

## Les esclaves ont-ils aussi transmis un "gène du stress"?

Vous avez parlé, dans votre n° 1179 (p. 20), d'une modification du gène impliqué dans la réponse au stress chez les descendants des Juifs ayant survécu à la Shoah. Cette recherche a-t-elle été élargie à d'autres peuples, comme les descendants d'esclaves par exemple?

Marie-Dominique Terrine, internet

**SV** Des études similaires sont actuellement menées sur les survivants des attaques terroristes du 11 septembre 2001, mais pas, à notre connais-

sance, sur des descendants d'esclaves. Cela est notamment dû à des considérations méthodologiques: il est plus facile d'étudier un traumatisme lié à un événement circonscrit dans le temps, car il permet d'identifier des groupes comparables (modes de vie, origines ethniques...), la seule différence notable, ou presque, étant leur exposition ou non à ce traumatisme. De plus, concernant la traite négrière, un autre obstacle est lié au fait que les marques épigénétiques pourraient s'effacer au fil des générations.

## On en reparle



## MAIS DANS QUELLE ÉPOQUE VIVONS-NOUS ?

### L'ANTHROPOCÈNE EST OFFICIELLEMENT UNE "ÉPOQUE" GÉOLOGIQUE

Cette fois, l'affaire semble entendue: la communauté des géologues s'apprête à proclamer officiellement notre entrée dans une nouvelle époque géologique, l'anthropocène ("âge nouveau de l'homme"). Ce que nous annonçons comme probable il y a quatre ans (voir S&V n° 1139) s'est donc confirmé, et même précisé: l'anthropocène sera une "époque", et succédera en tant que telle à l'holocène, en cours depuis 12 000 ans et marqué par un climat stable. Ce ne sera donc pas une "période", puisque nous resterons dans le quaternaire, qui voit depuis 2,6 millions d'années se succéder les glaciations, ni encore moins une "ère".

S'il est trop tôt pour modifier les manuels de géologie, il est improbable que la Commission stratigraphique internationale, l'organisme officiel habilité à statuer, désavoue l'avis rendu par son groupe de travail sur l'anthropocène. Cet avis est en effet sans appel: seuls 3 des 35 géologues impliqués ont voté contre la formalisation de l'anthropocène, et il y a eu quasi-unanimité pour fixer la date de son début au milieu du XX<sup>e</sup> siècle – l'idée de la faire coïncider avec l'invention de l'agriculture ou la révolution industrielle n'a trouvé aucun partisan.

Avec cette décision, la communauté des géologues acte que non seulement *Homo sapiens* est devenu une force géologique à l'impact planétaire, mais que ses actions resteront décelables dans des millions d'années.

Yves Sciama



## L'éternel casse-tête des nombres premiers

Dans votre article sur les nombres premiers (n° 1189, p. 74), "l'ordre secret" que vous présentez concerne le dernier chiffre de ces nombres écrits dans le système décimal. Or, cela devrait être indépendant du système d'écriture. La découverte est-elle vérifiée pour d'autres systèmes (binaire, hexadécimal...)?

Maxime Gaillard, Limoges

Mon attention a été attirée par le "déclencheur" de la recherche, à savoir le postulat qu'il faut en moyenne 4 tirages aléatoires d'une pièce de monnaie pour obtenir la paire pile-face, contre 6 pour la paire face-face. Cela semble supposer qu'il y a une "mémoire intrinsèque" de la pièce, ce qui est impossible.

Michel Minenna, Castelnau-le-Lez (34)

**SV** Oui, bien sûr. Les chercheurs ont testé leur hypothèse sur plusieurs bases. Mieux: le premier test qu'ils ont réalisé a été fait en base 3. Et leur démonstration est indépendante de la base choisie.

**SV** Nous nous sommes aussi posé la question: comment se fait-il qu'au cours de tirages successifs, on tombe plus vite sur le cas P(ile)-F(ace) (ou F-P) que sur le cas F-F (ou P-P)? Le "truc" réside dans



la contrainte de successivité. Admettons qu'Alice parie sur P-F. Et supposons qu'elle commence par tirer un P. Au coup suivant, si elle tire un autre P, elle rate son pari, mais il lui suffit de tomber sur un F au troisième coup pour gagner. Supposons maintenant que Bob, qui a parié, lui, sur P-P, tire un P au premier coup. Si, comme Alice précédemment, il rate son pari au coup suivant

(en tirant donc un F), eh bien, lui, ne pourra plus, comme Alice, espérer gagner au troisième coup (son dernier coup étant F, il ne pourra pas obtenir en un seul lancer la configuration P-P). Alice a donc plus de chances d'obtenir en premier son P-F que Bob son P-P (4 chances contre 6). Ce n'est pas parce que P et F sont équiprobables que les successions P-P et P-F le sont... CQFD

### La boutique SCIENCE & VIE

Plus de **400**

- Livres
- Objets scientifiques
- Idées cadeaux

[www.laboutique-scienceetvie.com](http://www.laboutique-scienceetvie.com)

## Stress post-traumatique: il existe une autre piste de traitement

Votre article sur le traitement des traumatismes psychiques par le propranolol (S&V n° 1188, p. 84) est certes intéressant du point de vue de la recherche fondamentale, mais pas du point de vue clinique. En effet, eu égard aux événements qui ont récemment endeuillé notre pays, il me semble regrettable que vous n'ayez pas mentionné dans cet article l'approche psychothérapeutique. Depuis la découverte des thérapies comportementales et cognitives et, surtout, de

l'EMDR [désensibilisation et retraitement par mouvement des yeux], cette méthode est d'un bon pronostic. Informer le grand public de l'existence de ces approches serait un moyen de rendre l'espoir et la santé à nombre de personnes, dont la prise en charge est encore très inappropriée.

Jacques Roques, Montpellier

**SV** Même si le principe de l'EMDR (qui consiste en une exposition au souvenir douloureux

couplée à des mouvements oculaires réguliers) est encore loin d'être clair, cette psychothérapie a effectivement fait la preuve de sa capacité à réduire les symptômes chez des patients atteints d'un syndrome de stress post-traumatique. C'est pourquoi un essai est en cours, comme nous le précisons à la fin de notre article, pour comparer ses bénéfices et ses risques avec ceux des thérapies basées sur le propranolol. Nous vous tiendrons évidemment informés de ces résultats.



# PLANTEZ VOTRE DRAPEAU

## *en Antarctique*

— En 1911, l'explorateur norvégien Roald Amundsen a planté son drapeau au pôle Sud. Maintenant, c'est à vous de planter le vôtre.

Planter un drapeau dans une nature sauvage est un symbole d'accomplissement. Bien sûr, la signification du mot « accomplissement » varie d'une personne à l'autre. Pour certains, ce sera gravir le Mont Everest alors que pour d'autres, passer une nuit sous la tente dans leur jardin est déjà une réalisation de soi.

À bord des navires d'exploration de Hurtigruten, vous aurez la

chance de planter votre propre drapeau dans certains des endroits les plus fascinants et isolés du monde tels que le Spitzberg, le Groenland, l'Arctique canadien ou l'Antarctique.

Ce dernier, énorme continent de glace, ne comporte aucun résident permanent mais compte des millions de manchots, phoques, baleines et oiseaux.

Il ne ressemble à rien de ce que vous connaissez déjà. C'est une destination idéale pour les voyageurs en quête d'aventure, l'endroit rêvé pour réveiller votre âme d'explorateur.



© Thomas Mauch

## CROISIÈRES D'EXPLORATION

Islande • Spitzberg • Groenland  
Canada • Amérique du Sud

Pour toute réservation avant  
le 31.12.2016 d'un voyage  
entre avril 2017 et mars 2018

JUSQU'À **500€** DE RÉDUCTION  
PAR PERS.

L'aventure commence sur [hurtigruten.fr/plantez-votre-drapeau](http://hurtigruten.fr/plantez-votre-drapeau) ou au **0805 08 42 44** (appel gratuit)

\* Offre soumise à conditions, non rétroactive valable sur les départs du 17.04.2017 au 14.03.2018. La réduction est applicable sur le tarif du jour et le montant varie en fonction de la date de départ, du navire, de l'itinéraire et de la destination.



## Dans les kiosques

### SPÉCIAL VACCINS

Comment sont-ils fabriqués ? Protègent-ils efficacement ? Peuvent-ils être dangereux ? Quelles populations sont prioritairement visées ? Qu'ils soient obligatoires ou simplement recommandés par les autorités de santé, ce numéro Hors-série vous dit tout sur les vaccins. Leur histoire, leur avenir, ce que nous leur devons et aussi les raisons pour lesquelles, parfois, ils nous inquiètent. *A partir du 2 décembre.*  
*Hors-série de Science & Vie, 4,95 €*



### OBJETS CONNECTÉS

Loisirs, santé, sport, travail, déplacements... Les objets connectés s'introduisent dans tous les domaines de la vie. En cette fin d'année, la rédaction de *Science & Vie* a sélectionné les 150 meilleurs d'entre eux. Un numéro enrichi d'enquêtes, de reportages et d'analyses sur les nouvelles technologies et leurs applications, pour ne rien rater du futur qui s'approche à grands pas.  
*Edition spéciale de Science & Vie, 5,95 €*



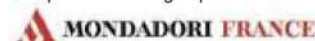
### LES FEMMES DU MOYEN ÂGE

Quelle était la condition des femmes au Moyen Âge ? Loin des idées reçues, ce numéro spécial rétablit la vérité historique en dévoilant une condition féminine qui, entre le V<sup>e</sup> et le XV<sup>e</sup> siècles, fut passionnante, puisqu'autant "libérée" qu'asservie. Une période unique, pleine d'enseignements.  
*Les Cahiers de Science & Vie, 5,95 €*



## SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



### RÉDACTION

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

### DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,  
assisté de Christelle Borelli

### RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

### RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT

Grégoire Bouillier (chef d'édition)

### DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

### CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités, société),  
Vincent Nouyrigat,  
Caroline Tourbe (médecine)

### CHEFS DE RUBRIQUE

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

### RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavaillé-Fol,  
Emilie Rauscher

### SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

### SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

### MAQUETTISTES

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

### SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

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

### DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, K. Bettayeb, L. Blancard,  
P.-Y. Bocquet, B. Bourgeois, F. Cadu,  
O. Capronnier, L. Cavicchioli, C. Chandès,  
G. Cirade, A. Dagan, A. Debrouse,  
S. Devos, O. Donnars, S. Fay, H. Gosset-  
Bernheim, F. Gracci, M. Grousson,  
C. Hancock, M. Kontente, F. Lert,  
M.-C. Mérat, E. Monnier, A. Pihen,  
C. Plantureux, B. Rey, M. Saemann,  
Y. Sciamia, M. Spée, E. Thierry-Aymé,  
A. Vernet

### DIRECTION-ÉDITION

#### DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

#### DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

### DIFFUSION

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

### MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon,  
Michèle Guillet

### PUBLICITÉ

#### DIRECTEUR EXÉCUTIF

Valérie Camy

#### CONTACTS PUBLICITÉ

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

### PLANNING

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

### TRAFIC

Stéphane Durand (53 12)

### OPÉRATIONS SPÉCIALES

Jean-Jacques Benezzech (19 83)  
Grande-Bretagne : Publieurope LTD  
(infododon@publieurope.com -  
44 (0)20 7927 9800);  
Allemagne : Publieurope Munich  
(infomunich@publieurope.com  
0049 89 2908150);  
Suisse : Publieurope Lausanne  
(infolausanne@publieurope.com  
0041 21 323 3110);  
Espagne : Publimedia Madrid  
(infomadrid@publim-gestion.es  
0034 91 212 83 00)

### FABRICATION

Daniel Rougier,  
Agnès Châtelet

### FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

### ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

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

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna  
ACTIONNAIRE PRINCIPAL  
Mondadori France SAS

### IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

### N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 44,80 €

1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €

Dépôt légal : décembre 2016

### ABONNEMENTS

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

### RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,  
CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Pour vous abonner par internet :

www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

### À NOS ABONNÉS

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

### À NOS LECTEURS

#### RENSEIGNEMENTS

Par courrier :

8, rue François-Ory,  
92543 Montrouge

Cedex

Par mail : sev.lecteurs@  
mondadori.fr

#### COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@laboutiquescienceetvie.com





# SAMSUNG



**Un style intemporel. Toujours un tour d'avance.**

Lunette rotative · Always On Display · GPS · Résistance à l'eau



**Gear S3 classic | frontier**

DAS membres Gear S3 Classic : 0,262 W/kg - DAS membres Gear S3 Frontier : 0,265 W/kg. Le DAS (débit d'absorption spécifique des appareils mobiles) quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 4 W/kg pour une utilisation au niveau des membres. Résistance à l'eau et à la poussière selon la norme IP 68 qui signifie qu'un appareil peut être complètement étanche à la poussière et protégé contre l'eau jusqu'à une profondeur de 15 mètres pendant 30 minutes. Always On Display : affichage permanent du cadran. Samsung Electronics France, CS 2003, 1 rue Fructidor, 93484 Saint-Ouen Cedex, RCS Bobigny 334 367 497, SAS au capital de 27 000 000 €. Visuels non contractuels. Écrans simulés. Fonds d'écran disponibles selon les pays. Bracelet silicone rouge vendu séparément. **Chell**



# actus



➤ Il a suffi d'activer le gène *Hoxa11* chez cet embryon de souris pour induire la formation de pattes à 7 doigts.





^ Chez la souris, qui possède 5 doigts aux pattes arrière (ici celle d'un embryon), le gène *Hoxa11* est éteint.

ÉVOLUTION

# C'EST UN GÈNE DÉSACTIVÉ QUI NOUS A DONNÉ 5 DOIGTS... AU LIEU DE 7

Quand les animaux aquatiques sont sortis de l'eau, il y a plus de 350 millions d'années, les premiers individus à fouler le sol possédaient 6, 7, voire 8 doigts. Pourquoi l'homme n'en a-t-il aujourd'hui plus que 5? Pour le savoir, des scientifiques canadiens sont allés fouiller dans les gènes que nous partageons avec les poissons. En effet, la formation des rayons de leurs nageoires, comme celle des doigts des pattes chez les mam-

mifères, est dictée par les gènes d'une même famille, les *Hox*. "*C'est comme si on disposait de la même boîte à outils pour fabriquer des objets différents: des rayons ou des doigts*", explique Yacine Kherdjemil, de l'Institut de recherches cliniques de Montréal, coauteur de l'étude. La clé de cette différence? *Hoxa11*, un gène qui semble ne pas être contrôlé de la même façon durant le développement des uns et des autres: inactif dans les

futurs doigts des mammifères, il est en revanche actif dans les futurs rayons des poissons. Pour s'en assurer, les chercheurs ont donc modifié génétiquement des souris pour que l'activité de ce gène soit contrôlée de la même manière que chez les poissons... et ont obtenu des souris à 7 doigts! En d'autres termes, nos 5 doigts ne sont pas dus à l'acquisition de nouveaux gènes, mais à la simple modification de l'activité de l'un d'eux. **M.S.**



PLANÉTOLOGIE

# MERCURE EST TOUJOURS ACTIVE : ELLE CONTINUE DE RÉTRÉCIR

On la pensait morte depuis belle lurette... mais non, Mercure semble toujours géologiquement active. Des escarpements découverts par Thomas Watters, de la Smithsonian Institution à Washington, indiquent que sa croûte continue de subir des tensions mécaniques dues au rétrécissement, toujours en cours, de la planète ! En cause : le refroidis-

sement de son noyau métallique de 1800 km de rayon, qui provoque sa contraction. Comme la peau d'une pomme dont la pulpe se dessèche, la surface de Mercure se plisse donc... laissant apparaître 39 petites rides, de 10 km de longueur et quelques dizaines de mètres d'altitude. Révélées par les images prises par la sonde Messenger, ces cicatrices

indiquent que Mercure s'est ratatinée : durant les 50 derniers millions d'années, elle a perdu 8 m de rayon. C'est peu, comparé aux escarpements de centaines de kilomètres de longueur et 3 km de hauteur photographiés par Mariner en 1975, qui suggéraient un refroidissement ancien lors duquel la planète avait perdu 7 km de rayon. Mais cela fait d'elle

une planète toujours active. *"Le même phénomène a vraisemblablement lieu sur Terre, sur Mars et sur Vénus,"* note Pierre Thomas, géologue à l'ENS Lyon. *Mais l'effet y est noyé par la tectonique de ces planètes."* Qui dissimulent sous leur activité les traces de leur vieillissement... contrairement à Mercure qui, elle, assume les outrages du temps. **B.R.**

PHYSIOLOGIE

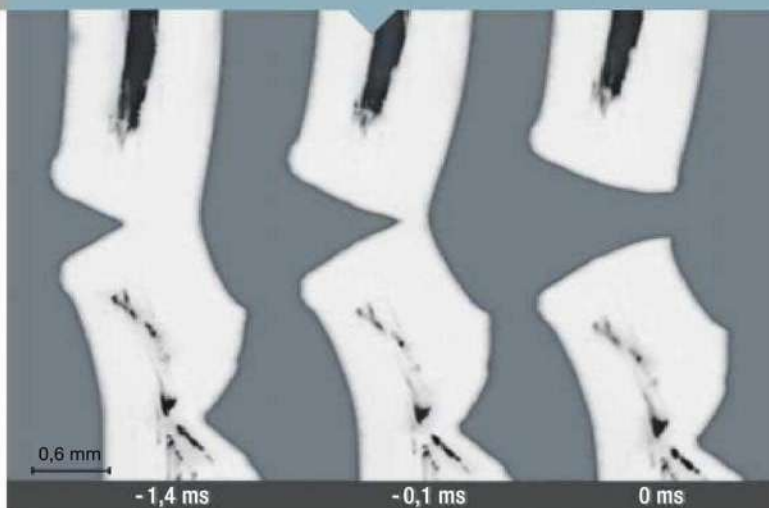
## L'horloge biologique commande de boire avant de dormir

Comme les humains adeptes de la tisane le soir, les souris se désaltèrent pendant les deux heures qui précèdent leur sommeil. Les neurones de la soif sont en effet actifs dans leur cerveau... alors qu'aucun signal témoin d'une quelconque déshydratation ne leur est parvenu ! Pour comprendre ce "réflexe", des scientifiques de l'université McGill (Montréal) ont stimulé les neurones de l'horloge biologique cérébrale – qui adaptent le fonctionnement de l'organisme en fonction de l'heure. Ils ont ainsi montré que c'est cette horloge précisément qui active les neurones de la soif... préventivement. Evitant ainsi aux souris de se déshydrater pendant leur sommeil. **A.D.**

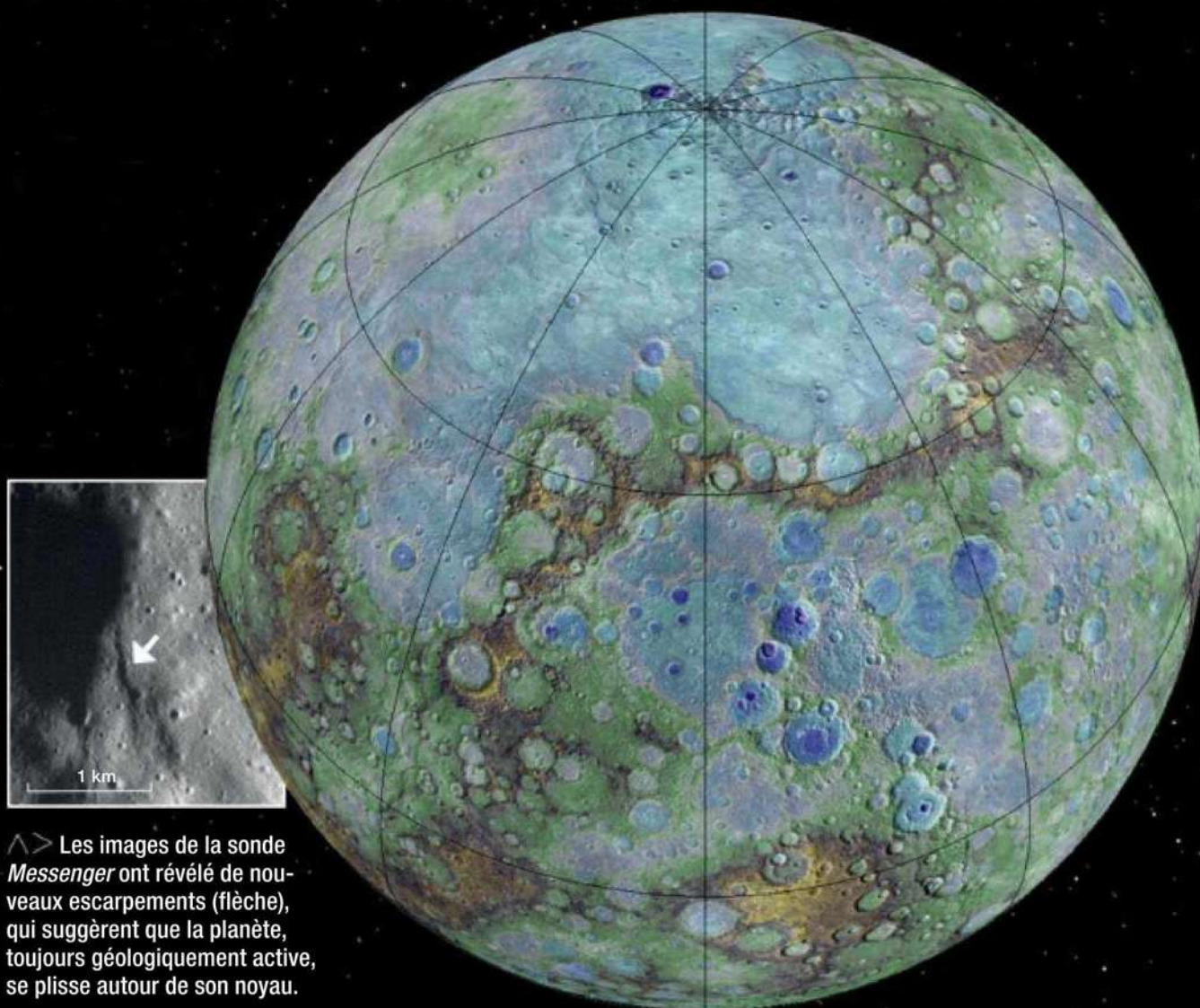
PHYSIQUE

## Un liquide aussi peut casser

Pour la première fois, une équipe danoise a filmé un liquide en train de... se fracturer. Car oui, les liquides aussi peuvent casser ! *"Regardez le bitume : il paraît solide, mais c'est un liquide visqueux qui s'écoule sur un temps très long,"* explique Serge Mora, de l'université Montpellier 2, saluant l'expérience des Danois. Ceux-ci ont déchiré un polymère viscoélastique devant une caméra à haute vitesse. Et ainsi vérifié "le modèle de la trompette", mis au point il y a 20 ans par le physicien Pierre-Gilles de Gennes. Un ses propriétés spécifiques d'écoulement, un liquide se déchire en effet en adoptant la forme de l'extrémité de cet instrument de musique. **B.R.**







^> Les images de la sonde *Messenger* ont révélé de nouveaux escarpements (flèche), qui suggèrent que la planète, toujours géologiquement active, se plisse autour de son noyau.

## CHIMIE

# Deux molécules inconnues donnent à l'encens son odeur si particulière

Obtenu à partir de la résine d'arbres poussant au bord de la mer Rouge et du golfe d'Aden, l'encens a beau être l'un des plus anciens parfums du monde, la nature des molécules qui lui confèrent son odeur si caractéristique restait mystérieuse. Jusqu'à ce que l'équipe de Nicolas Baldovini, de l'Institut de chimie de Nice, découvre, après avoir distillé une huile essentielle d'encens, deux molécules jusqu'alors inconnues, à la structure chimique très proche, qu'elle a baptisées acides olibaniques (l'oliban étant l'autre nom de l'encens). Bien que présentes en quantité infime – ce qui explique probablement pourquoi elles n'avaient pas encore été identifiées –, elles suffisent pourtant à donner ce parfum de vieille église.

C.H.

La résine de l'arbre à encens contient ces molécules en si faible quantité qu'on ne les avait jamais identifiées.







✓ Dragonfly 44 (au centre) serait presque entièrement composée de matière noire.

ASTRONOMIE

## UNE GIGANTESQUE GALAXIE NOIRE A ÉTÉ DÉCOUVERTE

Elle ne contient que très peu d'étoiles : à peine 1% de la population de notre Voie lactée. Et pourtant, elle est énorme. A l'université Yale, Pieter van Dokkum et son équipe ont mesuré la masse de la galaxie Dragonfly 44, qu'ils avaient découverte en 2011. Résultat ? Ils sont stupéfaits : elle pèse aussi lourd que la Voie lactée ! C'est donc un véritable continent cosmique qui s'étend dans l'amas de Coma (à 330 millions d'années-lumière de la Terre). A défaut d'étoiles, il se compose presque exclusivement de matière noire. De quoi tester les modèles théoriques pour essayer de

comprendre enfin la nature de cette mystérieuse substance qui pèse sur tout l'Univers ? "Oui, et même mieux, répond l'astronome. Si nous trouvons une galaxie sombre plus proche, nous pourrions détecter directement le faible rayonnement émis lors des chocs entre particules de matière noire." Les chercheurs ont déjà ciblé une candidate, et commencent à l'observer. "Maintenant que nous avons prouvé que ce type de galaxie existe et montré à quoi elle ressemble, on en trouve partout, y compris dans les images d'archives !", s'amuse Pieter van Dokkum.

M.F.

## DES PIÈCES ROMAINES AU JAPON...

Quatre petites pièces de cuivre datant du IV<sup>e</sup> siècle ont été découvertes dans les ruines du château de Katsuren, sur l'île d'Okinawa (Japon). Leur examen aux rayons X a révélé un portrait de l'empereur Constantin I<sup>er</sup> et un soldat romain armé d'une lance. O.D.

## ... ET DES CHINOIS DANS L'EMPIRE ROMAIN

La route de la soie n'était pas ouverte, que des voyageurs venus d'Asie visitaient déjà l'Empire romain ! Deux squelettes originaux de Chine ont été découverts dans une nécropole romaine du II<sup>e</sup>-IV<sup>e</sup> s. à Londres, alors capitale de la Britannia. O.D.

## ELLE EXPULSE DES BOULES DE PLASMA

L'étoile V Hydrae propulse à 900 000 km/h dans l'espace des boules de plasma dont les plus grosses font la taille de Mars ! En cause : sans doute l'influence gravitationnelle d'une étoile voisine. M.F.

GÉNÉTIQUE

## On sait ce qui suractive le chromosome X chez les mâles

Les femmes ont deux chromosomes X, quand les hommes n'en possèdent qu'un seul. Pour compenser, ces derniers doivent donc l'activer deux fois. Mais comment la machinerie moléculaire sait-elle qu'il faut suractiver précisément ce chromosome-là, et non tous les autres ? Des généticiens allemands viennent enfin de découvrir sur les mouches le mécanisme à l'œuvre. L'une des enzymes d'activation, la MSL2, reconnaît, à la surface du chromosome X, une séquence d'ADN spécifique qu'ils ont appelée PionX. O.D.

> Parce qu'ils n'ont qu'un chromosome X, les mâles doivent l'activer deux fois plus.







## DE CHAMPIONNE DE NATATION À BUSINESS WOMAN

Chaque athlète aspire à la réussite. C'est en 2005 que Fabiola Molina, championne de natation, s'est lancée dans la création de maillots de bain.

Pour accompagner le succès grandissant de sa boutique en ligne, Fabiola recherchait un expert du transport international capable de répondre à des besoins d'exportation au niveau mondial.

Grâce à son réseau couvrant plus de 220 pays et territoires, FedEx Express lui a permis de développer son entreprise.

Parfois, le succès ne réside pas uniquement dans le fait de remporter une course. Il faut aussi savoir se jeter à l'eau pour réussir.

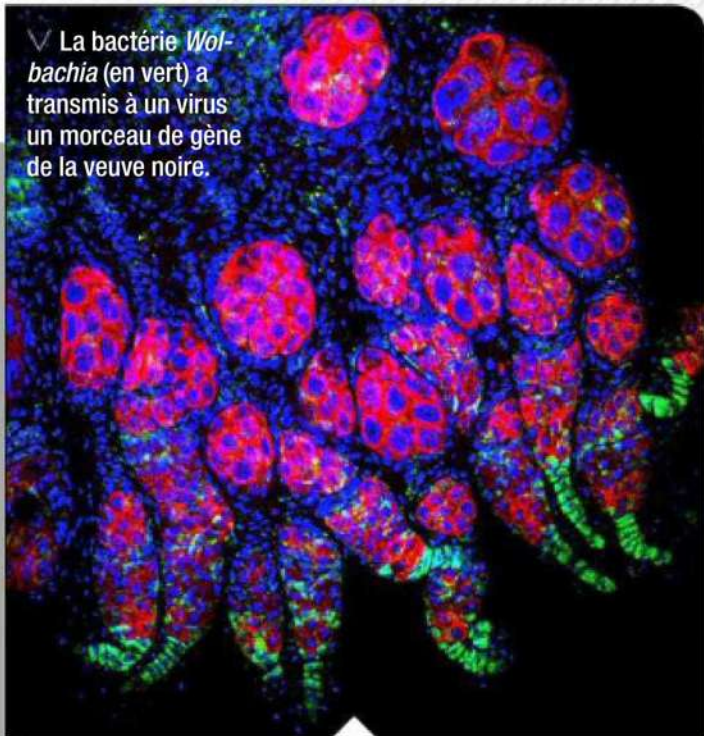
FedEx vous ouvre un monde de possibilités.

En savoir plus sur [fedex.com/fr/global](http://fedex.com/fr/global)

**FedEx**  
Express



✓ La bactérie *Wolbachia* (en vert) a transmis à un virus un morceau de gène de la veuve noire.



#### VIROLOGIE

## UN BACTÉRIOPHAGE A VOLÉ UN BOUT D'ADN À UNE ARAIGNÉE

On le savait déjà: les virus qui infectent les animaux intègrent dans leur propre ADN de l'ADN animal, tandis que les virus qui infectent les bactéries (des bactériophages, ou phages) se dotent, eux, de fragments d'ADN bactérien. Mais deux chercheurs de l'université Vanderbilt, aux Etats-Unis, ont découvert que le phage WO possède à la fois des gènes d'origines bactérienne et animale! Et parmi ces derniers, un morceau du gène codant pour la latrotoxine, le venin de la veuve noire. "Le phage WO contient uniquement la partie terminale du gène de la latrotoxine, il n'est donc pas

capable de synthétiser le venin de l'araignée, précise Sarah Bordenstein. Et pour l'instant, nous ne savons pas à quoi lui sert ce gène, ni les autres gènes animaux qu'il a intégrés. Il est néanmoins peu probable qu'il se soit encombré de gènes qui prennent tant de place s'ils ne lui sont pas utiles..." Il faudra également déterminer les conditions de ce "vol": les veuves noires étant fréquemment infectées par la bactérie *Wolbachia*, et la bactérie *Wolbachia* par le phage WO, on peut penser que la bactérie aurait d'abord intégré le gène de l'araignée, avant de le transmettre au phage.C.H.

#### ETHNOLOGIE

## L'expression de la peur n'est pas universelle

Un nouvel argument fait vaciller le dogme selon lequel les expressions faciales seraient universelles. Une équipe de scientifiques a présenté des photos de visages exprimant diverses émotions à des adolescents des îles Trobriand (une population isolée de Papouasie-Nouvelle-Guinée), puis à des personnes vivant en Espagne. Sur un visage aux yeux et à la bouche grands ouverts, les premiers ont lu de la colère ou une menace imminente, les seconds de la peur ou de la soumission. AD



GPS (sur le dos) et électrodes (sur la tête) ont révélé que la frégate cumule 42 mn de microsiestes par jour.

#### PHYSIOLOGIE ANIMALE

## En vol, les oiseaux migrateurs ne dorment que d'un œil

Certains oiseaux de mer sont capables de voyager pendant des semaines entières sans se poser. Leur secret: ils dorment en vol! Les scientifiques le soupçonnaient, mais une équipe internationale vient d'en apporter la preuve en équipant des frégates d'un GPS et d'électrodes qui ont enregistré l'activité de leur cerveau pendant des vols pouvant durer dix jours (soit 3000 km parcourus). Les frégates dorment, en vol, en moyenne quarante-deux minutes par jour par épisodes de quelques minutes. Souvent, un seul hémisphère cérébral est au repos: les oiseaux n'ouvrent alors qu'un œil. A.D.



3,20 %  
CE N'EST PAS RIEN



LIVRET D'ÉPARGNE  
**DISTINGO**

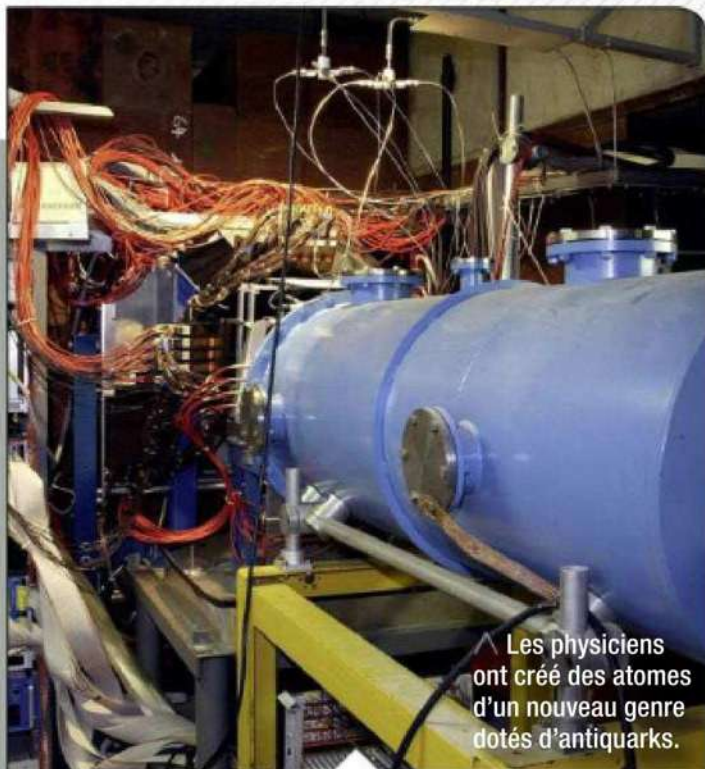
**3,20 %**  
BRUTS GARANTIS 2 MOIS  
JUSQU'À 75 000 €\*

NOUVELLE OFFRE  
DE BIENVENUE JUSQU'AU  
4 DÉCEMBRE 2016

**PSABANQUE**  
ÉPARGNE EN LIGNE

\*Offre soumise à conditions, valable pour toute première ouverture d'un Livret d'épargne Distingo jusqu'au 04/12/2016 inclus. Taux promotionnel annuel brut de 3,20% garanti pendant 2 mois jusqu'à 75 000€. Au-delà des 2 mois et des 75 000€, taux annuel brut de 1,20% susceptible de variations. Taux bruts exprimés avant prélèvements sociaux et fiscaux. Conditions disponibles sur [www.psabanque.fr](http://www.psabanque.fr) - PSA BANQUE FRANCE Nantema 662 034 858.





Les physiciens ont créé des atomes d'un nouveau genre dotés d'antiquarks.

PHYSIQUE DES PARTICULES

## UN NOUVEL ATOME SANS PROTON NI NEUTRON A ÉTÉ CRÉÉ

Ils avaient déjà cru en voir un en 2007. Puis, entre 2008 et 2010, ils en avaient compté 178, sans toutefois pouvoir conclure avec certitude qu'ils existaient bel et bien. Aujourd'hui, il y en a 350. Et ils en sont sûrs. En bombardant de fines feuilles de platine et de nickel avec un faisceau de protons accélérés au Laboratoire européen pour la physique des particules (Cern), près de Genève, les membres de la collaboration Dirac ont réussi à fabriquer – et à détecter – 350 représentants de grains de matière

d'un nouveau genre. Ni protons ni neutrons cependant, dans le noyau de ces nouveaux atomes... A leur place? Des mésons. Au lieu d'être constituées de trois quarks comme les protons et les neutrons, ces particules composites instables sont le résultat de l'assemblage d'un quark et de son *alter ego* d'antimatière: un antiquark. Prochaine étape pour les chercheurs du Cern? Étudier le comportement de ces atomes exotiques afin de tester les théories sur les forces nucléaires, les forces électromagnétiques... **M.F.**



## Le risque de perdre une chaussette à son équation

Réjouissez-vous : le mystère de la chaussette esseulée a été résolu ! Pour décharger l'humanité de ce fléau, le fabricant de lave-linge Samsung a enquêté auprès de 2 000 foyers et interviewé longuement 24 usagers britanniques. Première conclusion : les pertes de chaussettes sont imputables à des "biais cognitifs" dans le processus de décision et d'attention. Le statisticien et le psychologue chargés de l'enquête accusent formellement la "complexité" du tri préliminaire du linge d'être à l'origine de ces pertes récurrentes. On comprend mieux, désormais, l'intense fatigue intellectuelle qui nous assaille après la mise en route du maudit appareil... Mieux, les enquêteurs sont allés jusqu'à mettre en équation le risque de perte. Celui-ci est égal à  $(L+C) \cdot (P \times A)$ , où L désigne la taille de la lessive, C la complexité du tri, P la bonne volonté que vous y mettez et A votre degré d'attention. Mais gare ! Le sujet est sérieux. Cet aléa provoquerait chaque mois la perte de 1,3 chaussette dans chaque ménage. Nous perdriions ainsi dans une vie l'usage de 1 264 paires de chaussettes... De quoi justifier l'achat du nouveau modèle du fabricant, qui permet d'ajouter une chaussette oubliée dans la machine en cours de lavage. Un bel exercice de pub ! **A.D.**





## ENSEMBLE, CONTINUONS À FAIRE VIVRE LA "PETITE IDÉE" DE COLUCHE



*on compte sur vous*  
*Coluche*

Suivez-nous sur



YouTube

Téléchargez notre app sur



**FAITES VOTRE DON** en ligne sur  
**www.restosducoeur.org** ou **scannez le code**



### PENSEZ-Y

- **30 €** assurent un repas quotidien pour une personne pendant 1 mois
- **90 €** assurent un repas quotidien pour une personne pendant tout l'hiver
- **180 €** assurent un repas quotidien pour une maman et son enfant pendant tout l'hiver
- **530 €** aident une famille tout l'hiver

### LOI COLUCHE

Les dons des particuliers aux Restos du Cœur bénéficient d'une **réduction d'impôt de 75% jusqu'à 530 €**

### BULLETIN DE SOUTIEN

À compléter et envoyer sous **enveloppe non affranchie** à :

**Les Restaurants du Cœur - Libre Réponse 53061 - 91129 PALAISEAU Cedex**

|                            |                              |        |
|----------------------------|------------------------------|--------|
| <input type="checkbox"/> M | <input type="checkbox"/> Mme | P3232  |
| Nom                        |                              | Prénom |
| Adresse                    |                              |        |
| Code Postal                | Ville                        |        |
| Email                      | @                            |        |
| Téléphone                  |                              |        |

- ☐ Je demande à recevoir mon reçu fiscal par mail
- ☐ Je ne souhaite pas recevoir d'informations des Restos du Cœur sur mon adresse mail
- ☐ Je souhaite recevoir la documentation « Legs, donation et assurance-vie »



OCCUPATION DES SOLS

# PLUS DE TERRES AGRICOLES N'IMPLIQUE PAS FORCÉMENT MOINS DE FORÊTS

Améliorer la situation alimentaire des plus pauvres ne suppose pas nécessairement, pour un pays, de couper ses forêts. Voilà ce que démontre, à partir de l'étude de plusieurs *success stories*, le dernier rapport de la FAO consacré aux forêts du monde. Il est vrai que sur le globe, deux blocs dominent : les pays développés d'une part, où l'intensification agricole a réduit la surface cultivée, permettant à la forêt de progresser ; et la majorité des pays tropicaux d'autre part, où les surfaces agricoles ont augmenté au détriment de la forêt. Mais une douzaine de pays, très divers, comme le Ghana, le duo Algérie/Tunisie ou le Vietnam, ont amélioré nettement leur situation alimentaire tout en étendant leurs forêts. Leur secret ? Des politiques agricoles et forestières ambitieuses, coordonnées, auxquelles sont associées les populations locales. C'est que dans beaucoup de pays pauvres, il est facile d'accroître avec quelques mesures simples (fertilisation, irrigation...) des rendements agricoles qui sont très bas, et du coup de réduire la pression sur les forêts. Forêts que l'on peut régénérer et regagner sur des friches, notamment par le biais d'instruments fiscaux. On peut aussi étendre les surfaces cultivées sans déboiser, en réhabilitant des terres ou en irriguant.

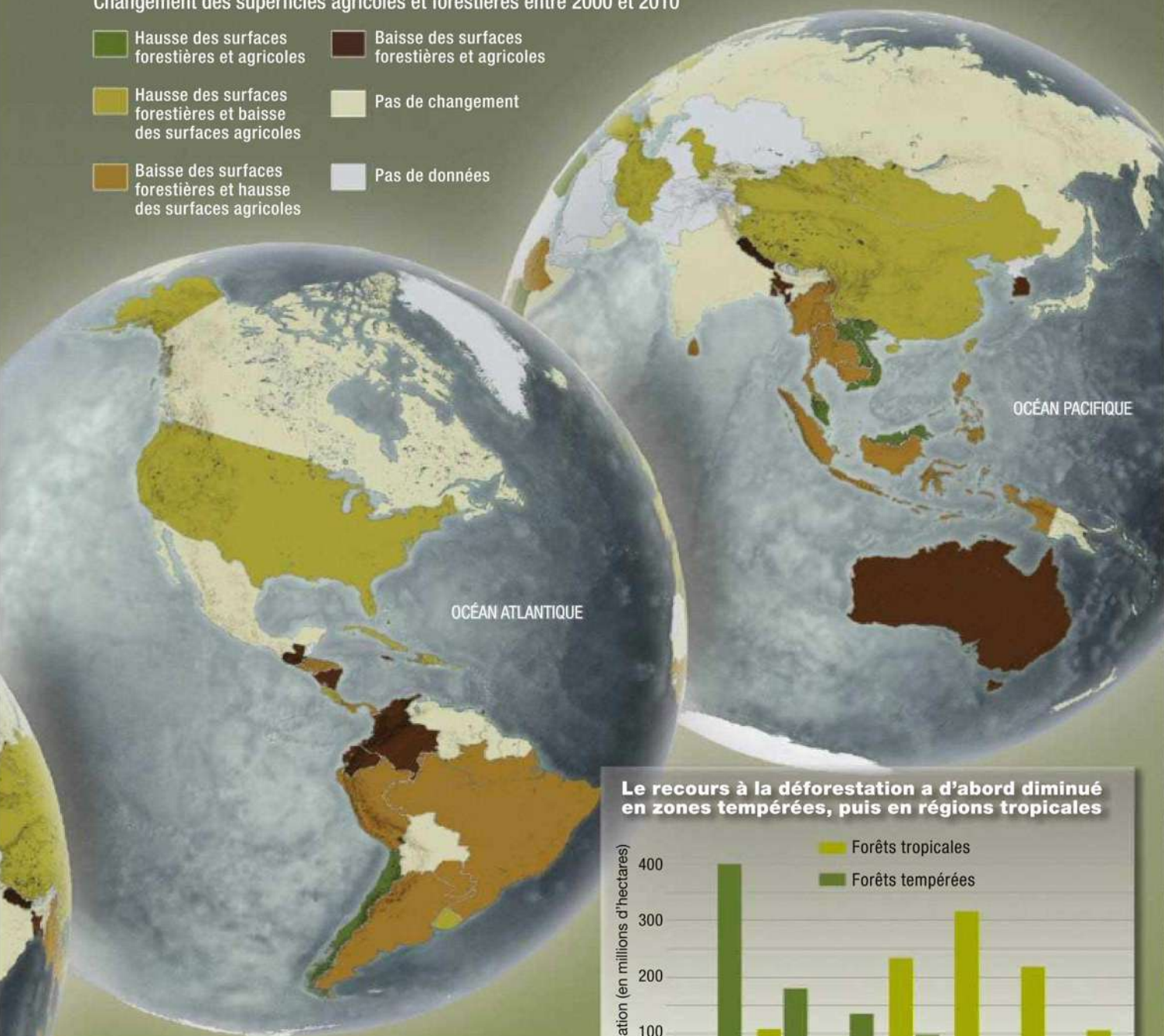
Y.S.



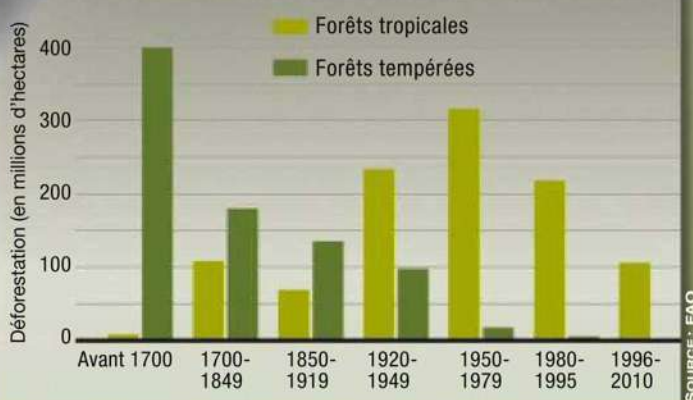


## Concilier forêts et agriculture n'est pas une question de développement

Changement des superficies agricoles et forestières entre 2000 et 2010



### Le recours à la déforestation a d'abord diminué en zones tempérées, puis en régions tropicales



**70**

millions d'hectares de forêts tropicales ont été coupés entre 2000 et 2010.

**40 %**

de la déforestation tropicale est due aux plantations géantes, 30 % aux petits propriétaires.

**21**

millions d'hectares : c'est la progression des forêts européennes depuis 25 ans.





◀ Cas rare de mutualisme en milieu sauvage : l'homme fait appel à l'oiseau baptisé "grand indicateur" pour qu'il le guide jusqu'aux nids d'abeilles.

## MUTUALISME

# CHASSEURS ET OISEAUX SE PARLENT POUR TROUVER DU MIEL

Au Mozambique, des chercheurs ont mis en évidence un exemple rare de mutualisme entre humains et animaux sauvages. Le grand indicateur est un oiseau brun qui raffole de la cire d'abeille. Son souci ? Il aurait besoin que quelqu'un éloigne pour lui les insectes. Les hommes, eux, cherchent du miel, mais ont du mal à repérer les essaims sauvages.

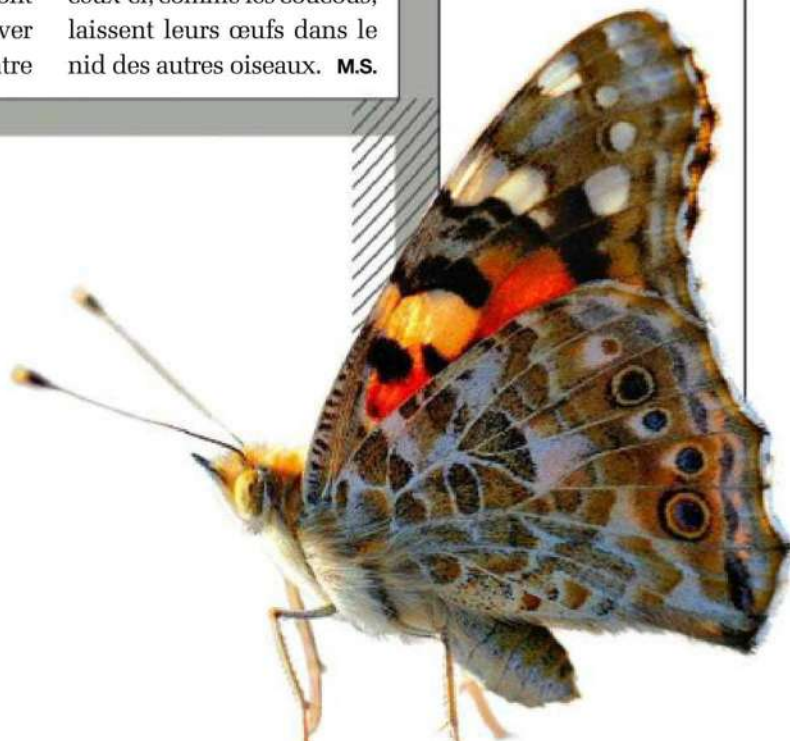
Ils ont donc fait "alliance". Les chasseurs du peuple Yao ont en effet appris à répondre au chant du grand indicateur ! "Brrr-hm" : ils émettent un bourdonnement suivi d'un bruit sourd. Quand les oiseaux l'entendent, les hommes ont 66 % de chances de se faire guider ; et quand ils sont guidés, ils ont 54 % de chances de trouver une ruche sauvage, contre

17 % sans les oiseaux. "On pense qu'il y a chez cet animal une part d'inné dans le fait de guider les chasseurs, et qu'il améliore ensuite ce comportement en apprenant le signal spécifique des hommes", note l'écologue Claire Spottiswoode. Car ça ne vient pas de leurs parents : ceux-ci, comme les coucous, laissent leurs œufs dans le nid des autres oiseaux. **M.S.**

## ÉCOLOGIE

# Le papillon de nos jardins vole jusqu'en Ethiopie

La belle-dame, probablement le papillon le plus commun d'Europe, est un prodige du voyage : deux chercheurs viennent de révéler qu'il accomplit une migration défiant l'entendement. Non seulement il forme, à l'automne, des vols pour traverser la Méditerranée et gagner le Maghreb – ce qui est déjà un bel exploit... Mais il franchit ensuite les 4 000 m d'altitude de l'Atlas, puis encore des centaines de kilomètres brûlants de Sahara... jusqu'aux hauts plateaux éthiopiens. Un peuple de 4 000 km<sup>2</sup> **MS**



# 10<sup>30</sup>

C'est le nombre, réévalué par une équipe américaine de micro-organismes sur Terre. Les chercheurs ont fouillé les multiples bases de données métagénomiques disponibles en s'efforçant – ce qui est la grande nouveauté de leur travail – de tenir compte des séquences virales. Vertigineux, ce chiffre est plus élevé que le nombre d'étoiles dans la Voie lactée. **Y.S.**





mgen<sup>★</sup>

MUTUELLE  
SANTÉ  
PRÉVOYANCE

MA SANTÉ, C'EST SÉRIEUX.

**J'AI  
CHOISI  
MGEN**

Maladie, dentaire, optique, mais aussi prévoyance intégrée et services d'accompagnement en cas de coups durs : MGEN garantit une protection performante à chaque moment de ma vie et couvre efficacement mes frais de santé. Pour ma santé, je veux être bien entouré : comme près de 3,8 millions de personnes, j'ai choisi MGEN.

mgen.fr

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, n°775 685 399, MGEN Vie, n°441 922 002, MGEN Fila, n°440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du code de la Mutualité - MGEN Action sanitaire et sociale, n°441 921 913, MGEN Centres de santé, n°477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du code de la Mutualité.



> C'est un changement du régime des vents, en provenance du cœur du continent, qui refroidit depuis quinze ans cette zone.

SCIENCES ATMOSPHÉRIQUES

## C'est l'agriculture tropicale qui émet le plus de méthane

Depuis 2007, le méthane atmosphérique (un gaz à effet de serre) est reparti à la hausse après une stagnation d'environ dix ans. Une croissance dont les chercheurs peinent à trouver les responsables. S'appuyant sur des analyses isotopiques, une équipe britannique estime que ce supplément serait d'origine biologique, et donc plus probablement issu de l'élevage de ruminants et de la culture du riz, que de l'industrie pétrolière ou de la fonte du permafrost. Et viendrait surtout des tropiques. **Y.S.**

CLIMATOLOGIE

## EN FAIT, LA PÉNINSULE ANTARCTIQUE EST EN TRAIN DE REFROIDIR

La nouvelle a surpris à la fois les climatologues et les connaisseurs des pôles: la péninsule antarctique, qui était depuis les années 1950 l'une des zones du globe qui se réchauffaient le plus vite (+3°C en moyenne), est entrée depuis quinze ans dans un cycle de refroidissement! C'est en se fondant sur les données météorologiques des cinq stations de recherche les plus septentrionales qu'une équipe du British Antarctic Survey a abouti à ce constat. Il faut dire que la péninsule, qui est une sorte de "virgule" rocheuse se détachant du continent blanc, en est aussi la partie la moins froide;

elle est, du coup, la mieux connue du public et la plus étudiée par les scientifiques. Il n'empêche qu'elle ne représente que quelques pour-cent de l'Antarctique. L'origine de ce refroidissement? Selon les chercheurs britanniques, un changement du régime des vents, qui tendent désormais à souffler du cœur froid du continent vers la péninsule, donc à la refroidir. Ce changement, dû à la résorption du trou d'ozone, devrait se poursuivre. *"Cela ne devrait pourtant pas suffire sur le long terme à compenser les effets du réchauffement global"*, estime John Turner, directeur de l'étude. **Y.S.**



^ Une fois son gène Leafy éteint, le peuplier ne produit plus de pollen.

BIOTECHNOLOGIES

## Stérilisé, le peuplier peut désormais être manipulé génétiquement

Les peupliers s'hybrident facilement et comptent de nombreux "cousins" sauvages – ce qui a jusqu'ici freiné la mise au point de variétés transgéniques plus productives ou dotées d'un meilleur bois. Un obstacle que des généticiens de l'université d'Etat de l'Oregon ont levé en posant un "frein" moléculaire sur son gène Leafy générant des spécimens incapables d'émettre du pollen. Pourtant, alors que le poids économique de cet arbre est énorme, pas sûr que le public suive... **Y.S.**





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

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

**DONDORGANES.FR**

**0 800 20 22 24**

Service & appel  
gratuits

**DON D'ORGANES  
TOUS CONCERNÉS**

**Agence de la  
biomédecine**  
Agence relevant du ministère de la santé



> Chez les rats, les signes de la maladie apparaîtront à la surface de la rétine (à g.), bien avant que le cerveau soit touché.

## NEUROLOGIE

## ON POURRAIT DÉTECTER PLUS TÔT PARKINSON... DANS L'ŒIL

Les signes précurseurs d'une maladie neuro-dégénérative apparaissent d'abord dans la rétine : c'est ce que révèle une étude menée par Maria Francesca Cordeiro, à l'Imperial College London. Vingt jours après avoir injecté chez des rats une substance induisant la maladie de Parkinson, la chercheuse et son équipe ont constaté la mort de nombreux neurones de la rétine,

ainsi qu'un gonflement de certaines couches rétiennes. Il a fallu attendre quarante jours de plus pour qu'apparaissent des lésions cérébrales dans la substance noire, caractéristiques de la maladie de Parkinson. Chez l'homme, les symptômes (tremblements, difficultés de concentration...) apparaissent lorsque plus de 70 % des neurones "dopaminergiques" sont détruits,

soit trop tard pour pouvoir entraver la progression de la maladie. Si ces résultats se confirment chez l'humain, un simple examen de la rétine pourrait donc permettre de diagnostiquer un Parkinson avant qu'il se manifeste. Autre enjeu pour la recherche : commencer les traitements expérimentaux plus tôt, pour en mesurer l'efficacité en temps réel et de façon non invasive. **C.H.**



## UNE VICTOIRE CONTRE EBOLA

ZMapp, un cocktail de trois anticorps, a permis d'abaisser la mortalité à 22 %, contre 37 % parmi les malades ayant reçu les soins standard. Toutefois, l'épidémie étant terminée, la preuve formelle de la supériorité du ZMapp n'a pas pu être obtenue. o.c.

## L'INFERTILITÉ TRANSMISE DE PÈRE EN FILS

Les jeunes hommes nés à la suite d'une forme de FIV, l'ICSI, ont un sperme de moins bonne qualité que ceux conçus naturellement. Cette technique palliant l'infertilité masculine, il semble donc que celle-ci soit héréditaire. C.H.

## L'IMMUNITÉ VARIE SELON NOS ORIGINES

Le système immunitaire des Afro-Américains réagit plus fortement aux infections que celui des Américains d'ascendance européenne. Une nouvelle preuve de l'influence de notre ADN sur nos réponses immunitaires. C.T.

## ÉPIDÉMIOLOGIE

# Sur le continent américain, la vaccination a éradiqué la rougeole

Après la variole en 1971, la poliomyélite en 1994 et la rubéole en 2015, la rougeole est la quatrième maladie infectieuse à avoir été éliminée d'Amérique grâce à la vaccination. Plus aucun cas ne s'y est déclaré depuis une épidémie d'origine locale au Venezuela, en 2002. Néanmoins, cette maladie très contagieuse (une seule personne peut en contaminer 18 autres), due à un paramyxovirus, n'a pas été éradiquée au niveau mondial et peut donc toujours être importée (environ 5 000 cas entre 2003 et 2014), d'où l'importance de continuer à vacciner. En 2015, près de 250 000 personnes ont contracté la rougeole dans le monde. C.H.



Il sera nécessaire de continuer à vacciner, la maladie pouvant toujours être importée.

## INFECTIOLOGIE

# Le parasite de la "maladie du sommeil" se cache dans la peau

Pour établir le diagnostic de la "maladie du sommeil", on recherche dans le sang du patient le trypanosome (photo), un parasite transmis par la mouche tsé-tsé en Afrique subsaharienne. Une équipe de biologistes (universités de Glasgow et de Kinshasa, Institut Pasteur) a cependant détecté la présence du parasite... dans la peau d'individus sans symptômes ! Une nouvelle piste dans la lutte contre cette pathologie, qui avait presque disparu dans les années 1960 avant de ressurgir en divers foyers. "Couplés à de nouveaux traitements oraux, actuellement en développement, des tests de dépistage dans la peau pourraient aider à éradiquer vraiment la maladie", indique la chercheuse Annette MacLeod. o.c.







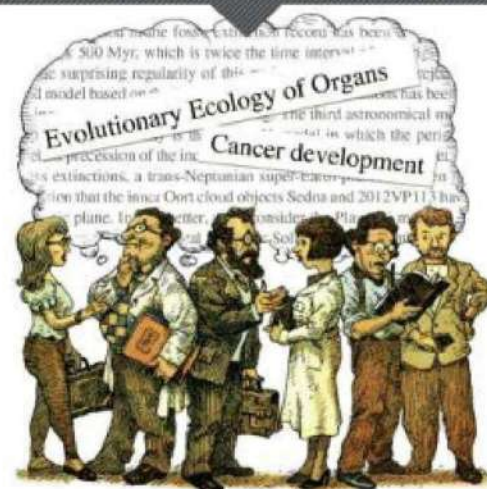
Responsable des problèmes d'équilibre, l'oreille interne est visée par la molécule à l'essai.

OTO-RHINOLOGIE

## UN REMÈDE AUX VERTIGES EST TESTÉ

Les premiers résultats d'un essai clinique ont montré qu'un antihistaminique, appelé Sens-111 et administré par voie orale, diminuait à la fois la durée et le délai d'apparition de vertiges induits chez des volontaires sains. Chez la souris, ce traitement s'était révélé plus efficace que deux médicaments classiques (mécilzine et méthylprednisolone). Et "contrairement à ces derniers, précise Pierre Attali,

directeur médical de Sensorion, la société qui développe la molécule, *Sens-111 ne provoque pas de somnolence et agit spécifiquement sur l'oreille interne, responsable des vertiges, en modulant son activité*". D'autres tests seront bien sûr nécessaires. En France, les problèmes d'équilibre touchent une personne sur sept ; chez les personnes âgées, ils multiplient par douze le risque de chute. **C.H.**



## Les organes "essentiels" seraient protégés du cancer

Le cancer du cœur est rarissime. Ceux du cerveau ou des ovaires, eux, ne touchent que 6 personnes sur 100 000. À l'inverse, les cancers de la prostate, du côlon, du poumon ou du sein sont six à dix fois plus fréquents. Pourquoi certains organes sont-ils à ce point plus vulnérables que d'autres à cette maladie ? Pour Frédéric Thomas, directeur du Centre de recherches écologiques et évolutives sur le cancer (Montpellier), la réponse est darwinienne et se trouve dans l'importance relative de nos organes. "*Dans ceux qui sont essentiels à la survie ou à la reproduction, il s'est exercé une pression sélective importante au niveau des mécanismes de lutte contre les cellules tumorales. À l'inverse, dans les organes moins importants ou qui sont en double, comme les poumons, cette pression de sélection a été moins forte : les coûts pour éliminer les tumeurs dépassant les bénéfices, celles-ci y sont plus fréquentes*", explique-t-il. Le chercheur le reconnaît : il ne s'agit que d'une hypothèse. Pour la valider, son équipe a prévu de suivre pendant deux ans, chez des souris, l'accumulation de tous les processus cancéreux (des lésions précancéreuses aux métastases) dans tous leurs organes. **C.H.**

ONCOLOGIE

## Deux bactéries de l'intestin renforcent la chimiothérapie

Deux bactéries du tube digestif (*E. hirae* et *B. intestinihominis*) augmentent l'efficacité d'un traitement anticancéreux chez la souris. Et l'on sait comment : "*La première traverse la barrière intestinale, rendue poreuse par le traitement, et stimule la production de lymphocytes, qui se retournent contre la tumeur ; la seconde mobilise l'immunité innée*", explique Laurence Zitvogel (Institut Gustave Roussy). Reste à démontrer que le microbiote humain peut être aussi bénéfique. **C.H.**



# DERNIÈRES RÉVÉLATIONS SUR LES TROUS NOIRS...

**Le nouveau livre de Stephen Hawking est entièrement placé sous le signe de la singularité.**

Celle de son contenu d'abord, puisqu'il y est question de la "singularité spatio-temporelle" nichant au cœur d'un trou noir, où le temps et l'espace disparaissent. Singularité de l'auteur ensuite, qui, immobilisé par une sclérose latérale amyotrophique, est l'un des scientifiques les plus importants de notre époque. Singularité du mode d'écriture enfin, léger et fluide, de ce vulgarisateur hors pair, avide de partager sa fabuleuse connaissance du monde physique.

**A**uteur de plus d'une dizaine d'ouvrages de vulgarisation, dont la célèbre *Brève histoire du temps* (Flammarion, 1988), best-seller mondial vendu à plus de 10 millions d'exemplaires, Stephen Hawking nous entraîne cette fois-ci dans l'histoire récente des trous noirs, qui se confond avec celle de ses propres recherches démarrées dans les années 1960. Car oui ! À 74 ans, même si sa santé l'empêche depuis 2009 de donner des cours à Cambridge, il continue à faire de la physique théorique : "Stephen n'arrête jamais !" nous confie Christophe Galfard, physicien et écrivain, qui fit sa thèse sous sa direction.

Heureusement pour nous, une partie de son énergie, Hawking l'investit dans la transmission au grand public : la narration des *Dernières nouvelles des trous noirs* est d'une limpidité stupéfiante, dans la pure tradition des écrits de vulgarisation de son illustre prédécesseur, Albert Einstein. S'appuyant sur des images intuitives, il nous fait entrer de plain-pied dans un domaine où, habituellement, le langage et l'intuition atteignent leur limite — mais Hawking n'est-il pas justement celui qui transcende les limites, de la maladie, du temps et de la pensée ?

Avec une écriture enlevée, Hawking nous raconte la vie de ces objets célestes, qui ne seront observés que tardivement par l'astronomie. Dans les années 1920 et 1930, certains théoriciens imaginent déjà la possibilité qu'une étoile s'effondre sur elle-même, jusqu'à devenir un point dans l'espace siège d'une attraction colossale. Rien dans la théorie de la relativité générale (1915) ne s'y oppose, même si le grand Einstein lui-même n'y croit pas.

C'est en 1967 qu'on les baptise "trous noirs" — un terme qui, comme le rappelle malicieusement Hawking, déclenche l'ire des physiciens français car jugé osé, voire obscène !

À l'image du héros d'*Interstellar* de Christopher Nolan, on franchit au fil des pages le fameux "horizon des événements", fasciné par l'étrange physique qui règne au cœur de ces monstres gravitationnels. L'auteur évoque ensuite la résolution du "paradoxe de l'information", point central de ses recherches dans les années 1970, et cette révélation qu'un trou noir... s'évapore — "découvertes qui sont à la base de la plupart des travaux sur la gravitation quantique de ces quarante dernières années", rappelle Christophe Galfard.

Enfin, Hawking dévoile ses tout derniers résultats. Où l'on apprend que toute l'information happée par un trou noir, possible "passage vers un autre univers", serait encodée sur l'horizon des événements en une sorte d'hologramme à deux dimensions...

**Un véritable vertige physique et intellectuel.**



**CHRISTOPHE GALFARD\***

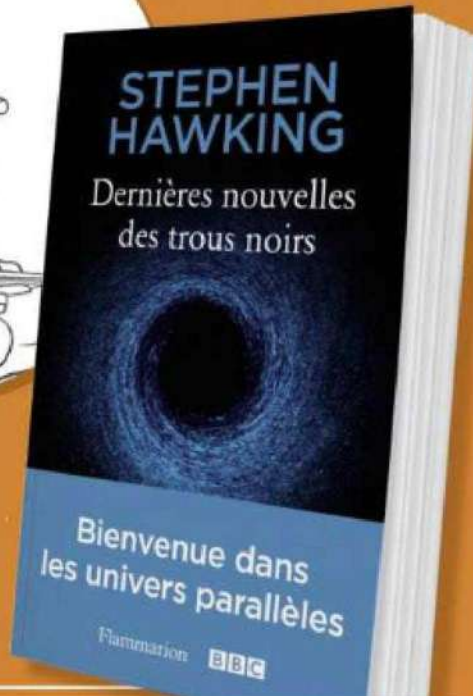
Docteur en physique théorique, Christophe Galfard a été le disciple de Stephen Hawking avec qui il a co-écrit *Georges et les secrets de l'Univers*. Il nous en dit plus sur le dernier ouvrage de son maître, *Dernières nouvelles des trous noirs*.

\*Auteur de *L'Univers à portée de main*, en librairie — J'ai Lu



## STEPHEN HAWKING

est physicien théoricien. Ses ouvrages ont pulvérisé tous les records de vente. Une merveilleuse histoire du temps, le biopic à succès qui lui a été consacré en 2014, l'a fait connaître du tout jeune public.



EN LIBRAIRIE — 10 € — 112 PAGES — PRÈS DE 50 ILLUSTRATIONS — FLAMMARION

## JOUEZ SUR

**WWW.SCIENCE-ET-VIE.COM**

**ET TENTEZ DE GAGNER L'UN DES 100 OUVRAGES**

**RETROUVEZ L'INTERVIEW INTÉGRALE DE CHRISTOPHE GALFARD SUR [WWW.SCIENCE-ET-VIE.COM](http://WWW.SCIENCE-ET-VIE.COM)**





Cette fleur artificielle s'est ouverte toute seule, à un rythme contrôlé par les chercheurs.

## MATÉRIAU

# UN HYDROGEL "INTELLIGENT" A FAIT ÉCLORE CETTE FLEUR

Certains matériaux étaient déjà capables de changer de forme, mais seulement à la suite d'un stimulus extérieur (variation de pH, de température...), ce qui empêchait de les utiliser pour des applications médicales. Des chercheurs de l'université de Caroline du Nord ont donc mis au point le premier hydrogel qui se transforme tout seul, sans facteur externe, en suivant un timing précis. Pour cela, ils ont joué sur le nombre et le type de liaisons entre les molécules de l'hydrogel. Dans son état initial, le matériau est plié grâce à des liaisons faibles. La densité de ces dernières va déterminer la durée de

transition vers la forme finale. Les chercheurs ont ainsi réussi à fabriquer une fleur artificielle à trois rangs de pétales, conçus pour évoluer à un rythme spécifique... lesquels se sont ouverts les uns après les autres, comme une fleur naturelle. Selon Sergei Sheiko, qui dirige ces travaux, *"le changement de forme peut être contrôlé assez finement, dans une échelle de temps allant de la minute à plusieurs heures"*. Ce type de matériau permettra notamment de créer des prothèses dont la pose ne nécessitera qu'une petite incision, et qui se déploieront seules après l'intervention. **A.V.**

## BIOMIMÉTISME

# On sait fabriquer de la nacre plus vraie que nature

Difficile de reproduire la solidité de la nacre, dotée d'une structure lamellaire et composée à 97% d'aragonite (un carbonate)... Une équipe sino-allemande s'est inspirée de la façon dont les mollusques fabriquent leur coquille. Sa recette: du carbonate de calcium et une matrice de chitine pour former les plaquettes d'aragonite, assemblées ensuite à l'aide d'un gel de protéine de soie. Résultat, en deux semaines, une nacre synthétique plus vraie que nature qui promet de nouveaux matériaux ultraperformants. **A.P.**



HY4 "carburé" à l'hydrogène, et au lithium pour le décollage et l'ascension.

## AÉRONAUTIQUE

# Le premier quadriplace à piles a pris son envol

C'est une première mondiale! HY4, un avion quatre places alimenté par une pile à hydrogène, a décollé le 29 septembre de Stuttgart. Développé par le Centre spatial allemand, il se présente sous la forme de deux fuselages transportant chacun deux passagers. L'hydrogène, stocké à basse température, est converti en électricité; seule de l'eau est rejetée. Une pile au lithium prend le relais durant le décollage et l'ascension. Le HY4 vole à 145 km/h, avec des pointes à 200 km/h, pour une autonomie de 750 à 1 500 km. Prochain objectif: améliorer suffisamment les piles pour permettre d'alimenter des vols régionaux avec 19 passagers. **S.F.**



# ARCHOS



Vos plus beaux Selfies

199€\*  
(sans abonnement)



5.5" IPS FHD



4GB RAM



64 GB



16/8 MP



Lecteur  
d'empreinte



Gyroscope

**ARCHOS** 55 Diamond Selfie

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



\* Soit 229€ - 30€ remboursés jusqu'au 31 décembre 2016. Offre valable uniquement en France métropolitaine, voir condition sur [archos.com](http://archos.com). Toutes les marques citées sont des marques déposées par leurs propriétaires respectifs. Informations données sous réserve d'erreurs typographiques et susceptibles de modifications sans préavis. Images non contractuelles. Copyright ARCHOS 2016. Tous droits réservés. SAR : Head Max: 0.147 W/Kg (10g) - Body Max: 1.556 W/Kg (10g).





> L'éolienne flottante à trois pieds (au lieu d'un mât) conçue par Eolink a une puissance maximale de 12 MW.

ÉNERGIE

## UN NOUVEAU DESIGN DOUBLE LA PUISSANCE DES ÉOLIENNES EN MER

Les éoliennes flottantes reposant sur des bouées présenteraient déjà plusieurs avantages par rapport à leurs analogues off-shore, ancrées en mer : leur structure peut être construite au port, ce qui réduit les coûts, et elles fonctionnent aussi dans les zones où l'eau est plus profonde, et les vents plus puissants. Mais les modèles actuels, dont le design est calqué sur celui des éoliennes terrestres, se dégradent trop rapidement. *"Le mât est une pièce faible qui, soumise aux vibrations, fatigue vite. Notre idée est donc de le remplacer par une structure plus*

*rigide, composée de trois ou quatre pieds",* explique Marc Guyot, de la compagnie bretonne Eolink. Ce nouveau design a l'avantage d'accroître la résistance de la structure, de nécessiter moins de matériau qu'une éolienne classique, et de permettre, en augmentant la taille de l'ensemble, de récupérer plus d'énergie. Ce type d'éolienne pourrait ainsi atteindre une puissance de 12 MW, contre 6 à 8 MW pour une centrale flottante classique. *"À durée de vie égale, notre dispositif fait économiser 25 % en coût de production électrique",* conclut Marc Guyot. **S.D.**

### LA VOITURE AUTONOME QUI SOURIT AUX PIÉTONS

Comment remplacer le contact visuel entre piéton et automobiliste... quand un véhicule circule sans conducteur ? Le suédois Semcon planche sur une calandre équipée de capteurs, qui "sourira" pour indiquer au piéton qu'il peut traverser. **E.T.-A.**

### UN DRONE PILOTÉ À 60 KM

Des chercheurs japonais ont réussi à piloter un drone à 60 km de distance via un smartphone. De quoi envisager de diriger des flottes à très longue distance, sans que d'autres infrastructures de communication soient nécessaires. **E.T.-A.**

### DU KÉROSÈNE À BASE D'EUCALYPTUS

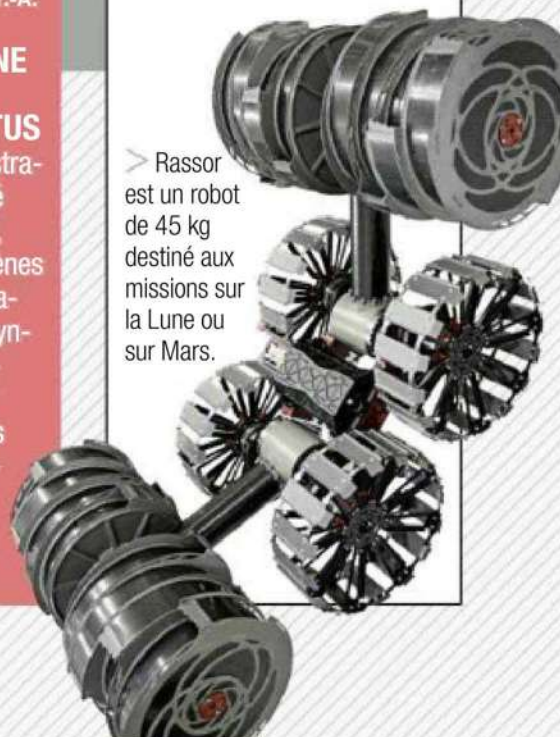
Une équipe australienne a montré que ces arbres, grâce aux terpènes (composés organiques) qu'ils synthétisent, pourraient procurer jusqu'à 5 % des besoins en carburant de l'industrie aéronautique. **A.V.**

### TECHNOLOGIE SPATIALE

## La future pelleuse de Mars est rodée

Rassor ("Regolith Advanced Surface Systems Operations Robot"), le nouveau robot de la Nasa destiné aux missions planétaires habitées, a réussi avec brio ses tests au centre spatial Kennedy (Floride), sur une reconstitution de sol martien. Robuste, autonome et capable de manœuvrer aux faibles gravités de la Lune ou de Mars, Rassor peut forer à 1 m de profondeur pour récolter en vingt-quatre heures 700 kg de régolithe (poussière de surface) à l'aide de ses tambours rotatifs articulés. Source d'oxydes, d'hydrogène, de métaux, de silice et parfois d'eau, le régolithe pourra ainsi être exploité et transformé *in situ* à des fins de construction ou de synthèse de carburant. **A.P.**

> Rassor est un robot de 45 kg destiné aux missions sur la Lune ou sur Mars.





trimestriel

décembre 2016

HORS  
SÉRIE

277

SCIENCE & VIE

MONDADORI FRANCE

HÉPATITE B, GRIPPE, PAPILLOMAVIRUS,  
MÉNINGOCOQUE, COQUELUCHE, DTPOLIO,  
HIB, PNEUMOCOQUE, ROUGEOLE...

# LE GUIDE DES VACCINS

2016 | 2017

HIER

Une grande aventure  
de science

AUJOURD'HUI

L'obligation vaccinale  
en question

DEMAIN

Vers un vaccin  
universel

Faut-il avoir peur des vaccins ?

EN VENTE DÈS LE 2 DÉCEMBRE



## NOUVEAU

### Sauvegardez votre patrimoine vidéo familial avec le numériseur de films 8mm et super 8!

Vos films 8mm et super 8 dorment dans votre grenier sans que vous puissiez en profiter ?

Vous ne souhaitez pas passer par un professionnel onéreux pour les numériser ?

Voici ENFIN une solution simplissime pour les sauvegarder : ce numériseur de films 8mm et super 8!

**Film 8mm et super 8**

**Écran de contrôle**

**Sélecteur de film 8mm et super 8**

**Full HD 1080**

**PAIEMENT SANS FRAIS 3x**

**599€**  
**ou 3x 199,66€**

**LIVRAISON RAPIDE COLISSIMO OFFERTE**

**8mm Film** **Super 8 Film**

#### Très simple et sans ordinateur :

Placez le film sur la bobine et choisissez le type (8mm et Super8) sur le sélecteur. Lancez la numérisation : le film est enregistré image par image sur une carte SD!

Vous pouvez ensuite les visionner et sauvegarder sur le support de votre choix (ordinateur, tablette, mobile, etc), et partager des moments inoubliables en famille!

#### SES CARACTÉRISTIQUES :

- Numérisation haute résolution Full HD 1080P
- Autonome : il n'a pas besoin d'être relié à l'ordinateur
- Doté d'un écran couleur TFT LCD 2,4" (6 cm) pour suivre en temps réel la numérisation et couper certains passages si besoin
- Stockage directement sur ordinateur ou sur carte SD (non fournie)

#### Numériseur super 8

NE DIGITALISE PAS LE SON. FONCTIONNE SUR ADAPTEUR SECTEUR FOURNI. LIVRÉ AVEC CÂBLE USB, CÂBLE SORTIE TV, SUPPORT BOBINE ET ADAPTEUR SUPER 8. CAPTEUR CMOS, FORMAT IMAGES MPEG 4. TYPE DE FILM: SUPER 8 STANDARD (COULEUR OU NOIR & BLANC) ET 8MM. TEMPS DE NUMÉRISATION RAPIDE : ENVIRON 90 MIN POUR 7 MIN. COMPATIBLE PC WINDOWS XP, VISTA, WINDOWS 7/8/10 ET MAC OS 10.7.3 ET SUPÉRIEUR. GARANTIE 1 AN. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.





## Laissez le parfum agir sur votre cerveau, et réveillez-vous en douceur!

Découvert au concours *Innovez* organisé par Science & Vie Junior, le réveil olfactif de Sensorwake a représenté la France en 2014 au Google Science Fair.

Testez ce réveil d'un nouveau genre et réveillez-vous de bon pied, progressivement, avec la diffusion de votre parfum préféré. Vous êtes réveillé en moins de 2 minutes, sans bruit, uniquement grâce au parfum que vous avez choisi. Pas de panique, une mélodie de secours prend le relai après 3 minutes de diffusion parfumée...

### Réveil olfactif Sensorwake + capsule 30 réveils «toast»

UNE CAPSULE TOAST INCLUSE DANS LE RÉVEIL. 30 RÉVEILS PAR CAPSULE. CAPSULES 100% RECYCLABLES. ZONE DE DIFFUSION : 1,5 M. RESPECTE LES NORMES DE QUALITÉ DE L'AIR LES PLUS STRICTES. MÉLODIE DE SECOURS APRÈS 3 MIN DE DIFFUSION. ÉCRAN RÉTROÉCLAIRÉ LCD 4x4 CM. RÉTROÉCLAIRAGE ON/OFF. DÉTECTEUR DE LUMINOSITÉ. DIFFÉRENTS PARFUMS DISPONIBLES : BORD DE MER, CAFÉ EXPRESSO, CROISSANT CHAUD. DIMENSIONS : 10,2x9,8x10 cm. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

PAIEMENT  
3x  
SANS  
FRAIS

99€  
seulement!  
ou  
3x33€  
LIVRAISON RAPIDE  
COLISSIMO  
OFFERTE



**NOUVEAU**  
Bord de mer, expresso  
ou croissant,  
choisissez votre parfum  
pour 30 réveils!



Les parfums et les capsules  
sont produits en France.

Recharge 30 réveils - 4,99€ :  
«bord de mer», «expresso» ou «croissant»

La FRENCHTECH

### POUR COMMANDER ET S'INFORMER

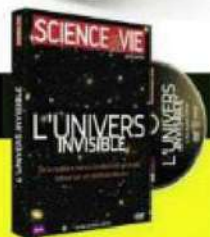
[www.laboutiquescienceetvie.com](http://www.laboutiquescienceetvie.com)

Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®, PayPal®

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

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

EN CADEAU pour toute commande  
le DVD Science & Vie  
«L'Univers invisible»  
avec le code commande 384.503



## BON DE COMMANDE

| Articles   | Réf.    | Quantité | Prix   | Sous-total |
|--|---------|----------|--------|------------|
| Numériseur de films 8 mm et super 8  | 403.576 | x        | 599 €  | = €        |
| Réveil olfactif Sensorwake   | 401.455 | x        | 99 €   | = €        |
| Recharge 30 réveils «bord de mer»  | 401.463 | x        | 4,99 € | = €        |
| Recharge 30 réveils «expresso»   | 401.489 | x        | 4,99 € | = €        |
| Recharge 30 réveils «croissant chaud»  | 401.471 | x        | 4,99 € | = €        |
| <b>SOUS-TOTAL</b>  |         |          |        | €          |
| Avec ma commande, je reçois en CADEAU le DVD Science & Vie «L'Univers invisible» |         |          |        | OFFERT     |
| <b>FRAIS D'ENVOI</b><br>(cocher la case de votre choix)                          |         |          |        |            |
| <input type="checkbox"/> Envoi normal  |         |          |        | 6,90 €     |
| <input type="checkbox"/> Ma commande atteint 49 € Envoi Coliéco                  |         |          |        | GRATUIT    |
| <input type="checkbox"/> Livraison rapide Colissimo                              |         |          |        | 7,90 €     |
| <input type="checkbox"/> Ma commande atteint 75 € Livraison rapide Colissimo     |         |          |        | GRATUIT    |
| <b>TOTAL</b>   |         |          |        | €          |

Offre valable uniquement en France métropolitaine pendant deux mois dans la limite des stocks disponibles. Délai de livraison des produits : maximum 2 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo descellés. 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 90 125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9

> Mes coordonnées ➔ CODE COMMANDE : 384.503

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

- ☐ en 1 fois la totalité de ma commande
- ☐ en 3 fois sans frais (à partir de 99 € d'achat)

☐ Je règle par carte bancaire

- ☐ en 1 fois la totalité de ma commande
- ☐ en 3 fois sans frais (à partir de 99 € d'achat)

PAIEMENT  
3x  
SANS  
FRAIS

Carte bancaire N° \_\_\_\_\_

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

Date et signature obligatoires

Cryptogramme \_\_\_\_\_

Les 3 chiffres au dos de votre CB



POLLUTION  
ATMOSPHERIQUE

# TOUS LES CHIFFRES SONT FAUX!

Le scandale Volkswagen est l'arbre qui cache la forêt : tous les secteurs industriels déclarent des taux d'émissions polluantes qui ne correspondent pas du tout à la réalité. L'enquête de **Vincent Nouyrigat**, chiffres à l'appui.

Quinze mois après, l'émotion est toujours palpable. Vendredi 18 septembre 2015, l'Agence américaine de l'environnement provoquait une onde de choc planétaire en révélant une tricherie à peine croyable : Volkswagen, premier constructeur automobile mondial, avait installé au sein de ses véhicules diesel un logiciel truquant leurs émissions d'oxydes d'azote, un polluant toxique. Objectif : passer ni vu ni connu les

tests d'homologation ! Une manipulation qui, assurément, restera gravée dans les annales de la fraude industrielle.

Depuis, les commissions d'enquête et les tests indépendants se multiplient, étendant le scandale à d'autres marques prestigieuses (voir ci-contre). Et d'autres révélations se profilent déjà, entamant toujours davantage la confiance.

Cette affaire cache pourtant un problème bien plus

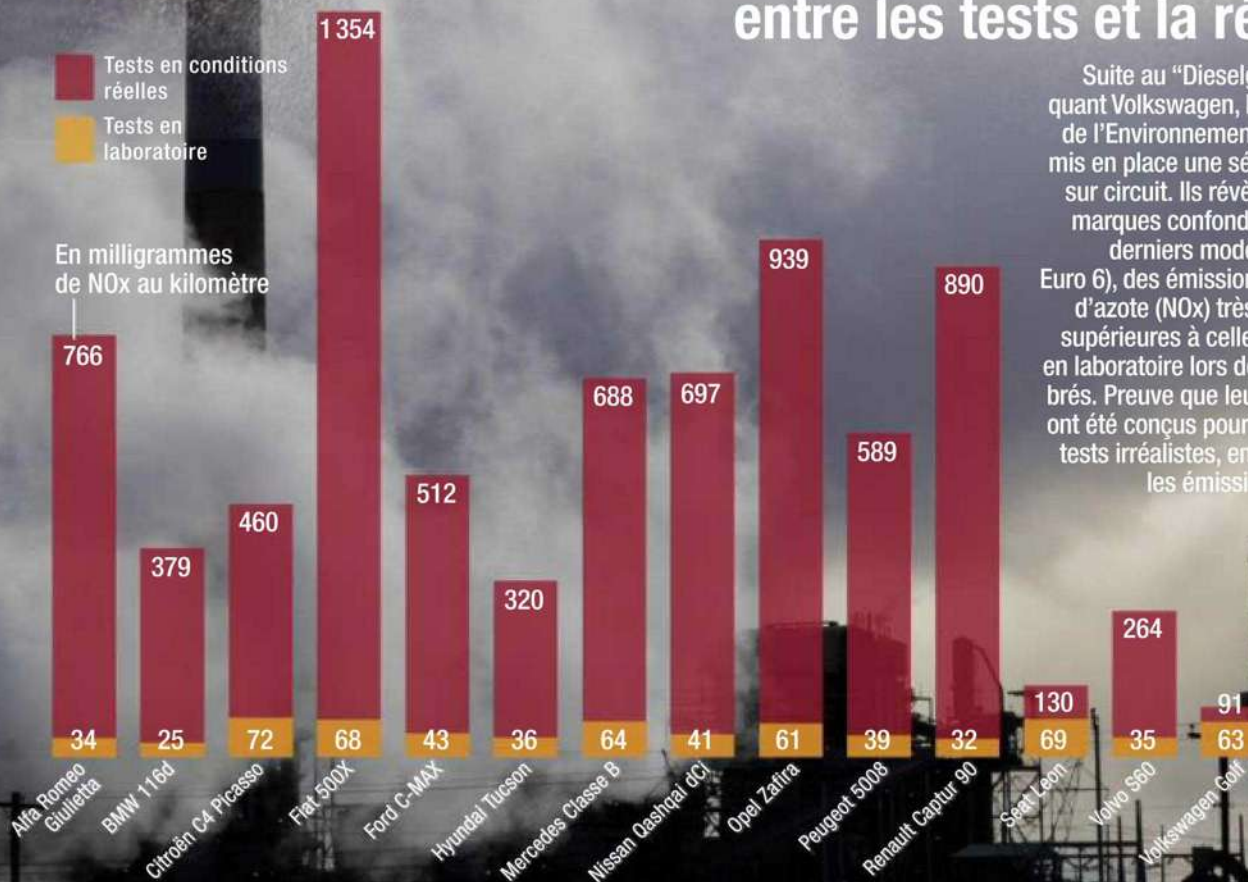
vaste que les pratiques du seul secteur automobile. Energie, transports, chimie, agriculture... d'innombrables activités polluantes affichent un écart abyssal entre leurs déclarations officielles et les mesures réelles. Qu'il s'agisse de polluants locaux ou de gaz à effet de serre aussi "réputés" que le dioxyde de carbone, le méthane, mais aussi l'oxyde nitreux ou les hydrofluorocarbures (HFC)... En mesurant leur présence





## Automobiles : le grand écart entre les tests et la réalité

Suite au "Dieselgate" impliquant Volkswagen, le ministère de l'Environnement français a mis en place une série de tests sur circuit. Ils révèlent, toutes marques confondues, sur les derniers modèles (norme Euro 6), des émissions d'oxydes d'azote (NOx) très largement supérieures à celles obtenues en laboratoire lors de tests calibrés. Preuve que leurs moteurs ont été conçus pour passer ces tests irréalistes, en négligeant les émissions réelles.

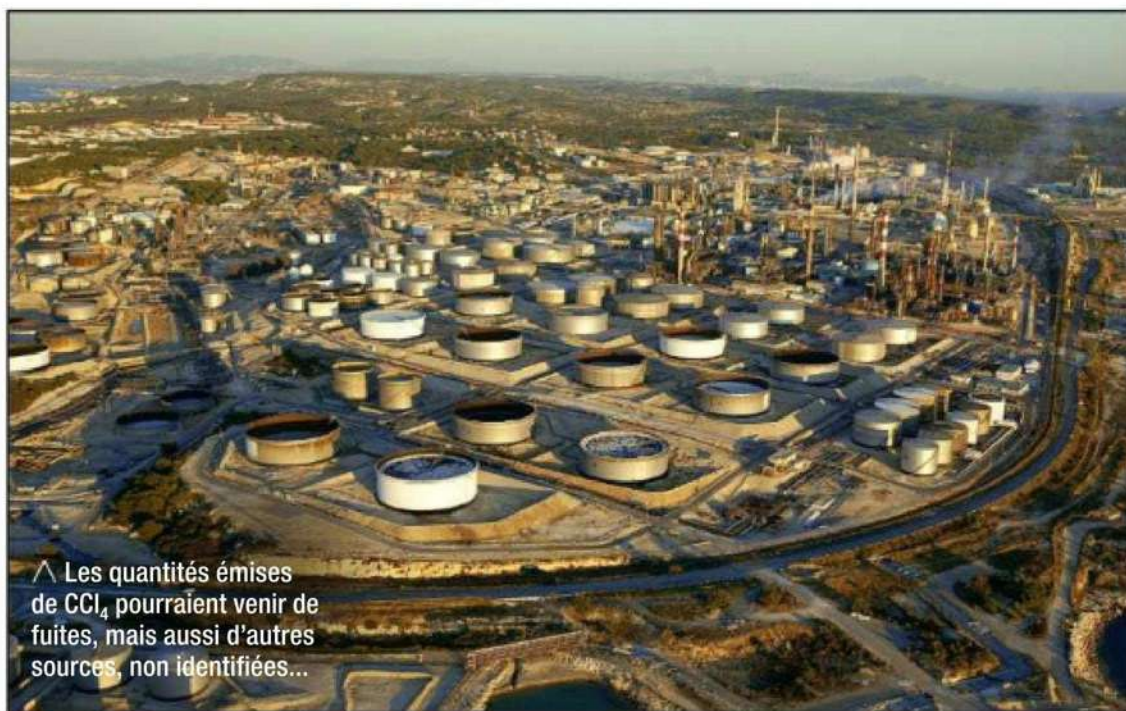




→ dans l'atmosphère, les scientifiques ne peuvent que constater les énormes marges d'incertitude entourant ces rejets, parfois supérieures à 100 %.

Pourquoi de tels écarts ? La liste des activités en plein flou est si longue que toutes ne peuvent pas être mises dans le même panier. Si les cas de manipulations "à la Volkswagen" sont sans doute exceptionnels, les industriels ne se donnent souvent même pas les moyens de connaître la vérité sur leurs émissions – quelles que soient les difficultés techniques. Quand certains se refusent carrément à les révéler au public ou les cachent sciemment. En tout cas, tous font preuve d'une belle hypocrisie, en faisant semblant de ne pas voir à quel point leurs estimations sont floues. Y compris les pouvoirs publics chargés de compiler ces données.

Vous avez dit hypocrisie, opacité, ignorance ? Prenez la grande messe mondiale de la COP21, qui s'est tenue à Paris il y a un an. On serait en droit d'attendre une transparence exemplaire de la part de dirigeants rassemblés pour un



^ Les quantités émises de  $\text{CCl}_4$  pourraient venir de fuites, mais aussi d'autres sources, non identifiées...

sommet international destiné à sauver la planète. Détrompez-vous ! *"Lors de la Conférence de Paris sur le climat, la Chine a présenté trois pauvres pages d'un fichier PDF pour tout inventaire de ses émissions de gaz à effet de serre,"* tance Philippe Ciais, spécialiste du cycle global du carbone au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement. *Il nous est impossible de reconstituer leurs données sur de telles bases, ni de savoir où*

*se trouve la vérité. Nous sommes donc obligés de les croire sur parole."*

## CHACUN SES CALCULS

Au vrai, la précision de ces documents déclaratifs varie fortement d'un pays à l'autre. Seuls les pays dits industrialisés – en clair : les 35 de l'OCDE – ont l'obligation de soumettre régulièrement un inventaire précis de leurs émissions de gaz à effet de serre ; le rapport annuel français comprend ainsi plus de 1 500 pages. A

la différence des tests exercés en Europe sur les automobiles, ces inventaires sont soumis ensuite à des inspections scrupuleuses.

En revanche, cet exercice vertueux n'est aucunement imposé aux pays en voie de développement, dont la contribution aux émissions enfle, par définition. Autrement dit : des géants comme la Chine, l'Inde, le Brésil ou l'Afrique du Sud fournissent leur inventaire selon des méthodologies et des hypothèses qui ne regardent qu'eux-mêmes. *"Personne n'a jamais contrôlé ces pays",* prévient Valentin Bellassen, auditeur pour la Convention sur le climat. Pour ne rien arranger, leurs administrations rendent leur – pâle – copie à peu près quand elles le désirent. Lors de la COP21, la Chine raisonnait ainsi sur ses émissions de l'année... 2005. *"Grotesque,"* →



**PHILIPPE CIAIS**

Spécialiste du cycle global du carbone au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement

*Impossible de connaître la vérité sur les émissions chinoises ! Nous devons les croire sur parole*



## 1 TÉTRACHLORURE DE CARBONE

### L'industrie chimique est incapable d'expliquer d'où vient ce gaz interdit

C'est un gaz banni depuis maintenant vingt ans dans les pays développés. Le tétrachlorure de carbone ( $\text{CCl}_4$ ) est en effet un composé destructeur de la couche d'ozone, soumis au très rigoureux protocole de Montréal de 1989.

*Des émissions de  $\text{CCl}_4$  100 fois supérieures au décompte officiel*

Pourtant, les chimistes de l'atmosphère continuent d'en détecter des rejets réguliers, à hauteur de 25 000 tonnes par an. Insuffisant pour entraver l'actuel rétablissement de la couche d'ozone, mais assez pour s'interroger... Car ce chiffre ne peut s'expliquer par les effluves provenant de vieux stocks ou de décharges. "Ces émissions sont probablement liées à l'activité industrielle

actuelle", avance Lei Hu, chercheuse à la division de surveillance de l'atmosphère à la NOAA. Et elles n'émanent pas seulement d'obscurs sites de production aux confins de pays sous-développés : une étude publiée au printemps dernier révèle des bouffées de  $\text{CCl}_4$  au-dessus de grands sites industriels américains et européens. "Il se forme durant la fabrication de chloromé-

thane (silicone, pesticides, raffinage) ainsi que la production de solvant perchloroéthylène utilisé pour le nettoyage à sec, rapporte Qing Liang, chimiste de l'atmosphère à la Nasa. Des fuites involontaires peuvent avoir lieu lors de la production ou du transport." Oui... Mais le compte n'y est pas. D'autres pertes interviennent sûrement au cours de processus encore non identifiés et "pas forcément clandestins", insiste-t-on à la NOAA. L'enquête est en cours.

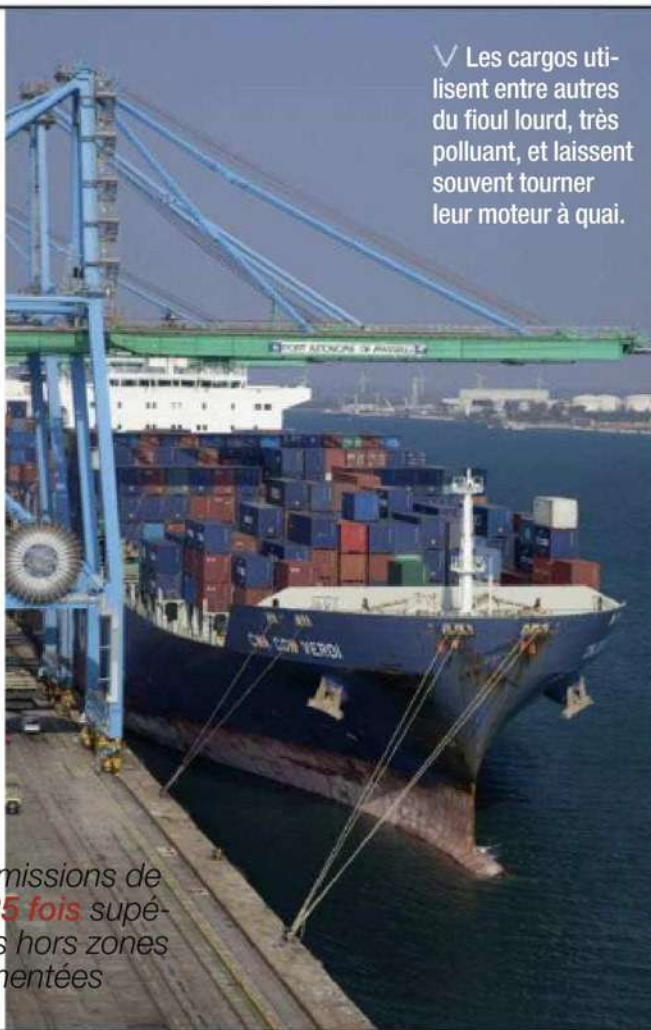
## 2 DIOXYDE DE SOUFRE

### Le transport maritime fait semblant d'être vertueux

Le transport maritime se targue d'être vertueux, car il émet peu de gaz à effet de serre au kilomètre. Mais il oublie de dire qu'il utilise dès qu'il le peut du fioul lourd, un carburant peu raffiné, contenant du soufre, à l'origine d'importantes émissions de dioxyde de soufre (irritant pour les voies respiratoires) et de particules fines (cancérogènes). Cette pollution provoquerait 60 000 décès prématurés par an dans l'Union européenne. D'où l'instauration, depuis 2011, de quatre "zones d'émissions contrôlées" qui limitent la teneur en soufre et en particules dans la mer Baltique, la mer du Nord, l'Amérique du Nord et les

Caraïbes. Dans ces zones, les énormes cargos sont forcés d'utiliser du gazole réglementé. Mais dès qu'ils en sortent, ils switchent sur le fioul lourd, bien moins cher. Y compris à proximité de ports comme Marseille ou Le Havre, hors zones contrôlées. En attendant que celles-ci soient étendues, "il faudrait rendre obligatoires les pots catalytiques et les filtres à particules, comme dans l'automobile", gronde Ralf Zimmermann, chercheur au Centre Helmholtz (Munich). Une mesure onéreuse qui n'enthousiasme pas les industriels... **P.-Y.B.**

*Des émissions de  $\text{SO}_2$  35 fois supérieures hors zones réglementées*

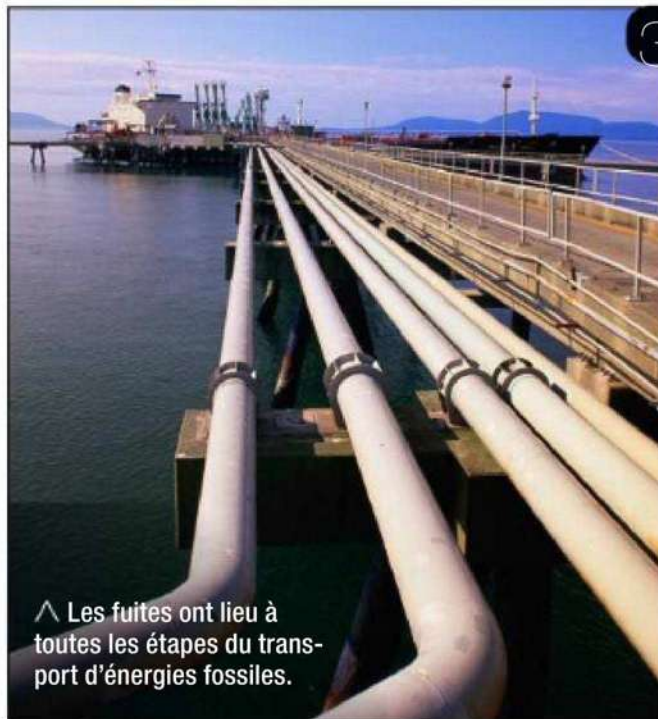


✓ Les cargos utilisent entre autres du fioul lourd, très polluant, et laissent souvent tourner leur moteur à quai.



## 3 MÉTHANE

### Les compagnies pétrolières négligent leurs fuites de gaz



^ Les fuites ont lieu à toutes les étapes du transport d'énergies fossiles.

Les énergies fossiles ne polluent pas uniquement pendant leur combustion. En effet, des fuites de méthane se produisent inévitablement entre les interstices des têtes de puits, des pipelines, des tanks. Et c'est loin d'être anodin : ce gaz présente un effet de serre 28 fois plus élevé que celui du CO<sub>2</sub>. Les compagnies le savent... mais elles n'ont visiblement pas pris la mesure du pro-

blème : selon une étude atmosphérique parue début octobre dans *Nature*, ces fuites seraient 20 à 60 % supérieures à celles rapportées dans les inventaires officiels. "L'infrastructure mondiale des énergies fossiles est très grande et complexe, les émissions de chaque pièce de cette infrastructure n'ont pas encore pu être mesurées, justifie

Des émissions de méthane CH<sub>4</sub> sous-évaluées de 60 %

→ quand on connaît les taux de croissance annuels chinois", soupire Benoît Leguet, directeur de l'Institut de l'économie pour le climat. Inquiétant, surtout, si l'on songe aux trajectoires tracées au cordeau par le Giec pour remplir l'objectif d'un réchauffement contenu à 2°C.

Il faut dire que la Chine, premier émetteur mondial, excelle dans l'art du flou artistique. "Nous avons par exemple remarqué que la somme des émissions

rapportées en 2010 par les trente provinces chinoises excédait d'environ 20 % les émissions nationales déclarées par le gouvernement, confie Dabo Guan, économiste du changement climatique à l'université d'East Anglia (R.-U.). Rendez-vous compte : cet écart statistique représente à lui seul 1,4 milliard de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit 5 % des émissions mondiales, l'équivalent du bilan annuel du Japon ! Les statistiques officielles parues l'an dernier ont comblé

cet écart, mais j'ignore comment ils s'y sont pris, cela reste opaque."

Pourtant, estimer les consommations d'essence, de gaz et de charbon d'un pays pour en déduire les émissions de CO<sub>2</sub> paraît à la portée de n'importe quelle administration structurée. Encore faut-il prendre la tâche un peu au sérieux : il existe par exemple des dizaines de qualités de charbon différentes délivrant, lors de leur combustion,

des quantités de CO<sub>2</sub> très variables

– subtilités que certains gouvernements semblent découvrir aujourd'hui. "Des détails comme le degré d'humidité du charbon juste avant qu'il ne pénètre dans la chaudière ont aussi leur importance", signale Benoît Leguet.

"Beaucoup de pays en voie de développement présentent de larges incertitudes sur ce type d'émissions, et même les études indépendantes menées sur leur cas offrent encore des marges inacceptables : nous avons besoin de plus d'informations !" supplie Glen Peters, du Centre de recherche international sur le climat et l'environnement (Norvège).

Mais les énergies fossiles ne sont qu'une partie du problème. Ainsi, les scientifiques découvrent régu-



“

**DABO GUAN**

Economiste du changement climatique à l'université d'East Anglia (R.-U.)

Sans chiffres d'émissions précis, les négociations ne sont plus qu'un jeu comptable !



Stefan Schwietzke, auteur de ces nouvelles estimations (NOAA). Les inventaires pétroliers reposent sur l'extrapolation d'un nombre limité de mesures, certaines sources ont donc été omises; de nombreux chercheurs sont actuellement partis à la recherche de ces émissions oubliées." Les industriels ont-ils fait preuve d'une sincère méconnaissance ou de négligence coupable? Toujours est-il que "ce surplus d'émissions persiste depuis des décennies et contribue déjà au réchauffement".

lièrement de nouveaux composés non déclarés dans l'atmosphère. La concentration de ces molécules artificielles est certes marginale par rapport au dioxyde de carbone ou au méthane, mais leur pouvoir de réchauffement peut atteindre jusqu'à des dizaines de milliers de fois celui du CO<sub>2</sub> (voir S&V n°1160, mai 2014). Certaines voient leur teneur croître si vite que leur contribution à l'effet de serre pourrait devenir substantielle d'ici peu, à l'image des hydrofluorocarbures.

## POLLUTIONS INÉDITES

En cause: l'industrie chimique, qui innove sans cesse et libère de nouveaux produits dans l'atmosphère, tandis que des secteurs d'activité high-tech émergent et provoquent des pollutions inédites.

"On découvre dans les documents des fabricants de

## 4 OXYDE NITREUX

### Le secteur agricole ne maîtrise pas ses émissions

Quel est l'impact sur l'atmosphère d'un champ sur lequel on vient d'épandre de l'engrais? Et celui d'une prairie fraîchement labourée? Ou encore celui d'un troupeau de vaches qui ruminent, pètent et rotent à longueur de journée? Ces questions sont beaucoup plus piégeuses qu'il n'y paraît. Les scientifiques savent que, une fois au sol, les

engrais azotés (chimiques ou sous forme de fumier) émettent de l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) à l'effet de serre 298 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>... Sauf que, note Valentin Bellassen, de l'Inra, "ces émissions varient considérablement selon le sol et les conditions climatiques lors de l'épandage:

l'incertitude est de l'ordre de 200 %"! Le carbone contenu dans les différents types de sols est également mal connu et les quantités de méthane éjectées par le cheptel bovin dépendent de nombreux paramètres comme le type d'alimentation ingérée et l'activité physique de l'animal. L'agriculture concentre aujourd'hui les principales incertitudes scientifiques des bilans nationaux.

> Impossible de quantifier les gaz émis par les bovins: ils varient trop en fonction des sols.



Des émissions de N<sub>2</sub>O avec une incertitude de 200 %

Anglia. Dans le cas du NF<sub>3</sub>, les hypothèses de l'industrie étaient beaucoup trop optimistes: notre estimation montre qu'elle perd pas moins de 10 % de sa production! Je ne sais pas où ces fuites ont lieu, mais elles ont bien lieu." Les ingénieurs en ont-ils conscience? Cachent-ils ces émissions ou pensent-ils naïvement que leurs procédés sont parfaits et sans fuite? Impossible de

répondre avec certitude...

L'industrie lourde n'a pas le monopole du bilan fumeux. Le suivi des perturbations humaines sur les sols et les forêts – puits et sources de carbone atmosphérique – n'a rien de clair non plus. Un exemple: seuls 3 des 99 pays tropicaux présentent des données à peu près fiables sur l'évolution de leur superficie forestière... ➔



→ *“Les gouvernements font un peu ce qu'ils veulent avec ces statistiques d'usage des sols ! s'empare Philippe Ciais. Les définitions ne sont pas claires, une prairie pouvant être le bush australien, une steppe ou un champ abandonné ; même confusion possible pour les différents types de forêts et leur évo-*

*phère toutes ces émissions polluantes, pour enfin vérifier les déclarations des uns et des autres – un peu à la manière des agences internationales qui scrutent les essais nucléaires. Mais les spécialistes du carbone, qui appellent de leurs vœux un tel système, parlent encore dans le vide. En tout et pour tout, seules 100 à 200 sta-*

*par avion ; les laboratoires du NOAA ont aussi lancé un appel mondial à toutes les bonnes volontés qui voudraient bien leur faire parvenir un flacon d'air local via le consulat américain le plus proche ; l'université d'Arizona a développé un projet participatif afin de répertorier toutes les centrales électriques fossiles de la planète ; et une poignée de missions par satellite, comme le projet français Microcarb, promettent de repérer les grands flux de CO<sub>2</sub>. “Cela reste un front de recherche beaucoup trop préliminaire pour contribuer aux procédures de contrôle”, tranche Valentin Bellassen.*

*aucun système d'évaluation des émissions, déplore Dabo Guan. Sans données d'émissions précises, les négociations internationales ne sont plus qu'un jeu comptable !”*

*“Si nous ne connaissons pas en quelles quantités est émis réellement un gaz, et pourquoi il est émis, alors il ne sera pas possible de réduire efficacement ces émissions”, relève Tim Arnold, expert des mesures atmosphériques au National Physical laboratory.*

*Pour Gregg Marland, ancien responsable des méthodologies d'inventaires, “il est aussi nécessaire de mesurer comment la responsabilité des émissions est partagée entre pays, entreprises, secteurs de production. Nous avons besoin de données exactes. On doit faire confiance, mais vérifier”.*

*Quitte à y consacrer des budgets importants. Quitte à mobiliser une armée d'experts. Quitte à révéler les pratiques frauduleuses de champions nationaux. Quitte à faire scandale. Quitte à se rendre compte que notre vision de la pollution était complètement fausse...*

## A qui est ce nuage de particules fines ?

**C'est devenu une habitude : à chaque pic de pollution aux particules en Ile-de-France, nombre de voix s'élèvent pour accuser... l'Allemagne et ses centrales à charbon. Des accusations difficiles à étayer scientifiquement : “Nous commençons seulement à déterminer l'origine et la signature de ces pollutions, car de nombreuses particules se forment dans l'atmosphère à partir d'autres polluants”, indique Charlotte Songeur, ingénieur à Airparif. Ces échanges transfrontaliers deviennent un sujet brûlant. Ainsi, la Corée du Sud mobilise 580 chercheurs et les moyens aériens de la Nasa pour tenter de déterminer la part de la pollution chinoise dans son air ! Mais ces polémiques ne doivent pas masquer le fond de pollution locale, omniprésent à Séoul ou Paris.**

*lution.” A cela s'ajoutent, il faut bien le reconnaître, de vraies incertitudes scientifiques sur la dynamique des flux de carbone dans les sols et la végétation. Les diplomates raisonnent donc ici sur d'affolantes marges d'erreur de 50 à 100 % ! A ce compte, même le très sérieux inventaire français présente au total une incertitude proche des 20 %...*

*Bien sûr, la solution idéale serait de mesurer directement dans l'atmos-*

*tions fixes de mesure du CO<sub>2</sub> existent à travers le monde. “Ce réseau est trop faible pour estimer les flux avec précisions, cela permet au mieux de tirer des bilans incertains pour de très grandes régions”, évalue Philippe Ciais. Le tout au milieu de flux naturels de CO<sub>2</sub> et de méthane aux fluctuations encore difficiles à comprendre.*

*Quelques campagnes de mesures ponctuelles ont parfois lieu par bateau ou*

### FIXER LES ÉVALUATIONS

*Mais ce manque de clarté généralisé ne peut plus laisser indifférent. Suite à l'affaire Volkswagen, la Commission européenne devrait imposer, en 2017, des tests de pollution plus réalistes aux nouveaux modèles automobiles. Pour leur part, les agences de la qualité de l'air tentent désormais de déterminer l'origine des nuages de particules (lire ci-contre), qui causent 48 000 morts chaque année en France.*

*Mieux : l'accord de Paris sur le climat, qui vient d'entrer en vigueur, prévoit la vérification des inventaires de gaz à effet de serre de... tous les pays du monde ! Or, tout reste à faire. “Dans les pays très consommateurs de charbon comme l'Inde, l'Indonésie ou l'Afrique du Sud, il n'existe à ce jour*



### EN SAVOIR PLUS

A lire : les rapports qui ont suivi le “Dieselgate”.  
A consulter : les sites de recherche participatifs de suivi du CO<sub>2</sub>.

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



**et recevez la tablette tactile multimédia 7"**



**6 €99**  
**/mois**  
**SEULEMENT**

Pour un minimum de 12 prélèvements

au lieu de ~~13,98 €\*~~

**Offre  
Spéciale  
Noël**

Système Android 4.4, mémoire interne 4 Go. RAM 512MB, extension de la mémoire par carte 2Go à 32Go. Ecran TFT multitouch tactile 7", résolution 800 x 480, webcam, haut-parleur intégré, wifi intégré, connecteur mini USB. Dimensions produit : 19,8 x 12,2 x 0,9 cm.

**100% tactile**



## Certificat de garantie

Science & Vie a sélectionné pour vous cette tablette tactile qui a passé avec succès le Contrôle Qualité et bénéficie d'une garantie d'1 an contre tout défaut d'origine ou vice de fabrication.

## BULLETIN D'ABONNEMENT

**Je communique mes coordonnées :**

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse :

Complément d'adresse (résidence, lieu dit, bâtiment...) :

Code Postal :  Ville : 

Tél : [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] Gràce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrons 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) ☐ Votre e-mail est indispensable pour créer votre accès à l'abonnement numérique sur notre site [www.kiosquema.com](http://www.kiosquema.com)

## Offre Spéciale Noël

☐ **Oui, je profite de cette offre exceptionnelle à 6,99 €/mois et je recevrai la tablette tactile.** 893883  
**Je recevrai un numéro de Science & Vie tous les mois et 6 hors-séries dans l'année.** Je règle mon abonnement par prélèvement automatique de **6,99 €** par mois au lieu de ~~13,98 €~~\* pour un minimum de 12 prélèvements. A l'issue de cette période, mon abonnement sera reconduit et je pourrai l'interrompre à tout moment par simple courrier. **Je remplis le mandat de prélèvement SEPA ci-dessous auquel je joins un RIB.**

**Mandat de prélèvement SEPA** Je complète l'IBAN et le BIC présent sur mon RIB. Je n'oublie pas de joindre un RIB.

Numéro d'identification international du compte bancaire - IBAN

Code international d'identification de votre banque - BIC

**A:** \_\_\_\_\_

Date :      /      /

Signature obligatoire :

▼ Référence unique du mandat (zone réservée à nos services ) ▼

CRÉANCIER : MONDADORI MAGAZINES FRANCE - 8, rue François Ory  
92543 Montrouge Cedex 09 - FRANCE  
IDENTIFIANT DU CRÉANCIER : FR 05 ZZZ 489479

☐ Je préfère m'abonner à Science & Vie pour 1 an (12 n°) + 6 hors-séries pour **57,90 €** au lieu de de ~~87,90 €~~\*. **-34%** 893891

☐ Je m'abonne uniquement à Science & Vie pour 1 an (12 n°) pour **37,90 €** au lieu de ~~54 €~~. **-29%**

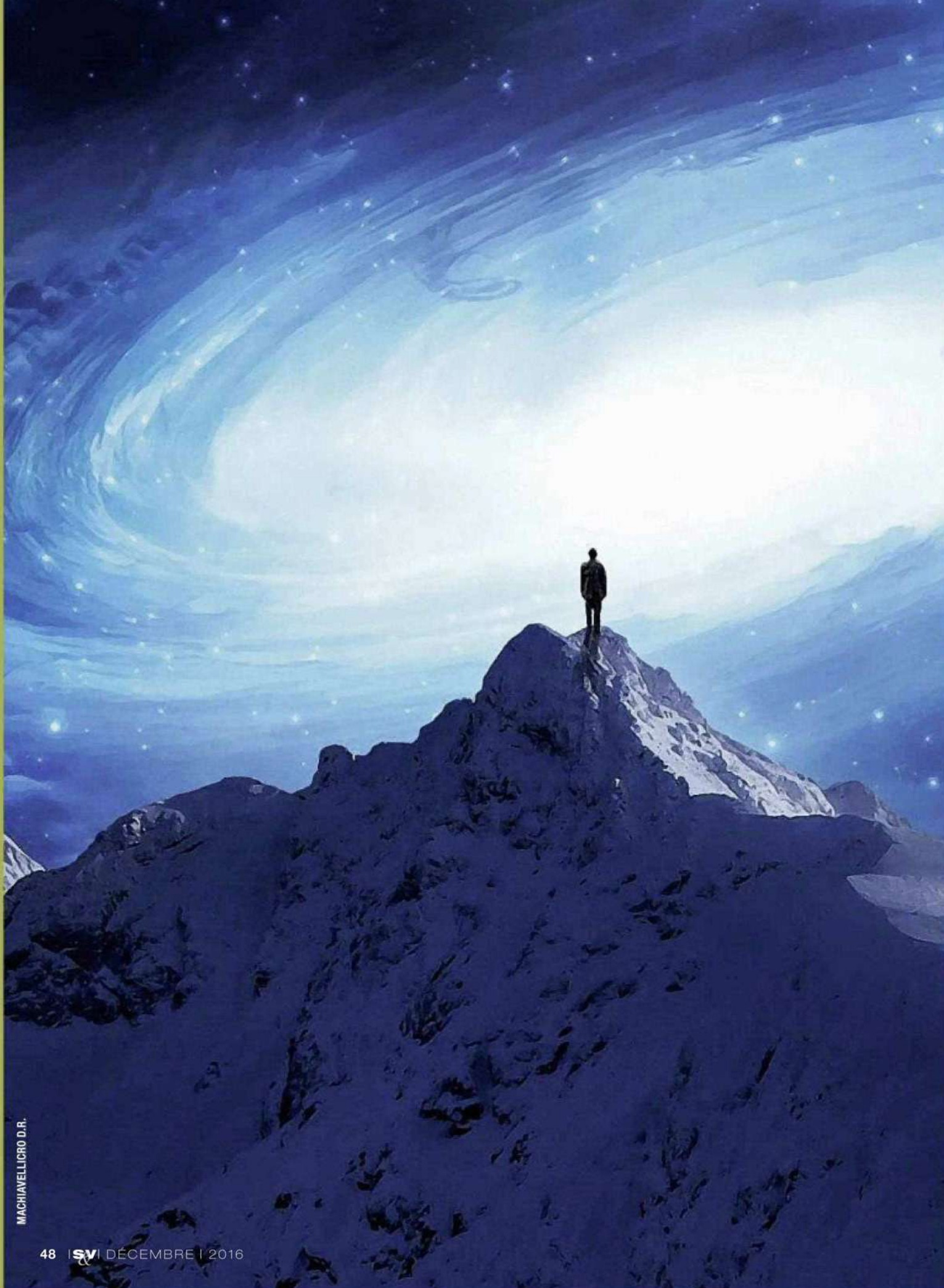
➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐ 
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. Vous pouvez acquérir séparément chacun des numéros de Science & Vie au prix de 4,50 €, chacun des hors-séries au prix de 5,50 € et chacune des éditions spéciales au prix de 5,95 €. L'offre d'abonnement vous seront adressés dans un délai de 4 semaines après le début de votre période de rupture de stock. L'offre d'abonnement vous sera adressée dans un délai de 14 semaines après la réception de votre décision à propos de vos abonnements ou via le formulaire de rectification accessible dans nos CSV sur le site [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Le coût de renvoi des produits est à votre charge. Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à Mondadori Magazines France pour la gestion de son fichier clients par le service abonnements. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent en écrivant à l'adresse d'envoi du bulletin. J'accepte que mes données soient cédées à des tiers en cochant la case ci-contre ☐







# POURQUOI LE MONDE EXISTE

À LA  
UNE

D'où venons-nous ? Nous : c'est-à-dire les êtres humains, mais aussi la Terre, les planètes, les étoiles, les galaxies, l'Univers... A cette question, le big bang a apporté une réponse... en forme d'énigme. Car au commencement, autant de matière que d'antimatière furent créées ; or, la matière a triomphé. Pourquoi ? Une expérience vient, pour la première fois, de lever le voile. Elle a reconstitué l'incroyable réaction qui,  $10^{-27}$  seconde après le big bang, fit basculer le monde du côté de la matière. Avec un héros aussi puissant que discret : le neutrino. Sans lui, nous ne serions tout simplement pas là. Ou notre monde serait devenu un antimonde...

PAR MATHIEU GROUSSON



# CRÉATION DU MONDE

## VOICI COMMENT LA MATIÈRE A TRIOMPHÉ DE L'ANTIMATIÈRE...

**0 seconde**

### Naissance de l'Univers

Il y a 13,8 milliards d'années a lieu le big bang, duquel émerge notre Univers. Temps, espace et énergie sont alors indissociablement mêlés dans un état que la physique actuelle ne sait pas décrire.

**$10^{-40}$  seconde**

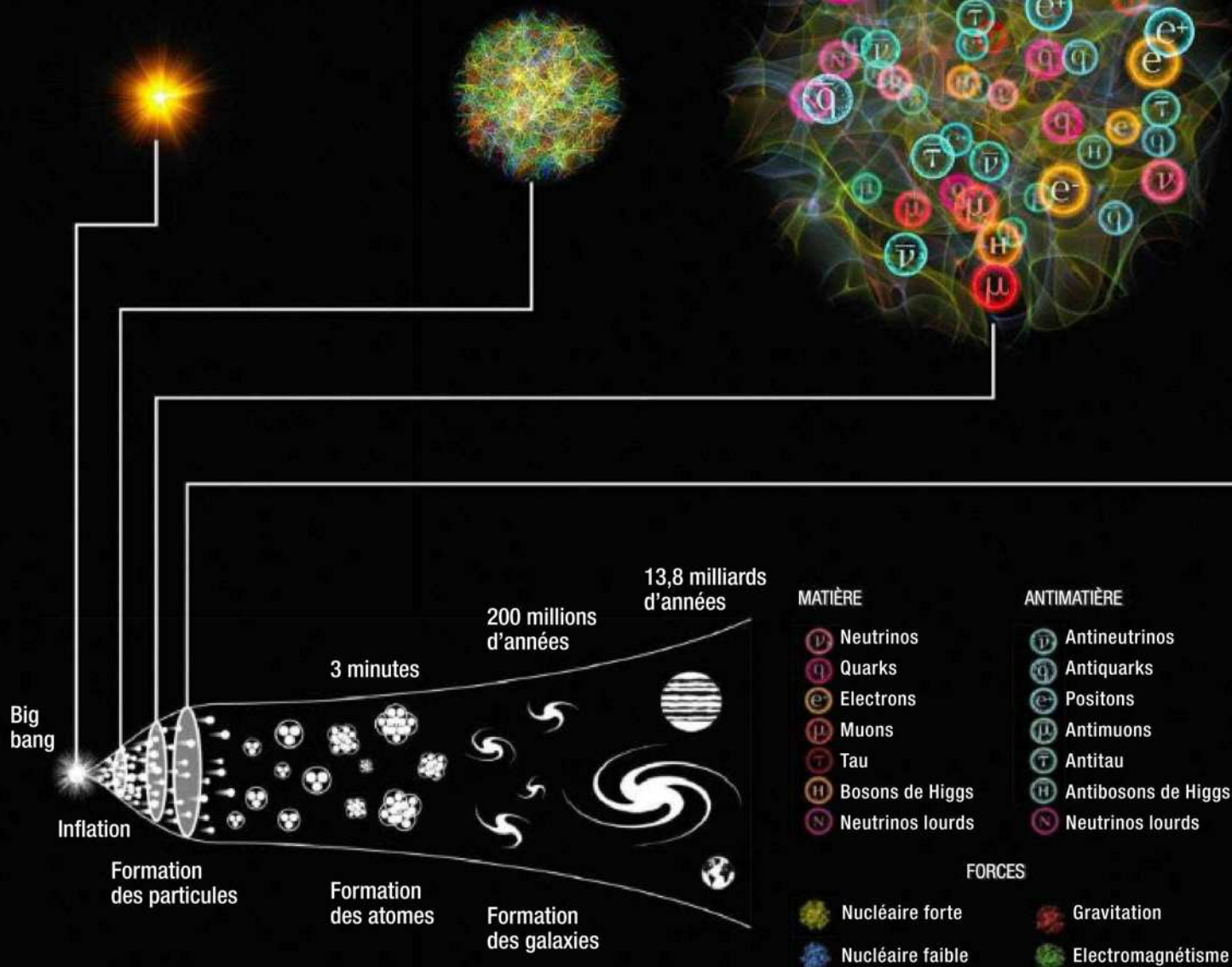
### Des forces se déploient

Une première force, la gravitation, commence à émerger. Suivie de trois autres, l'électromagnétisme et les interactions forte et faible, qui vont régir le comportement des particules.

**$10^{-30}$  seconde**

### Matière et antimatière apparaissent

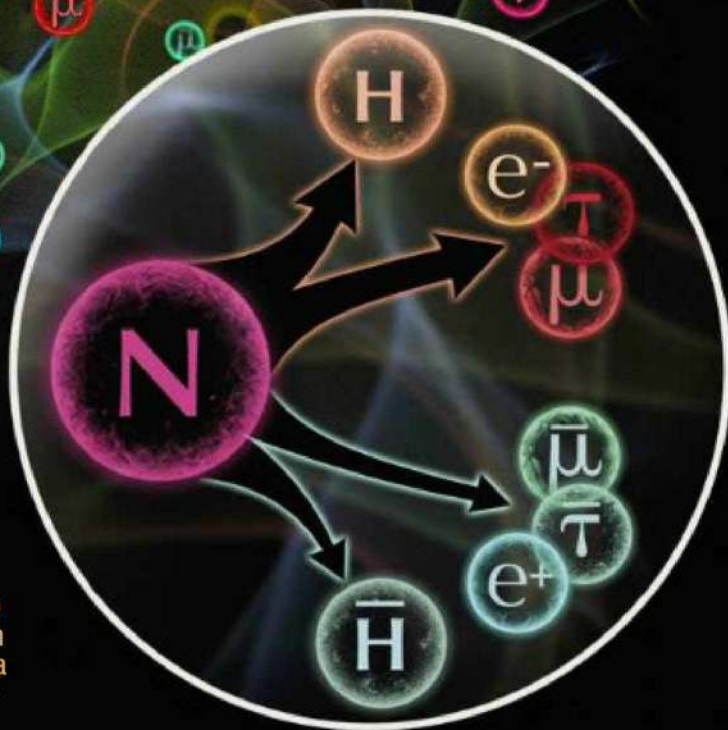
L'espace s'étend brusquement. A l'intérieur, des particules de matière se forment, accompagnées d'antiparticules (identiques, mais de charge opposée). Lorsqu'un grain de matière rencontre son *alter ego* d'antimatière, tous deux s'annihilent en une bouffée de lumière.





## 10<sup>-27</sup> seconde Les neutrinos rompent l'équilibre du cosmos

Les premiers résultats d'une expérience menée au Japon (voir pages suivantes) indiquent qu'un très léger déséquilibre a pu apparaître lors de la désintégration de certaines particules : les neutrinos lourds. Cette réaction donne naissance à des leptons (électrons, muons, tau) ou à des antileptons, mais pas en proportions égales : pour 100 000 antileptons, il se formerait 100 001 leptons. Un tout petit peu plus de matière que d'antimatière, donc. Et cette infime différence va se révéler cruciale.





# ... DONNANT NAISSANCE À NOTRE MONDE

**10<sup>-11</sup> seconde**

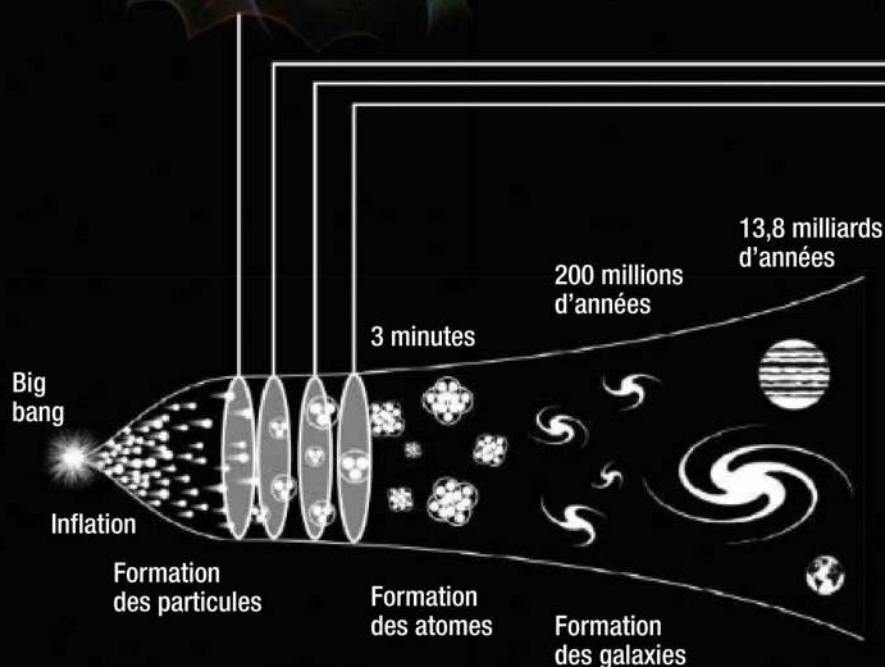
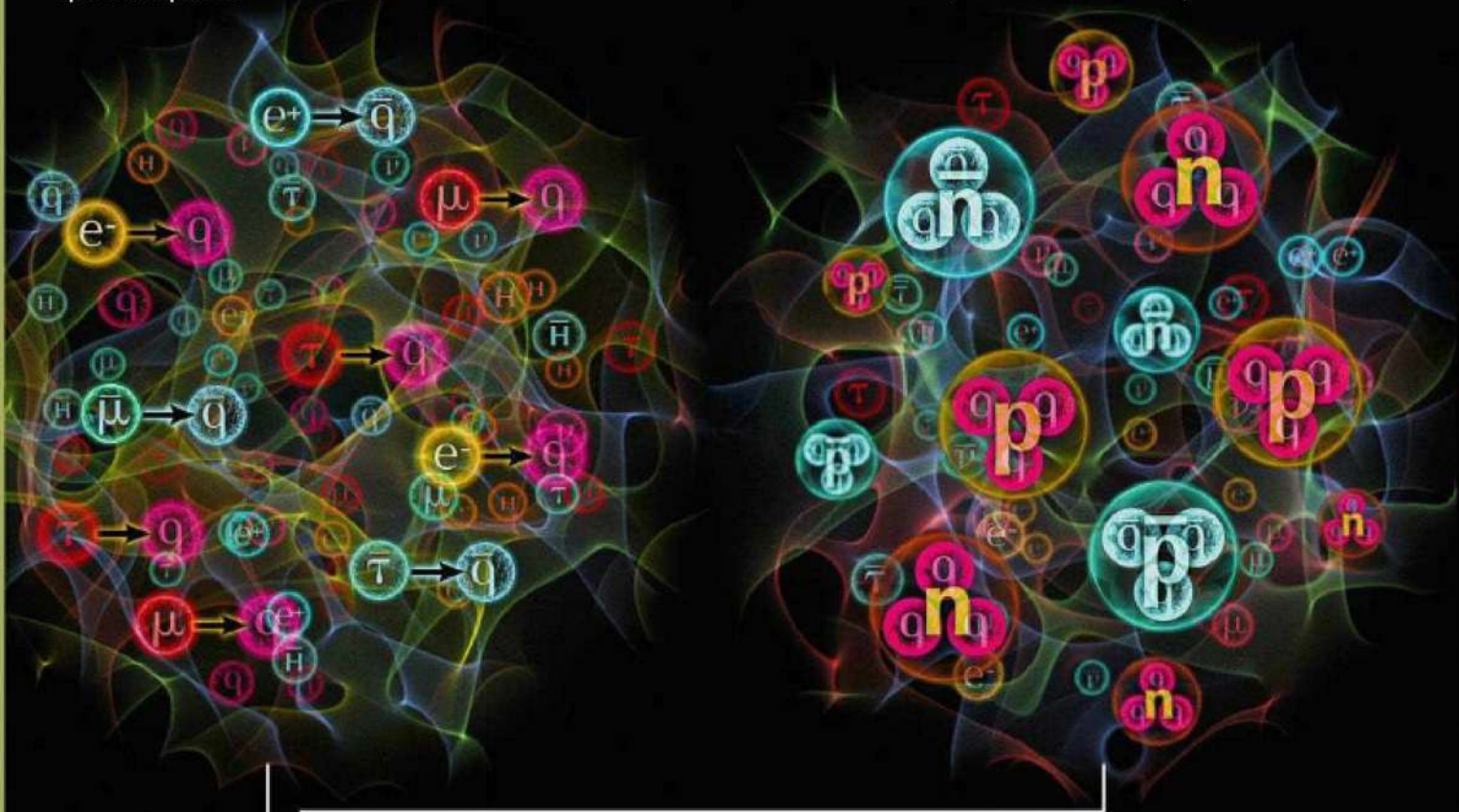
## Le déséquilibre se transmet aux quarks...

Les leptons se transforment en quarks, les antileptons en antiquarks... Sauf que le déséquilibre introduit par les neutrinos se transmet: il y a un peu plus de quarks que d'antiquarks.

**10<sup>-6</sup> seconde**

## ... puis aux protons et aux neutrons

La température baisse suffisamment pour que les quarks se transforment en protons (p) et en neutrons (n), les composants des noyaux atomiques. Les antiquarks forment, eux, des antiprotons et des antineutrons... mais le déséquilibre se transmet toujours.



### MATIÈRE

- Neutrinos
- Quarks
- Electrons
- Muons
- Tau
- Bosons de Higgs

### ANTIMATIÈRE

- Antineutrinos
- Antiquarks
- Positons
- Antimuons
- Antitau
- Antibosons de Higgs

### FORCES

- Nucléaire forte
- Nucléaire faible
- Gravitation
- Electromagnétisme



**10<sup>-4</sup> seconde**

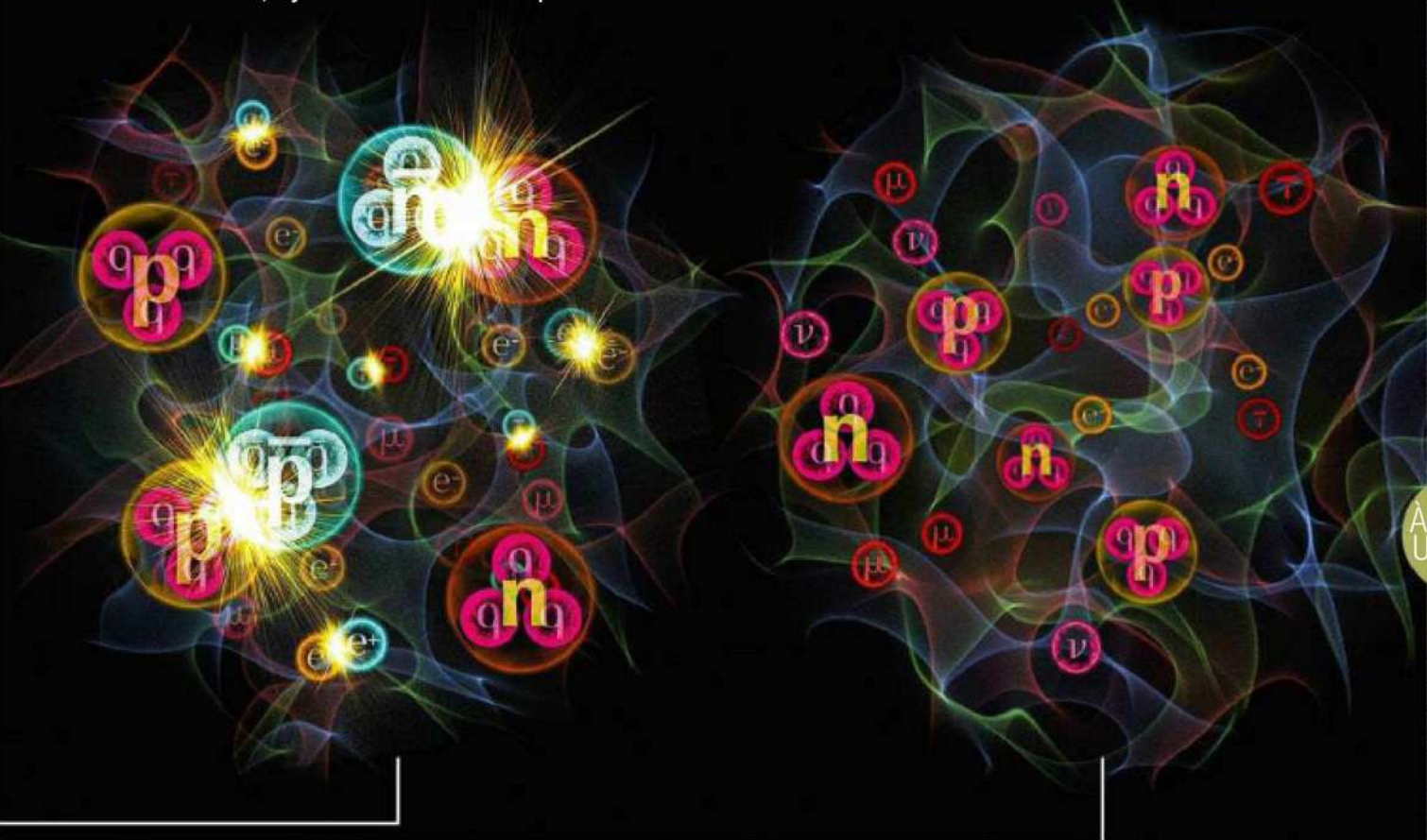
### Une grande annihilation a lieu

Matière et antimatière s'annihilent (flashes de lumière). Le surplus engendré par la réaction asymétrique des neutrinos fait alors la différence : il reste un tout petit peu de matière. Plus précisément, 1 nucléon (proton ou neutron) pour 10<sup>9</sup> d'Univers, alors qu'avant l'annihilation, il y en avait 10<sup>40</sup> dans chaque cm<sup>3</sup>.

**10<sup>-3</sup> seconde**

### La matière reste seule

Toutes les antiparticules ont été détruites. Il ne reste que des grains de matière, qui se structurent progressivement en atomes, puis en étoiles, en planètes...



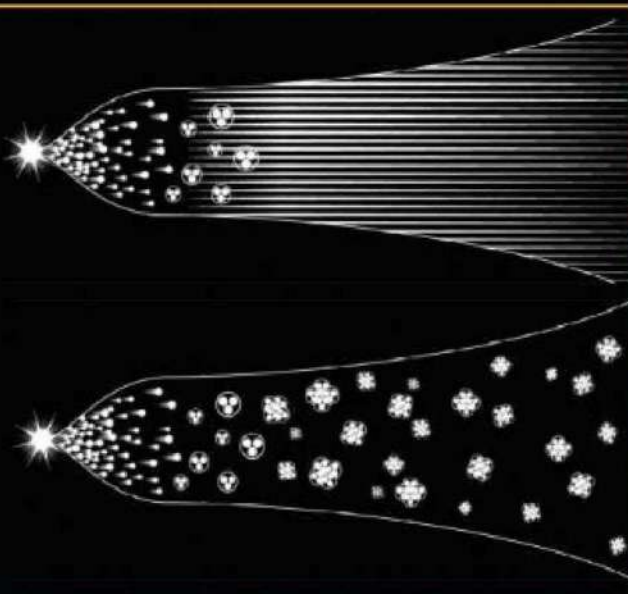
À LA UNE

#### Si la réaction n'avait pas eu lieu...

Du big bang auraient émergé exactement autant de particules que d'antiparticules. Elles se seraient rencontrées et annihilées, émettant chaque fois un rayon de lumière. L'histoire du cosmos aurait tourné court : 10<sup>-3</sup> seconde seulement après le big bang, il se serait vidé de toute matière. Il ne serait plus resté que de la lumière, qui se serait affaiblie à mesure de l'expansion de l'Univers. Un monde bien ennuyeux...

#### Si la réaction avait favorisé l'antimatière...

Un antimonde, miroir parfait de notre monde, se serait structuré : antiatomes, antimolécules, antiétoiles... Sauf si l'antimatière "antigravite" ! Aujourd'hui en effet, impossible de dire si elle creuse l'espace-temps comme la matière, ou si elle provoque l'effet inverse. Au lieu de s'attirer, les antiparticules pourraient ainsi se repousser. Si tel est le cas, un Univers fait d'antimatière aurait été peuplé de particules de plus en plus isolées. Guère plus amusant...



G. CIRADE



# POUR LA PREMIÈRE FOIS, ON VOIT COMMENT LA MATIÈRE A PRIS LE DESSUS

**C**e ne sont que trente-six petites particules. Trente-six flashes infimes de lumière bleue captés par le Super-Kamiokande, un gigantesque détecteur enterré sous une montagne au Japon. Mais pour les spécialistes qui attendaient ce signal depuis si longtemps, c'est un coup de tonnerre.

Pour la première fois, ils tiennent peut-être une réponse convaincante à l'une des plus amples et des plus entêtantes questions imaginables. Une question si fondamentale qu'elle semble davantage relever de la philosophie que de la physique: pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien?

Pourquoi y a-t-il dans notre Univers des galaxies, des étoiles, des planètes, des êtres humains ou des magazines tels que celui que vous tenez entre vos mains? D'où vient toute cette matière? Les physiciens ont beau retourner dans tous les sens tout ce qu'ils croient savoir de la matière et de son évolution depuis la naissance de l'Univers, ils butent inlassablement sur la question.

Car selon toute vraisemblance, il ne devrait rien y avoir! Notre Univers ne devrait être qu'un espace vide se déployant milliard d'années après milliard d'années. Un monde ô combien ennuyeux, sans protagoniste, sans événement, tout juste nimbé d'une faible lueur. Et pourtant... nous sommes là!

## UNE "HÉRÉSIE THÉORIQUE"

Alors? Alors tout pourrait être lié au comportement bizarre d'une unique particule fondamentale, celle-là même qui s'est manifestée trente-six fois dans le Super-Kamiokande. Toute la matière du monde, absolument toute, serait liée au "message" délivré par cette particule, concernant une étrange réaction qui s'est produite un milliardième de

milliardième de milliardième de seconde après le big bang (voir pages précédentes). Une réaction cruciale qui a évité à notre Univers de dérouter la même journée à l'infini.

Ironie cosmique, l'héroïne de cette réaction est la plus discrète de toutes les particules. Quelque 60 milliards d'exemplaires de cette insaisissable bille de matière 500 000 fois moins lourde que l'électron criblent chaque seconde chaque centimètre carré de notre planète sans y laisser la moindre trace. Elle est même si fugitive qu'elle fut qualifiée d'"hérésie théorique" par son propre inventeur, l'Autrichien Wolfgang Pauli, qui se demandait, en 1930, quel sens cela avait de prédire l'existence d'une particule qu'on ne saurait peut-être jamais détecter...

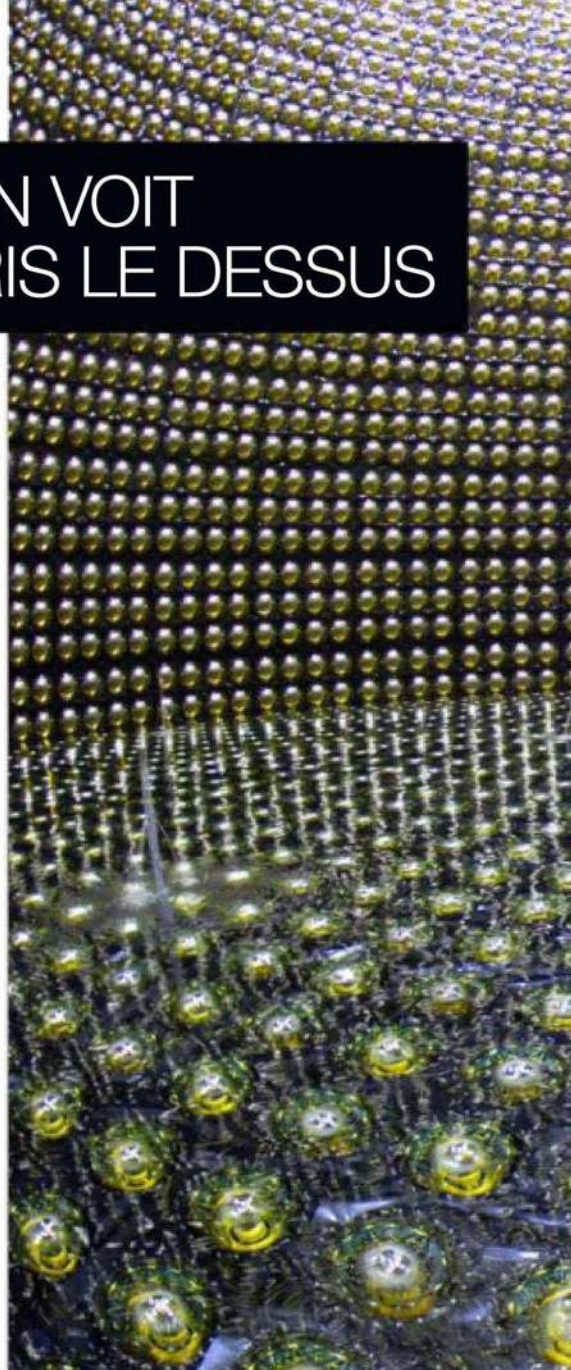
Hérésie pour le moins féconde. Car le neutrino – puisque c'est son nom – serait, à lui seul, responsable de toute la matière du cosmos. Il est celui qui aurait permis, il y a 13,8 milliards d'années, que l'histoire ne tourne pas court.

Au minimum, il faudra attendre que d'autres particules tombent dans les gigantesques filets du Super-Kamiokande pour être sûrs de ce scénario. Mais depuis que la première salve de données a été rendue publique en août, les physiciens masquent mal leur excitation. *"On commence vraiment à voir quelque chose"*, confie Michel Gonin, au Laboratoire Leprince-Ringuet (Palaiseau). *"On ne peut pas encore parler de découverte, mais on a une indication suggérant des effets importants"*, renchérit Marco Zito, au CEA Saclay.

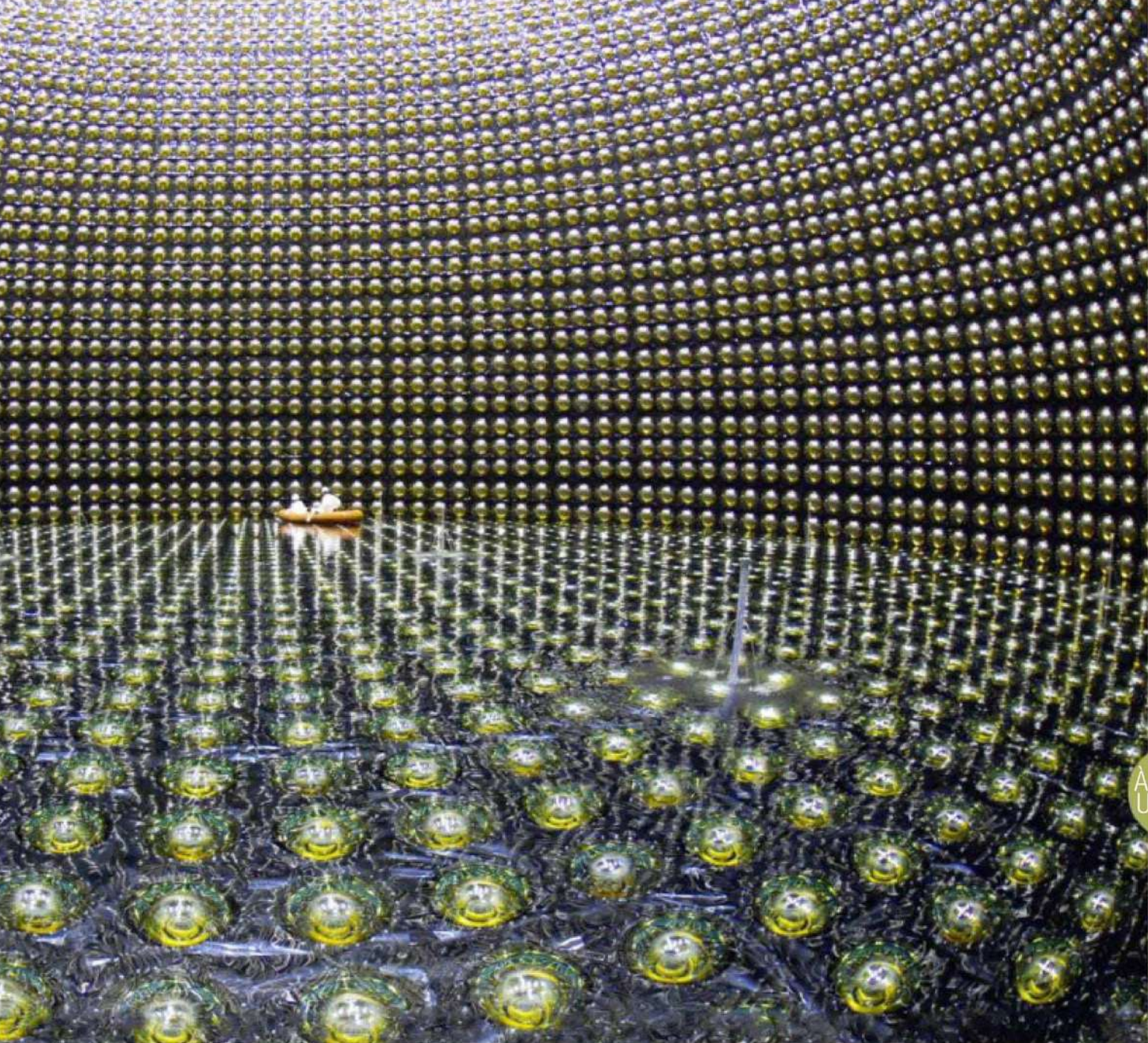
Le casse-tête obnubile les physiciens depuis qu'en 1928, le Britannique Paul Dirac a tracé sur le papier une équation très générale décrivant le comportement des particules, issue des principes quantiques et relativistes

fondamentaux. Cette équation laisse apparaître l'existence d'un autre type de matière, symétrique à celle qui nous entoure; à chaque particule connue (proton, électron, neutron...) peut être associée une autre particule, identique en tout point mais de charge électrique opposée: une particule d'antimatière (antiproton, positon, antineutron...).

Ces étranges Némésis existent, c'est une certitude. Elles ont été détectées et étudiées en laboratoire. On en fabrique même tous les jours dans le creuset du LHC, l'accélérateur de particules du Cern, près de Genève. Or, toutes les expériences poussent en direction d'une conclusion pour le moins gênante: au







À LA  
UNE

tout début, chaque particule issue du bain bouillant d'énergie qui animait l'Univers juste après le big bang est née avec cette sœur presque jumelle... et il n'y a aucune raison pour qu'une sœur ait été privilégiée par rapport à l'autre.

Ainsi, où que l'on regarde, on devrait s'attendre à observer un Univers partagé à parts égales entre matière et antimatière. Ou plutôt, on devrait s'attendre à ce que le cosmos soit totalement vide, puisque la rencontre des deux *alter ego* est explosive: elle réduit l'un et l'autre à une bouffée de lumière. Alors, où sont passées ces antiparticules? Pourquoi ne voit-on pas plutôt des antigalaxies, des →

#### △> UN FORMIDABLE DÉTECTEUR DE NEUTRINOS

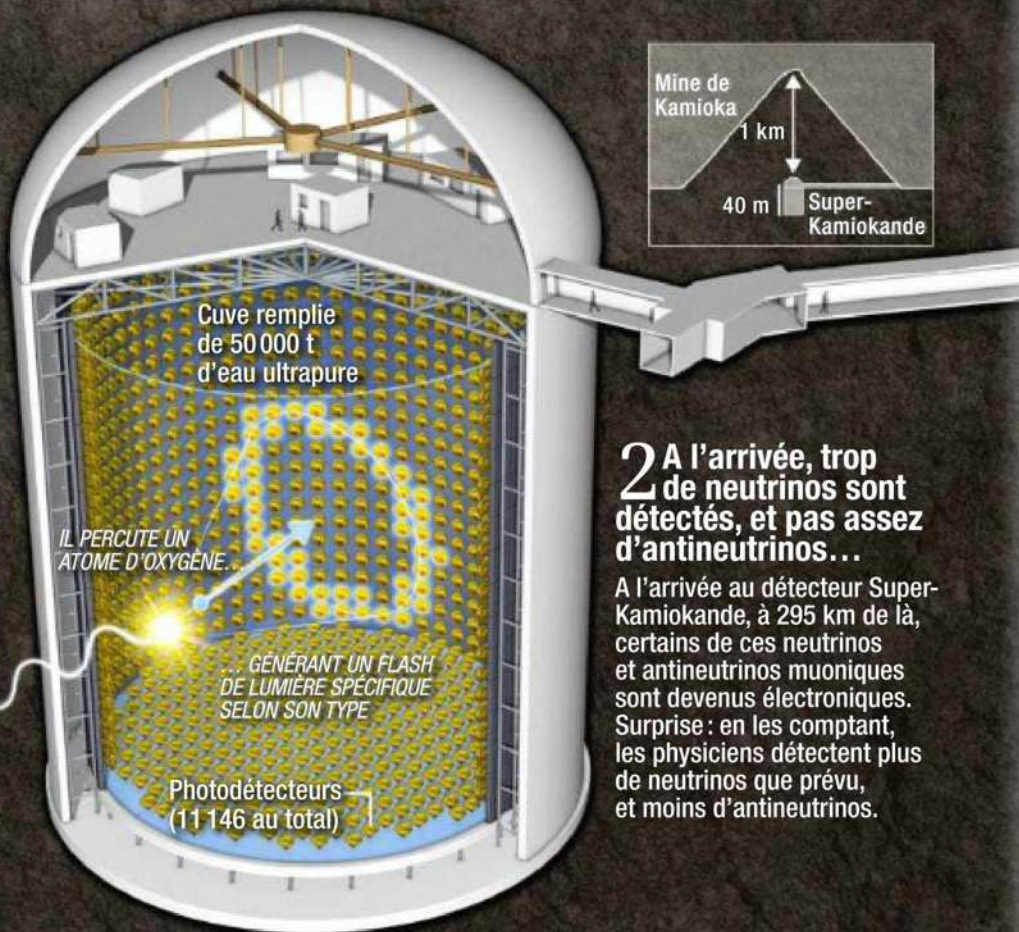
Le Super-Kamiokande est un cylindre de 40 m de hauteur pour 40 m de diamètre, rempli de 50 000 t d'eau et couvert de plus de 11 000 photorécepteurs (ci-contre). Des dimensions pharaoniques qui permettent aux physiciens d'observer les neutrinos, ces particules réputées insaisissables, 500 000 fois moins lourdes que l'électron.





## 1 Autant de neutrinos que d'antineutrinos sont générés

A Tokai (Japon), un accélérateur de particules projette des protons sur une cible en graphite, engendrant des milliards de neutrinos "muoniques" (l'un des trois types connus) et d'antineutrinos muoniques, qui sont expédiés sous terre jusqu'au détecteur de Kamioka.



## 2 A l'arrivée, trop de neutrinos sont détectés, et pas assez d'antineutrinos...

A l'arrivée au détecteur Super-Kamiokande, à 295 km de là, certains de ces neutrinos et antineutrinos muoniques sont devenus électroniques. Surprise : en les comptant, les physiciens détectent plus de neutrinos que prévu, et moins d'antineutrinos.

# L'EXPÉRIENCE T2K A COMPTÉ PLUS DE NEUTRINOS QUE PRÉVU

antiétoiles, des antiplanètes, voire des antihommes et des antimagazines ? Ou bien pourquoi tout ne s'est-il pas annihilé en pure lumière ? Bref, pourquoi la matière a-t-elle pris le dessus ?

### L'UNIVERS N'EST PAS SYMÉTRIQUE

Il y aurait bien une explication simple, de nature cosmologique : dès l'étincelle initiale, la matière aurait été présente en léger excès par rapport à l'antimatière. Auquel cas, l'annihilation des particules et de leurs antiparticules ne se serait pas traduite par une vidange en règle de l'Univers, mais aurait laissé un petit reliquat de matière. Et c'est de ce reliquat que nous serions tous issus.

Sauf qu'il faudrait pour cela donner aux paramètres du cosmos une valeur précise que rien ne justifie *a priori*. "Il aurait fallu un réglage des conditions

initiales de l'Univers ; au moment du big bang, au niveau de la neuvième décimale", précise Stéphane Lavignac, à l'Institut de physique théorique de Saclay. Une réponse tout aussi insatisfaisante que le "parce que c'est comme ça !" lâché par un parent fatigué au "pourquoi ?" de son enfant...

Plutôt qu'une incroyable coïncidence cosmologique, la quasi-totalité des spécialistes préfère donc, et de très loin, l'hypothèse d'un Univers originellement symétrique, mais dans lequel un mécanisme particulier aurait rapidement favorisé la matière.

Ainsi, dès 1967, le problème est posé sous la forme de trois conditions par le physicien soviétique Andreï Sakharov. La première condition – que l'Univers se soit trouvé dans un état de violent déséquilibre thermique – est remplie par le modèle cosmologique standard

du big bang. La deuxième – que la matière puisse se transformer en antimatière – est, elle aussi, déjà autorisée par le modèle standard des particules.

C'est la troisième condition de Sakharov qui plonge au cœur du problème. Pour construire un monde rempli de matière, il faut que les processus qui transforment la matière en antimatière violent la combinaison de deux symétries : la symétrie C (pour charge), qui stipule qu'un processus reste inchangé si l'on change les charges des particules qu'il implique ; et la symétrie P (pour parité), selon laquelle si une transformation se produit dans la nature, alors la transformation qui en serait l'image dans un miroir est tout aussi possible. Ceci parce que transformer une particule en son antiparticule revient en fait à inverser sa charge tout en la retournant dans un miroir.



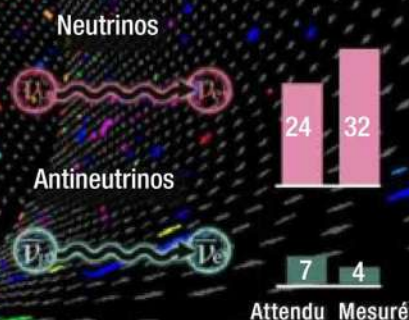
De plus en plus de signaux indiquent que les neutrinos seraient ce paramètre fin qui fait que l'Univers est ce qu'il est

**MICHEL GONIN**

Membre de l'expérience T2K, physicien au Laboratoire Leprince-Ringuet (Palaiseau)

### 3... ce qui indique une violation de la symétrie entre matière et antimatière

Après deux ans d'expérience, le Super-Kamiokande a compté 32 neutrinos électroniques, alors qu'on en attendait 24, et 4 antineutrinos, alors qu'on en attendait 7. La transformation des neutrinos muoniques en électroniques n'est pas symétrique : cette rupture de symétrie suffirait à expliquer comment la matière a pris le dessus.



Si elle a de profondes conséquences théoriques – le modèle standard de la physique des particules est justement fondé sur la symétrie des lois, lire p. 60-62 –, une telle violation de la symétrie CP est possible. Lorsqu'Andreï Sakharov pose ses trois conditions, deux physiciens américains, Val Fitch et James Cronin, viennent en effet d'observer que des particules composées de quarks – ces briques de base de la matière – nommées kaons ne se désintègrent pas de la même manière que les antikaons. Un résultat qui sera confirmé dans les années 2000 avec les expériences Babar, aux États-Unis, et Belle, au Japon, dans d'autres réactions impliquant d'autres particules composées elles aussi de quarks.

Las, dans le même temps, plusieurs théoriciens calculent que si l'on se fie au modèle standard de la physique des

particules, l'intensité de ces violations de la symétrie CP au niveau des quarks est insuffisante pour avoir permis à la matière de l'emporter sur sa concurrente dans l'Univers primordial. Or, Babar et Belle montrent justement que les quarks, vis-à-vis de la symétrie CP, se comportent exactement comme le prévoit la théorie! *"Si ces processus offrent en principe la possibilité de résoudre l'énigme de l'antimatière, la violation de CP constatée expérimentalement est bien trop faible pour offrir une solution concrète"*, résume Stéphane Lavignac.

#### LA PARTICULE DE LA DERNIÈRE CHANCE

Les physiciens se tournent alors vers d'autres particules. Ils recherchent des processus violant la symétrie CP, non plus dans l'univers des quarks, mais parmi les leptons, famille qui regroupe

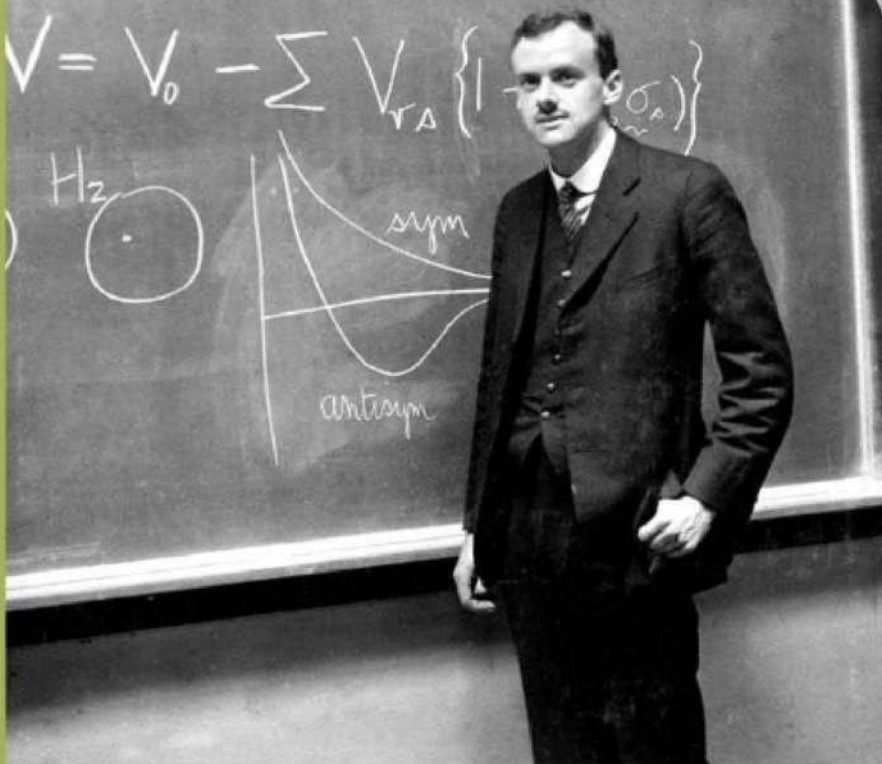
les électrons, leurs cousins massifs, les muons et les tau... et les neutrinos. Et se concentrent vite sur ces derniers. Un choix purement pragmatique, car d'après les estimations des théoriciens, s'il existe bien des réactions impliquant un ou plusieurs électrons et un muon ou un tau qui pourraient violer la symétrie CP, la probabilité qu'elles se produisent est inférieure à  $10^{-50}$ . Autant dire zéro!

Le neutrino est donc un peu la particule de la dernière chance. Et l'expérience T2K (Tokai to Kamioka, voir infographie), installée au Japon depuis 2011, la première en mesure de l'étudier avec la précision nécessaire. Son objectif : observer la transformation d'un type de neutrinos, les neutrinos muoniques, en un autre type, les neutrinos électroniques. Puis comparer avec la transformation d'antineutrinos muoniques en antineutrinos électroniques, à la recherche d'une éventuelle différence, preuve d'une violation de la symétrie CP.

Après deux ans de mesures à pleine puissance, la première salve de données vient de tomber : les membres de T2K ont compté 36 de ces particules insaisissables, dont 32 neutrinos et 4 antineutrinos. Que les antineutrinos soient moins nombreux n'est pas vraiment une surprise : les détecteurs du Super-Kamiokande sont en effet moins sensibles à ces derniers. Oui, mais l'écart est trop grand. S'ils se comportaient de manière parfaitement symétrique, la proportion aurait dû être de 24 neutrinos et 7 antineutrinos...

Une légère différence donc, mais qui, combinée aux données d'une autre expérience, celle de Daya Bay, en Chine, conclut avec une probabilité de





## 1928 PAUL DIRAC "PRÉDIT" L'ANTIMATIÈRE

Le physicien britannique pose une équation qui décrit l'existence d'une forme miroir de la matière : à chaque particule connue peut être associée une antiparticule identique, mais de charge opposée.

## 1932 CARL ANDERSON DÉCOUVRE UNE ANTIPARTICULE

En étudiant les rayons cosmiques, le physicien américain repère la trace d'une particule semblable à l'électron, mais de charge opposée : un "antiélectron", ou positon. Preuve que l'antimatière existe.



# UNE ÉNIGME VIEILLE D'UN SIÈCLE

→ 90% que la fameuse symétrie CP est bel et bien violée au niveau des neutrinos. Sans compter que les premières données relevées par l'expérience DUNE au Fermilab, près de Chicago, complémentaire de T2K, semblent pousser dans la même direction.

Mieux, les données plaident en faveur de la violation maximale possible, environ 1 000 fois plus forte que dans les processus impliquant des quarks.

### LA PISTE DES NEUTRINOS OBÈSES

De quoi expliquer la prédominance de la matière dans l'Univers ? Oui, avec l'aide d'un autre protagoniste. Car seuls, ces neutrinos ne font pas le poids, même dotés de cette asymétrie. Il faut qu'intervienne leur double ultramassif, une version primordiale des neutrinos actuels qui devait exister au début de l'Univers. D'après les modèles, la petitesse des masses des trois neutrinos classiques – l'électro-

nique, le muonique et le tau – ne peut en effet s'expliquer que par le biais d'une interaction avec un quatrième type de neutrino, lourd comme des dizaines de milliards de protons (lire encadré). *"L'existence de cette particule ultramassive est une hypothèse, mais c'est la plus évidente pour expliquer pourquoi la masse des neutrinos est si petite"*, précise Jean Orloff, au Laboratoire de physique corpusculaire de Clermont-Ferrand.

Or, selon tous les spécialistes, si les neutrinos légers favorisent la matière, il devrait en être de même pour leurs cousins ultramassifs. *"Il n'y a aucune preuve, admet Goran Senjanovic, au Centre international de physique théorique de Trieste. Mais c'est ma conviction."* *"Ce serait très étrange d'avoir une violation de la symétrie CP au niveau des neutrinos connus et pas dans le secteur des neutrinos lourds"*, confirme Mikhail

Shaposhnikov, à l'Ecole polytechnique de Lausanne.

Ce nouveau scénario donne le vertige : toute la matière du monde serait donc l'infime reliquat de la désintégration de neutrinos et d'antineutrinos ultramassifs, qui, réaction après réaction, auraient fait pencher la balance cosmique vers la matière. *"Les résultats de T2K plaident en faveur de ce scénario"*, appuie Mikhail Shaposhnikov. *"Ça va dans le bon sens"*, abonde Asmaa Abada, au Laboratoire de physique théorique d'Orsay. Avant d'ajouter, prudente : *"Même si on est encore loin d'une vérification indiscutable."*

De fait, il y a encore de nombreux "si" dans cette histoire. "Si" le neutrino ultramassif existe, "si" l'asymétrie des neutrinos légers implique celle de leurs cousins obèses... Et enfin, "si" la nature n'a pas décidé de jouer un tour aux physiciens en bombardant leur détecteur Super-Kamiokande de





### 1967 ANDREÏ SAKHAROV FORMULE L'ÉNIGME

Où est passée l'antimatière ? Elle devrait pourtant remplir l'Univers pour moitié...

Le physicien russe formule les trois conditions permettant d'expliquer cette absence : une réaction doit avoir favorisé la matière au moment du big bang.

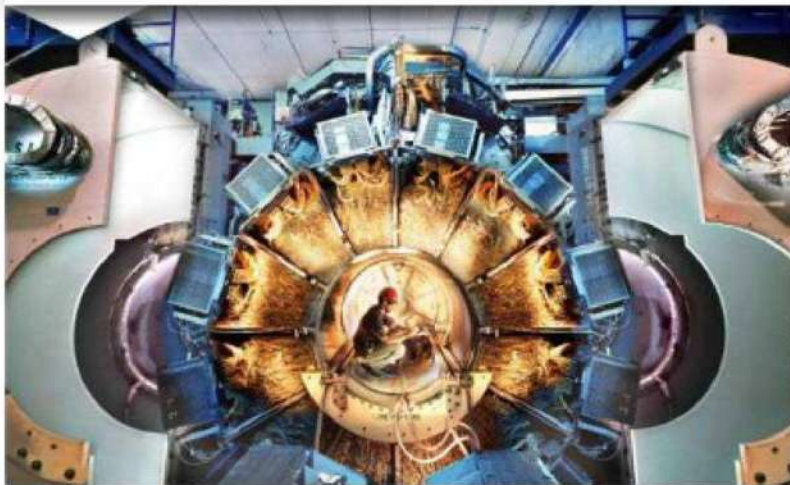
### 1976 PAS D'ANTIMATIÈRE DANS L'UNIVERS

Les astrophysiciens français Jean-Loup Puget et Alfred Ramani démontrent que si le cosmos avait été constitué de zones de matière et d'antimatière, on aurait dû observer les rayonnements à leurs frontières. L'Univers est bel et bien vide d'antimatière.



### 1993 LES QUARKS ÉCHOUENT À RÉSOUDRE LE MYSTÈRE

Plusieurs théoriciens calculent que les quarks favorisent la matière par rapport à l'antimatière (ce que confirmera finalement l'expérience Babar), mais l'intensité de cette violation de symétrie est trop faible pour expliquer l'absence d'antimatière dans l'Univers. L'énigme reste entière.



### 2016 LE NEUTRINO CHANGE LA DONNE

L'expérience T2K observe les premières indications d'une violation de symétrie chez les neutrinos. Particulièrement intense, elle pourrait expliquer comment la matière l'a emporté sur l'antimatière dans l'Univers.

données que la suite de l'expérience ne confirmera pas...

Pour être sûr, il faut attendre. D'abord une confirmation de ces premières mesures : d'ici trois ans, le détecteur géant de T2K aura accumulé cinq fois plus de données, que viendront compléter celles de l'expérience américaine Nova. *"Il est vraisemblable que cela ne suffise pas encore pour avoir une certitude absolue, mais on n'en sera pas loin"*, considère Michel Gonin. Seule la prochaine génération d'expériences, avec notamment le futur détecteur Hyper-Kamiokande, permettra de mettre le point final à cette grande épopée.

En attendant, chacun peut commencer à se raconter cette nouvelle histoire, étayée par de premières données expérimentales. Il y a 13,8 milliards d'années, un milliardième de milliardième de milliardième de seconde après le big bang, les neutrinos se sont désintégrés. Et le monde fut.

## L'avenir de la physique repose sur le quatrième neutrino

Petite particule fondamentale sans charge électrique, le neutrino peut présenter trois visages – trois "saveurs", disent joliment les physiciens : électronique, muonique et tau... plus, peut-être, un quatrième type. Alors qu'il n'existe pour l'instant que sur le papier, ce petit dernier est déjà devenu une star de la physique. Non seulement c'est lui qui aurait déséquilibré le cosmos  $10^{-27}$  seconde après le big bang, donnant naissance à toute la matière de l'Univers (voir les premières pages du dossier), mais il pourrait également guider les physiciens au-delà du cadre étreint du modèle standard de la physique des particules, théorie qui décrit tout le bestiaire de la matière mais qui, au vu de ses incohérences, doit être dépassée (voir S&V n° 1137, p. 52). Il pourrait même expliquer les anomalies dans le flux de neutrinos mesuré depuis dix ans près de réacteurs nucléaires... et constituer cette matière noire qui pèse sur l'Univers à tel point qu'elle représenterait, selon les évaluations, 85 % de sa masse (voir S&V n° 1137, p. 64). Reste à confirmer son existence. Elle est justifiée théoriquement : ce quatrième neutrino, plus lourd, est le seul moyen d'expliquer la masse des neutrinos légers. Elle sera peut-être bientôt prouvée : une quinzaine d'expériences sont en train de le traquer.



# LE MONDE EST SYMÉTRIQUE... OU PRESQUE

*Matière, antimatière... C'est en formalisant une symétrie parfaite à l'origine du monde que la physique peut en écrire les lois. Oui, mais c'est en violant cette symétrie que le monde a pu exister. Un paradoxe qui s'avère... heureux.*

Prenez un crayon. Maintenez-le à la verticale du bout du doigt. Puis lâchez-le. Que se passe-t-il ? Du point de vue de la physique, toutes les directions dans lesquelles il peut chuter sont également probables : il y a symétrie des lois. Pour autant, une fois votre doigt relevé, le crayon tombera d'un côté et d'un seul. Une direction a été sélectionnée parmi toutes celles possibles et le résultat a perdu la symétrie originelle. Le crayon qui tombe, c'est tout un univers potentiel qui se met à exister.

Et c'est tout le cosmos qui est comme ça ! Du crayon à la lumière, en passant par les aimants, les cristaux... Notre histoire de neutrinos qui remplissent le monde (voir pages précédentes) est, en la matière, le plus beau cas d'espèce : c'est en formalisant la parfaite symétrie entre matière et antimatière que les physiciens ont réussi à décrire l'origine du monde. Sachant que cette symétrie doit être violée pour qu'il s'y passe quelque chose.

Vertigineux paradoxe, diabolique dialectique : des symétries découlent les lois du monde, mais c'est de leur brisure que naissent les phénomènes qu'il abrite.

La symétrie ? Un banal concept géométrique enseigné à l'école : dire qu'un carré respecte la symétrie de rotation à 90 ou 180°, c'est dire qu'il demeure inchangé sous ces transformations.

Mais derrière cette apparente trivialité se cache un sens profond : énoncer la permanence d'un objet sous certains changements, c'est accéder à ce qu'il est en propre.

## LES SYMÉTRIES SONT PARTOUT

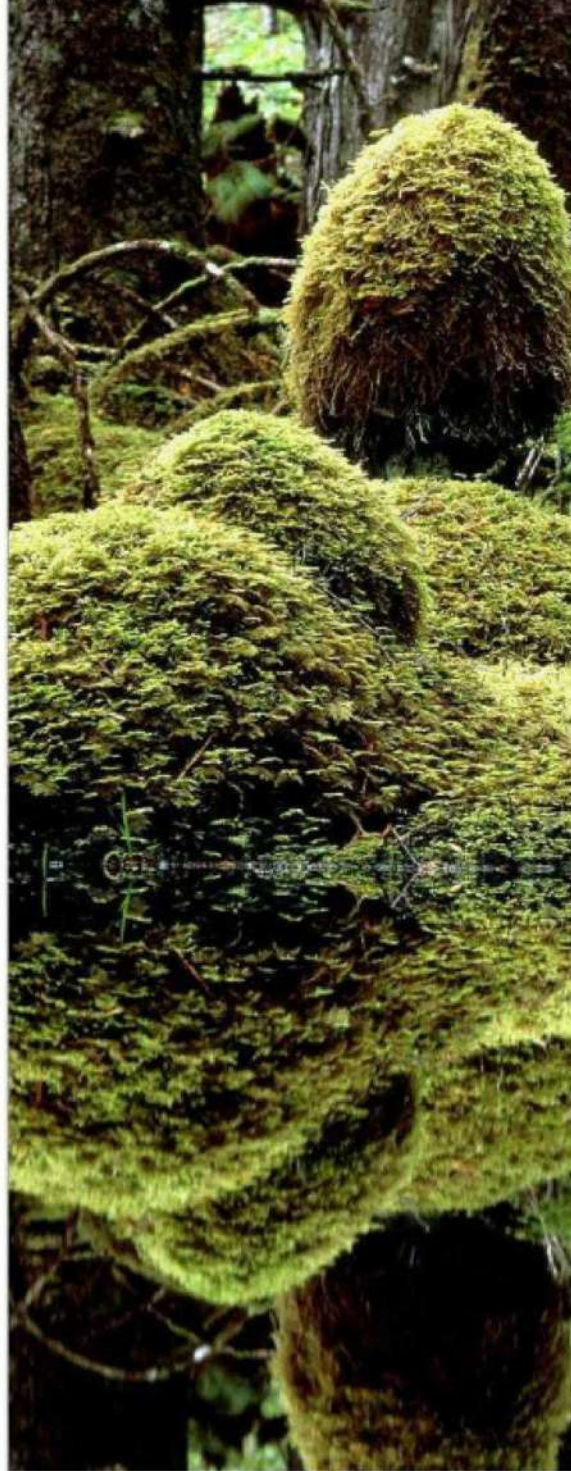
Pour les physiciens, cet idéal de symétrie n'a rien d'une coquetterie ou d'une tentation esthétisante. C'est toute la quête des lois de la nature qui se confond avec celle de leurs symétries. Affirmer que les lois physiques ne changent pas selon le lieu ou au cours du temps – c'est-à-dire qu'elles sont symétriques par translation dans l'espace et le temps – est constitutif du concept même de loi. Repérer les symétries, c'est bien rechercher l'ordre, l'invariance, la permanence, la règle... sous le chaos apparent des phénomènes.

C'est si vrai que ce lien entre symétrie et invariance est l'objet d'un théorème démontré en 1918 par la mathématicienne allemande Emmy Noether, qualifiée de *"monument de la pensée mathématique"* par Albert Einstein et classé par Richard Feynman *"parmi les choses les plus belles et les plus profondes en physique"*.

Ce théorème établit une correspondance entre chaque symétrie et loi de conservation. Ainsi, si un système est symétrique par translation dans le

temps, cela signifie que son énergie reste constante. Et s'il est symétrique par translation dans l'espace, c'est son impulsion qui ne varie pas. Comme le résume Christophe Grojean, du groupe théorique Desy, à Hambourg, *"déterminer les symétries respectées par un système physique permet tout simplement d'accéder à ses propriétés"*.

Les symétries sont donc partout. C'est grâce à celles de l'espace tridimensionnel que l'on peut prédire la forme des cristaux. C'est en étudiant celles reliant électricité et magnétisme que Maxwell



DAVID NUNUK/SPL/COSMOS





## La physique se base sur...

### ... la symétrie T

Les lois de la microphysique restent inchangées si l'on y inverse le temps.

**Et pourtant, le temps s'écoule.** Dès que l'on quitte l'infiniment petit, on constate bien une différence entre le passé et le futur.

### ... la symétrie P

Selon les lois fondamentales, l'Univers ne fait aucune différence entre droite et gauche : son reflet dans un miroir devrait être identique à lui-même.

**Et pourtant, dans certaines désintégrations radioactives, les électrons sont émis dans une direction privilégiée.**

### ... la symétrie C

D'après l'équation de Dirac, l'électron est tout à fait semblable à son antiparticule, le positon.

**Et pourtant, l'Univers n'est fait que de matière.** Certaines désintégrations de particules (neutrinos, kaons) diffèrent de celles de leurs antiparticules.

### ... la symétrie J

Selon cette symétrie dite "de jauge", les particules de forces sont interchangeables.

**Et pourtant, la lumière ne pèse rien.** Si le photon n'a pas de masse, W et Z sont massifs.

est parvenu à déterminer les équations qui décrivent la totalité des phénomènes électromagnétiques. Même la théorie de la relativité d'Einstein est la conséquence d'une symétrie : entre le fait d'observer un phénomène au repos ou bien en translation uniforme...

Mais c'est en physique des particules que leur emploi est poussé à son paroxysme, dans le cadre du modèle standard, l'actuelle théorie de l'infiniment petit qui tient tout entière sur quatre symétries fondamentales. Ainsi, c'est en imposant aux équations qui

décrivent la matière de respecter une symétrie abstraite appelée "symétrie de jauge" (qui reflète le fait que les particules associées à des forces différentes ont une identité très semblable) que les physiciens sont, au cours du XX<sup>e</sup> siècle, parvenus à déterminer la forme précise des interactions possibles entre les particules de matière. Si bien que, comme le résume Alvaro de Rújula, ancien directeur de la Division théorique du Cern, *"la plupart de ce que l'on comprend dans l'Univers découle de cette symétrie de jauge"*.





→ Par ailleurs, trois symétries sont incontournables au sein du modèle standard : C pour charge, T pour temps et P pour parité. Et pour cause : en 1954, Gerhard Lüders et Wolfgang Pauli ont démontré que toute théorie prétendant à la description de l'univers microscopique, c'est-à-dire intégrant à la fois les prescriptions de la mécanique quantique et de la relativité, est tenue de respecter la combinaison de ces trois symétries – on parle de symétrie CPT.

En clair, il doit être impossible de distinguer notre Univers de celui obtenu en inversant le sens du temps et la charge de toutes les particules que contient le cosmos et en regardant celui-ci dans un miroir. *“Relatives à la matière, à l'espace et au temps, ces trois symétries sont incontournables. Déjà présentes dans les équations de la physique classique, elles sont si évidentes qu'on ne les remarque même pas”*, précise Gilles Cohen-Tannoudji, au Laboratoire des recherches sur les sciences de la matière, à Saclay.

### ALLÈGREMENT VIOLÉES PAR LA NATURE

Evidentes et incontournables... à la réalité près ! Car dès le milieu des années 1950, une série d'accrocs mettent à mal ce bel idéal. D'abord au niveau de la symétrie de jauge, sans laquelle les physiciens sont incapables de construire une théorie raisonnable de quelque interaction fondamentale que ce soit. Comment penser que le photon, qui transmet la force électromagnétique, soit interchangeable avec les particules médiatrices de l'interaction nucléaire faible (les bosons W et Z), alors que celles-ci ont une masse... et que le premier, lui, ne pèse rien.

Idem avec les symétries C et P. En 1956, une physicienne sino-américaine montre, à la surprise générale, que les noyaux de cobalt peuvent émettre des électrons dans une direction privilégiée, violant la symétrie P. Les physiciens se rendent à l'évidence, tout en formulant un nouveau désir de symétrie : s'il ne respecte pas P, le monde doit au moins respecter la conjugaison de C et P... Las, plusieurs

## Notre Univers n'est sans doute pas “supersymétrique”

Dès l'édification du modèle standard, dans les années 1970, les physiciens ont essayé de lui adjoindre une symétrie supplémentaire, appelée “supersymétrie”. Celle-ci postule qu'à chaque particule de matière est associée une particule de force encore à découvrir, et réciproquement. L'idée n'a rien d'une lubie : la supersymétrie résulte de la combinaison de la symétrie d'espace-temps du modèle standard avec celle qui caractérise les forces, la symétrie dite de jauge. Or, si la théorie de l'infiniment petit respecte l'une et l'autre, il est légitime de se demander si elle ne respecterait pas une combinaison des deux. Belle idée... qui a occupé les théoriciens des décennies durant. A ce jour, la réponse semble pourtant être plutôt non. Malgré le puissant accélérateur du Cern, aucune des particules prédites par la version supersymétrique du modèle standard n'a été découverte. Au grand dam des physiciens... La supersymétrie ouvrirait une piste pour réconcilier sur le papier la théorie de l'infiniment petit (modèle standard) et celle de l'infiniment grand (relativité générale).

générations d'expériences montrent dans la foulée que différentes particules composées de quarks violent bel et bien CP... Jusqu'aux neutrinos aujourd'hui.

En fait, de nombreux phénomènes brisent les belles symétries des physiciens : en physique de la matière condensée, les équations ne font aucune distinction parmi les directions possibles pour l'aimantation portée par les atomes d'un bloc de métal... mais sous une certaine température, ces micro-aimants s'orientent bel et bien dans une direction. Et le crayon tombe d'un côté.

Alors, une question s'impose : pour quoi inscrire les symétries au cœur des théories physiques quand, en pratique, la nature les viole allègrement ? Loin d'y voir un paradoxe, Gilles Cohen-Tannoudji y lit une dialectique subtile : *“D'un côté, les symétries sont l'élément qui assure la cohérence de l'Univers et permet d'ordonner la connaissance. De l'autre, leur violation est ce qui permet la traduction des lois immuables en phénomènes à travers lesquels l'Univers se transforme.”*

Ces légères asymétries dans un monde symétrique expriment rien moins que l'essence de la physique : d'un côté, la nécessaire symétrie des lois, sans laquelle il serait tout

bonnement impossible de décrire le monde. De l'autre, la non moins impérieuse nécessité que cette symétrie soit brisée. Sans quoi rien ne pourrait jamais advenir.

Sans brisure de symétrie, les crayons lâchés ne tomberaient pas ; les aimants n'aimanteraient pas ; le Soleil ne brillerait pas... et n'existerait même pas !

L'Univers ne serait donc pas le résultat d'une imperfection, d'un incompréhensible défaut des lois. Mais plutôt la résultante de la permanence et du mouvement, de la symétrie... et de l'asymétrie. Comme aimait le dire Richard Feynman, *“la nature est ‘presque’ symétrique”*. Et dans ce “presque” se cache cet infime déséquilibre cosmique survenu  $10^{-27}$  seconde après le big bang. Dans le “presque”, se cache toute la matière du monde.



A consulter : la publication des résultats et le site de l'expérience T2K.

A lire : le chapitre consacré aux symétries dans le célèbre cours de physique de Richard Feynman, ainsi que l'épopée des neutrinos racontée par deux physiciens sur le site du CNRS.

science-et-vie.com



# & Science découvertes

CHAMP MAGNÉTIQUE

64

HYPNOSE

67

LONGÉVITÉ

70

VIRUS SIBÉRIENS

76



## Champ magnétique terrestre

# Il serait né avec la Lune

Preuve vient d'en être apportée : si un puissant bouclier magnétique protège notre planète, elle le doit... à la Lune, lorsqu'un cataclysme l'arracha à la Terre. Un incroyable déroulement, que nous raconte **Benoît Rey**.

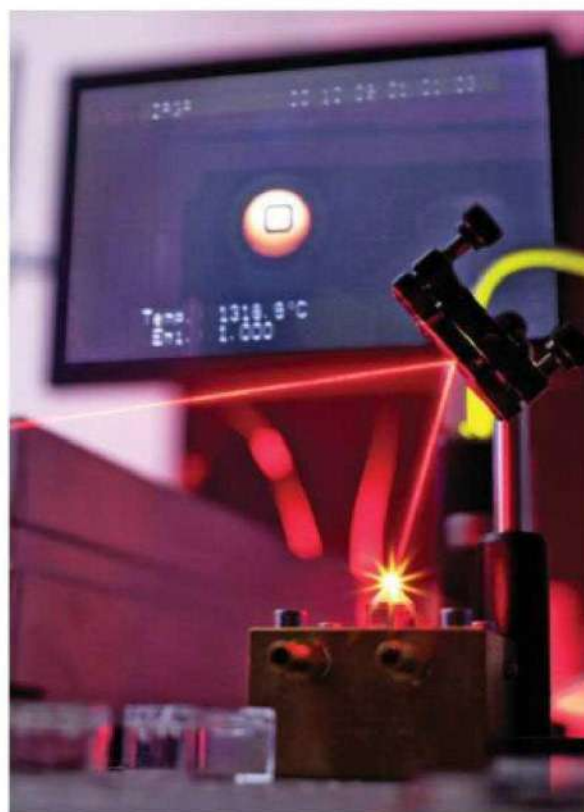
**C**inq mille degrés, trois millions de fois la pression atmosphérique. Le centre de la Terre est un autre monde, enfoui à 6 000 km de profondeur, et vraisemblablement à jamais inaccessible – le puits le plus profond creusé par l'homme atteint péniblement 12 km. Un monde vers lequel les géologues ne peuvent se frayer un chemin qu'à grand renfort de mesures sismiques, de modèles théoriques, de simulations et d'expériences sur des échantillons représentant la Terre en miniature. Qui aurait cru que ce sentier virtuel vers les profondeurs déboucherait... sur la Lune ?

C'est pourtant la conclusion d'une expérience menée par James Badro, de l'Institut de physique du globe de Paris. Sans la Lune, ou plutôt sans l'impact avec un corps

astral qui, il y a 4,3 milliards d'années lui a donné naissance, il n'y aurait pas eu de champ magnétique pour protéger notre planète durant les trois quarts de sa vie... et, d'ailleurs, il n'y aurait peut-être pas eu de vie non plus !

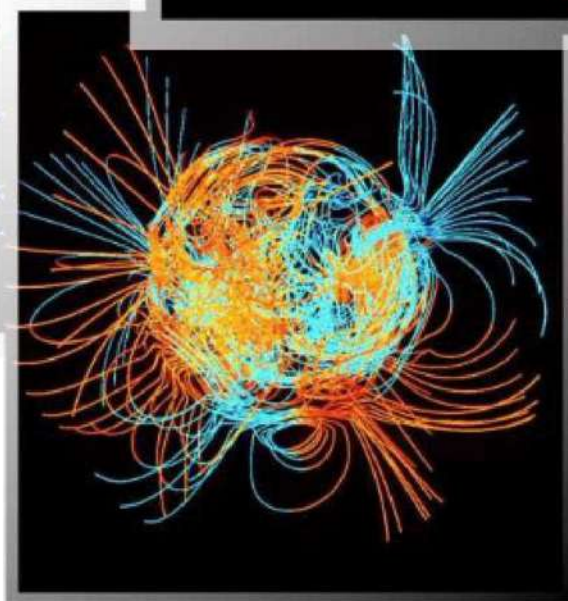
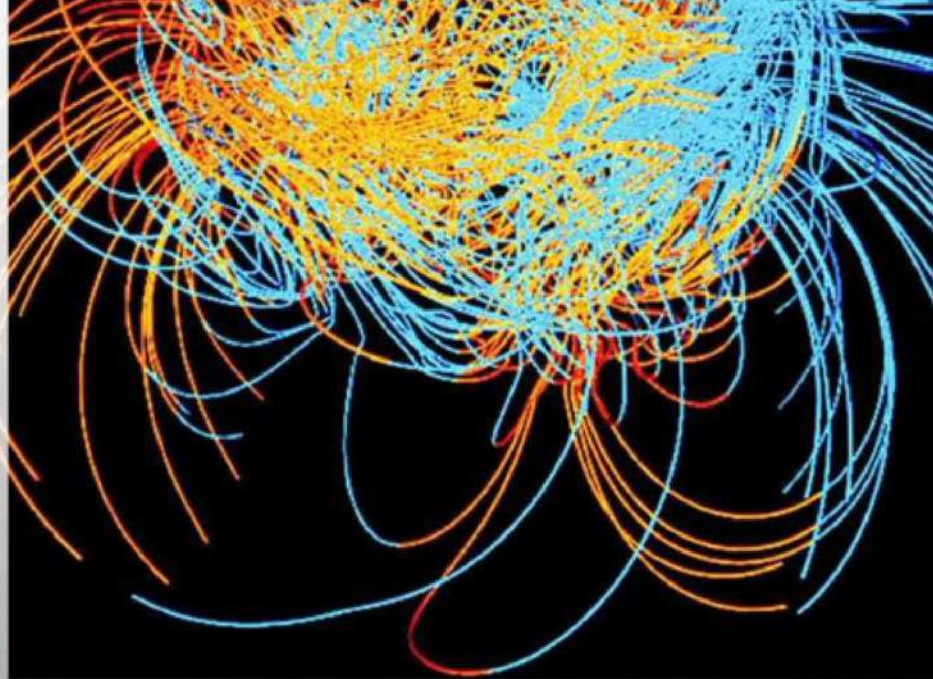
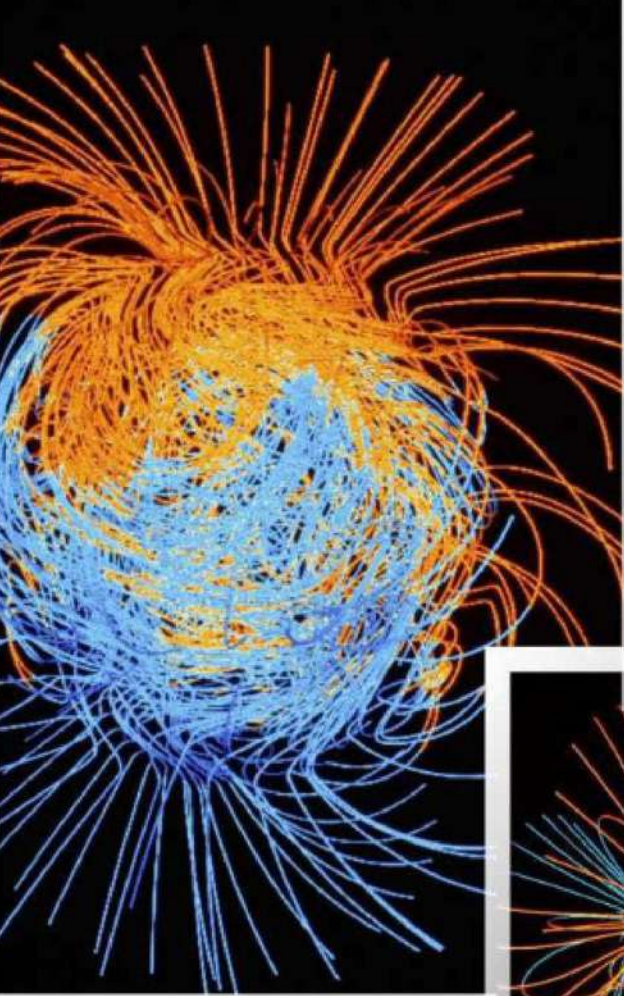
Les preuves s'accumulent en effet depuis une dizaine d'années, montrant que la graine de la Terre, cette boule solide de fer et de nickel qui génère actuellement son champ magnétique, n'a pas toujours existé, mais serait née il y a seulement 1 milliard d'années (voir encadré p. 66). Or, sans graine, pas de mouvement dans le noyau liquide qui l'entoure. Et sans mouvement... pas de champ.

"Pourtant il y avait un champ !" jure John Tarduno, géophysicien à l'université de Rochester, à New York. En 2015, il est allé explorer l'ouest de l'Australie,



▲ L'EXPÉRIENCE QUI LE DÉMONTRE  
L'expérience menée à l'Institut de physique du globe a recréé à l'aide d'un laser les conditions infernales qui règnent au cœur de la Terre.





### UN CHAMP MAGNÉTIQUE NÉ DU CATALYSME QUI CRÉA LA LUNE

Notre bouclier magnétique actuel (ici une simulation) est le résultat de l'impact qu'a subi la Terre il y a 4,3 milliards d'années.

une région où affleurent les roches les plus anciennes du monde. Elles contiennent des minéraux microscopiques, les zircons, qui conservent encore les stigmates d'un champ magnétique vieux de 3,5 milliards, voire 4,2 milliards d'années!

### UN SCÉNARIO VISIONNAIRE

Dès 2007, alors que ça commence à sentir le roussi pour la graine solide, David Stevenson, du California Institute of Technology (Caltech), échafaude un scénario visionnaire: il calcule que si le noyau de la Terre contient ne serait-ce que 0,8 % en masse d'oxyde de magnésium, alors celui-ci peut faire naître un champ magnétique. Car le magnésium est sidérophobe, c'est-à-dire qu'il déteste le fer. Or, le noyau terrestre en est composé à 90 %...

Et justement! Son idée est que si cet oxyde est incorporé au préalable, il fera tout pour s'en extraire, créant une convection. Or, pour expliquer la présence de cet oxyde, le chercheur invoque... le cataclysme qui – les astrophysiciens en ont la conviction – a donné naissance à la Lune! *“Mon étudiant de l'époque travaillait sur l'impact qui a formé la Lune et qui aurait engendré des températures extrêmement élevées, se souvient David Stevenson. Telle-ment élevées, que l'impacteur aurait été instantanément liquéfié, et que tous les composants de son manteau – qui*

*n'ont a priori aucune envie d'aller dans son noyau – s'y seraient dissous.”*

Le scénario de Stevenson est donc le suivant: il y a 4,3 milliards d'années, juste après la naissance de la Terre, un astre de la taille de Mars l'aurait fait voler en éclats. Tandis qu'en orbite, la matière éjectée tourbillonnait, se réagrégeait et donnait forme à la Lune, au cœur de la Terre, la matière de l'impacteur aurait fusionné avec celle du noyau, y incorporant de l'oxyde de magnésium. Oxyde qui aurait déclenché la

### Enjeux

Le bouclier magnétique des planètes les protège des flots de particules chargées envoyées par leur étoile. Dans le système solaire, seules Mars et Vénus n'en possèdent pas. En plus d'eau à sa surface et d'une tectonique des plaques, la présence d'un champ magnétique pourrait être une condition pour qu'une planète soit habitable.



→ dynamo terrestre, et fait jaillir un champ magnétique...

Restait à le prouver.

Et c'est là que James Badro et son équipe entrent en scène. Leur but n'est pas, au départ, de vérifier la prédiction de Stevenson mais, plus généralement, d'observer la formation du noyau. Pour reproduire les conditions qui règnent aux grandes profondeurs

de l'oxyde est proportionnelle à la température: ce qui implique que la fuite de l'oxyde s'opère à l'endroit le plus froid, à la surface du noyau. C'est à cette frontière avec le manteau terrestre que l'oxyde, en s'extrayant, laisse une couche de fer pure plus lourde, qui se met à couler jusqu'au fond du cœur, enclenchant un mouvement de convection planétaire... et

révélation. Car sans ce champ magnétique, la vie sur Terre aurait-elle pu éclore?

La surface de notre planète devrait avoir été ravagée par le Soleil, qui crache en continu des particules tellement énergétiques qu'elles auraient impitoyablement vaporisé l'atmosphère... Si la planète bleue a pu rester ce berceau douillet que l'on connaît, est-ce donc, paradoxalement, grâce à la plus monstrueuse catastrophe de son histoire?

*"La relation entre absence de champ magnétique et disparition de l'atmosphère est un questionnement intéressant, reconnaît Franck Selsis, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. Vénus n'a pas de champ magnétique, mais elle a 90 bars d'atmosphère au sol! En revanche, l'absence de dynamo sur Mars est une piste pour expliquer la disparition de son atmosphère."*

Si elle avait subi un impact géant, l'atmosphère de la planète rouge serait-elle respirable aujourd'hui? Et si les océans peuvent survivre à l'absence de champ magnétique, la vie le peut-elle? Ou est-ce que pour avoir une chance d'être hospitalière, une planète se doit d'être rocheuse, située ni trop près ni trop loin de son étoile... et d'avoir subi une gigantesque collision? Bref, faudra-t-il chercher en priorité la vie... là où il y a des Lune?

## La graine de la Terre vient de rajeunir

On croyait le cœur solide de la Terre âgé de plus de 4 milliards d'années... Mais au début des années 2000, les géophysiciens ont commencé à avoir des soupçons. Renforcés par des indications théoriques en 2012. Puis confirmés par des preuves expérimentales en 2014. En effet, la conductivité thermique de la Terre est au moins deux fois plus élevée que ce qu'on pensait. Ce qui signifie qu'elle laisse échapper dans l'espace deux fois plus de chaleur, et donc que sa graine centrale se solidifie deux fois plus vite... pétrifiant 1 000 tonnes du noyau par seconde et avançant d'un millimètre par an! Or, avec un rayon de la graine actuelle estimé à 1 220 km (soit la moitié du rayon du noyau), il suffit de passer le film à l'envers. Elle serait donc née il y a seulement... 1 milliard d'années!

terrestres, ils confectionnent un échantillon de fer de 10 micromètres, pris en sandwich entre deux disques de silicate, composé à 40 % d'oxyde de magnésium (comme le manteau terrestre), qu'ils compriment et chauffent avec un laser. Et obtiennent finalement une mesure de la solubilité de l'oxyde de magnésium en fonction de la température. "Quand on a vu les six points qui s'alignaient sur une droite quasi parfaite, j'ai compris que c'était le jackpot. J'ai éclaté de rire", se rappelle le chercheur.

Car l'alignement de ces six points indique que la solubilité

un champ magnétique. Ce qui confirme le scénario de David Stevenson!

### SAUVÉS PAR UN CATACLYSME ?

Tandis que d'autres équipes s'attachent désormais à reproduire l'expérience pour ajouter de nouveaux points à cette droite quasi parfaite, James Badro essaie de comprendre si le magnésium s'associe avec de l'oxyde de fer au cours de son ascension dans le noyau, ce qui formerait une couche à l'interface avec le manteau... potentiellement détectable par sismographie. Et tous méditent sur les conséquences de cette



A voir : des conférences sur l'origine du noyau et de la dynamo terrestre.



EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com



# Hypnose

## Le cerveau livre son secret

Que se passe-t-il dans notre tête quand on est sous hypnose ? Pour la première fois, des sujets ont été passés au crible de l'IRM. Révélant un véritable état de conscience modifié, dont **Marie-Catherine Mérat** a exploré les arcanes.



**F**ermez les yeux, détendez-vous. Vous vous sentez bien, de mieux en mieux.

*Votre tête est lourde, de plus en plus lourde. Maintenant, vous dormez, vous êtes plongé dans un profond sommeil.* Pour beaucoup d'entre nous, l'hypnose c'est cela : un vulnérable cobaye sous l'emprise d'un hypnotiseur aux troublants pouvoirs de suggestion.

Pourtant, l'hypnose n'est pas un simple phénomène de foire.

Ses effets bénéfiques sur la douleur, notamment, sont à la fois avérés et spectaculaires, y compris au bloc opératoire : réduction de la souffrance, amélioration de la qualité de vie... L'augmentation constante – 10 à 12 % par an – du nombre de médecins formés à cette pratique en témoigne.

Paradoxalement, l'hypnose reste un phénomène mal compris, pour ne pas dire énigmatique. On en connaît certes les effets, mais qu'est-ce que l'état hypnotique en tant que tel ? Un état modifié de conscience permettant d'accéder à une plus grande fluidité mentale, une ouverture du champ attentionnel, un recentrage sur ses sensations internes..., répond la psychologie, qui ne manque pas de tournures alambiquées pour tenter de saisir la singularité de cet état mental.

*“Il y a étonnamment très peu de recherches sur les mécanismes cérébraux de l'hypnose, y compris en neuro-imagerie”,* déplore Patrik Vuilleumier, neurobiologiste à l'université de Genève.

D'où l'intérêt que suscite une récente étude menée par le psychiatre David Spiegel, professeur à l'école de médecine de l'université Stanford. *“Aucune recherche jusqu'alors n'avait simplement eu pour objectif de regarder ce qu'il se passe dans le cerveau lorsque vous êtes hypnotisé”,* écrit le chercheur.

Pour leur étude, le psychiatre et son équipe ont commencé par tester l'hypnotisabilité, soit la sensibilité à l'hypnose, à l'aide d'une échelle standard de susceptibilité hypnotique, l'échelle de Harvard. *“Elle est utilisée dans quasiment toutes*

### Repères

Apparue vers la fin du XVIII<sup>e</sup> s., l'hypnose est parfois considérée comme la mère de toutes les psychothérapies. Délaissée pendant une partie du XX<sup>e</sup> s. au profit de la psychanalyse, elle revient sur le devant de la scène dans les années 1990. Ses bénéfices sont démontrés dans trois grands champs thérapeutiques : la douleur, l'anxiété et les troubles psychosomatiques.



→ les études, précise la neuro-psychologue Audrey Vanhaudenhuyse, qui étudie les bases cérébrales de l'hypnose au Coma Science Group, à Liège. *On induit une hypnose puis on demande aux sujets de faire des petits exercices, comme imaginer que leurs mains sont collées et qu'ils ne peuvent pas les défaire...*

### PLUS OU MOINS RÉCEPTIF

Car c'est là l'une des particularités de l'hypnose. Psychologues et neuroscientifiques estiment que 2 à 5 % des individus, les "virtuoses de l'hypnose", sont hautement hypnotisables alors que 10 % le sont très faiblement. *"Il n'y a d'ailleurs pas un seul spectacle d'hypnose qui ne commence par une sélection des sujets,"* détaille Antoine Bioy, psychologue et hypnothérapeute, enseignant-chercheur à l'université de Bourgogne. *L'hypnotiseur ne va choisir que des personnes très suggestibles."*

A l'issue des tests, les chercheurs ont donc sélectionné 57 sujets : 36 hautement et 21 faiblement hypnotisables. L'équipe entreprend alors de scanner leur cerveau par IRM fonctionnelle afin d'en comparer l'activité dans quatre états : "hypnotic happiness", où les expérimentateurs hypnotisent les sujets et leur demandent de se rappeler une époque joyeuse de leur vie ; "hypnotic vacation", où les volontaires hypnotisés doivent se remémorer des vacances sans émotion particulière ; un état de repos (éveillés, yeux fermés) ; et enfin, un état où ils se remémorent tout ce qu'ils ont fait la veille.

Pourquoi ce choix ? Les deux types d'hypnose sont ceux classiquement utilisés

en pratique clinique. Quant à l'exercice de mémoire, il permet de s'assurer que l'hypnose n'est pas un simple rêve éveillé. *"C'est l'une des grandes questions,"* observe en effet Audrey Vanhaudenhuyse. *L'hypnose est-elle seulement de l'imagerie mentale ?"*

Les résultats de l'étude sont nets : il s'agit bien d'un état modifié de conscience. L'IRM fonctionnelle révèle en effet que l'hypnose, particulièrement chez les sujets les plus sensibles, modifie l'activité de trois grands réseaux cérébraux : ceux du contrôle exécutif, de saillance et du mode par défaut (voir infographie ci-contre). Le premier est essentiel pour se concentrer sur une tâche, focaliser son attention. Le réseau de saillance, quant à lui, permet au cerveau, sans cesse bombardé de stimuli en provenance du corps ou de l'environnement, de sélectionner les éléments pertinents en vue de réaliser une action. Enfin, le réseau du mode par défaut s'active lorsque nous ne faisons rien de particulier et que notre esprit s'évade. Il

## Objectif : potentialiser ses effets analgésiques et anxiolytiques

correspond à cette petite voix intérieure, qui joue un rôle essentiel dans la conscience que nous avons de nous-mêmes.

Or, ces trois circuits sont complètement reconfigurés sous hypnose, constatent les scientifiques. Le réseau de saillance voit ainsi son activité d'autant plus diminuée que le sentiment d'absorption exprimé par le sujet s'accroît.

## Comment l'hypnose agit sur le cerveau

L'hypnose est un état de conscience modifiée bien distinct du somnambulisme, auquel on l'a d'abord assimilée. Dans le cerveau, les connexions entre trois grands réseaux sont modifiées : le réseau du contrôle exécutif, le réseau de saillance et le réseau du mode par défaut.



Une observation que confirment les propos rapportés par les patients à leur praticien. *"Les personnes disent qu'elles sont déconnectées de ce qui les entoure. Elles ne perçoivent plus rien, ni les sons, ni les odeurs..."*, confirme Audrey Vanhaudenhuyse.

L'équipe observe aussi une connectivité accrue entre une partie du réseau du contrôle exécutif et une autre partie du réseau de saillance jouant un rôle dans le ressenti de ses états internes. Et ce, seulement chez les sujets hautement hypnotisables. Cette connexion cerveau-corps, ce recentrage sur ses états internes, expliquerait les effets bénéfiques de l'hypnose sur la douleur ou sur les troubles psychosomatiques.

Enfin, les scientifiques notent une baisse de connectivité entre le réseau du contrôle exécutif et le réseau du mode par



# 1 Perte de contact avec l'extérieur

L'activité du cortex cingulaire antérieur dorsal (en rouge) est réduite. Cette structure appartient au réseau de saillance, chargé de hiérarchiser les informations perçues par le cerveau. L'activité de ce cortex est d'autant plus réduite que la sensation de se sentir hypnotisé est forte.



# 3 Modification de la conscience de soi

La connexion entre le réseau de contrôle exécutif (cortex préfrontal dorsolatéral, en bleu) et le réseau du mode par défaut (cortex préfrontal médian et cortex cingulaire postérieur, en jaune) est réduite. Cela se traduit par une déconnexion entre les actions du sujet et sa conscience de lui-même lors de ces actions.

- Réseau de saillance
- Réseau du contrôle exécutif
- Réseau du mode par défaut

défaut. Là résident sans doute quelques-uns des aspects les plus troublants de l'expérience hypnotique : le sentiment de dissociation – on agit en même temps que l'on s'observe en train d'agir, on ressent en même temps que l'on observe ce que l'on ressent – ainsi que la perte d'esprit critique, de jugement sur ses propres actions, un phénomène qu'exploite sans modération l'hypnose-spectacle. *“Les gens se moquent de savoir ce que les autres pensent ; ils ne se demandent pas ‘pourquoi ferais-je cela ?’, ils le font, c’est tout”*, détaille David Spiegel.

Au-delà de leur apport purement théorique, les scientifiques imaginent déjà stimuler certaines régions des réseaux ainsi identifiés pour augmenter la sensibilité hypnotique et potentialiser les effets analgésiques et anxioly-

tiques de l'hypnose. La technologie existe déjà, même si elle manque de précision : il s'agit de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT), qui consiste à appliquer un champ magnétique à la surface du crâne.

## TRAIT DE PERSONNALITÉ

Le cortex cingulaire antérieur dorsal serait une cible tout indiquée : en perturbant son activité, la SMT aurait pour effet d'augmenter le sentiment d'absorption des sujets, anticipent les scientifiques. Seul problème, il est situé en profondeur. *“Il nous faudrait l'atteindre via d'autres régions plus proches de la surface du cerveau avec lesquelles il est connecté”*, explique David Spiegel.

Reste que cette étude n'explique pas pourquoi certaines personnes sont plus sen-

sibles que d'autres à l'hypnose. Plusieurs hypothèses sont aujourd'hui envisagées. L'une, psychologique, avance que l'hypnotisabilité serait un trait de personnalité. Une autre, neurobiologique, propose qu'elle serait liée à des fonctionnements cérébraux différents, même en dehors de l'état hypnotique.

De là à comprendre comment certaines personnes plongent en état hypnotique profond en une poignée de secondes... *“Il est vrai que dans les spectacles, certains phénomènes sont difficiles à expliquer du point de vue des neurosciences”*, admet le neurobiologiste Patrik Vuilleumier. Si ces recherches lèvent donc un coin de voile sur une technique restée longtemps nimbée de mystères, les hypnotiseurs de spectacles peuvent se rassurer : l'hypnose n'a pas fini de fasciner.



A lire : la publication des chercheurs ; une évaluation de l'Inserm sur l'efficacité thérapeutique.

science-et-vie.com



*Méduse, requin, oursin...*

# Mais pourquoi ils vivent si longtemps ?

Vingt jours pour la mouche, deux ans pour la souris, dix ans pour le renard, quarante pour le gorille... Normalement, l'espérance de vie d'une espèce est directement liée à sa masse. Mais il y a des exceptions ! Certaines espèces sont capables de défier effrontément le temps qui passe. Quel est leur secret ? Par quels mystérieux processus biologiques ces animaux s'affranchissent-ils des affres du temps ? Si les secrets de la chauve-souris, des tortues, du perroquet ou de la moule perlière restent encore à découvrir, d'autres sont en train d'être percés. **Camille Chandès** en a rassemblé sept. Sept animaux à la longévité record. Et sept stratégies différentes, inventées par la vie pour lutter contre le vieillissement.

©CHRISTIN GILBERT/AGEFOTOSTOCK - BRUNO BOURGEOIS





## La méduse est capable de retrouver sa jeunesse...

La petite méduse méditerranéenne *Turritopsis dohrnii* détient les clés de l'immortalité! Soumise à un stress ou en fin de cycle reproducteur, elle s'atrophie et régresse jusqu'au stade de sa jeunesse: un polype fixé sur le fond marin. Encore mal connu, ce processus de transdifférenciation permet aux cellules de retourner à un état indifférencié, comme à la naissance, avant de se respecialiser et de recommencer un cycle de vie. "On connaissait le phénomène chez les jeunes méduses, rappelle Thomas Bastian, docteur en biologie marine. La petite révolution a été de l'observer chez des adultes." Des chercheurs de l'université chinoise de Xiamen ont mis en évidence, en 2015, le même processus chez la méduse commune *Aurelia aurita*. "Il y a fort à parier que c'est une des clés de la réussite de ces organismes, qui sont là depuis plus de 500 millions d'années", ajoute Thomas Bastian.

... grâce à la  
transdifférenciation



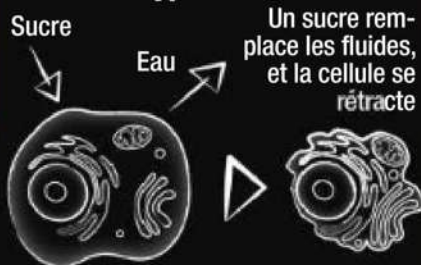


## Le tardigrade parvient à suspendre le temps...

"S'ils étaient humains, on les déclarerait cliniquement morts." Cédric Hubas, maître de conférence au Muséum national d'histoire naturelle et chargé des tardigrades, s'en émerveille encore. Sur les mille espèces de ces organismes microscopiques répertoriées, une quinzaine ont la capacité de rentrer en cryptobiose: quand ses conditions de vie deviennent défavorables (sécheresse, gel, manque d'oxygène...), le tardigrade perd jusqu'à 99 % de son eau et s'enkyste en se rétractant pour former une sphère inerte. Dans cet état, qui peut durer des centaines d'années, l'organisme stoppe son métabolisme. Les fluides de ses tissus sont remplacés par un sucre, le tréhalose, qui lui permet de conserver la structure de ses cellules. A la faveur de conditions de nouveau favorables, l'organisme se réhydrate et redémarre. "Certains scientifiques parlent d'hypothèse 'de la Belle au bois dormant': dans cet état, les cellules du tardigrade ne vieillissent pas."

Des scientifiques de l'Institut national de recherche polaire de Tokyo (Japon) ont ainsi "ressuscité", en 2014, deux tardigrades (*Acutuncus antarcticus*) contenus dans une mousse collectée en Antarctique en 1983 et stockée à  $-20^{\circ}\text{C}$  pendant 30,5 ans. Il semblerait que lors de ce réveil, un mécanisme unique de réparation de l'ADN se mette en route. En séquençant le génome du tardigrade *Ramazzottius varieornatus*, des biologistes de l'université de Tokyo ont mis en évidence une protéine qui serait même capable de réparer 40 % de l'ADN de cellules humaines irradiées aux rayons X!

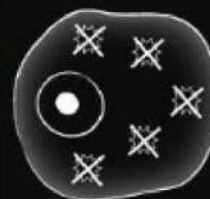
### ... via la cryptobiose



## Le protéé s'arran

"Comme le protéé vit très longtemps (plus d'un siècle...), on s'attendait à ce qu'il ait un métabolisme bas ou des défenses antioxydantes élevées, ce qui n'est pas le cas." A l'image de Yann Voituron, physiologiste au

### ... ce qui réduit son stress oxydant



Le faible métabolisme produit peu de radicaux libres







## La baleine boréale se prémunit du cancer...

Avec 1 000 fois plus de cellules qu'un être humain, la baleine boréale devrait courir un plus grand risque de développer un cancer. Il n'en est rien. *"Nous avons constaté des mécanismes de réparation de l'ADN et de régulation du cycle cellulaire qui empêchent son ADN de s'abîmer tout au long de sa vie"*, lâche João Pedro de Magalhães, spécialiste du vieillissement à l'université de Liverpool (R.-U.). Mais quels sont ces mécanismes cellulaires, moléculaires et génétiques? *"Impossible de mener d'expérience sur les baleines..."*, regrette le chercheur, qui envisage de doter des souris de gènes du mammifère arctique afin d'en savoir plus...

**... en régulant le cycle cellulaire**

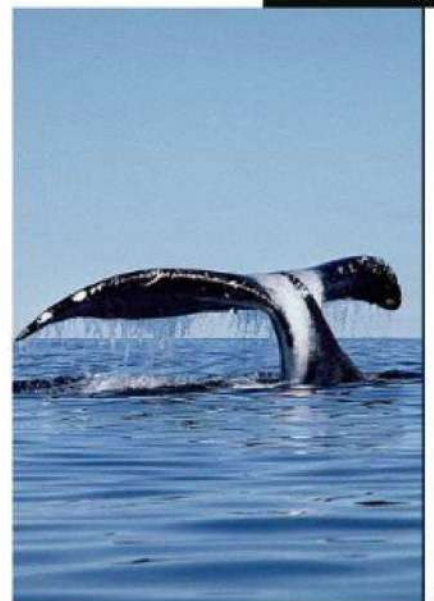


**L'ADN se répare tout seul**

## ge pour vivre au ralenti...

Laboratoire d'écologie des hydro-systèmes naturels et anthropisés de Villeurbanne (université de Lyon), les chercheurs ont multiplié les hypothèses pour percer le secret de ce petit amphibien cavernicole, capable de vivre plus de cent ans. Leur dernière piste : son mode de vie très ralenti, avec une activité de cinq minutes en moyenne par jour. *"Notre hypothèse est qu'en ne faisant rien, car il reste coincé dans des fissures*

*sans bouger, il produit très peu de sous-produits toxiques pour son organisme. Et comme il n'a pas de prédateurs connus, il peut s'autoriser des déplacements très lents, peu consommateurs d'énergie; ces recherches n'en sont toutefois qu'à leurs balbutiements"*, avance Olivier Guillaume, ingénieur de recherche à la Station d'écologie théorique et expérimentale de Moulis, en Ariège, qui étudie l'animal depuis... 1954.





## L'oursin arrive à se régénérer toute sa vie...

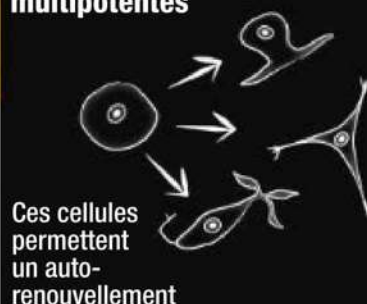
*"Avec l'oursin, on voit que la dégénérescence qui accompagne la vieillesse n'est pas inévitable."* A en croire Andrea Bodnar, biochimiste spécialisée dans le vieillissement au Bermuda Institute of Ocean Sciences (Bermudes), l'oursin prend à contre-pied les théories du vieillissement.

Car même lorsque leur âge atteint les 100 ans, comme pour l'oursin rouge, ou les 50 ans pour l'oursin pourpre, ces échinodermes continuent à grandir, mais aussi à réparer leurs appendices (pieds et épines) quand ils sont abîmés. Un superpouvoir rare, puisque chez la majorité des animaux, la capacité de régénération des tissus s'éteint avec l'âge. Leur secret ? La présence, dans leurs tissus adultes, de cellules souches multipotentes, c'est-à-dire qui ont la capacité de donner différents types de cellules et de s'auto-renouveler. *"Nous avons notamment identifié que l'expression de*

*gènes impliqués dans la multipotence se maintient avec l'âge dans les tissus du corps. La prochaine étape est de comprendre les mécanismes cellulaires et moléculaires en jeu"*, observe la chercheuse.

Et même l'oursin variable, dont l'espérance de vie n'est que de 4 ans, ne semble pas connaître de déclin dégénératif. *"Nous pensons qu'il meurt de prédation, d'accident ou de maladie infectieuse et non d'un déclin physiologique"*, conclut, surprise, Andrea Bodnar. Même en ne vivant pas longtemps, il ne vieillit pas !

**... grâce aux cellules multipotentes**



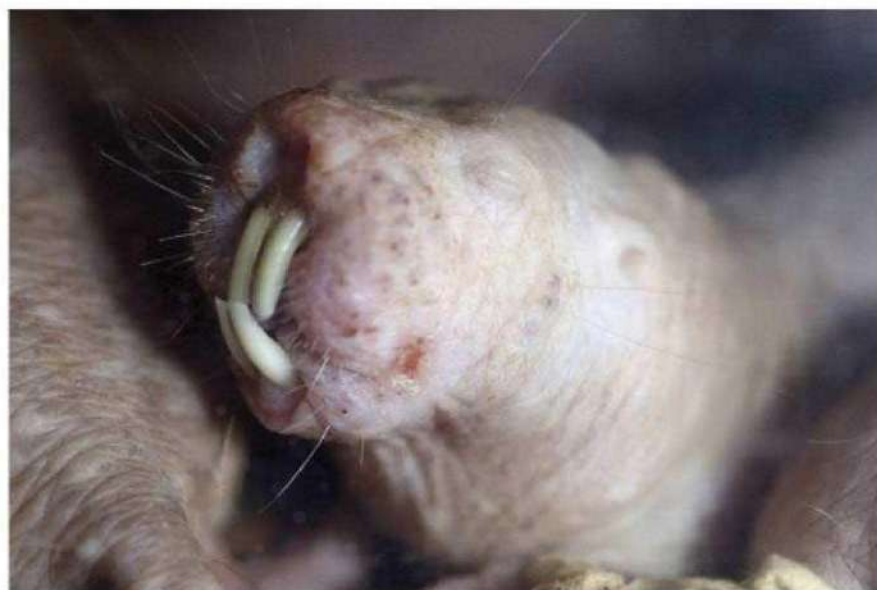
## Le rat-taupe se

Le mythe s'est effondré. En mars 2016, des chercheurs de l'université de Washington (E.-U.) révélaient deux cas de cancer chez le rat-taupe nu alors qu'on pensait l'espèce à l'abri de cette maladie. Le petit rongeur (*Heterocephalus*

**... avec de l'acide hyaluronique**



Il empêche le contact avec les cellules cancéreuses







## Le requin du Groenland dope ses défenses...

Le requin du Groenland, dont on vient de découvrir un spécimen né il y a près de 400 ans, est la preuve vivante que le froid conserve. Son milieu de vie glacial (la température des eaux arctiques profondes ne dépasse pas les 12 °C) réduit la vitesse des réactions chimiques, ce qui conférerait à l'animal une sensibilité moindre aux infections, et un métabolisme – donc un vieillissement – ralenti. Mais des recherches récentes sur le ver *Caenorhabditis elegans* suggèrent que les effets du froid sur la longévité auraient aussi une part génétique. Le froid active, en effet, chez le nématode, un gène intervenant dans la résistance au stress oxydatif et le vieillissement des cellules. Un mécanisme qui pourrait être à l'œuvre, d'après les chercheurs, dans tout le règne animal... même si le requin du Groenland est visiblement celui qui en tire le mieux parti.



... en gelant l'oxydation



Le froid inhibe le stress oxydant

## garde des cellules tumorales...

*glaber*), qui vit jusqu'à 30 ans (contre 2 ans pour les souris), possède en effet une arme redoutable pour éviter la formation de tumeurs : l'acide hyaluronique – que l'on retrouve dans de nombreux cosmétiques. Ce polymère, composé d'une association de sucres, est le constituant principal de la matrice entourant les cellules. Selon les mesures réa-

lisées par des chercheurs de Rochester (E.-U.), la concentration d'acide hyaluronique de haut poids moléculaire serait cinq fois plus élevée chez le rat-taupe nu que chez la souris et l'homme. Cette molécule permettrait d'arrêter le cycle cellulaire et d'éviter que les cellules mutées ne se multiplient de manière incontrôlée quand elles sont en contact,

comme dans les cancers. "L'acide hyaluronique a un rôle évident mais il doit y avoir autre chose qui explique cette résistance au cancer", avance Delphine del Marmol, qui réalise sa thèse à la faculté de médecine de Namur (Belgique) sur ce sujet. Et qui est très intriguée par le grand nombre de récepteurs cellulaires avec lesquels la molécule interagit.



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

★  
EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com



*Permafrost*

# ET S'IL LIBÉRerait DES ARMÉES DE VIRUS...

Une hécatombe de rennes, des dizaines d'éleveurs touchés, un enfant décédé... En Sibérie, un bacille de l'anthrax qui dormait depuis 75 ans dans le sol gelé s'est subitement réveillé sous l'effet du réchauffement ! Or, prévient **Lionel Cavicchioli**, le permafrost cache bien d'autres fléaux oubliés... prêts à refaire surface.





**D'ici à 2090, jusqu'à 50 %  
du permafrost pourrait  
avoir disparu**



■ Etendue du permafrost en 2090  
■ Surfaces perdues d'ici à 2090

### Contexte

Le permafrost couvre le quart de l'hémisphère Nord, du Canada à la Sibérie, en passant par l'Alaska. On en trouve aussi dans certaines îles de l'Antarctique ou les hautes montagnes. Durant les décennies à venir, le réchauffement climatique en cours devrait redessiner ses frontières en dégelant des régions entières.

SOURCE : ACIA, 2004

JEREMY NICHOLL/REA - VLADISLAV SAMOYLIK/THE SIBERIAN TIMES - © GABRIELLE VOINOT / LOOKATSCIENCES



### ◀ LES SCIENTIFIQUES À PIED D'ŒUVRE

Après l'épidémie d'anthrax de l'été 2016, les biologistes russes multiplient les prélèvements dans les charniers d'animaux libérés du gel.



### ▲ DES BACTÉRIES ET DES VIRUS EN HIBERNATION

Le sol gelé du permafrost abrite aussi de dangereux virus (variole), notamment géants (photo), vieux de dizaines de milliers d'années.



**D**istrict autonome de Iamalo-Nénétié, été 2016. Cette région du nord de la Sibérie, qui jouxte la péninsule de Yamal, a été le théâtre d'une véritable hécatombe : plus de 2 300 rennes sont morts en quelques jours, victimes de la maladie du charbon. En cause : la bactérie *Bacillus anthracis*, le tristement célèbre anthrax. Plusieurs dizaines de personnes, principalement des éleveurs nomades, ont également été hospitalisées, et un enfant est décédé de la forme intestinale de la maladie.

Brutal, inattendu, ce drame couvrait en fait depuis 75 ans...

## UN PREMIER AVERTISSEMENT

A posteriori, l'histoire est facile à reconstituer. Elle débute en 1941, année de la dernière flambée épidémique d'anthrax qu'a connue la région – qui a vu des millions de rennes décimés tout au long du XX<sup>e</sup> siècle. A l'époque, la carcasse gelée d'un animal tué par la bactérie se couvre peu à peu d'une fine couche de permafrost, qui ne tue pas l'anthrax mais le plonge dans un profond sommeil. Une hibernation qui aurait pu se prolonger encore longtemps nonobstant l'irruption d'un acteur imprévu : le réchauffement climatique.

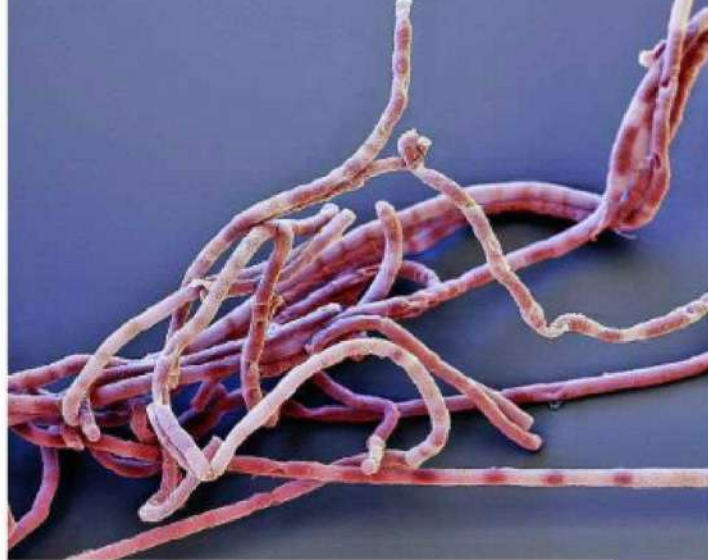
Alors que des records de température ont été battus cet été en Sibérie (jusqu'à 35 °C par endroits), le permafrost a commencé à fondre, libérant la carcasse contaminée. Tirées de leur léthargie, les bactéries endormies depuis la Seconde Guerre mondiale ont alors contaminé les troupeaux de rennes alentour. Puis les Nenets nomades, qui ont consommé la viande infec-

tée, rendus vulnérables par la suspension, en 2007, des campagnes de vaccination contre l'anthrax – la région paraissant débarrassée de ce bacille.

Le problème, c'est que ce drame n'est sans doute qu'un avertissement. Car le permafrost pourrait bien receler d'innombrables foyers infectieux. Preuve que les autorités locales prennent la menace au sérieux : elles ont décidé, fin octobre, d'abattre 100 000 spécimens, soit près de 15 % des rennes du district, afin de limiter les risques de transmission en cas de nouvelle infection. Mais l'anthrax n'est pas la seule menace...

Au fil des siècles et des épidémies, les permafrosts de la planète ont en effet accueilli les dépouilles de nombreuses victimes décédées de diverses maladies contagieuses. A commencer par la tristement célèbre grippe espagnole, qui fit entre 20 millions et 40 millions de morts au début du siècle dernier. C'est même grâce à une biopsie de poumon effectuée sur le cadavre d'une femme retrouvée dans le permafrost, en Alaska, que la séquence génétique du fléau a pu être déterminée en 2005 !

Faut-il, dès lors, craindre une épidémie similaire ? Probablement pas... D'une part parce que notre système immunitaire ne serait plus aussi démuné aujourd'hui. D'autre part parce que le nombre élevé de victimes ne fut pas uniquement dû à la virulence du virus, mais à une conjonction de facteurs : conditions sanitaires dégradées par la Première Guerre mondiale, grands rassemblements de populations très affaiblies, absence d'immunité contre cette souche virale précise.



Reste que la menace virale est réelle et fait froid dans le dos.

Un autre virus préoccupe davantage les scientifiques : celui de la variole. L'éradication de cette maladie, première (et à ce jour unique) infection à avoir été vaincue grâce à la vaccination, a permis d'épargner chaque année quelque 5 millions de vies. Mais ce virus, qui n'est aujourd'hui plus conservé officiellement que dans deux laboratoires (le CDC, à Atlanta, et le Vector, à Novosibirsk), pourrait bien tenir sa revanche...

Au XIX<sup>e</sup> siècle, la variole ravageait la Sibérie. Dans l'est de la République autonome de Sakha (Iakoutie), elle avait notamment décimé la petite ville de Zashiversk, tuant 40 % de sa population. Malheureusement, comme il est difficile de creuser le permafrost, les victimes, enterrées le long de la rivière Kolyma voisine, ne l'ont pas été assez profondément. Or, réchauffement et fonte du permafrost ont fait gonfler la rivière... érodant les berges, et exhumant les dépouilles infectées.

Jusqu'ici, aucun virus viable n'a encore été isolé à partir des cadavres de victimes de la variole. Seuls des fragments d'ADN ont pu être récupérés, notamment à partir d'un corps vieux de 300 ans. Une bonne nouvelle bien sûr, même si

## Jargon

On appelle **permafrost** (en anglais ; **pergélisol** en français) les sols dont la température demeure **inférieure à 0 °C pendant au moins deux années de suite**. En Sibérie, ces terres imperméabilisées par le froid peuvent dépasser **700 m d'épaisseur** et être vieilles de plus de **1 million d'années**.



## ANTHRAX

### Celui qui est déjà revenu

La maladie du charbon, qui a ressurgi cet été en Sibérie, faisant une victime, serait apparue en Egypte et en Mésopotamie voici plus de 2700 ans. Causée par une bactérie présente naturellement dans le sol, elle affecte le bétail et, plus rarement, l'homme, mais ne se transmet pas d'un malade à un autre. La gravité de l'infection dépend de la façon dont la bactérie *Bacillus anthracis* est entrée dans le corps : par la peau (coupure), son taux de mortalité est de 20 % ; par le tube digestif (ingestion), il varie entre 25 et 60 % ; en revanche, par les poumons (spores bactériennes présentes dans l'air), l'anthrax est mortel dans 100 % des cas. Ce qui fait de lui une redoutable arme bactériologique.

les scientifiques aimeraient mettre la main sur ces souches anciennes afin de mieux comprendre l'évolution du virus et sa dangerosité. Des connaissances très utiles pour lutter contre des pathogènes apparentés, comme celui de la variole du singe, capable de contaminer l'homme, et dont la progression inquiète en Afrique.

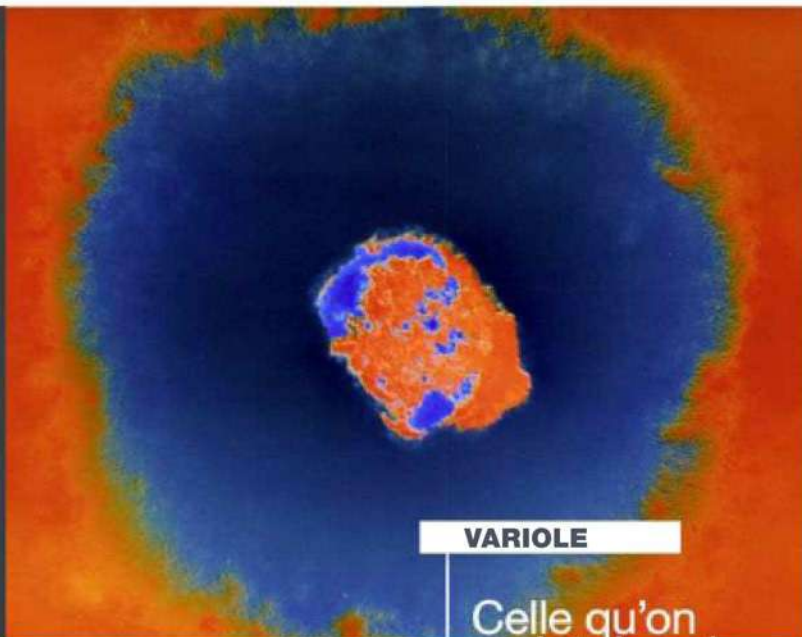
#### DES VIRUS VIEUX DE 30000 ANS

D'autres virus ont déjà réussi à revenir d'entre les morts. Ainsi, en 2014, un virus géant d'un nouveau genre, baptisé *Pithovirus sibericum*, a été isolé d'échantillons de permafrost sibérien. Son âge ? 30 000 ans, ce qui signifie qu'il a côtoyé l'homme de Neandertal ! Heureusement pour notre cousin disparu, *Pithovirus* ne s'attaquait pas aux mammifères, mais aux amibes. Mauvaise nouvelle pour ces dernières : les virus exhumés ont gardé toute leur dangerosité. Tirés de leur sommeil multimillénaire,

ils parasitent les amibes actuelles comme ils le faisaient avec leurs ancêtres. Qui sait si le dégel en profondeur du permafrost ne nous réserve pas une nouvelle mauvaise surprise ? Pourrait-on libérer des microbes inconnus, anciens compagnons de route de nos lointains aïeuls ou de leurs contemporains ? Les virus de Neandertal, dont notre génome garde encore la trace, pourraient-ils nous réinfecter ?

Sur ces derniers points, les avis sont partagés. Certains virologues considèrent que la menace de ces microbes venus du froid, théoriquement réelle, est peu probable. Peu de chance, selon eux, qu'un de ces spécimens soit capable à la fois d'infecter l'homme, de déclencher une maladie et de se disséminer efficacement d'un individu à l'autre. Ils sont en revanche davantage préoccupés par l'émergence de nouveaux virus bien contemporains (Ebola, Zika, SRAS-CoV...).

D'autres sont plus inquiets. "Absence de lumière et d'oxygène, température continuellement basse, pH neutre..." →

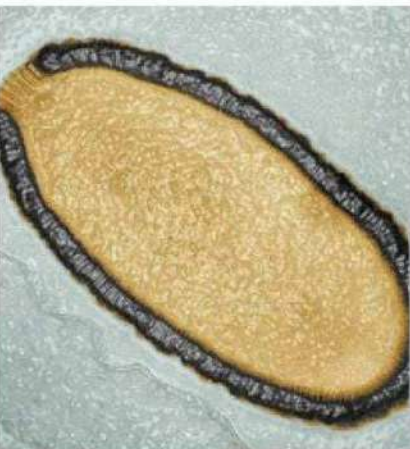


## VARIOLE

### Celle qu'on craint de voir ressurgir

C'est le microbe congelé que les experts craignent le plus. La variole a tourmenté l'humanité durant au moins douze mille ans. Cette maladie virale se manifeste par de fortes fièvres et des douleurs accompagnées, quelques jours plus tard, d'une éruption caractéristique : la peau et les muqueuses se couvrent d'ulcérations pouvant s'étendre sur tout le corps. Deux formes de la maladie coexistent : la variole mineure et la variole majeure, qui tue jusqu'à 30 % des malades non vaccinés. Et c'est justement grâce à la vaccination qu'elle est considérée comme éradiquée depuis 1980. Une victoire unique et hautement symbolique, puisque c'est en luttant contre la variole que le principe de la vaccination fut mis au point par le médecin anglais Edward Jenner en 1796.





## VIRUS GÉANTS

### Ceux que personne n'attendait

Endormis dans le permafrost sibérien depuis plus de trente mille ans, *Pithovirus* (photo) et son cousin *Mollivirus* appartiennent à la catégorie des virus géants. La vraie nature de ces parasites des amibes, longtemps considérés par les biologistes comme des bactéries aux étranges caractéristiques, n'a été révélée qu'en 2003 par des virologues français. Depuis, de nombreux autres virus géants ont été découverts. Si tous infectent les amibes, les membres d'au moins deux familles ont été retrouvés chez l'homme, notamment chez des malades atteints de pneumonie. Ce qui fait dire à certains scientifiques que les virus géants pourraient être moins inoffensifs qu'il n'y paraît.

→ Le permafrost profond est un parfait congélateur pour microbes. Si on y enterrait un yaourt aujourd'hui, il serait probablement encore consommable dans 10 000 ans", plaisante Jean-Michel Claverie, qui a dirigé l'équipe à l'origine de la résurrection des virus géants sibériens. Or, à cause du changement climatique, la région, qui regorge de ressources minières, devient accessible par voie maritime. Et peut donc être industrialisée. "Pour accéder au sous-sol, poursuit le virologue, de formidables quantités de permafrost vont être excavées." Si des restes d'anciennes épidémies subsistent au sein de ces strates très anciennes, toutes les conditions seront réunies pour qu'elles ressurgissent.

Pour couronner le tout, des études archéologiques ont montré que ces régions ont été, tout au long de la préhistoire, des lieux de passage, voire de peuplement stable. Qui sait quels virus ou bactéries infectaient les habitants de l'époque? "Si des virus qui infectaient des amibes voici 30 000 ans sont toujours

viables, il n'y a pas de raison que d'autres ne soient pas encore là", conclut Jean-Michel Claverie.

### LE CERCLE VICIEUX EST LANCÉ!

Et rien ne dit qu'un tel virus ne pourrait pas se disséminer ailleurs sur la planète. En effet, si les contrées où s'étend le permafrost sont généralement peu peuplées, elles ne sont pas pour autant désertes. Outre les nomades et leurs centaines de milliers de têtes de bétail, des militaires et des techniciens des industries pétrolières, gazières ou minières les parcourent, effectuant des allers-retours vers des centres urbains peuplés. Des micro-organismes exposés par la fonte du permafrost ou des forages profonds pourraient donc essaimer au-delà de leur lieu d'exhumation.

Et se répandre d'autant plus loin que d'autres grands voyageurs fréquentent aussi ces solitudes glacées: les oiseaux migrateurs, dont certaines espèces parcourent chaque année des milliers de kilomètres, de la Sibérie à l'Asie du Sud-Est, en passant par la Chine et l'Inde. S'ils rapportent déjà de leur

séjour estival dans les régions nordiques le célèbre virus de la grippe aviaire, qui sait s'ils ne pourraient pas, de la même façon, véhiculer d'autres pathogènes au-delà de leurs frontières glacées?

Difficile de prendre la mesure des changements que vont vivre ces régions où la fonte du permafrost semble aujourd'hui inéluctable. Mais le cercle vicieux est lancé: l'activité des bactéries libérées du froid digérant la matière organique enfouie autour d'elles dégage de grandes quantités de méthane, puissant gaz à effet de serre, aggravant ainsi le réchauffement, et le dégel du permafrost...

Jusqu'ici, ces régions étaient considérées comme figées. Aujourd'hui, avec le réchauffement, elles retrouvent la vie. Et donc la mort.



A consulter : les études sur les virus de la variole, de la grippe espagnole... évoquées dans cet article.

★  
EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com



# & Science techniques

CELLULES DE PEAU

82



ALGORITHME DE LA MORT

86



F-35

92







# Cellules de peau Elles peuvent faire

La procréation vient encore une fois d'être bouleversée : des chercheurs ont obtenu des cellules sexuelles et donné naissance à des souris à partir de cellules de peau ! Un exploit aux perspectives vertigineuses, selon **Elsa Abdoun**.

**I**l y a vingt ans exactement naissait la brebis Dolly, le premier animal cloné. Beaucoup pensaient alors qu'avec cette conception à un seul parent, toutes les lois les plus fondamentales de la reproduction animale avaient été violées, et que, dans ce domaine, plus rien ne pourrait les étonner.

C'était compter sans quelques brillants esprits iconoclastes à la recherche permanente de nouvelles barrières à abattre. En l'occurrence, des chercheurs japonais ont trouvé une nouvelle manière de déjouer les règles de la procréation. Ils ont réussi à donner naissance à des souris issues de la fécondation

d'ovules et de spermatozoïdes fabriqués à partir de... cellules de peau ! Un bouleversement conceptuel pour la biologie et une avancée spectaculaire pour la médecine reproductive qui ouvrent la perspective, pour des personnes stériles, des femmes ménopausées, voire des couples homosexuels, de concevoir un jour des enfants biologiques.

Cet horizon renversant est apparu aux biologistes en 2006, quand des cellules de peau (choisies pour leur simplicité d'extraction) ont été pour la première fois transformées en cellules souches pluripotentes. Soit des cellules capables de se transformer en toutes celles qui composent un

organisme adulte : neurones, cellules musculaires et... cellules sexuelles. Des cellules de peau pouvaient donc, théoriquement, être transformées en ovules ou spermatozoïdes !

Cet horizon semblait encore bien lointain à l'époque... Mais dix ans plus tard, il semble qu'on peut le toucher.

## "UNE RÉUSSITE MAJEURE"

La tâche n'a pas été facile. Nombre de chercheurs s'y sont essayés, et ont même affirmé ces dernières années avoir réussi. Sauf que leurs résultats n'ont pas convaincu les experts.

Jusqu'à ce qu'en octobre dernier, les équipes de Katsuhiko Hayashi et Mitinori Saitou annoncent avoir produit des ovocytes fonctionnels entièrement *in vitro*. Cette fois, la communauté scientifique est convaincue.

Concrètement, les biologistes ont d'abord transformé des





# des petits

cellules de peau de souris femelles en cellules souches pluripotentes de façon classique, en forçant l'expression de quatre gènes normalement éteints dans les cellules adultes. Ils ont ensuite plongé les cellules souches dans un savant cocktail de molécules et de cellules fœtales de souris afin d'obtenir des ovocytes (ovules non fécondés). Puis ils ont fécondé ces derniers avec des spermatozoïdes obtenus naturellement, et ont enfin implanté les embryons issus de cette fécondation dans l'utérus de souris femelles. Des petits apparemment normaux sont nés, qui ont à leur tour donné naissance à des animaux ne montrant aucun signe d'anomalie physiologique.

*"Il faudrait faire des tests plus poussés pour en être certains",* prévient toutefois Azim Surani, qui travaille sur le même thème à l'université de Cambridge (Royaume-Uni). Mais comme

d'autres experts du domaine, il reconnaît dans ces premiers résultats *"une réussite majeure"*.

Même s'ils ne sont pas parfaits, bien sûr. Seuls 3,5 % des embryons implantés se sont correctement développés et ont donné lieu à une naissance. Katsuhiko Hayashi pense pallier cette faiblesse en améliorant les conditions de culture de ses cellules, et en adoptant les méthodes de sélection des meilleurs embryons utilisées pour les fécondations *in vitro* chez l'humain.

Le chercheur et son équipe n'en sont pas à leur coup d'essai. En 2012 déjà, ils avaient donné naissance à des souris issues d'ovocytes créés artificiellement à partir de cellules de peau. Mais ils devaient alors passer par une étape de développement *in vivo*, en implantant leurs cellules souches à l'intérieur d'ovaires de souris. Un obstacle à l'utilisation de cette technique en médecine

Des scientifiques japonais ont réussi à implanter des embryons produits à partir de cellules de peau dans l'utérus de souris, donnant naissance à deux générations d'animaux apparemment sains.



## Chronologie

**2006** Des cellules souches capables de se transformer en n'importe quelles cellules du corps sont créées à partir de peau de souris.

**2007** L'exploit est répliqué avec de la peau humaine.

**2009** Les cellules souches sont transformées *in vitro* en neurones.

**2011** Des cellules souches sont transformées en cellules cardiaques.

**2016** Issues de souris, elles sont transformées *in vitro* en ovules fonctionnels.



## Un exploit de la reprogrammation cellulaire

A partir de cellules de peau de souris femelles ou mâles, deux techniques ont permis d'obtenir respectivement des ovocytes ou des spermatozoïdes.

### ... pour obtenir des spermatozoïdes

→ reproductive, car "l'implantation de cellules souches dans les ovaires de patientes risquerait de provoquer la formation de tumeurs cancéreuses, ou un rejet immunitaire", explique-t-il.

Le passage à une transformation entièrement *in vitro* est donc "une étape cruciale vers une utilisation en pratique clinique", reconnaît Anna Veiga, directrice du service de médecine reproductive à l'hôpital Quirón Dexeus (Barcelone).

Une étape qui pourrait à l'avenir être franchie avec des spermatozoïdes.

Car la quête de cellules sexuelles artificielles a aussi son versant mâle. Et là encore, c'est l'équipe de Katsuhiko Hayashi qui a ouvert la voie.

En 2011, elle a été la première à produire des spermatozoïdes à partir de cellules de peau. Mais cette transformation nécessitait elle aussi une dernière phase de maturation *in vivo*, à l'intérieur de testicules de souris: une contrainte dont les chercheurs n'ont pas encore réussi à s'affranchir.

En mars dernier, des scientifiques chinois ont annoncé avoir franchi cette nouvelle étape en développant, *in vitro*,

**2** Les cellules souches pluripotentes obtenues sont cultivées dans des cocktails de molécules et injectées dans des testicules de souris.

**1** Des cellules de peau de souris mâles sont forcées, via un virus génétiquement modifié, à exprimer 4 gènes habituellement éteints.

**1** Des cellules de peau de souris femelles sont extraites et soumises au même traitement que les mâles.

**3** Des spermatozoïdes sont obtenus, capables de féconder des ovocytes et de donner naissance à des souris fertiles a priori en bonne santé.

## Jargon

Durant le développement embryonnaire, certaines cellules se spécialisent en **cellules germinales primordiales**, puis, selon le sexe, en **spermatogonies** ou en **ovogonies**... La dernière phase de transformation, en **spermatozoïdes** et **ovocytes** fonctionnels, se déroule à la puberté.

des spermatides (avant-dernier stade de la différenciation des cellules souches en spermatozoïdes). Selon eux, ces cellules injectées dans des ovules permettent de donner naissance à des souris en bonne santé. Sauf que, depuis, plusieurs équipes ont tenté de reproduire l'expérience, sans succès. La communauté est donc sceptique quant à la validité de ces résultats.

En attendant, la recherche avance sur la réplique de ces exploits sur des cellules humaines.

En 2015, les équipes d'Azim Surani et de Jacob Hanna, de l'Institut Weizmann (Israël), ont réussi à franchir une première étape dans la production de cellules sexuelles à partir de cellules de peau humaines. Ils ont fait avancer leurs cellules



## 2 Les cellules souches pluripotentes

obtenues sont aussi cultivées *in vitro*, en présence de cellules fœtales.

## ... pour obtenir des ovocytes

# 3

**Des ovocytes** sont obtenus, capables d'être fécondés par des spermatozoïdes et de donner naissance à des souris fertiles en bonne santé.

souches vers un stade appelé "cellules germinales primordiales". Des cellules capables de former des ovules dans les ovaires, ou des spermatozoïdes dans les testicules. Mais reste encore à trouver les conditions permettant de reproduire ces transformations *in vitro*.

### DANS 20 ANS CHEZ L'HOMME ?

"Chez l'humain, la différenciation en cellules sexuelles nécessite d'agir sur un grand nombre de voies moléculaires en même temps", explique Jacob Hanna. Ce à quoi s'ajoutent des difficultés réglementaires et éthiques, à commencer par le fait qu'il n'est pas possible d'implanter, pour l'expérimentation, des cellules souches dans des ovaires ou des testicules de cobayes humains.

Saura-t-on malgré tout reproduire, un jour, l'exploit de

l'équipe de Katsuhiko Hayashi chez des humains ? *"Cela devrait être techniquement possible dans dix à vingt ans"*, parie le chercheur. Un avis partagé par plusieurs experts. Même si les risques pour les enfants devront être pratiquement nuls pour une autorisation en clinique.

Et les applications pourraient aller plus loin que l'aide à la procréation des personnes stériles. Car si les scientifiques arrivaient à produire des ovocytes à partir de cellules de peau d'homme, ou des spermatozoïdes à partir de peau de femme, aucune barrière biologique ne s'opposerait plus à ce que des couples homosexuels fassent des enfants.

Pour l'instant, ces expériences n'ont été réalisées qu'avec des ovocytes issus de cellules femelles et des spermatozoïdes issus

de cellules mâles car, en sens inverse, *"cela marche beaucoup moins bien"*, confie Katsuhiko Hayashi. Il faut dire que les cellules de peau, elles aussi, sont sexuées : elles contiennent deux chromosomes X chez les femmes, et un X et un Y chez les hommes. Résultat : *"Les ovocytes se forment plus difficilement, sans doute parce que les cellules qui leur donnent naissance ont plus de mal à se diviser, quand les deux chromosomes sexuels sont différents"*, suggère le chercheur.

La formation de spermatozoïdes nécessite quant à elle l'expression de gènes présents uniquement sur le chromosome Y, et dont l'absence dans les cellules femelles devrait être compensée *in vitro*.

Dans les deux cas, *"ce sera plus difficile"*, reconnaît Jacob Hanna. *Mais je pense qu'on sera capable de le faire"*.

Cette technique peut donc potentiellement bouleverser totalement la médecine reproductive. Mais d'autres perspectives donnent également le vertige. Car la création de cellules sexuelles à partir de cellules de peau signifie par exemple qu'avant même de naître, un fœtus serait déjà en capacité de se reproduire. Et que les humains pourraient, comme certaines plantes, s'autoféconder !

Si certains affirment qu'il existe des lois de l'attraction, il n'y aura peut-être bientôt plus de contrainte à la reproduction.



A consulter :  
les références  
des principales  
publications  
citées.

EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com









# VOITURE AUTONOME L'ALGORITHME DE LA MORT

Les véhicules conduisant à notre place sont voués à déferler. Question : en cas d'accident imminent, comment leurs logiciels réagiront-ils ? Qui sauveront-ils ? Qui écraseront-ils de préférence ? Selon quels algorithmes, écrits en amont ? **Anne Debroise** est allée poser la question aux constructeurs. Car leur choix sera aussi moral.

## Contexte

Depuis août, la France autorise sur ses routes le test de prototypes de voitures sans chauffeur – sous supervision humaine permanente. Dans le viseur : des véhicules 100 % autonomes, capables de prendre des décisions cruciales en cas de danger.



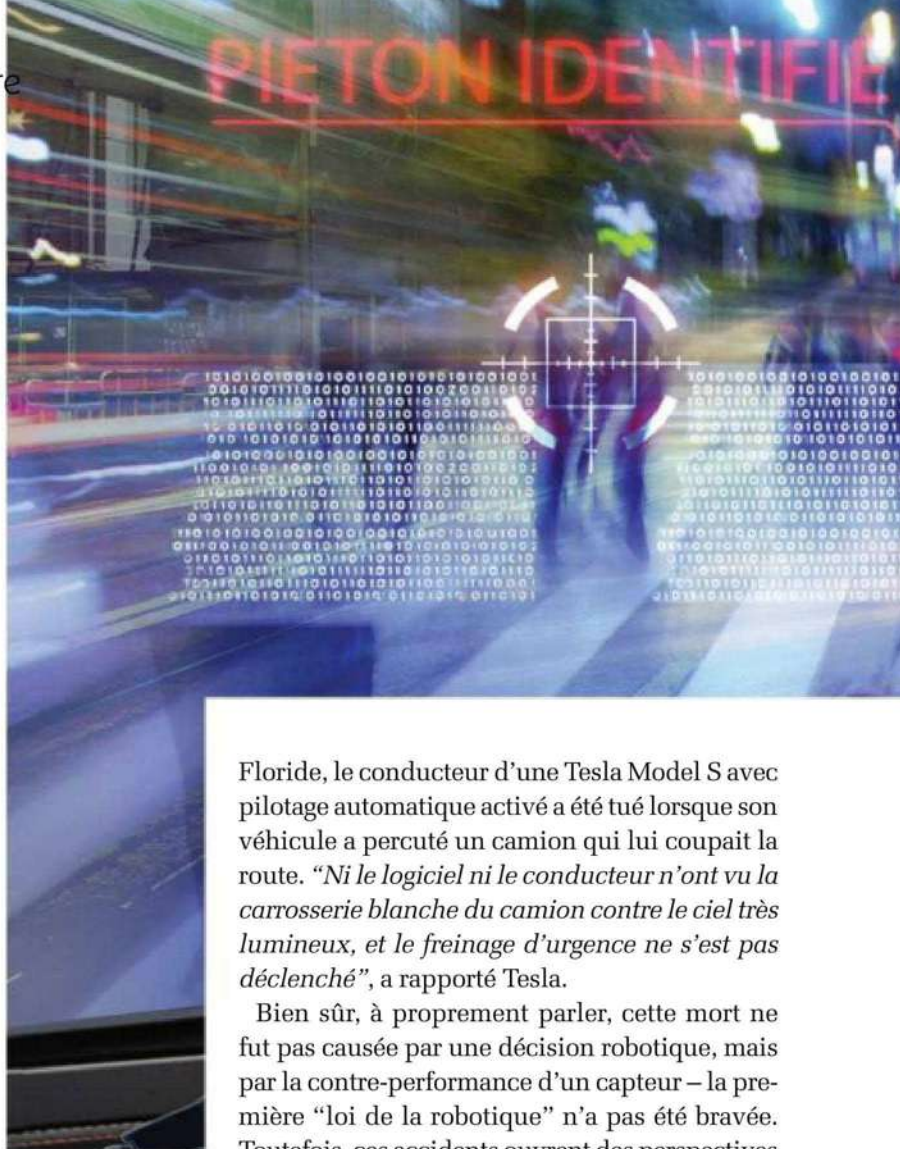
**V**ous voici en 2028. Votre voiture, un modèle sans chauffeur dernier cri, roule à 50 km/h en ville. Confortablement installé à l'avant, vous profitez du trajet pour consulter les plans de votre future maison sur l'écran qui occupe l'espace dédié autrefois au volant. Un coup de frein brutal vous fait lever les yeux, et vous vous sentez violemment projeté vers la droite. Vous allez emboutir le mur de la maison de retraite du quartier ! Avant le choc, vous prenez conscience que votre voiture s'est déportée afin d'éviter de percuter deux enfants qui s'élançaient sur la route pour rattraper leur ballon. Autrement dit, elle a pris la décision de risquer votre vie pour protéger la leur...

Dans les romans de science-fiction de l'écrivain Isaac Asimov, la première des règles auxquelles toutes les machines doivent obéir est celle-ci : "Un robot ne peut pas porter atteinte à un être humain ni, en restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger." Il y a fort à parier que le premier robot qui enfreindra explicitement cette loi sera le logiciel de conduite d'une voiture autonome. Un jour, cela semble inévitable, un de ces algorithmes, en totale conformité avec ses lignes de code, exposera un être humain à la mort. Toute la question étant de savoir qui : le passager ou le piéton ? Une personne âgée ou un enfant ? Et qui va décider ? Sur quelles bases ?

Ces questions sont encore théoriques : même si les autorités françaises autorisent depuis le 3 août leur circulation sur la voie publique (voir "Contexte"), toutes les voitures dotées d'un système de pilotage automatique doivent actuellement repasser la main au conducteur lorsque les conditions de leur bon fonctionnement ne sont plus réunies. Mais elles vont déferler très vite sur nos routes. "On en verra sans doute sur l'autoroute dès 2020, puis quelques années plus tard en zone urbaine", prévoit Vincent Abadie, maître-expert Véhicules autonomes chez PSA.

## LE "DILEMME DU TRAMWAY" REVISITÉ

Faut-il s'en étonner ? Le premier accident imputable à un pilote automatique a été annoncé au début de l'année. Le 14 février, à Mountain View (Californie), une Google Car a été heurtée par un bus alors qu'elle se déportait sur la file de gauche pour éviter un obstacle. La collision n'a pas fait de victime. Mais le premier accident mortel n'a pas tardé. Le 7 mai, sur une voie rapide de



Floride, le conducteur d'une Tesla Model S avec pilotage automatique activé a été tué lorsque son véhicule a percuté un camion qui lui coupait la route. "Ni le logiciel ni le conducteur n'ont vu la carrosserie blanche du camion contre le ciel très lumineux, et le freinage d'urgence ne s'est pas déclenché", a rapporté Tesla.

Bien sûr, à proprement parler, cette mort ne fut pas causée par une décision robotique, mais par la contre-performance d'un capteur – la première "loi de la robotique" n'a pas été bravée. Toutefois, ces accidents ouvrent des perspectives vertigineuses, que l'on peut décrire en se livrant à quelques exercices de pensée. C'est ce qu'a fait Patrick Lin, directeur du groupe Ethics + Emerging Sciences à l'université d'Etat polytechnique de Californie. Dans un livre publié en 2015 en collaboration avec la fondation Daimler-Benz, le psychologue revisite le "dilemme du tramway".

Ce dilemme moral a été décrit pour la première fois en 1967 par Philippa Foot, une philosophe britanno-américaine. Imaginez un conducteur de tramway perdant le contrôle de son véhicule. Parvenu à un embranchement, il doit choisir entre deux voies : s'il prend la première, il écrasera cinq personnes ; sur la seconde, il n'en tuera qu'une. Quelle voie choisir ? Est-il moral de décider de sacrifier une personne pour en laisser vivre cinq autres ? La question, qui interroge l'éthique dans une situation déjà moralement biaisée, est un classique de la psychologie et de la philosophie.

Patrick Lin l'a appliquée au cas des voitures sans chauffeur. Supposons que votre véhicule se retrouve face à deux piétons, une personne âgée et une petite fille, et qu'il ait le choix entre





continuer tout droit en écrasant les deux, ou donner un coup de volant et n'en renverser qu'une. Cette dernière option minimise, certes, le nombre de victimes, mais qui choisir? Celle qui a déjà eu une vie bien remplie ou le piéton le plus léger, contre qui le choc sera moins brutal?

Le psychologue a imaginé un autre dilemme, dans lequel la voiture a le choix entre percuter un cycliste portant un casque ou un cycliste roulant tête nue. Doit-elle renverser celui qui est le plus protégé, parce qu'il risque moins d'être blessé? Ou bien va-t-elle plutôt récompenser une attitude responsable et heurter celui qui roule sans casque? Et que devrait faire votre véhicule s'il se retrouvait, au détour d'un virage de montagne, face à un car scolaire arrivant en sens inverse, et que la seule solution pour éviter un accident risquant de faire énormément de victimes, qui plus est des enfants, était de se précipiter dans le vide – en vous sacrifiant? Autant de questions dignes des romans d'Asimov...

### UN VÉRITABLE ENJEU COMMERCIAL

Plus concrètement, nul doute que l'acheteur voudra en tout cas savoir quelles règles l'algorithme de sa voiture suivra au moment de prendre une décision impliquant sa vie ou celle d'autrui. Des règles qui seront forcément imposées au niveau national, voire international... mais qui restent à inventer.

Aujourd'hui, la plupart des législations interdisent d'attribuer des valeurs différentes entre les vies humaines. Les logiciels n'ont donc pas le droit de prendre en compte l'âge ou le comportement des personnes impliquées dans un accident. Et leur nombre? Interrogé sur les règles

qui s'imposeront aux pilotes automatiques, le ministère des Transports botte en touche: *"Les questions éthiques liées à la circulation de véhicules à délégation de conduite ne se posent pas pour les expérimentations telles qu'elles sont envisagées en France, en raison de la présence exigée d'un conducteur en permanence vigilant, [...] capable de reprendre à tout moment le contrôle"*, nous a-t-on précisé. La question est donc pour l'instant laissée entre les mains des psychologues et des ingénieurs.

Sachant bien sûr qu'au-delà du problème moral ou légal se cache un véritable enjeu commercial: jusqu'où les acheteurs accepteront-ils que leur voiture choisisse de les sacrifier? Fin 2015, plus de 2 000 Américains ont été interrogés par le psychologue Jean-François Bonnefon (Toulouse School of Economics) et ses collègues. Une voiture autonome en situation d'accident inévitable devait-elle percuter un groupe de piétons ou sacrifier son occupant? Résultat: plus de la moitié des sondés ont estimé que le véhicule devait opter pour le sacrifice si cela sauvait au moins deux piétons, cette proportion passant à 76 % quand dix piétons étaient épargnés. En 2012, des tests menés en réalité virtuelle par des psychologues de l'université du Michigan allaient déjà dans ce sens: 90 % des cobayes confrontés au dilemme du tramway agissaient de façon à minimiser le nombre de morts.

Voici qui rassure sur l'humanité. Sauf que *"nous avons réalisé que même s'il y a un consensus moral fort, il s'effrite dès que l'on teste les intentions d'achat"*, note la psychologue. En effet, ils ne sont plus que 26 % à dire qu'ils →



→ achèteraient un véhicule familial programmé pour le sacrifice en cas de dilemme. En résumé: d'accord pour que la voiture sacrifie ses occupants... sauf si l'occupant, c'est moi !

## UN DÉFI ÉTHIQUE QUI DEVIENT TECHNIQUE

Qu'en pensent les constructeurs qui investissent massivement dans les voitures autonomes ? Comment comptent-ils faire face au dilemme du tramway ? Tous ceux qui ont été interrogés déclarent s'y intéresser. Tels Audi ou Volvo, qui préfèrent toutefois ne pas communiquer sur le sujet. PSA reconnaît avoir une équipe de recherche sur la question et collabore avec Vedecom, un institut de recherche public-privé. Mercedes-Benz, qui semble afficher une totale transparence, a mis sur pied un comité de pilotage interdisciplinaire qui se consacre à ces aspects légaux et éthiques, organise des congrès et soutient des projets de recherche.

Sauf qu'il est difficile d'avoir plus de détails. Combien de personnes travaillent sur le sujet ? Quel budget y est consacré ? *"On ne peut pas vous le dire"*, répond-on chez Volvo ou PSA. Et quand on cherche à savoir précisément comment les algorithmes aborderont les situations de dilemme moral, la grande majorité de nos interlocuteurs évacuent la question. En arguant, notamment, que cette dernière ne se posera pas de manière aussi brutale que ce qu'envisagent les psychologues. Selon eux, cet "algorithme de la mort", qui coderait toutes les éventualités et trancherait vers la meilleure option en toute connaissance de cause, n'existera jamais.

Pourquoi ? D'abord, avancent-ils, parce que les informations nécessaires à une prise de décision sont d'ordre probabiliste. *"Le radar peut analyser le déplacement et estimer qu'il y a 50 % de chances qu'il s'agisse d'un piéton"*, décrit par exemple Guillaume Devauchelle, directeur de l'innovation et du développement scientifique chez l'équipementier Valeo. Certes. Mais la décision aura beau ne pas être prise "en toute connaissance de cause", cela ne change, au fond, rien au problème. D'une façon ou d'une autre, il faudra bien que cette décision soit prise.

Autre argument avancé : la fusion de ces données, celle qui justement tranchera sur la

présence ou non d'un piéton, n'est pas réalisée par un algorithme classique. *"Les décisions sont prises par un réseau de neurones, dont le fonctionnement copie le cerveau d'un conducteur"*, précise Michel Parent, conseiller scientifique du programme "La route automatisée" à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique. Or, ces réseaux de neurones – des réseaux de circuits électroniques ou de lignes de code qui transforment un signal d'entrée en signal de sortie – peuvent évoluer et apprendre. A la suite de l'accident mortel survenu au printemps, le logiciel de conduite de Tesla a d'ailleurs été modifié pour accorder plus de poids aux informations des radars et moins à celles provenant des caméras.

Mais, là encore, l'argument tombe à plat. Les logiciels de conduite ne seront pas programmés a priori pour choisir une "cible" plutôt qu'une autre... mais pourront tout à fait être peu à peu éduqués pour. Contrairement à ce que voudraient nous faire croire les constructeurs, disposer d'un réseau de neurones et de données probabilistes pour piloter la voiture ne les met pas à l'abri du dilemme du tramway.

Quand on revient à la charge, cela commence à agacer. *"C'est du fantasme !"*, balaie Franck Cazenave, directeur de l'innovation chez Bosch France. *"En 2020, la voiture ne sera pas capable, au niveau technique et logiciel, de faire un tel choix ! Tout en respectant le code de la route, elle mettra tout en œuvre pour éviter un choc frontal."* Même son de cloche chez PSA : *"Ce type de dilemme ressemble parfois à une construction intellectuelle. Avant toute chose, il faudrait évaluer le nombre d'accidents réellement concernés"*, renchérit Vincent Abadie. Une étude statistique, justement, serait en cours chez Volvo, selon Marcus Rothoff, directeur du programme Véhicules autonomes : *"Nous rassemblons les statistiques sur tous les types de scénario pour savoir exactement ce qui se produit et dans quelles circonstances. L'idée, c'est de comprendre comment s'adapter à des scénarios critiques réels."*

Les constructeurs esquissent ici une porte de sortie au dilemme du tramway auquel réfléchissent les philosophes depuis cinquante ans : s'organiser pour ne pas avoir à affronter ce type de choix moralement insupportable. Autrement dit, transformer le défi éthique en défi technique. *"Aujourd'hui, nos radars, nos lidars et les caméras qui équipent nos voitures ont une portée de 100 m, poursuit Franck Cazenave. Les*

## En chiffres

Aujourd'hui, l'ensemble des logiciels d'une voiture de gamme moyenne atteint des **centaines de milliers** de lignes de code. La voiture sans chauffeur, elle, en nécessitera environ **200 millions**. A titre de comparaison, le logiciel qui pilote un avion de ligne (et n'est pas confronté à un risque aussi élevé de collisions) affiche **30 millions** de lignes de code.





meilleurs capteurs offriront six secondes pour réagir à un véhicule roulant en ville à 50 km/h. En freinant aussitôt et à pleine puissance, on va soit éviter l'accident, soit réduire considérablement ses conséquences." Et il le martèle avec vigueur: "Notre objectif, c'est zéro accident imputable à une voiture sans conducteur humain."

Chez Valeo, Guillaume Devauchelle préfère parler de seuil: "Nous ciblons moins d'un accident grave pour un milliard de kilomètres parcourus. C'est le niveau de sécurité de l'aéronautique." La difficile équation que devront résoudre les véhicules autonomes sera de rester sous le seuil fixé... tout en avançant! "En ville, ils ont tendance à s'arrêter partout pour ne pas commettre d'infraction et éviter de passer trop près d'un piéton ou d'un autre véhicule, explique Vincent Abadie. Mettez une voiture autonome sur la place de l'Etoile à Paris, elle n'en sortira pas!"

Autre écueil qui menace les constructeurs en quête du "zéro accident": le prix. Car pour garantir l'infailibilité de l'électronique, la meilleure solution sera la redondance des systèmes, comme sur les avions. "Mais sur un véhicule à 15000 ou 20000 euros, le surcoût pour dupliquer tous les systèmes physiques embarqués pourrait être prohibitif", prévient Dominique Gruyer, à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.

## TOUS LES ACCIDENTS NE SERONT PAS ÉVITÉS

Impeccable d'un point de vue moral, la posture des constructeurs est-elle techniquement tenable? Les plus optimistes, comme le cabinet de conseil McKinsey, avancent que les voitures entièrement autonomes supprimeront la totalité des accidents dus à des erreurs humaines (vitesse excessive, dépassement dangereux, alcoolémie...), soit environ 90 % des accidents. D'autres, comme Michael Sivak et Brandon Schoettle, à l'Institut de recherche sur les transports de l'université du Michigan, estiment que la baisse ne sera pas aussi spectaculaire, car toutes les erreurs humaines ne disparaîtront pas. Il y aura toujours des piétons pour traverser sans crier gare... Sans compter qu'il restera 10 % d'accidents imputables à des problèmes de mécanique, d'infrastructures routières ou de météo, qui placeront l'algorithme de conduite face au fameux dilemme.

Il y aura donc inévitablement des morts... "Si le véhicule se trouve à une seconde de la



collision et circule à moins de 40 km/h, avec un vrai freinage d'urgence, il s'arrêtera sans toucher le piéton. Mais s'il dépasse 50 km/h, il y aura toujours collision", prévient ainsi Dominique Gruyer. Sauf s'il change de trajectoire... quitte à être confronté à un dilemme.

Jean-François Bonnefon persiste et signe: "Pour nous, il s'agissait au départ d'un exercice psychologique intéressant. Mais même si les situations envisagées sont improbables, vu le nombre de voitures et de kilomètres parcourus chaque jour, elles se présenteront forcément."

La voie prônée par les constructeurs pour s'affranchir des questions éthiques en faisant la preuve d'une sécurité irréprochable s'avère donc très étroite. D'autant qu'il y a fort à parier que la transition vers les voitures totalement automatisées ne se fera pas sans heurt. "En réalité, quand véhicules conventionnels et voitures autonomes vont se partager la route, la sécurité pourrait empirer", menacent les psychologues Michael Sivak et Brandon Schoettle.

Mais au fait, comment réagissent les individus face à une situation critique? Quel choix, vous et moi, faisons-nous au moment de l'accident? Eh bien, justement, nous n'en faisons pas! Tout va si vite que le cerveau d'un conducteur humain n'a pas le temps de raisonner: il freine par réflexe. Ironique renversement des choses: nous demandons aux machines de répondre à des questions que nous ne nous posons même pas. La rapidité de calcul des logiciels de conduite des voitures autonomes ouvre ni plus ni moins un nouveau champ de questionnements éthiques, inexistant jusqu'ici.

Asimov nous avait prévenus: l'avènement des robots est aussi, et peut-être avant tout, un bouleversement d'ordre moral.



A lire : les publications citées dans l'article et le livre de Patrick Lin, *Why Ethics Matters for Autonomous Cars*.

★  
EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com





### Il s'avère inférieur à son rival, le Rafale

Le Rafale Air de Dassault Aviation est entré en service en 2006, soit dix ans plus tôt que le F-35 (ici dans sa version F-35B) de Lockheed Martin. Et pourtant, force est de constater que, sur le papier, la comparaison ne tourne pas à l'avantage de l'appareil américain... dont le seul vrai atout reste la furtivité.

|  | RAFALE  | F-35  |
|--|---|---|
| <b>Rapport poussée/poids à vide</b>      | 1,52  | 1,45  |
| <b>Distance de décollage</b>             | 600 m   | 1 200 m   |
| <b>Emport</b>                            | 9 500 kg  | 8 160 kg  |
| <b>Coût par heure de vol</b>             | 15 000 €  | 42 000 \$ (38 000 €)                                  |
| <b>Rayon d'action en mission air-sol</b> | environ 900 km + 2 réservoirs de 2 000 l + 6 bombes | environ 1 000 km (sur réservoirs internes) + 2 bombes |

LOCKHEED MARTIN - DASSAULT AVIATION





# F-35

# L'avion devenu son propre ennemi

Ce devait être le chasseur ultime. Lancé il y a 20 ans, le F-35 de l'US Air Force s'avère un fiasco... à force d'innovations tous azimuts. Un échec dont **Frédéric Lert** tire les leçons.

**L**e faire-part de naissance officiel est tombé le 2 août dernier: l'US Air Force (USAF) annonçait dans un communiqué que son dernier-né, le F-35A Lightning II de Lockheed Martin, venait de décrocher son I.O.C., autrement dit sa "capacité opérationnelle initiale", un certificat attestant son possible emploi au combat.

Son accouchement fut l'un des plus douloureux de l'histoire industrielle: retards de mise au point, sophistication excessive, performances insuffisantes et, surtout, un coût astronomique. 1 500 milliards de dollars pour le développement

et la production d'un peu moins de 2 500 avions et leur emploi sur les cinquante années à venir! Dix ans après le premier vol du prototype, et alors que 175 exemplaires de série de différentes versions ont été livrés à une dizaine d'utilisateurs dans le monde, le F-35 Lightning II serait-il maintenant sur la voie du succès?

Rien de moins sûr, selon Dan Grazier, ancien officier des Marines et scrutateur attentif du programme pour le compte de l'association Pogo (Project On Government Oversight), qui étudie à la loupe les dépenses du gouvernement américain: *"Le F-35 pourrait bien ne jamais être prêt pour le combat. Malgré ce que dit l'USAF, il aurait, dans son standard actuel, immanquablement besoin du soutien d'autres avions s'il devait être engagé en opération. Son emport en armement est très limité et ses performances sont mauvaises. Dans plusieurs*

*situations, les simulations ont montré que le F-35 était même inférieur aux avions déjà en service."* Un comble.

Il est vrai que si on compare ses capacités opérationnelles à celles du Rafale de Dassault Aviation, les chiffres bruts ne lui donnent pas l'avantage (voir ci-contre). Mais ces comparaisons chiffrées sont toujours délicates à analyser et les experts préfèrent s'en remettre au terrain... qui, lui, est impitoyable.

## UN PROGRAMME QUI DÉRAPE

Le 14 janvier 2015, une simulation de combat aérien rapproché contre un F-16, qui plus est alourdi de deux réservoirs largables, a rapidement tourné à l'avantage de celui-ci. Or, c'est ce chasseur précisément que le F-35 ambitionne de remplacer, et non l'inverse! Quant à ses capacités d'appui des troupes au sol, les contempteurs du F-35 mettent au défi l'USAF d'organiser un affrontement avec la référence en la matière, l'A-10, de trente ans son aîné. *"Jusqu'à présent, l'USAF a toujours refusé parce qu'elle sait très bien que le F-35 ne tiendra jamais la comparaison en termes de puissance de feu, de résistance aux dommages*

### Chronologie

- 1995** Lancement officiel du programme Joint Strike Fighter qui deviendra le F-35.
- 2001** Lockheed Martin est officiellement sélectionné pour construire le futur avion.
- 2016** Première capacité opérationnelle pour la version F-35A de l'US Air Force.



ou d'autonomie", note Pierre Sprey, l'homme à l'origine du A-10 dans les années 1970.

Le bureau Operational Test & Evaluation (OTE) du Pentagone, créé en 1983 à l'initiative du Congrès, et qui a pour mission de fournir des évaluations indépendantes sur l'état d'avancement des grands programmes militaires, n'est pas moins sévère. "Le programme F-35 a dérapé au point de ne plus être sur la route du succès, mais au contraire de se diriger vers l'incapacité de fournir les capacités du block 3F pour lequel le Pentagone va payer près de 400 milliards de dollars [...] d'ici à 2018", écrit Michael Gilmore, à la tête de l'organisme. Le block 3F dont il est question correspond à une pleine capacité opérationnelle pour l'avion, par opposition à sa capacité initiale (c'est-à-dire embryonnaire) actuelle.

### UN MOUTON À CINQ PATTES

Pourquoi un tel ratage, non seulement de la part d'un pays à la très longue tradition aéronautique, mais aussi de Lockheed Martin, première entreprise d'armement du monde ?

Il faut, pour répondre à cette question, reprendre brièvement l'histoire du F-35. Au début des années 1990, il ne s'agit encore que d'un projet de la Darpa : l'Agence américaine en charge des technologies innovantes applicables à la défense pousse alors en faveur du développement d'un avion supersonique à décollage court et atterrissage vertical (STOVL). L'US Marines Corps saisit l'opportunité et endosse le projet : le futur avion fera un remplaçant parfait du célèbre

## Les 8 innovations qui, in fine, le pénalisent

### Un moteur puissant mais gourmand

#### Innovation

Le F135 de Pratt & Whitney est l'un des turboréacteurs militaires les plus puissants de l'histoire (190 kiloNewtons de poussée en postcombustion).

#### Problème

Le choix d'un monoréacteur rend l'appareil vulnérable en cas de défaillance. La puissance reste insuffisante par rapport au poids de l'avion (27 tonnes en charge), ce qui limite sa capacité de manœuvre en combat air-air. Sa consommation excessive réduit son endurance et exige de ravitailler souvent en vol.

### Le choix d'une version à atterrissage vertical

#### Innovation

La conception d'une version à décollage court et atterrissage vertical (STOVL) permet l'utilisation de l'avion à partir des navires d'assaut des Marines.

#### Problème

L'installation d'une soufflante de grande dimension dans le fuselage pour le vol vertical a influencé en profondeur le dessin et les performances des deux autres versions "classiques" de l'appareil.

### Un casque trop complexe et encombrant

#### Innovation

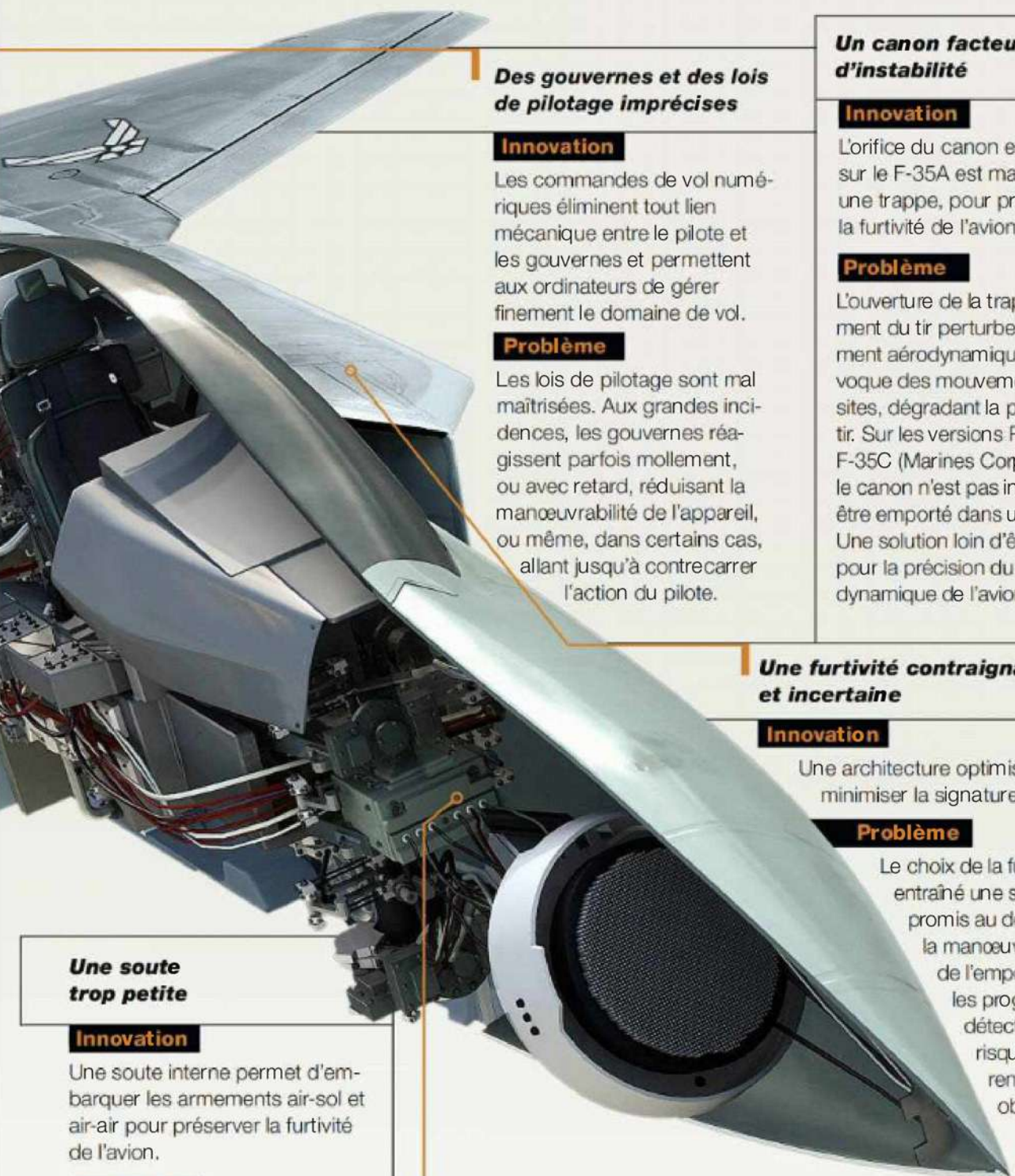
La visualisation tête haute et les jumelles de vision nocturne sont remplacées par un affichage sur la visière extérieure du casque : le pilote garde en permanence les informations face à lui, même en tournant la tête.

#### Problème

Une qualité d'affichage insuffisante et une visée pas assez précise pour le tir au canon. Son encombrement gêne les mouvements de tête en combat air-air.







### **Des gouvernes et des lois de pilotage imprécises**

#### **Innovation**

Les commandes de vol numériques éliminent tout lien mécanique entre le pilote et les gouvernes et permettent aux ordinateurs de gérer finement le domaine de vol.

#### **Problème**

Les lois de pilotage sont mal maîtrisées. Aux grandes incidences, les gouvernes réagissent parfois mollement, ou avec retard, réduisant la manœuvrabilité de l'appareil, ou même, dans certains cas, allant jusqu'à contrecarrer l'action du pilote.

### **Un canon facteur d'instabilité**

#### **Innovation**

L'orifice du canon embarqué sur le F-35A est masqué par une trappe, pour préserver la furtivité de l'avion.

#### **Problème**

L'ouverture de la trappe au moment du tir perturbe l'écoulement aérodynamique et provoque des mouvements parasites, dégradant la précision de tir. Sur les versions F-35B et F-35C (Marines Corps et Navy), le canon n'est pas intégré et doit être emporté dans une nacelle. Une solution loin d'être idéale pour la précision du tir et l'aérodynamique de l'avion.

### **Une furtivité contraignante et incertaine**

#### **Innovation**

Une architecture optimisée pour minimiser la signature radar.

#### **Problème**

Le choix de la furtivité a entraîné une série de compromis au détriment de la manœuvrabilité ou de l'emport. Alors que les progrès en détection radar risquent de la rendre à terme obsolète.

### **Une soute trop petite**

#### **Innovation**

Une soute interne permet d'embarquer les armements air-sol et air-air pour préserver la furtivité de l'avion.

#### **Problème**

Sa petite taille ne permet d'emporter que deux bombes de 250 kg et deux missiles air-air à guidage radar. Augmenter sa capacité ou opter pour des missiles à guidage infrarouge exigerait d'utiliser des pylônes sous la voilure, réduisant à néant la furtivité de l'appareil.

### **La puissance mal maîtrisée des logiciels embarqués**

#### **Innovation**

Les capteurs profitent de nouvelles performances et la gestion et la maintenance des systèmes embarqués est meilleure.

#### **Problème**

La complexité des logiciels ralentit le développement de l'appareil, renchérit le coût et augmente sa vulnérabilité face aux bugs. Il faut installer des équipements et des réseaux sécurisés sur les bases, ce qui alourdit encore la logistique.



→ Harrier. Plusieurs bureaux d'études approchés bottent pourtant en touche: concilier architecture STOVL et vitesse supersonique revient à dessiner un mouton à cinq pattes. Lockheed Martin, lui, saute sur l'occasion.

Pendant sept ans, avant même le lancement officiel du programme, l'avionneur reçoit des crédits "black": des millions de dollars anonymes réservés aux

recherche et, notamment, à tuer dans l'œuf la concurrence européenne. Le Pentagone flaire la martingale et s'empresse de lancer un programme reprenant toutes les bonnes idées de l'avionneur. Une compétition au rabais est organisée en 2001, que Lockheed Martin remporte facilement face à Boeing, mettant la main au passage sur le premier budget d'équipement du Pentagone.

## La fuite en avant industrielle

**La production en série du F-35 pose d'épineuses questions. En comptant les exemplaires déjà construits et les 180 livrés à l'armée américaine en 2017 et 2018, "cela fera 375 appareils qui ne pourront pas être engagés au combat, puisqu'ils ne seront pas pleinement opérationnels", souligne Dan Grazier, de l'association indépendante Pogo. Les responsables du programme plaident pourtant pour une commande supplémentaire de 465 avions, au prétexte qu'acheter en lot fera faire des économies. "Augmenter la production alors que le développement est loin d'être terminé est une folie, considère Dan Grazier. Cela revient à produire des avions non matures, qui exigeront de coûteuses remises à niveau avant de pouvoir être utilisés en opération." La Cour des comptes américaine estime que la seule adaptation des appareils déjà produits coûtera 1,7 milliard de dollars.**

recherches secrètes. Pour verrouiller son emprise sur le projet, Lockheed Martin a l'idée de donner à l'avion des caractéristiques furtives. "Brillant!", pense le Pentagone. Puis le constructeur propose d'en faire un avion universel, capable, dans ses différentes versions, de satisfaire les Marines (décollage court et atterrissage vertical), la Navy (version catapultable depuis un porte-avions) et l'Air Force.

Cerise sur le gâteau, Lockheed Martin se fait fort d'associer de nombreux pays à son développement. Une stratégie qui vise à assécher leurs crédits de

Ainsi naît ce F-35 d'une complexité redoutable. "C'est la synthèse monstrueuse de trop nombreuses exigences contradictoires", assène Pierre Sprey. Gouvernes, canon, soute, moteur... toutes les innovations souffrent d'une inflation technologique hors de contrôle.

La saga du casque GEN 3, dont la mise au point continue de poser des problèmes à son maître d'œuvre Rockwell Collins, est à ce titre édifiante. Sur le F-35, la visière du pilote sert à la fois de viseur et d'écran d'affichage des données fournies par les capteurs et des informations nécessaires au pilotage. La fusion

d'autant d'informations sur le casque est une première mondiale. Les images prises par les caméras installées sur l'avion permettent même au pilote de voir "à travers" le fuselage. Le prix de ce petit bijou? Au moins 400 000 dollars l'unité.

### PERSONNE N'A OSÉ DIRE "NON"

*"Ce casque est, à première vue, une bonne idée, note Dan Grazier. Mais en y réfléchissant, on s'aperçoit qu'il s'agit d'un équipement d'une très grande complexité dont le développement vise à résoudre des problèmes qui l'ont déjà été de façon plus simple et bien moins coûteuse par l'affichage tête haute!". C'est-à-dire avec un écran transparent placé devant le pilote qui affiche par réflexion optique les informations essentielles au pilotage et à la visée.*

La saga du casque GEN 3 est le symptôme de maux plus profonds: un manque de cohérence et de discipline dans l'expression des besoins conjugué à la liberté trop large accordée aux équipementiers et à Lockheed Martin. "Personne n'a eu le courage de dire 'non' aux ingénieurs. Le Pentagone est allé trop loin en cherchant à construire un avion offrant des capacités des années 2030 avec la technologie des années 1990, estime Dan Grazier. Il aurait été plus sensé de faire des avions plus simples, répondant différemment aux besoins des trois armées, en utilisant une technologie pouvant être modernisée dans le temps."

Le F-35 est déjà un cas d'école: porteur d'exigences contradictoires auxquelles répondent des technologies non matures, il illustre à merveille comment la surenchère technologique peut mener à une impasse...



A consulter: le site de Lockheed Martin ainsi que les rapports cités dans l'article, tel celui du Project On Government Oversight.



**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com



# DÉCOUVREZ LA NOUVELLE CROISIÈRE

ORGANISÉE PAR

## SCIENCE & VIE

# La croisière des Grands Bâtisseurs



**NOUVEAU  
EN 2017**

CROISIÈRE À BORD  
DU MSC FANTASIA

À PARTIR DE

**1519€**

(8 jours/7 nuits)

VOL AU DÉPART DE PARIS, CROISIÈRE,  
FRAIS DE SERVICE ET BOISSONS  
INCLUS AUX REPAS

DU 11 AU 18 FÉVRIER 2017

DUBAÏ ET LE SULTANAT D'OMAN

DUBAI

MASCATE

ABU DHABI

KHOR FAKKAN

SIR BANI YAS

Abu Dhabi,  
cité du III<sup>e</sup> millénaire

## PASSÉ, PRÉSENT, FUTUR

### UN PONT ENTRE LES ÂGES ET LES CIVILISATIONS

LES  
**POINTS FORTS**  
de cette croisière  
SCIENCE & VIE

#### • UN ITINÉRAIRE ÉPOUSTOUFLANT

Entre dunes, mer turquoise et édifices qui tutoient le ciel et palaces historiques du temps des caravanes !

#### • DES CONFÉRENCES PASSIONNANTES



#### LES BÂTISSEURS

L'évolution des savoirs,  
des techniques et  
des outils au travers des  
âges et des civilisations.



#### L'ARCHITECTURE

Les prouesses et les  
défis des ingénieurs  
et l'audace  
des entrepreneurs !



#### LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

Le traitement de l'eau,  
l'agriculture en zone désertique,  
le refroidissement de l'air.  
Innover et préserver...

**DEMANDEZ-VITE VOTRE DOCUMENTATION DÉTAILLÉE POUR PROFITER DE CETTE CROISIÈRE UNIQUE AVEC SCIENCE & VIE !**

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

Téléchargez la brochure complète sur

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

OU ÉCRIVEZ-NOUS EN RENVOYANT LE COUPON CI-DESSOUS.

INFORMATIONS & RÉSERVATIONS

**01 41 33 59 80**

DU LUNDI AU SAMEDI DE 9 H À 18 H

COMPLÉTEZ, DÉCOUPEZ ET ENVOYEZ CE COUPON À SCIENCE&VIE CROISIÈRE DES GRANDS BÂTISSEURS - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

☐ OUI, je souhaite recevoir GRATUITEMENT et SANS ENGAGEMENT la documentation complète de cette croisière proposée par Science&Vie.

NOM : \_\_\_\_\_ PRÉNOM : \_\_\_\_\_

ADRESSE : \_\_\_\_\_

CODE POSTAL : \_\_\_\_\_ VILLE : \_\_\_\_\_

TÉL. : \_\_\_\_\_ EMAIL : \_\_\_\_\_

☐ OUI JE SOUHAITE BÉNÉFICIER DES OFFRES DE SCIENCE&VIE ET DE SES PARTENAIRES.

AVEZ-VOUS DÉJÀ EFFECTUÉ UNE CROISIÈRE (MARITIME OU FLUVIALE) ☐ OUI ☐ NON

CONFORMÉMENT À LA LOI "INFORMATIQUE ET LIBERTÉ" DU 6 JANVIER 1978, NOUS VOUS INFORMONS QUE LES RENSEIGNEMENTS CI-DESSUS SONT INDISPENSABLES AU TRAITEMENT DE VOTRE COMMANDE ET QUE VOUS DISEZ D'UN DROIT D'ACCÈS, DE MODIFICATION, DE RECTIFICATION ET DE SUPPRESSION DE CES DONNÉES PAR SIMPLE COURRIER. CRÉDITS PHOTOS : MSC CROISIÈRES ET ISTOCK. CETTE CROISIÈRE EST ORGANISÉE EN PARTENARIAT AVEC MSC CROISIÈRES. SCIENCE&VIE EST UNE PUBLICATION DU GROUPE MONDADORI FRANCE, SIÈGE SOCIAL : 8 RUE FRANÇOIS DRY - 92543 MONTROUGE CEDEX.



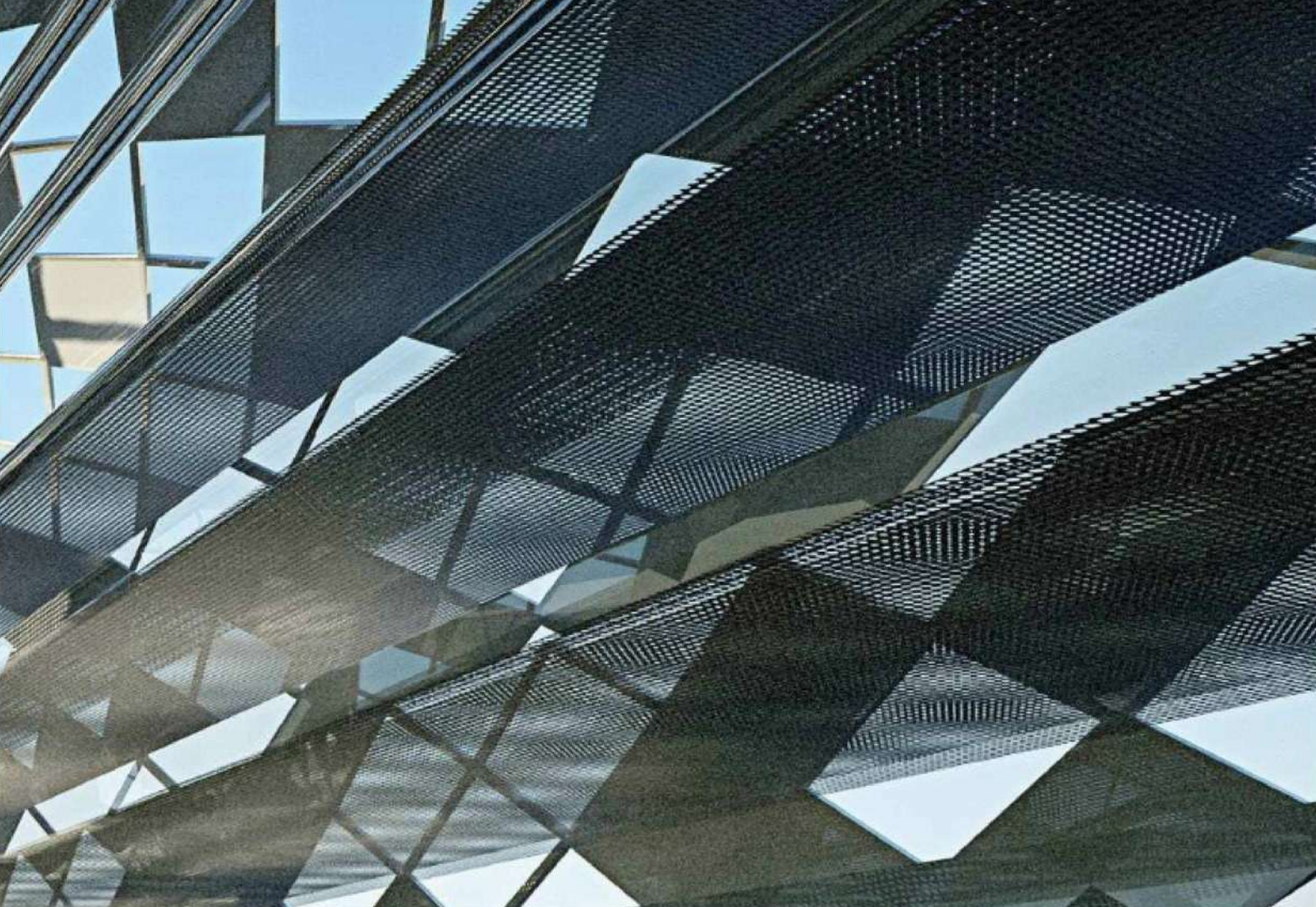
CM17SV1P



> V Recouvert de panneaux solaires, The Pipe filtrera plus de 4 milliards de litres d'eau de mer par an pour alimenter en eau potable la ville de Santa Monica.







SANTA MONICA (ÉTATS-UNIS)

# Une usine solaire pour dessaliniser l'eau de mer va voir le jour

Ce drôle de tube de 430 m de longueur et 50 m de hauteur qui flotte dans la baie de Santa Monica n'est pas une œuvre d'art, mais... une usine de dessalinisation de l'eau de mer. Son principe ? Recouvert de panneaux solaires, The Pipe, c'est son nom, pompe l'eau de mer et la filtre par électromagnétisme – un procédé deux fois moins énergivore que la technique d'osmose inverse

habituellement utilisée. Elle produirait 4,5 milliards de litres d'eau potable par an, qui alimenteraient directement la ville par des tuyaux. Cette structure, également destinée à abriter plusieurs piscines d'eau de mer, produirait en complément de l'eau peu salée (12 % de sel) pour alimenter ses bains thermaux. Imaginé au départ dans le cadre d'un concours international d'idées (Land Art Generator

Initiative) pour être implanté en Californie, pays fortement touché par la sécheresse, le projet est, selon ses concepteurs, le cabinet canadien Khalili Engineers, tout à fait réalisable techniquement. *“Si tout va bien, nous devrions pouvoir construire une mini-usine pilote d'ici mi-2017, et débiter les tests d'abord chez nous à Vancouver”*, espère Aziz Khalili, à la tête du cabinet.

L.B.

LAGI SUBMISSION 2016/A. KHALILI/P. KALIL/L. JAVAHERI / I. KHALILI/K. KANY





JAPON

## La toile d'araignée inspire un siège auto anti-mal de dos

Le japonais Lexus a, au dernier Mondial de l'auto, à Paris, présenté le Seat Kinetic, un concept de siège auto dont la structure, en matériau écologique, s'inspire de la toile d'araignée. "Une soie d'araignée synthétique" assez flexible pour épouser les contours du corps, répartir son poids et "rendre la position assise plus confortable plus longtemps", explique Lexus. Ses concepteurs promettent une meilleure stabilité de la tête, un maintien optimal et l'allègement du véhicule, mais "il est encore trop tôt pour parler d'application concrète".

E.T.-A.



VIRGINIE (ÉTATS-UNIS)

## Premiers tests pour l'avion propre et silencieux de Boeing

Boeing planche depuis vingt ans sur son concept baptisé Blended Wing Body (BW): un avion unique et révolutionnaire qui renonce au fuselage et à la forme classique des deux ailes au profit d'une seule grande aile faisant bloc avec le corps de l'appareil. Son principal intérêt, selon l'avionneur: une plus faible consommation de carburant, de plus faibles émissions de CO<sub>2</sub> et des niveaux sonores moins importants. A l'aide d'une maquette à l'échelle 1/6 d'une envergure d'un peu moins de 4 m, Boeing a ainsi pu tester, en septembre dernier, l'aérodynamisme et la stabilité du BWB à faible vitesse dans la soufflerie du centre de recherche de la Nasa, à Langley, en Virginie. Mais de nombreuses études restent encore à mener, l'avion ne verra pas le jour avant dix ans, estime Boeing. Prochaine étape: un démonstrateur habité.

E.T.-A.



# Un biomatériau à base de champignons s'apprête à remplacer le polystyrène

Se servir des champignons pour créer un matériau léger, proche du polystyrène, mais 100 % biodégradable, voici l'idée de l'entreprise new-yorkaise Ecovative. Elle fait littéralement pousser son matériau, baptisé Myco Foam, dans un moule où sont placés des déchets agricoles et du mycélium. Les filaments blancs de ce dernier, sortes de racines des champignons, se nourrissent de la matière organique pour donner naissance, en cinq jours, à un bloc solide de la forme voulue... qui aura l'avantage de se décomposer en quelques semaines dans la nature. Dell et Ikéa sont déjà intéressés par ce "bio-polystyrène" pour emballer leurs produits. **L.B.**



## ***Idee nouvelle***

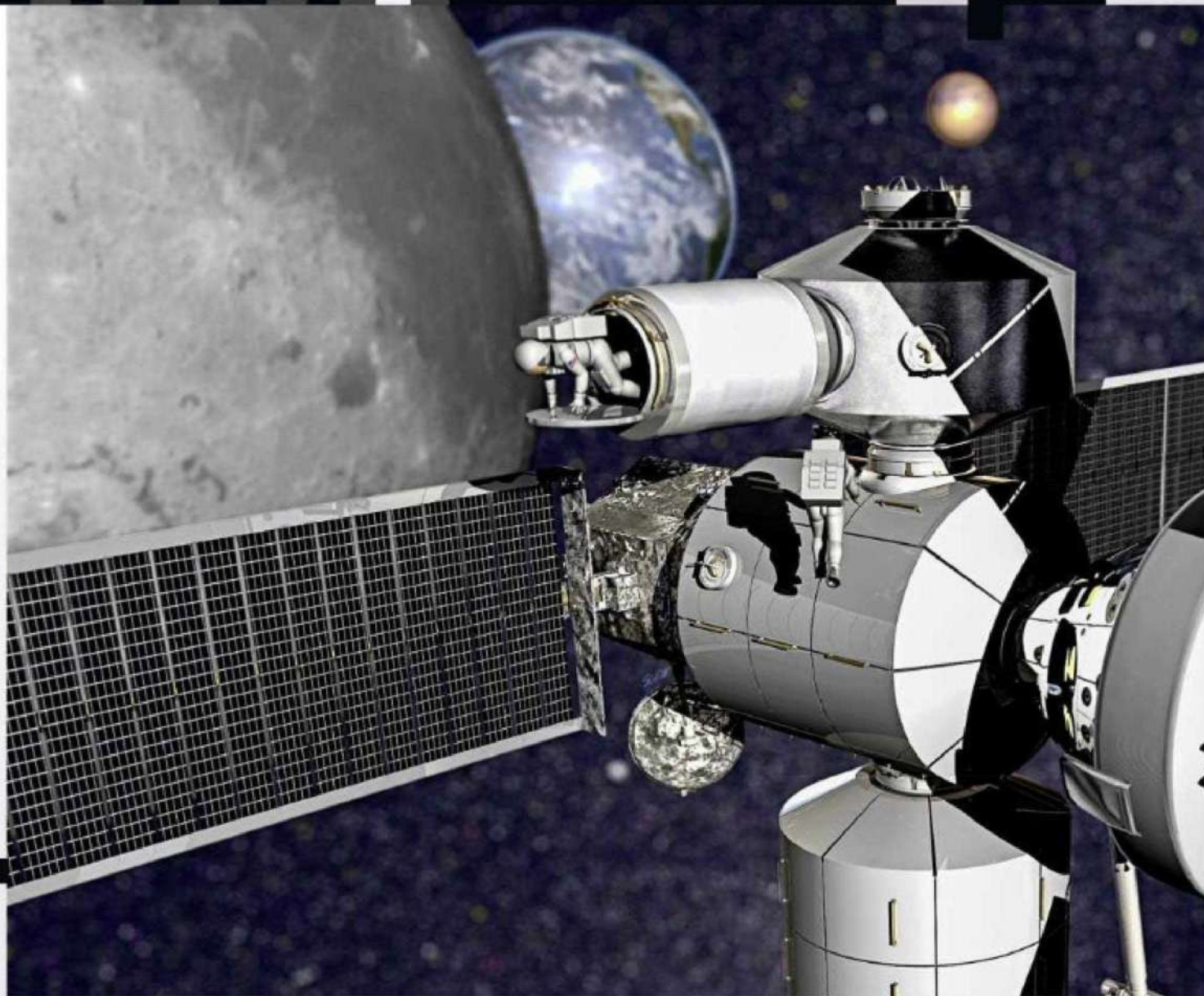


### **"CRÉER DES FERMES FLOTTANTES OFF-SHORE AVEC DES ÉOLIENNES CERFS-VOLANTS"**

*Rogelio Lozano, cofondateur de Bladetips Energy*

Un cerf-volant qui fait le Yo-Yo en altitude. Voici l'éolienne originale imaginée par Rogelio Lozano et Thibault Cherqui, chercheurs au CNRS et cofondateurs de Bladetips Energy. Leur idée : s'affranchir du mât des éoliennes, qui ne participe pas à la production d'électricité et génère d'importants coûts de fabrication, et le remplacer par un câble maintenu en traction par trois pales. Chaque fois que le câble se dévide, c'est la traction qu'il exerce sur sa base – et non la rotation des pales – qui est transformée en électricité par un moteur-générateur. Pour minimiser les déperditions d'énergie lors du rembobinage du câble, l'angle des pales est modifié afin de limiter la prise au vent et faire redescendre le cerf-volant. Sur les pales, des petits rotors permettent le décollage et prennent le relais en cas d'absence de vent. "Un prototype d'une puissance de 2 mégawatts pour 80 m de diamètre sera disponible en 2020. Nos éoliennes permettront le déploiement de fermes flottantes off-shore dans des endroits aujourd'hui inaccessibles", espère Rogelio Lozano. **A.P.**





## NORMANDIE

### Des éco-pavés en coquillages vont être utilisés en centre-ville

Fini le béton traditionnel à base de gravier et de bitume ? Pour en faire un matériau plus vertueux, des ingénieurs de l'Ecole supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction (ESITC) de Caen ont légèrement changé la recette : ils ont remplacé près de 50 % des granulats par des déchets de coquilles Saint-Jacques issus d'activités locales et concassés. Ils obtiennent ainsi des éco-pavés poreux qui ont l'avantage de laisser s'infiltrer l'eau de pluie dans le sol.

Destinés à des zones de faible trafic (trottoirs, rues piétonnes), ces pavés sont éprouvés depuis des mois sur le parking de l'ESITC. Intéressées, les villes de Caen et Cancale débuteront les tests d'ici peu. **L.B.**

## SALT LAKE CITY (ÉTATS-UNIS)

### Projet d'un 30 tonnes zéro émission de CO<sub>2</sub>

Imaginez un poids lourd de 1000 ch tractant 30 tonnes, plus puissant que n'importe quel engin actuel, et qui ne rejetterait que de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. C'est le Nikola One : alimenté grâce à une pile à combustible à hydrogène de 800 V, il annonce une autonomie d'un peu moins de... 2000 km ! Son concepteur, l'américain Nikola Motor Company, prévoit de déployer une cinquantaine de points de recharge en hydrogène à l'horizon 2020 en Amérique du Nord. Des stations couplées à un réseau de fermes solaires qui créeront de l'hydrogène à partir de l'eau. **E.T.-A.**

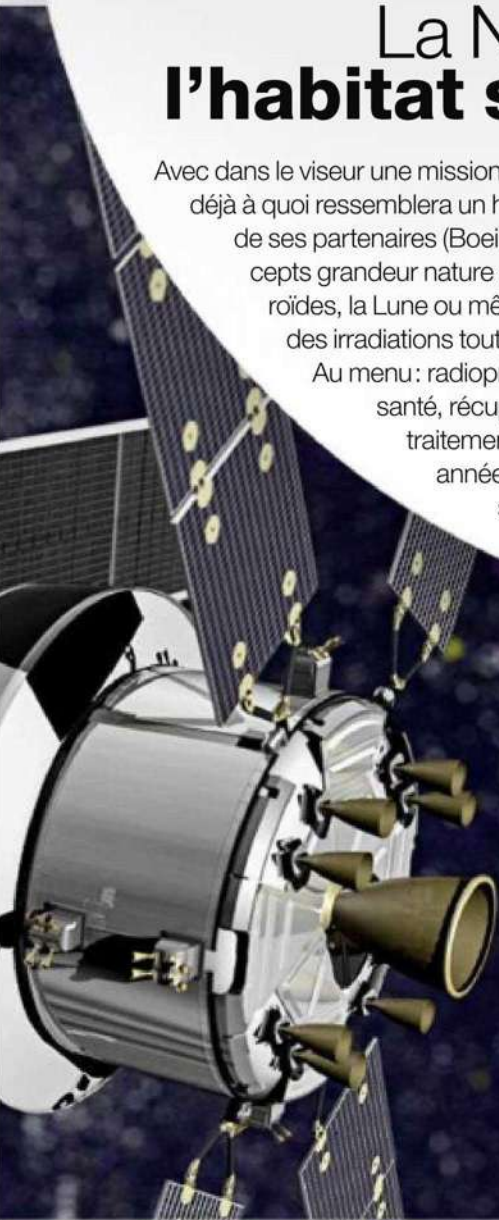


ÉTATS-UNIS

# La Nasa prépare déjà l'habitat spatial du futur

Avec dans le viseur une mission sur Mars dans les années 2030, la Nasa réfléchit déjà à quoi ressemblera un habitat dans l'espace. Elle vient de dévoiler le nom de ses partenaires (Boeing, Lockheed Martin...) pour développer les concepts grandeur nature de modules destinés à être installés sur des astéroïdes, la Lune ou même sur Mars. Ils devront protéger les astronautes des irradiations tout en leur permettant d'effectuer leurs expériences.

Au menu: radioprotection, équipements de sécurité incendie et de santé, récupération d'eau, stockage des aliments, collecte et traitement des déchets... Sachant qu'un peu plus de trois années seront nécessaires à un équipage de 4 à 6 personnes pour effectuer un aller-retour sur Mars. La première tranche de travaux devrait durer au moins cinq ans. **E.T.-A.**



Rendez-vous en...  
**2020**

## LES EUROPÉENS SERONT PARMI LES PREMIERS À BÉNÉFICIER DE LA 5 G

Le président de la Commission européenne, Jean-Claude Juncker, a présenté mi-septembre un ambitieux projet de déploiement de la 5 G en Europe. Il a annoncé que cette technologie, qui promet des débits de plusieurs gigabits, voire un téraoctet par seconde – soit jusqu'à 100 fois plus vite que la 4 G –, devrait être commercialement disponible dès 2020. *"Au moins une grande ville de chaque pays de l'Union"* devrait, à cette date, en bénéficier, a-t-il annoncé. L'organisation des premiers essais est prévue pour 2018... même si, en France, Orange prévoyait jusqu'ici de ne déployer la 5 G qu'à partir de 2025 ! L'Europe intégrerait ainsi le peloton de tête mondial avec la Corée du Sud, qui a annoncé vouloir implanter les premières installations pour les jeux Olympiques de 2018, à Pyeongchang. Et le Japon qui, lui, la veut dès 2020 pour les Jeux de Tokyo.

Le calendrier sera toutefois difficile à tenir : les bandes de fréquences attribuées à la 5 G ne devraient être spécifiées par la Conférence mondiale des radiocommunications qu'en 2019, le déploiement étant prévu, lui, à partir de 2020. La Commission européenne met donc un gros coup de pression sur les opérateurs, qui n'auront pas beaucoup de temps pour préparer leurs offres. **E.T.-A.**

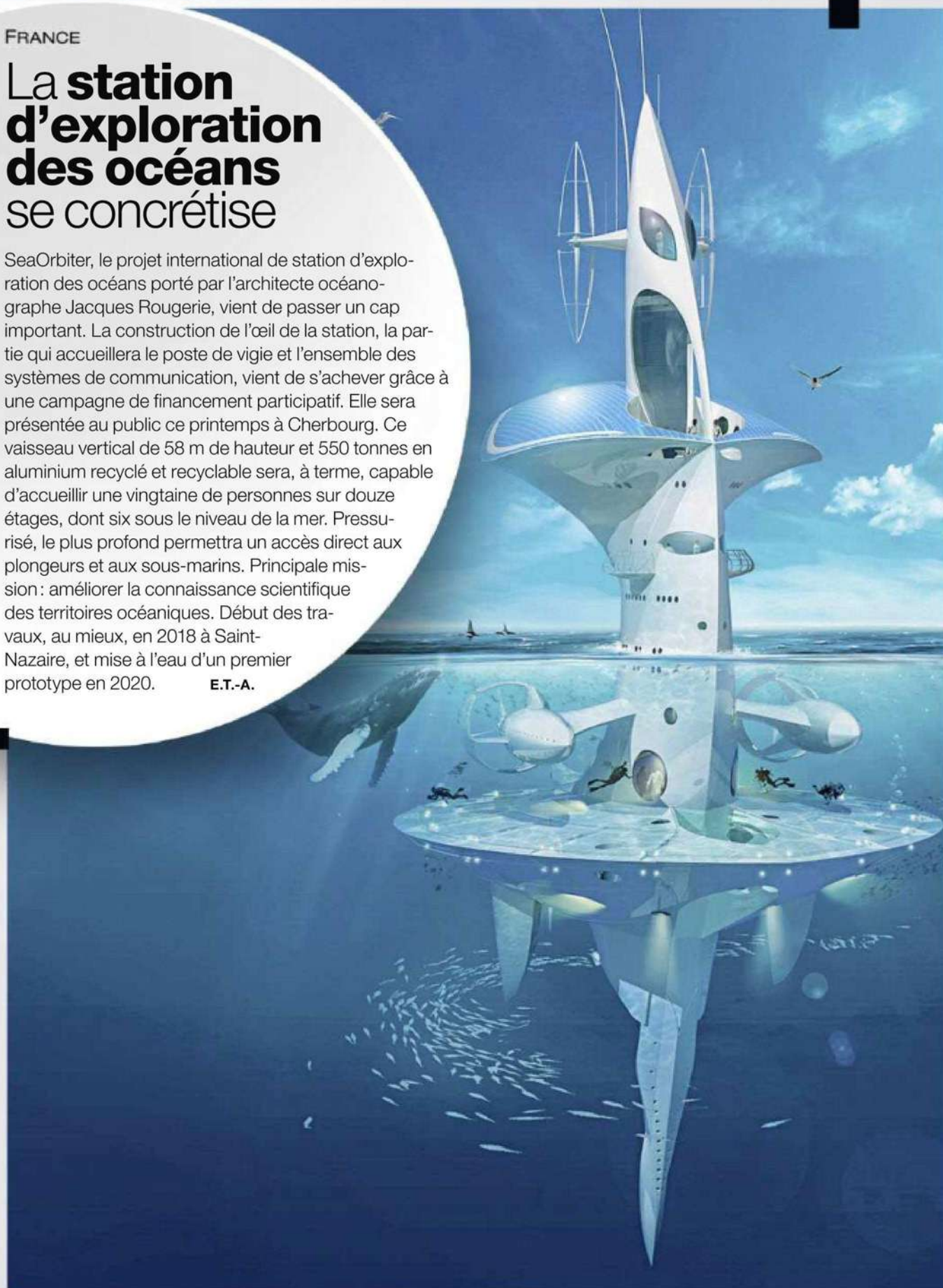


FRANCE

# La station d'exploration des océans se concrétise

SeaOrbiter, le projet international de station d'exploration des océans porté par l'architecte océanographe Jacques Rougerie, vient de passer un cap important. La construction de l'œil de la station, la partie qui accueillera le poste de vigie et l'ensemble des systèmes de communication, vient de s'achever grâce à une campagne de financement participatif. Elle sera présentée au public ce printemps à Cherbourg. Ce vaisseau vertical de 58 m de hauteur et 550 tonnes en aluminium recyclé et recyclable sera, à terme, capable d'accueillir une vingtaine de personnes sur douze étages, dont six sous le niveau de la mer. Pressurisé, le plus profond permettra un accès direct aux plongeurs et aux sous-marins. Principale mission : améliorer la connaissance scientifique des territoires océaniques. Début des travaux, au mieux, en 2018 à Saint-Nazaire, et mise à l'eau d'un premier prototype en 2020.

E.T.-A.





# LA SCIENCE & LA VIE

106

Paris en ligne, jeux vidéo...

## Les drogues numériques sont bien réelles



116

Technofolies

### Un mini-robot pour... tâter de la robotique

126

Questions/Réponses

### D'autres animaux que l'humain peuvent-ils avoir mal à la tête?



**Science & société**

106

#### Paris en ligne, jeux vidéo...

Les drogues numériques sont bien réelles

#### Vaccination en France

Son rejet traduit un rejet plus général

#### Huiles essentielles

Elles ne sont pas sans risques...

#### Santé publique

Près de la moitié des Français sont en surpoids

**Science & vie pratique**

114

#### Bon à savoir

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

#### Technofolies

Un mini-robot pour... tâter de la robotique; les baskets qui affichent des animations; le drone vraiment passe-partout; la caméra qui produit des films en réalité virtuelle; un vrai potager à installer dans sa cuisine...

**Science & culture**

122

#### Questions/Réponses

D'autres animaux que l'humain peuvent-ils avoir mal à la tête? Les galaxies tournent-elles à l'identique?...

#### A voir/A lire

Huit beaux livres de science à offrir pour les Fêtes

#### Il y a... 350 ans

Et Colbert fonda l'Académie des sciences



Paris en ligne,  
jeux vidéo...

# Les drogues numériques sont bien réelles

"Addict" à Betclic, accro à *Candy Crush* ou *World of Warcraft*, dépendant de Facebook... C'est devenu un lieu commun que de comparer les consommateurs excessifs de paris en ligne, de jeux vidéo ou de réseaux sociaux à des drogués. Bien qu'il existe une différence entre utilisateur excessif et réel addict, il n'empêche: les scientifiques s'accordent aujourd'hui pour dire que les addictions sans substance existent bel et bien. Et que, tout comme la consommation de drogues, une utilisation abusive des

outils numériques provoque parfois des comportements témoignant d'une dépendance.

Dès 2013, l'addiction aux paris en ligne et aux jeux d'argent est officiellement reconnue par le milieu médical, au même titre que l'addiction au tabac ou à l'alcool – le cas des réseaux sociaux est encore discuté (voir encadré p. 108).

David Le Breton, sociologue à l'université de Strasbourg, atteste qu'il y a "un fond commun entre toutes les addictions", avec ou sans substance: "Elles permettent de remplacer le monde réel qui nous échappe par un monde que l'on contrôle."

## COMBINAISON DE FACTEURS

Pierre Taquet, docteur en psychologie au Groupe hospitalier Seclin Carvin (Hauts-de-France) et chercheur au CHRU de Lille,

le confirme: "On se base sur nos modèles d'addictions avec substance pour développer les modèles d'addictions sans substance. Dans tous les cas, nous avons une approche biopsychosociale, car les addictions naissent d'un combiné de trois facteurs: une personne avec ses protections et ses vulnérabilités, un environnement propice et un objet addictogène. Les personnes impulsives ayant des troubles du contrôle, par exemple, sont plus à même de devenir addicts aux jeux d'argent."

L'environnement socio-culturel joue, lui aussi, un rôle important. La pression sociale imposée par l'entourage (qui ne s'est jamais senti obligé de répondre rapidement à un SMS ou à un message Facebook pour éviter de froisser l'autre?) et l'accès, plus ou moins direct, aux objets addictogènes influent sur la propension d'une personne à développer une addiction ou non. "Et les objets ne sont pas tous addictogènes au même niveau, affirme Pierre Taquet. Les jeux vidéo le sont notamment plus

## LE RAPPEL DES FAITS

**Mai 2010:** l'Assemblée nationale et le Sénat autorisent les jeux d'argent et de hasard en ligne. **2013:** l'American Psychiatric Association les classe comme addictifs. **Octobre 2016:** la Cour des comptes appelle à une refonte de la politique des jeux en ligne.



### Le boom des paris sportifs en ligne

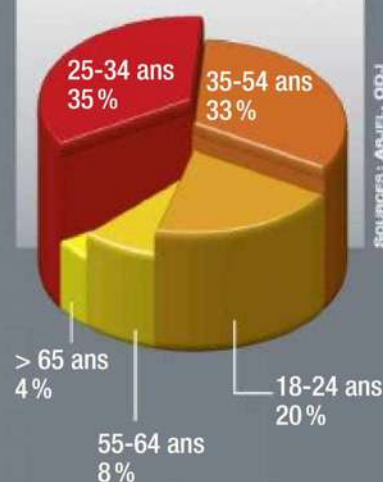
Depuis leur autorisation en 2010, les paris sportifs en ligne génèrent des mises qui ont quasiment triplé (1,44 milliard d'euros en 2015 contre 448 millions d'euros en 2010).

# 31%

des joueurs de poker en ligne sont considérés comme problématiques par l'Observatoire des jeux.

### Pas seulement les jeunes

Parieurs sportifs et joueurs de cartes en ligne sont issus de toutes les catégories d'âge.



SOURCES : ANJEL, ODJ

en ligne que hors ligne, tout comme le tabac l'est plus que le café."

Même au niveau neurologique, les mécanismes sont similaires. "C'est le circuit classique du système de récompense qui entre en jeu", précise le psychologue. L'aire tegmentale ventrale (ATV), au centre de ce système, décode les informations concernant le niveau de satisfaction des besoins fondamentaux (alimentation, contact social, etc.). Ces informations sont ensuite traitées par le striatum et le noyau accumbens : les

actions jugées intéressantes sont identifiées, et la dopamine, ou "molécule du plaisir", est libérée, ce qui nous incite à réitérer ces actions, via une prise de décision impliquée par le cortex préfrontal. Lorsqu'une addiction se développe,

cette prise de décision est biaisée. L'objet ou la substance addictogène joue le rôle de récompense, à la manière des besoins fondamentaux, et l'ATV décuple la quantité de dopamine libérée. Ce processus peut s'accompagner d'une

altération du contrôle des impulsions qu'est censé assurer le cortex préfrontal. Ce qui mène à la répétition mécanique de la consommation.

L'addiction a beau se jouer dans le cerveau, ce n'est pas par IRM que l'on



PIERRE TAQUET

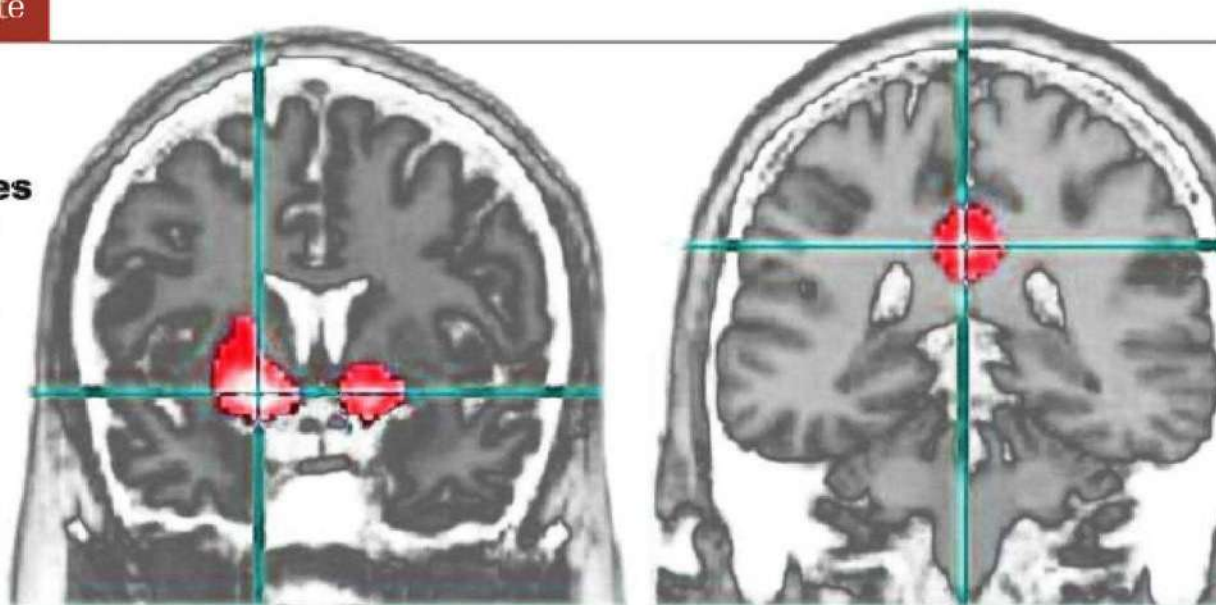
Docteur en psychologie au Groupe hospitalier Seclin Carvin

**Chez une personne suicidaire, l'addiction au jeu ou au pari peut déclencher le passage à l'acte !**



## Toutes les addictions activent les mêmes zones neuronales

Quand on gagne de l'argent en jouant en ligne, les zones du cerveau qui s'activent (en rouge) sont les mêmes que lorsqu'on consomme une drogue. C'est ce que les neurologues appellent le système cérébral de récompense.



→ peut la dépister. “Que ce soit avec ou sans substance, une addiction se définit généralement lorsqu’une personne voudrait réduire sa consommation sans y parvenir, légitimant une intervention thérapeutique”, explique Marc Valleur, psychiatre addictologue à l’hôpital Marmottan, à Paris. La prise de conscience d’une consommation excessive serait donc indispensable pour traiter l’addiction. Mais cibler la cause du “désagrément” n’est pas toujours chose aisée, même en présence de substance.

“Un buveur excessif peut boire jusqu’à développer une cirrhose sans même s’en rendre compte!” Et encore, dans ce cas, la cirrhose finit quand même par révéler la réalité de l’alcoolisme. Mais au contraire du tabac ou de l’alcool, qui engendrent généralement des pathologies physiques permettant un diagnostic, les addictions sans drogue ont tendance, elles, à renforcer des symptômes souvent déjà présents, comme l’anxiété ou l’irritabilité.

Difficile, alors, de différencier le “normal” du “pathologique”. Pierre Taquet

prévient cependant que “les conséquences peuvent être tout aussi importantes. Prenons le cas d’une personne suicidaire : son addiction au jeu ou aux paris peut déclencher ou intensifier ses pulsions et la faire passer à l’acte!”

### ALGORITHME DE DÉPISTAGE

Quelle est l’ampleur du phénomène? En 2012, une étude de l’Observatoire des jeux (ODJ) révélait que 31 % des joueurs de poker en ligne étaient considérés comme problématiques. Un pourcentage montant à 48,5 % pour les joueurs de

machines à sous en ligne. Amandine Luquiens, psychiatre addictologue à l’hôpital Paul-Brousse de Villejuif, a affiné la réponse en développant une méthode permettant de repérer ces joueurs problématiques au poker en ligne, grâce à un algorithme de “dépistage” mis en place sur le site Winamax. Plus de 14 000 personnes ont répondu à son formulaire envoyé aux joueurs fréquentant le site, ce qui a permis d’élaborer un “index de sévérité du jeu problématique” en fonction des sommes pariées et du taux d’augmentation des mises.

Résultat : 18 % des sondés ont un comportement qui relève de la pathologie addictive. “Depuis 2010 et l’autorisation des jeux d’argent et de hasard en ligne, on observe une augmentation de ces addictions”, révèle la psychiatre. En octobre, la Cour des comptes a d’ailleurs appelé à une refonte de la politique des jeux, soulignant l’urgence de la situation.

S. PALMINTERI/INSERM - D.R. - SHUTTERSTOCK

## Facebook rend-il accro ?

“Si la notion d’addiction aux réseaux sociaux, au sens médical du terme, n’est pas avérée, il suffit de regarder dans le métro, en famille ou même au travail pour se rendre compte que les réseaux sociaux génèrent des comportements ‘addictifs’, témoigne Rudy Viard, consultant en B2B [business to business] sur une plateforme de webmarketing. Pour continuer à croître, Facebook doit continuellement maintenir l’intérêt de ses utilisateurs en faisant appel au sentiment de manque, d’urgence, voire de culpabilité afin d’encourager à publier et interagir.” Et ça marche! Sur 1,71 milliard d’utilisateurs actifs de Facebook, la moitié consultent leur compte dès le réveil. Un automatisme qui ressemble à celui du tiers de fumeurs qui allument leur première cigarette dans les cinq minutes suivant le lever...



Mais alors, comment aider les addicts à sortir de leur pathologie? De plus en plus de centres de consultation d'addictologie sans substance se mettent en place en France, ainsi que des Csapa (Centre de soins, d'accompagnement et de prévention en addictologie), qui "accueillent les personnes s'interrogeant sur leur comportement ou sur des produits", précise Pierre Taquet. Mais y venir suppose d'être très motivé."

Pour d'autres, "parfois, de simples conseils suffisent à les faire arrêter", reprend Amandine Luquiens. En effet, dans un article paru cette année dans le *Journal of Medical Internet Research*, l'addictologue révèle qu'après l'envoi de conseils thérapeutiques par courrier électronique à près de 1000 joueurs problématiques, un tiers d'entre eux ne l'étaient plus au bout de six semaines.

Ce résultat encourage l'Autorité de régulation des jeux en ligne à mettre en place un projet d'entraînement cognitif à distance, "une sorte de kiné du cerveau" en ligne, explique Amandine Luquiens, qui pourrait voir le jour à l'horizon 2017. Une méthode qui permettrait de mieux s'armer contre ces nouvelles addictions.

Clément Plantureux

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

# Vaccination en France

## Le rejet des vaccins traduit un rejet plus général

### LE RAPPEL DES FAITS

Plus de **40%** des Français estiment que les vaccins ne sont pas sûrs, selon une étude internationale coordonnée par l'Imperial College de Londres. Un record mondial! La moyenne sur le continent européen se situe autour de **17%**.

**Science & Vie :** Comment expliquer un score d'une telle ampleur en France?

**Jocelyn Raude :** Cette méfiance est à mettre en lien avec l'enchaînement de scandales ou de controverses sanitaires dans notre pays, bien plus nombreux que dans la plupart des pays occidentaux ces dernières années – de l'affaire du Médiateur, en 2009, jusqu'au récent scandale sur la Dépakine donnée aux femmes enceintes. La méfiance, qui s'exprime ici contre les vaccins, est le symptôme d'une profonde remise en cause de l'efficacité et même de la probité des institutions et des experts médicaux.

**S&V :** La campagne de vaccination contre la grippe H1N1, aussi, a été un moment charnière?

**J.R. :** La grande campagne voulue par le gouvernement a été largement perçue comme inutile voire, pire, motivée par des intérêts plus économiques que sanitaires.

**S&V :** Tous ces Français qui se méfient des vaccins ont-ils le même profil?

**J.R. :** Non, il existe en fait plusieurs catégories de méfiantes. Les "opposants", qui rejettent en bloc la vaccination, sont bien moins nombreux que les "prudents" ou les "sceptiques" qui, eux, choisissent de s'opposer à quelques vaccins en particulier, comme celui contre l'hépatite B, le papillomavirus ou la grippe saisonnière. Ces personnes sont essentiellement issues des classes moyennes supérieures (enseignants du secondaire, praticiens paramédicaux...). Ces "demi-sachants", comme les appellent certains experts, ont un minimum de culture scientifique et s'approprient des éléments de réponse sur les vaccins sans forcément les maîtriser complètement. Surtout, ils cultivent un retour à la "naturalité", au "bio", et un rejet de l'industrie pharmaceutique.



**JOCELYN RAUDE**

Sociologue à l'Institut de recherche pour le développement et à l'Ecole des hautes études en santé publique

**S&V :** La confiance peut-elle être restaurée?

**J.R. :** Les messages "paternalistes" ne sont pas plus efficaces auprès des "opposants" que des "sceptiques". En France, il est temps de prendre au sérieux les diverses controverses. Les ignorer ou les balayer d'un revers de la main ne fait que renforcer le scepticisme de nos concitoyens.

Propos recueillis par  
Caroline Tourbe





# Huiles essentielles

## Elles ne sont pas sans risques...

*“Les huiles essentielles ne doivent pas être considérées comme des ingrédients courants, mais comme des substances particulières, non dénuées d’effets secondaires”, soulignait déjà en 2008 l’Agence française de sécurité du médicament Afssaps (actuelle ANSM). En effet, “si leur caractère naturel peut faire croire, à tort, qu’elles sont inoffensives, ces préparations liquides, obtenues par extraction de substances volatiles contenues dans cer-*

*taines plantes aromatiques (lavande, menthe poivrée, basilic, romarin, orange, citron, eucalyptus...) peuvent être très concentrées en certains composés actifs comme les phénols, cétones, et être donc potentiellement dangereuses”, précise Serge Michalet, enseignant-chercheur en pharmacie, spécialisé en substances naturelles à l’université Lyon 1.*

De fait, les huiles essentielles possèdent, selon leur type, diverses propriétés biologiques plus ou moins bien démontrées: antibactériennes, antivirales, antiparasitaires, anti-inflammatoires, analgésiques, stimulantes, calmantes, etc. Appliquées sur la peau, inhalées ou ingérées, elles sont utilisées notamment pour soigner des infections (urinaires, sinusites, angines...); créer une ambiance apaisante; parfumer et/ou donner une

propriété antibactérienne aux cosmétiques et aux produits ménagers; relever le goût des plats, etc.

### CONVULSIONS ET BRÛLURES

Or voilà: “Utilisées en forte dose ou de façon inadaptée, certaines peuvent induire des convulsions, c’est le cas des huiles contenant des cétones comme la menthone dans la menthe poivrée, ou la thuyone dans le thuya et l’absinthe (heureusement, ces dernières ne sont délivrées que sur ordonnance); des brûlures de la peau, au soleil (huiles d’agrumes notamment, lorsqu’elles sont

prises par voie cutanée ou orale), ou des muqueuses (cannelle, clou de girofle...); des atteintes hépatiques (thym, origan...); une épilepsie (romarin à camphre); voire la mort (une cuillère à café de thuya suffit...)”, précise Serge Michalet. Une étude américaine a même mis en évidence qu’une exposition régulière et chronique aux essences de lavande ou d’arbre à thé peut faire pousser les seins des garçons!

Les symptômes et leur gravité varient selon le type d’huile, le mode d’application et la dose, mais aussi



### LE RAPPEL DES FAITS

Les huiles essentielles suscitent un engouement croissant. En 2015, celles vendues en pharmacie et parapharmacie représentaient un **chiffre d'affaires de 180 millions d'euros, avec une hausse de 16% sur un an.**



## 15%

... seulement des téléphones portables sont recyclés en France, déplore un rapport du Sénat. Dommage, quand on sait qu’une tonne de cartes électroniques peut renfermer jusqu’à 1 kg d’or, 5 kg d’argent, 9 kg de tantale et 250 kg de cuivre.

## 69 milliards

C’est, en euros, selon une équipe française, le coût annuel minimal des dégâts causés par les insectes dans le monde. Responsables de maladies, de pertes agricoles... ils consomment l’équivalent de ce qui pourrait nourrir 1 milliard d’êtres humains!





*réaliser des arrêts réguliers dans le traitement s'il est suivi plus d'une semaine (prise sur cinq jours et arrêt de deux jours, par exemple); respecter le mode d'utilisation et maintenir les flacons à l'abri des enfants et des sources de chaleur; et demander conseils auprès d'un professionnel de santé."*

Kheira Bettayeb

en fonction de la personne.

Ainsi, les allergiques, épileptiques, asthmatiques, les jeunes enfants et les femmes enceintes ou allaitantes sont plus sensibles. Voilà pourquoi toutes les huiles essentielles sont déconseillées chez les enfants de moins de 3 ans; et que celles renfermant des cétones sont, elles, interdites chez les épileptiques, les femmes enceintes et les nourrissons de moins de 30 mois.

Concernant la dose, une étude taïwanaise récente a montré, par exemple, que si la diffusion d'huile essentielle pure de bergamote dans des spas a un effet bénéfique sur le rythme cardiaque et la pression artérielle, au-delà d'une heure d'exposition elle peut, au contraire, les accroître...

"Pour utiliser correctement les huiles essentielles, conseille Serge Michalet, il faut les diluer dans de l'huile végétale;



SERGE MICHALET

Enseignant-chercheur à l'université Lyon 1

*Elles peuvent être très concentrées en composés actifs et donc potentiellement dangereuses*



## Les athlètes bioniques ont désormais leur compétition

L'événement a eu lieu à Kloten, en Suisse, le 8 octobre dernier. Sur la piste: 66 équipes issues de 22 pays, composées d'athlètes souffrant d'amputation, de paralysie totale ou partielle des membres inférieurs ou supérieurs... Sauf qu'à la différence des jeux Paralympiques (où seuls prothèses et fauteuils roulants non motorisés sont autorisés), le Cybathlon, créé à l'initiative de l'Institut des technologies de Zurich, est avant tout une compétition de dispositifs d'assistance cybernétiques: prothèses motorisées, exosquelettes, interfaces cérébrales... Tout est donc permis en la matière. Et les concurrents sont tout autant les chercheurs et laboratoires qui ont mis au point ces dispositifs que les athlètes qu'ils équipent, qualifiés de "pilotes". Au programme, six épreuves dont une course d'exosquelettes motorisés, une course virtuelle d'avatars (sur ordinateur) pilotés par une interface cérébrale, ou encore une compétition de rapidité et de dextérité (ouvrir une bouteille d'eau, utiliser une pince à linge...) pour prothèses de main. "Le Cybathlon suscite une vraie motivation chez les chercheurs. C'est aussi un moyen, pour le public, de découvrir ce que ces technologies peuvent faire et ne pas faire", témoigne Mohamed Bouri, chef de groupe à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, qui avait engagé un exosquelette dans la compétition. Ce premier Cybathlon prouve ainsi que ces technologies peuvent sortir des labos, et qu'elles s'apprentent à essaimer dans la société. Le début d'une nouvelle ère, où le mythe de l'homme réparé, voire augmenté, n'en est plus un.

Pierre-Yves Bocquet

## 27 minutes

Cela correspond au temps que vous passez chaque jour à pratiquer une activité physique si vous vous déplacez en transports en commun, d'après l'Inserm. Choisir le bus est bon pour l'environnement... mais aussi pour la santé.



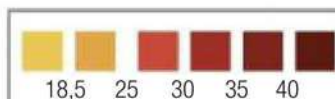


Santé publique

# Près de la moitié des Français sont en surpoids

## La surcharge pondérale touche surtout les hommes

L'étude menée par l'Inserm sur 29 000 Français âgés de 30 à 69 ans révèle que 56,8% des hommes et 40,9% des femmes sont en surpoids ou obèses, soit quasiment la moitié de la population totale. L'obésité globale, elle, touche 15,7% des hommes et des femmes, ce qui nous place dans la moyenne européenne.



**IMC = poids (kg) / taille<sup>2</sup> (m)**

Moins de 18,5 : insuffisance pondérale  
 Entre 18,5 et 24,9 : poids normal  
 Entre 25 et 29,9 : surpoids  
 Entre 30 et 34,9 : obésité modérée  
 Entre 35 et 40 : obésité sévère  
 Au-delà de 40 : obésité massive

# 48,5%

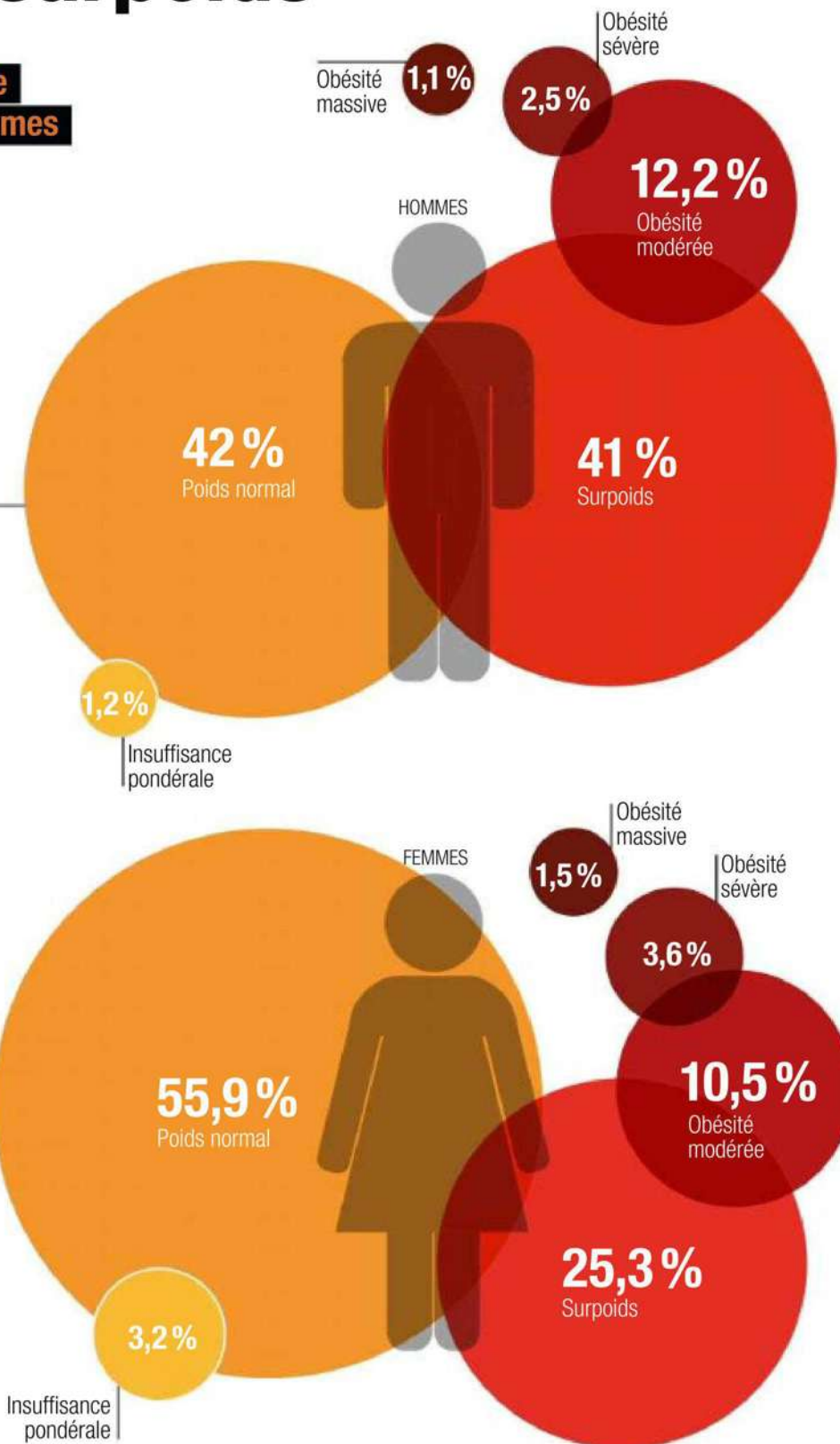
de l'ensemble des femmes présentent une obésité abdominale (tour de taille supérieur à 80 cm). Cet excès de masse grasse localisé, facteur de risque cardio-vasculaire, touche 41,6% des hommes (tour de taille supérieur à 94 cm).

# 25,6%

C'est la proportion de personnes obèses dans le Nord, le département le plus touché par ce fléau parmi les 16 étudiés, suivi de la Meurthe-et-Moselle (22,9% d'obèses).

B. BELLANGER

SOURCE : INSERM





**POUR REVOIR  
SES FONDAMENTAUX!**

**SCIENCE & VIE**

MONDADORI FRANCE

**HORS-SÉRIE** | N°1 NOVEMBRE 2016

*Questions  
Réponses*

**LE COURS DE RATRAPAGE  
QUE VOUS N'ATTENDIEZ PLUS**

# **ÉQUATIONS DU SECOND DEGRÉ**

**27 casse-tête et leurs solutions**

**Petite histoire amusante  
de l'algèbre**

**Coniques  
et imaginaires**



**EN VENTE ACTUELLEMENT**



## LE DIABÈTE EST FAVORISÉ PAR LA PEUR DU CHÔMAGE

L'analyse de plusieurs études portant sur plus de 140 000 personnes en Europe, Australie et aux États-Unis, a montré que celles se sentant menacées par le chômage ont un risque de développer un diabète supérieur de 19 % au risque encouru par celles qui estiment leur emploi stable.

"CMAJ", oct. 2016



## REJET DU FROMAGE: C'EST DANS LA TÊTE

Des chercheurs ont exposé des personnes à des photos et odeurs de fromages qu'elles détestent. Résultat: chez elles, les zones cérébrales de la récompense et de la motivation s'activent comme s'il s'agissait d'un produit non comestible. "Front. in Hu. Neuro.", oct. 2016

## LE SPORT ENTRAÎNE AUSSI LA MÉMOIRE

L'exercice physique aide les gens âgés à résoudre leurs problèmes de mémoire, selon des chercheurs canadiens. L'étude a porté sur des personnes atteintes de troubles cognitifs légers d'origine vasculaire. Mieux qu'un effet préventif, c'est un effet thérapeutique qui a été mis en évidence. "Neuro.", oct. 2016

## ON ESTIME SON IVRESSE PAR RAPPORT À CELLE DES AUTRES

Des chercheurs gallois ont arpenté les quartiers festifs de quatre villes du Royaume-Uni et demandé à des buveurs de passer un test d'alcoolémie et d'estimer leur état d'ébriété et les risques pour leur santé associés à cet état. Résultat: les participants sous-estimaient leur consommation lorsque les personnes (du même sexe) présentes autour d'eux étaient plus soûles qu'eux. À l'inverse, ils surestimaient leur consommation et étaient plus conscients des risques dans un environnement où les autres étaient moins ivres qu'eux. Pour éviter la gueule de bois, mieux vaut donc surveiller sa consommation... et celle de ceux avec qui l'on trinque. "BMC Public Health", sept. 2016

## NAUSÉES ET VOMISSEMENTS DIMINUENT LE RISQUE DE FAUSSE COUCHE

De premières études le suggéraient, des travaux israélo-américains viennent aujourd'hui le confirmer: avoir des nausées pendant la grossesse, associées ou non à des vomissements, est bon signe. Certes, elles confirment la persistance de la grossesse, mais elles sont surtout associées à une diminution du risque d'avortement spontané. Chez des femmes enceintes volontaires qui avaient fait par le passé une ou deux fausses couches, les chercheurs ont ainsi montré une diminution du risque de fausse couche au premier trimestre de 55 % pour celles qui avaient des nausées et de 81 % pour celles qui avaient en plus des vomissements. "JAMA Internal Med.", sept. 2016



SHUTTERSTOCK - CHRISTEL JEANNE/DIVERGENCE





## CERTAINS ANTI-INFLAMMATOIRES FATIGUENT LE CŒUR

Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) peuvent fragiliser le cœur, en particulier quand ils sont pris sur une longue période et à haute dose. C'est ce que montre une équipe européenne chargée d'évaluer la sécurité de ces molécules destinées à lutter contre l'inflammation et la douleur. Les chercheurs viennent de constater que sept de ces médicaments (sur 27) augmentent de 16 % à 83 % le risque d'hospitalisation pour insuffisance cardiaque, y compris chez les personnes sans antécédent pour cette pathologie. Et ce risque augmente avec la dose consommée, allant jusqu'à doubler dans certains cas. Parmi les médicaments incriminés figurent l'ibuprofène ou encore le diclofénac (Voltarène), largement prescrits en France. Si ces résultats doivent inciter médecins et patients à la vigilance, le risque reste néanmoins très faible, notamment chez les petits utilisateurs. "BMJ", sept. 2016

### LA FÉCONDATION IN VITRO APRÈS 40 ANS A DU BON

Les anomalies à la naissance seraient en fait moins fréquentes (3,6 %) chez les enfants nés par fécondation in vitro de mères de plus de 40 ans que chez les femmes du même âge qui ont conçu naturellement leur enfant (8,2 %). "Inter. Jour. of Obst. et Gyn", oct. 2016

### UN ACCÈS DE COLÈRE PEUT MENER À L'INFARCTUS

La colère lors d'un pic de stress doublerait le risque de faire une crise cardiaque dans l'heure qui suit, selon une étude menée sur 12 400 patients victimes d'un infarctus du myocarde interrogés sur leur état quelques heures avant la crise. "Circulation", oct. 2016

### LES INSOMNIES SE SOIGNENT MIEUX AVEC UN PSY

La thérapie cognitivo-comportementale (TCC) pourrait être plus utile contre les insomnies que les médicaments. Selon une étude canadienne, la TCC permet non seulement de dormir la nuit mais aussi de se sentir mieux dans la journée. "Behav. Res. and Therapy", déc. 2016

## UN ÉTUDIANT MANGE PLUS DE LÉGUMES S'IL A JARDINÉ ENFANT

Par le passé, plusieurs recherches ont démontré l'effet bénéfique du jardinage sur la consommation de fruits et légumes des enfants. Une nouvelle étude, menée par des chercheurs américains sur plus de 1 300 étudiants de huit universités réparties dans tout le pays, montre que cet effet est persistant : les étudiants qui ont jardiné, enfants, continuent à avoir un apport en fruits et légumes supérieur (d'environ 17 %) à celui des étudiants non initiés au jardinage pendant leur enfance. "Journ. of the Acad. of Nutri. and Diet.", sept. 2016





# Un mini-robot pour... tâches intelligentes

Pas plus gros qu'une noix (2,5 cm<sup>3</sup>), le mini-robot Ozobot Evo apporte une dimension sociale à l'apprentissage de la programmation. Conçu par l'américain Evolve Inc., il se connecte en Bluetooth à un smartphone ou à une tablette pour communiquer avec ses congénères à distance, via une application dédiée (iOS ou Android). De quoi permettre des échanges entre robots et entre programmeurs : les propriétaires pourront ainsi partager de nouveaux programmes

et même synchroniser leurs robots afin qu'ils effectuent les mêmes actions à distance ou échangent des messages. Exemple ? Votre mini-robot entonne un son joyeux : vous avez reçu un signal d'un voisin ! Pour programmer vous-même votre Evo, trois solutions s'offrent à vous, selon votre niveau d'expérience en programmation. Autant de possibilités qui devraient séduire petits et grands enfants ! **A.P.**

Prix : env. 90 €. Rens. : <http://ozobot.com/products/ozobot-evo>



## Cet automate nettoie tous les sols durs

La gamme de robots nettoyeurs de sol ne cesse de se perfectionner. Petit dernier de l'entreprise iRobot, le Braava Jet vient de sortir. Présenté comme un complément aux modèles Roomba, ce robot connecté et ultra-simple d'utilisation lave et balaie tous les sols durs : carrelage, parquet ou pierre. Il suffit d'insérer une lingette colorée correspondant au revêtement pour que le robot la reconnaisse et adapte ses jets. Surtout, grâce à une connexion Bluetooth et à l'application téléchargeable sur Android et iOS, l'utilisateur peut lancer le nettoyage à distance, le mettre en pause ou demander au robot d'insister en profondeur sur une surface réduite de la pièce. **S.D.**

Prix : env. 250 €. Rens. : <http://www.irobot.fr/>

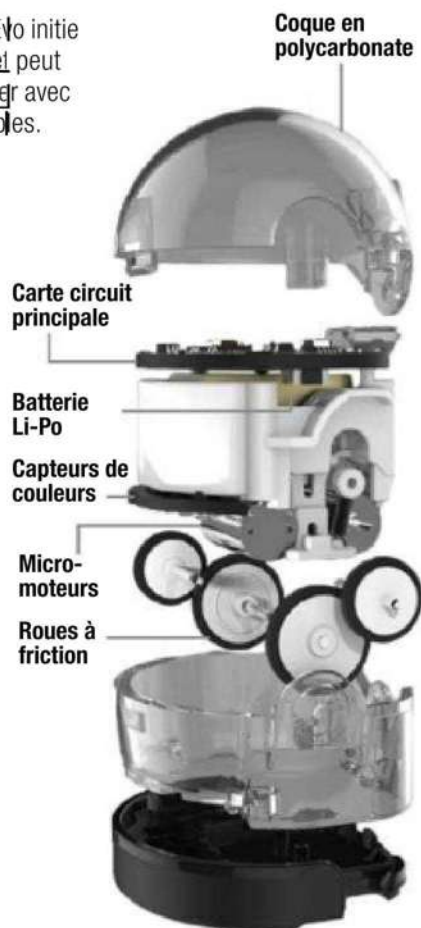


▲ Le Braava Jet peut aussi se commander à distance.





< Le petit Evo initie  
al codage et peut  
communiquer avec  
ses semblables.



(Ci-dessus, taille réelle)

## LE COIN DES PROTOTYPES

### Un bracelet pour avoir chaud ou froid à volonté

Fini les "glaglas" en hiver ou les sensations de coup de chaud en été ? Ce bracelet, équipé d'un dissipateur thermoélectrique et d'un thermostat, apporte un confort thermique en envoyant des ondes chaudes ou froides vers le poignet. Le corps humain réagit en effet plus rapidement aux stimuli appliqués directement sur la peau qu'au changement de la température ambiante. Développé par des scientifiques du Massachusetts Institute of Technology (MIT), le Wristify – c'est son nom – permet ainsi à celui qui le porte de choisir, en appuyant sur deux boutons, la sensation de fraîcheur ou de chaleur qui lui convient. Un moyen, espèrent ses inventeurs, de réduire à l'avenir l'énorme quantité d'énergie consommée par les appareils de climatisation. **H.G.-B.**



Rens. : [www.embrlabs.com](http://www.embrlabs.com)

D.R.

## Les baskets qui affichent des animations !

Une paire de baskets au design unique: beaucoup en rêvent. C'est ce que propose la start-up new-yorkaise ShiftWear avec son modèle recouvert d'écrans HD flexibles. Il suffit de choisir une image ou une animation vidéo sur l'application dédiée (iOS ou Android) et celle-ci s'affiche instantanément, via le Bluetooth, sur les baskets. Magique ! L'électronique est logée dans les semelles qui sont, elles, recouvertes de Kevlar pour la solidité. La batterie

dure environ trente jours et se recharge soit en marchant, soit par un port USB. Seul bémol: la marque déconseille de les porter pour courir ou faire du sport. Trop fragiles... **L.B.**

Prix : à partir de 310 € (début des pré-commandes en décembre 2016)  
Rens. : [www.shiftwear.com](http://www.shiftwear.com)

✓ L'image choisie sur votre smartphone se retrouve à vos pieds !





# Le drone vra passe-partou

Avec le Mavic Pro, la marque chinoise DJI a misé sur la compacité. Ce drone de 743 g possède quatre bras qui se replient: il ne mesure alors que 20 cm de longueur pour 8 cm de largeur et 8 cm de hauteur. L'idée était de créer un drone facile à transporter dans un sac, mais aussi à utiliser: il se pilote grâce à une télécommande radio dotée de joysticks. La taille réduite du Mavic Pro n'aurait pas d'impact sur ses performances: autonomie de vol de 27 minutes, portée de 7 km, vitesse maximale de 64 km/h.

Le drone est également doté d'un système de navigation GPS et Glonass, qui permettent notamment de créer des plans de vol en plaçant des points sur une carte que le drone suivra, tout en évitant les obstacles. Enfin, le drone embarque une caméra qui enregistre des vidéos en 4K à 30 images par seconde. Le constructeur assure qu'il est possible de récupérer les photos en format RAW, stockées par un capteur de 12 millions de pixels. S.D.

Prix: env. 1 200 €  
Rens.: [www.dji.com/fr/mavic](http://www.dji.com/fr/mavic)



## Un vrai potager à installer dans sa cuisine

Pensé comme un appareil électroménager, le Vegidair est un potager automatisé connecté: branché sur secteur, il gère seul l'éclairage à LED et l'arrosage des seize plantes aromatiques ou salades qu'il abrite. Ces dernières sont cultivées en hydroponie, dans un substrat en fibres de coco. Ce qui

garantit l'absence d'insectes et permet d'utiliser l'eau en circuit fermé grâce à une pompe qui humidifie les plantes toutes les quatre heures. L'appareil surveille aussi, grâce à des capteurs, la quantité de lumière reçue, le pH et la teneur en nutriments de l'eau, puis transmet ces données en wi-fi sur votre smartphone. L'application s'occupe juste de vous rappeler quand remplir le réservoir d'eau de 8 litres, soit environ toutes les trois semaines. L.B.



Prix: env. 250 €  
Rens.: [www.vegidair.co](http://www.vegidair.co)







< ▲ L'intérêt principal de Mavic Pro, ce sont ses bras qui se replient pour en faire un drone facile à transporter. Il ne mesure plus que 20 cm de long sur 8 cm de large et 4 cm de haut.

## Le stylo à pointillés

Finis les crampes au poignet pour réaliser une œuvre digne d'un pointilliste chevronné. Tracez un trait et le stylo à encre gel noire imaginé par le chinois Shuochang Song se charge des pointillés. Une bobine magnétique, qui se commande à l'aide d'un bouton placé sur le côté du stylo, entraîne le va-et-vient de la pointe rétractable à une vitesse de 600 points par minute, pour une demi-heure d'utilisation (charge de 20 minutes). Reste à gérer la vitesse pour espacer plus ou moins les points et créer ombres et reliefs.

A.P.

Prix env. 65 €. Rens. : [www.hammacher.com/Product/89270](http://www.hammacher.com/Product/89270)



## Le robot avec capteurs pour réussir toutes les sauces

Bosch a conçu le robot pâtissier OptiMUM pour gagner du temps : en effet, avant de mélanger, râper ou hacher, il pèse les ingrédients grâce à une balance numérique intégrée sous le bol. Puis il détecte tout seul le fouet ou le crochet utilisé pour adapter sa vitesse. Surtout, grâce à des capteurs, il est capable de contrôler l'état du mélange et de s'arrêter une fois la bonne consistance atteinte pour fabriquer crème fouettée, blancs en neige et pâte levée. Son moteur

puissant de 1500 W et son grand bol de 5,5 litres lui permettent de travailler jusqu'à 3,5 kg de pâte à pain ou à gâteau. Toutefois, sa contribution s'arrête là car il ne cuisine pas. Sa commercialisation, déjà démarrée en Allemagne, est prévue pour mars 2017 en France.

Prix : env. 780 €  
Rens. : [www.bosch-home.fr](http://www.bosch-home.fr)

> Plus besoin de tâter, un doigt dans le bol et des capteurs vérifient l'état du mélange.





## La machine à brasse la bière chez soi

Brasser sa propre bière n'est plus une affaire d'expert grâce à iGulu, cette brasserie connectée pour la maison, de la taille d'une cafetière multifonction. Après avoir choisi une recette parmi les 50 disponibles, il suffit d'ajouter levures, houblon, eau et malt pour obtenir, une à trois semaines plus tard, une bière pression. Grâce à l'application, on peut suivre le processus, mais aussi créer sa propre recette et la partager sur la plateforme sociale. A.V.



Prix : env. 890 € (l'automate + un fût de 5 litres)  
Rens. : [www.igulu.com](http://www.igulu.com)

Prix : env. 890 € (l'automate + un fût de 5 litres)  
Rens. : [www.igulu.com](http://www.igulu.com)



< Trois de vos machines peuvent y être connectées à la fois.

## Un clavier qui sert à tous les appareils

Au bureau ou à la maison, on jongle souvent d'un écran à l'autre, des mails sur l'ordinateur aux SMS sur le portable... Le clavier Logitech K780 Multi-Device se connecte, en Bluetooth ou USB, à trois appareils simultanément : ordinateur, tablette ou smartphone, tous systèmes d'exploitation confondus. D'une touche, il change d'écran. Il dispose d'un pavé numérique et d'une fente pour caler le smartphone et la tablette dans un angle confortable. Autonomie maximale : 24 heures. A.V.

Prix : env. 100 €. Rens. : [www.logitech.com](http://www.logitech.com)

## La caméra qui filme en réalité virtuelle

Voici Vuze, la première caméra 4K, 2D ou 3D, à 360°, délivrant un film que l'on peut regarder dans un casque de réalité virtuelle ! Développée par la société israélienne HumanEyes Technologies, elle possède en effet huit caméras HD réparties circulairement qui prennent 30 images à la seconde avec des angles de vision de 120° à l'horizontale et 180° à la verticale. Elles enregistrent également les sons. Une heure de film (c'est son autonomie) tient sur une carte SD de 64 GB.

Une fois celui-ci enregistré, il faut le transférer sur son ordinateur où un logiciel, Vuze Studio, le monte en une minute avant de pouvoir le visualiser en réalité virtuelle à l'aide d'un casque. Vuze est d'ailleurs fournie avec un modèle de la marque Homido, qui fonctionne en y insérant son smartphone. Les prises de vue peuvent s'effectuer en statique mais aussi en mouvement, à condition d'éviter vibrations et chocs. S.F.

Prix : env. 900 €  
Rens. : <http://vuze.camera/>

> Cette petite caméra de 12 x 12 x 3 cm filme à 360° ; elle est couplée à un logiciel de montage et à un casque de réalité virtuelle.



D.R.



HORS-SÉRIE

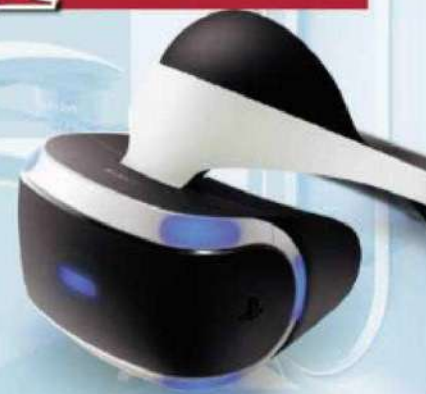
# SCIENCE & VIE



ACCESSOIRES INTELLIGENTS



MOBILITÉ



RÉALITÉ VIRTUELLE



ROBOTIQUE



DRONES



AUTOMOBILES

## 2016 2017 LES 150 MEILLEURS **OBJETS** **CONNECTÉS**

### DOSSIER

LES ATELIERS HIGH-TECH  
FLEURISSENT EN FRANCE



### REPORTAGE

BIENVENUE À SONGDO,  
VILLE DU FUTUR

### ENQUÊTE

LES FOLLES PROMESSES  
DES TECHNOS DE DEMAIN

EN VENTE ACTUELLEMENT



# Les galaxies tournent-elles à l'identique ?

Question de Jacques Cordeau, Charlevoix (Canada)

Non, les galaxies ne tournent pas toutes dans le même sens, affirment les astrophysiciens – même si la grande majorité d'entre elles restent inconnues. C'est ce qu'il ressort de l'analyse des caractéristiques physiques des galaxies observées jusqu'à présent. *"Elles ont une rotation complètement aléatoire",* ajoute Françoise Combes, de l'Observatoire de Paris.

La raison principale est que les galaxies sont orientées dans une infinité de directions. Un sens de rotation suppose une observation bidimensionnelle : comment dire si une galaxie tourne dans un sens ou dans l'autre si l'on ne peut l'observer que sur la "tranche" ?

Les astrophysiciens vont même plus loin : en imaginant un amas où les galaxies tourneraient toutes selon le même axe, eh bien elles ne tourneraient pas toutes dans le même sens. Car les mouvements de rotation des galaxies au sein de leur amas, eux, ne sont pas si hasardeux.

## ÉQUILIBRE ENTRE GALAXIES

Lors de la formation de ces continents célestes, la direction qu'empruntent les jeunes étoiles autour du centre galactique dépend de la rotation des galaxies à proximité ! Le mouvement cyclique d'une galaxie est en effet contrebalancé par celui de ses voisines afin de conserver une rotation nulle au sein de l'amas. Si un

amas ne comporte que deux galaxies alignées, leur rotation sera donc opposée... Sauf que ces mouvements évoluent. *"Les galaxies absorbent du gaz issu des filaments cosmiques, elles accumulent donc de la masse tout au long de leur vie",* précise Françoise Combes.

Un gaz qui, à force de s'ajouter à la masse de l'amas, peut modifier son mouvement. Sans compter les fusions entre galaxies qui bouleversent la dynamique de leurs étoiles. Si deux galaxies tournent aujourd'hui dans le même sens par rapport à notre point d'observation terrestre, ce ne sera donc probablement plus le cas dans 1, 2 ou 10 milliards d'années.

C.P.



# Pourquoi nos sécrétions sentent mauvais ?

Question de Serge Lhery, Combs-la-Ville (77)

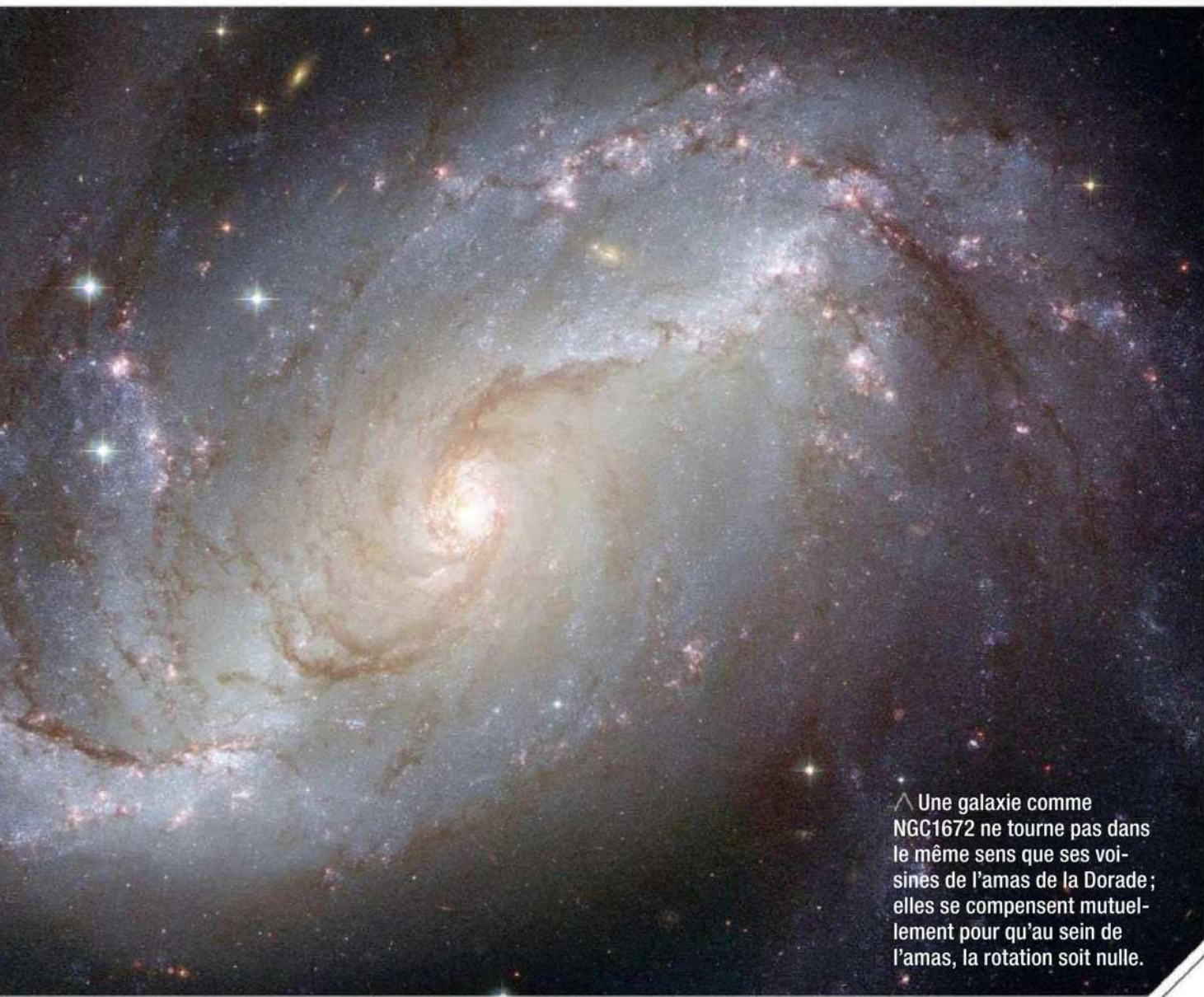
C'est notre éducation qui fait que nous les trouvons malodorantes. L'odeur de nos sécrétions est produite par les bactéries qui consomment nos déchets. Par exemple, celles présentes dans l'organe intestinal *"forment un gaz à l'origine de l'odeur des excréments"*, note Philippe Ducrotte, hépato-gastro-entérologue au CHU de Rouen. Mais ce caractère désagréable provient avant tout de notre perception. *"Ce n'est pas*

*l'odeur en soi qui est mauvaise, mais ce qu'elle représente,* précise Corinne Eloit, ORL à l'hôpital Lariboisière, à Paris. *On nous apprend à repousser ce que nous considérons comme mauvais : le caca, l'urine. Avant cela, les bébés peuvent être attirés par les excréments..."* La perception de ces odeurs peut d'ailleurs varier : il n'est pas rare qu'un homme se mette à aimer l'odeur de transpiration de sa conjointe.

F.C.







^ Une galaxie comme NGC1672 ne tourne pas dans le même sens que ses voisines de l'amas de la Dorade ; elles se compensent mutuellement pour qu'au sein de l'amas, la rotation soit nulle.

## La pilule influence-t-elle le comportement des femmes ?

Question de Jérôme Pouille, Toulouse (31)

*"Si certaines études suggèrent que les hormones œstrogènes de synthèse contenues dans la pilule peuvent altérer la libido et les émotions, rien n'est démontré", répond Véronique Kerlan, endocrinologue au CHU de Brest. Ainsi, en 2015, des neurobiologistes de l'université de Californie ont découvert que les femmes sous pilule présentaient un amincissement "significatif" de deux zones cérébrales impliquées dans les émotions et la prise de décision. Reste à prouver que "cet amincissement est associé à des changements de comportement", soulignent-ils.*

K.B.



ESA - MEHAU KULYK/SPL/COSMOS - A.DAGAN



# Comment la mouche se pose-t-elle au plafond ?

Question de Gil Cresson, Paris 19<sup>e</sup>

Ce sont les clichés de l'insecte en plein vol pris il y a une quarantaine d'années par Stephen Dalton, photographe britannique, qui ont permis de lever le voile sur ce mystérieux et banal mouvement – car il faut bien que la mouche se retourne pour s'accrocher au plafond. *“En plein vol, la mouche étend ses pattes antérieures vers le haut et les agrippe au plafond. Ensuite, elle bascule le reste de son corps vers l'avant et accroche ses*

*pattes postérieures. Tout cela en quelques centièmes de seconde”,* décrit Nicolas Franceschini, directeur de recherche CNRS à l'Institut des sciences du mouvement.

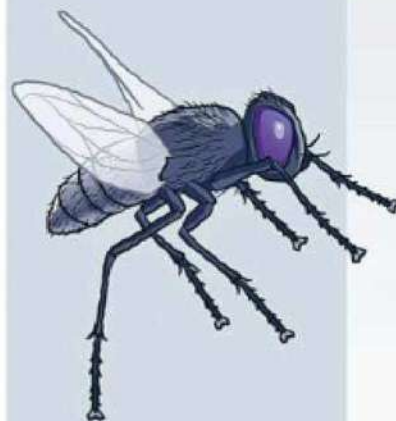
Si la mouche est capable de réaliser de telles acrobaties, c'est d'abord grâce à une spécificité anatomique des diptères: *“A leur unique paire d'ailes s'ajoute un balancier en partie postérieure”,* précise Christophe Daugeron, entomologiste au Muséum natio-

nal d'histoire naturelle. Un organe indispensable à la stabilité et l'orientation du vol. Et ensuite, grâce à ses pattes collantes: elles sont dotées de griffes ainsi que de petites pelotes, les pulvilles, à l'extraordinaire pouvoir adhésif. *“Les pulvilles contiennent des poils microscopiques: ce sont des soies qui sécrètent un liquide visqueux”,* précise Christophe Daugeron. Autrement dit, une colle repositionnable à volonté! **N.P.**

## Elle réalise une

### 1 La mouche rase le plafond

Elle commence à étendre ses pattes avant.



## Un véhicule léger est-il plus adapté à une chaussée glissante ?

Question de Philippe Janson, Québec (Canada)

Son poids devrait naturellement avoir une influence – plus lourd est un objet, plus il aura tendance à glisser à vitesse égale – mais, dans la pratique, elle est négligeable. La raison: les pneumatiques sont adaptés au gabarit des véhicules afin, justement, de garantir les capacités d'adhérence. *“Et les constructeurs automobiles truffent les véhicules d'outils qui permettent de compenser les éventuels défauts d'adhérence, comme les correcteurs de trajectoire ou le système antiblocage des roues”,* ajoute Christine Leroy, directrice des affaires techniques de l'Union des syndicats de l'industrie routière française. En réalité, l'adhérence d'un véhi-

cule dépend principalement de trois facteurs: la qualité des pneumatiques, les conditions environnementales (pluie, neige...) et l'état de la chaussée. Et, a priori, une citadine n'est pas plus sûre qu'un camion quand il s'agit d'éviter la glissade. **F.C.**



## Rêver de

Question de Jean-François

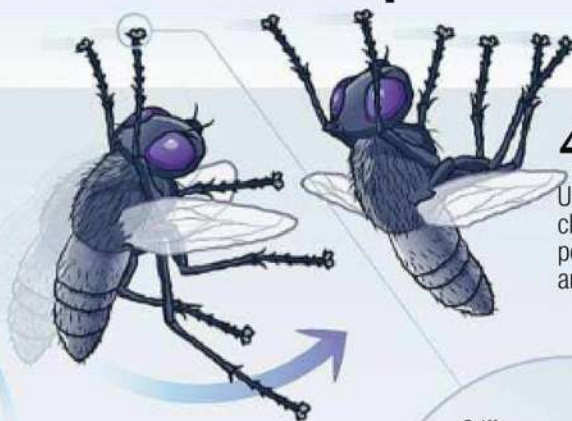
Oui, le diamètre de nos pupilles varie lorsque nous dormons. *“En phase de sommeil lent, plus important en première partie de nuit, et avec une activité cérébrale de plus en plus ralentie, la taille de la pupille est réquie, explique Pierre Maquet, spécialiste du sommeil au CHU de Liège (Belgique). En sommeil paradoxal, plus important en fin de nuit et marqué par*



## acrobatie grâce à l'adhérence de ses pattes

### 2 Elle lève ses pattes avant...

Son corps se met à basculer.

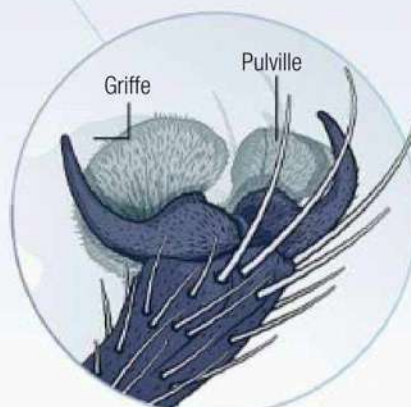


### 4 ... et bascule le reste de son corps

Un organe situé juste derrière chaque aile fait balancier et lui permet de ramener les pattes arrière au plafond.

### 3 ... s'agrippe au plafond...

La mouche colle ses pattes avant grâce aux griffes dont elles sont pourvues et aux pulvilles, qui sécrètent un liquide visqueux.



## lumière contracte-t-il les pupilles ?

Rosier, Lescar (64)

*une activité cérébrale plus intense, elle est variable.*

Et, oui, la pupille voit sa taille changer en particulier pendant les rêves : lorsque le sommeil paradoxal est accompagné de mouvements oculaires rapides (un phénomène qui survient à ces moments-là), l'iris se contracte, provoquant un agrandissement de la pupille, tandis qu'en l'absence de ces mouvements – et donc de rêves –, la pupille rétrécit.

Mais, non, ces fluctuations ne sont pas liées au contenu de nos rêves. Elles

ne sont pas influencées par la lumière de notre imaginaire, ni même d'ailleurs par la luminosité ambiante (laquelle dilate bien la pupille quand nous sommes éveillés, et peut filtrer à travers les paupières closes). *“Elles sont dictées par les variations d'activité de deux systèmes nerveux aux effets souvent opposés : le système sympathique, dont l'activation induit une dilatation pupillaire (phénomène de la mydriase) ; et le parasympathique, responsable, lui, de la rétraction pupillaire (le myosis)”*, précise le Canadien Thanh Dang-Vu, neurologue à

l'université Concordia. Ces deux systèmes s'équilibrent en effet pour contrôler les muscles de différents organes comme ceux de l'iris, mais aussi les muscles cardiaques, les muscles des vaisseaux sanguins, etc.

### D'INCESSANTES VARIATIONS EN SOMMEIL PARADOXAL

Une balance qui fluctue selon les états de vigilance. Ainsi, lors du passage de la veille au sommeil lent, l'activité parasympathique augmente progressivement, tandis que l'activité sympathique diminue. D'où une réduction de la pupille.

Et lors du sommeil para-

doxal, les activités des systèmes sympathique et parasympathique fluctuent de façon complexe, des augmentations et diminutions brutales d'activité se succèdent... ce qui provoque une alternance de diminution et d'augmentation de la pupille.

Reste enfin que ces deux systèmes sympathiques, bien qu'autonomes, sont tout de même régulés par le cerveau... Pourrait-il exister un lien à ce niveau ? Le cerveau pourrait-il tromper le système nerveux et rendre réelle une lumière onirique ? L'hypothèse n'a pas encore été explorée. **K.B.**



# D'autres animaux que l'humain peuvent-ils avoir mal à la tête ?

Question de Bérangère Pillard, Le Havre (76)

Oui, il semble que plusieurs autres espèces animales peuvent souffrir de ce type de trouble. Ainsi, dans une étude publiée en 2013, des vétérinaires britanniques ont rapporté le cas d'un chien avec plusieurs symptômes "ressemblant de façon frappante à la migraine humaine".

comme "une sensibilité à la lumière et au bruit". Ces manifestations ont régressé quand les scientifiques ont administré au cocker en question un médicament utilisé chez l'humain pour

prévenir la migraine: le topiramate. Les chevaux aussi pourraient souffrir de maux de tête: "Ce type de douleur peut être provoquée, par exemple, par des équipements trop serrés sur le front", précise Heïenel Roche, éthologiste équin. Qui ajoute: "Dans le cas d'af-

fections neurologiques graves, on observe des chevaux qui appuient leur front contre un mur. Mais j'ignore si cela est associé à des maux de tête." Il est en effet difficile de conclure avec certitude que les animaux autres que l'humain peuvent avoir mal à la tête... car il n'existe pas de test permettant de prouver ce type de trouble. Chez nous, il est diagnostiqué simplement grâce aux dires des patients. K.B.



^ Les chiens et les chevaux semblent parfois avoir la migraine.

## Pourquoi un objet noir chauffe-t-il lorsqu'il est exposé à la lumière ?

Yassine El badaoui, Skhirate-Témara (Maroc)

Tout simplement parce qu'un objet noir absorbe tous les rayonnements électromagnétiques qui lui parviennent... et n'en renvoie aucun. La couleur d'un objet dépend de la portion de lumière qu'il réfléchit jusqu'à notre œil – la lumière visible étant constituée de rayonnements d'une longueur d'onde (la distance entre deux oscillations de l'onde) entre 400 et 700 na-

nomètres, ce qui correspond aux couleurs de l'arc-en-ciel, du violet au rouge.

Ainsi, un objet ne nous apparaît bleu-vert que parce qu'il réfléchit les ondes autour de 485 nm. Le reste est absorbé: l'énergie transportée par ces ondes se transmet aux atomes qui se mettent à bouger pour la dissiper; le matériau chauffe. De la même façon, un objet rouge absorbe les rayonne-

ments du jaune au violet. Un vert absorbe le rouge et le bleu. Un objet qui apparaît blanc réfléchit tous les rayonnements et s'échauffe donc très peu. Et à l'inverse un objet noir absorbe toute leur énergie: son échauffement est donc maximal. "C'est pourquoi les capteurs solaires sont peints en noir, note Renaud Mathevet, physicien spécialiste des couleurs. Et qu'il est déconseillé de mettre sa main sur le capot d'une voiture noire en plein soleil: sa température peut dépasser 60°C!" Si cette même voiture était blanche, son capot serait plus proche de la température de l'atmosphère. F.C.

**GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À**

**SCIENCE & VIE**

**Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !**

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

Envoyez vos questions, en indiquant clairement votre adresse postale, à: sev.qr@mondadori.fr ou bien par courrier à:

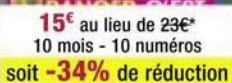
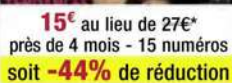
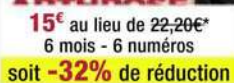
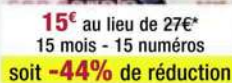
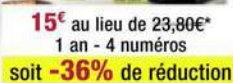
SCIENCE & VIE  
QUESTIONS/RÉPONSES  
8, rue François-Orly  
92543 MONTRÔUGE CEDEX



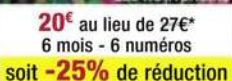
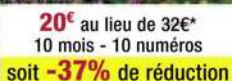
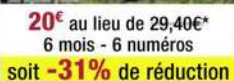
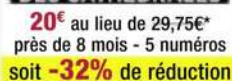
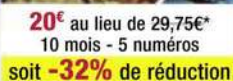
**SCIENCE & VIE**

À partir de  
**15€**  
seulement  
l'abonnement

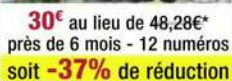
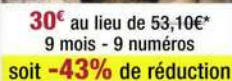
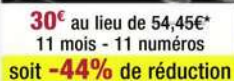
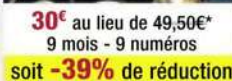
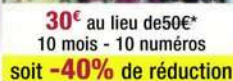
**15€**  
seulement  
l'abonnement



**20€**  
seulement  
l'abonnement



**30€**  
seulement  
l'abonnement



Offre réservée aux nouveaux abonnés en France Métropolitaine valable jusqu'au 30/01/2017. DOM TOM et autres pays nous consulter. Votre abonnement vous sera adressé dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement. Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnements ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CGV sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Le coût du renvoi est à votre charge. Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à Mondadori Magazines. Nous pourrions vous adresser d'autres magazines. Vous pouvez à tout moment nous faire connaître vos préférences en matière de diffusion de nos magazines en nous écrivant à l'adresse d'envoi du service abonnements.





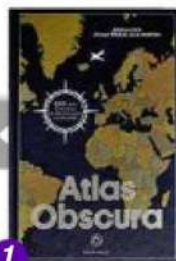
# Beaux livres de science

*Notre sélection pour Noël*

Des grandes épidémies d'hier aux curiosités d'aujourd'hui, de l'art de se repérer à l'intelligence animale... Nos ouvrages préférés, entre belles images et récits passionnants.

## Atlas Obscura

- De Joshua Foer, Dylan Thurais et Ella Morton
- Ed. Marabout, 496 pp.
- Env. 30 €



Découvrez des œuvres merveilleuses, comme ces "ponts vivants" tissés en Inde à partir de racines d'arbres. Allez voir des constructions insensées, tel ce gigantesque temple construit secrètement par une secte sous une modeste ferme italienne. Rencontrez des entités stupéfiantes, à l'image de Pando, le plus gros organisme vivant de la Terre – une immense colonie de peupliers. Recueillez-vous dans des lieux inattendus, comme sur cette stèle perdue dans une forêt près de Chicago, qui indique l'emplacement des déchets nucléaires du projet Manhattan. Ainsi que le soulignent les auteurs de cette somme joyeusement hétéroclite de 650 lieux étranges, *"l'émerveillement réside partout où nous sommes disposés à le chercher"*. **H.P.**

## Petit cabinet de curiosités médicales

- De Richard Barnett
- Ed. Larousse, 256 pp.
- 25 €



Avec ses images de corps malades, traumatisés, ou de cadavres, cet ouvrage mérite son titre de beau livre... mais mieux vaut avoir le cœur bien accroché. Car loin des actuels scanners et IRM aux couleurs artificielles et aux contours sélectifs, les dessins, peintures et gravures exposés dans ce recueil de "curiosités médicales" sont d'une beauté crue, voire cruelle. Ils offrent à voir, comme il nous en est rarement donné l'occasion, la réalité des maladies telles qu'elles ravageaient les corps au XIX<sup>e</sup> siècle. Les illustrations sont accompagnées de textes qui retracent les débuts de la médecine moderne en se concentrant sur plusieurs grandes pathologies de l'époque. **E.A.**





## Du yéti au calmar géant

- De Benoît Grison
- Ed. Delachaux et Niestlé, 400 pp.
- 39 €



Que de fantasmes et d'idées fausses sur les créatures qui nagent à la marge de nos connaissances... Cet ouvrage vient faire la part des choses sur la très discutée cryptozoologie et quelques-unes de ses figures mythiques : kraken, yéti, monstre du Loch Ness... Que sait-on exactement de cette "science des animaux cachés" ? L'auteur, chercheur à l'université d'Orléans, présente les réussites et les quelques dérapages de la discipline – les affaires les plus farfelues n'y sont pas évoquées, mais elles auraient détonné dans ce bel ouvrage sérieux... De quoi se faire une idée plus claire sur la question, tout en redécouvrant une certaine science naturaliste à travers témoignages et documents d'époque.

E.R.

## La Terre et moi

- Sous la direction de James Lovelock
- Ed. Taschen, 168 pp.
- env. 30 €



"Nous sommes partie prenante de cette planète, et non en surplomb." L'écologiste James Lovelock, auteur de l'hypothèse Gaïa, a voulu rassembler les connaissances actuelles sur la Terre et, puisque l'homme est l'un des organes du corps planétaire, y adjoindre les sciences du vivant. C'est réussi. Au fil des pages de cet ouvrage richement illustré, douze spécialistes – astronome, physicienne, biologiste, neuroscientifique... – tissent les liens entre Terre et Homme. L'eau, le carbone, la roche, les cellules, les insectes, les arbres et les mammifères apparaissent progressivement comme des entités dynamiques étroitement intriquées. Voici un portrait moderne de la Terre. Un livre pour entrer dans l'anthropocène.

M.F.



## Révolutions animales

- Sous la direction de Karine Lou Matignon
- Arte Editions/Les Liens qui Libèrent, 576 pp.
- 38 €



5

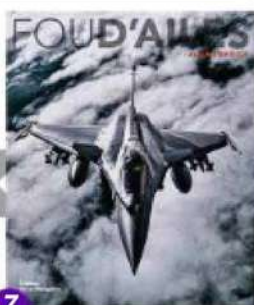
Existe-t-il vraiment une frontière entre les humains et les animaux ? Leurs intelligences et leurs consciences sont certes différentes des nôtres, mais en seraient-elles pour autant moins réelles ? *Révolutions animales*, c'est plus d'une soixantaine d'experts internationaux, biologistes, avocats, historiens et philosophes, qui se penchent sur ces questions, jonglant entre récits d'observation, solides études scientifiques et réflexions sur la condition animale. Et entre deux photographies bestiales aux allures de portraits intimes, voilà qu'on apprend qu'une chèvre est capable d'émotions complexes, que les poulets se projettent dans l'avenir ou encore que les singes font preuve d'une véritable morale. Les animaux sont bien plus sensibles que ce que l'on veut croire, nous apprend ce livre.

Et si c'était aujourd'hui à l'homme de se montrer sensible à leur égard ?

T.C.-F.

## Fou d'ailles

- D'Alain Ernout
- Ed. de La Martinière, 312 pp.
- 39 €



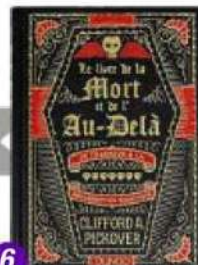
7

Avis aux amateurs d'engins volants ! Ce livre de photos à couper le souffle vous embarque pour un fabuleux voyage dans l'histoire de l'aviation. De l'aéroplane de Clément Ader en 1890 au Concorde, sans oublier le tout récent *Solar Impulse*, Alain Ernout parcourt les grandes étapes de l'aventure aérienne en textes plutôt ramassés (mais riches en éléments techniques), et surtout en clichés des plus beaux coucous. Avec un atout : comme il fait partie du petit cercle des photographes spécialisés dans l'aviation, il peut réaliser des clichés inédits, parfois dans des conditions extrêmes. Son texte fait d'ailleurs partager les coulisses de certaines de ses prises de vue. Comme ce jour où, pour photographier un Rafale au-dessus d'un champ, étant donné la vitesse de l'appareil, il a eu à peine une demi-seconde pour réagir !

M.V.

## Le Livre de la mort et de l'au-delà

- De Clifford Pickover
- Ed. Dunod, 224 pp.
- 22 €



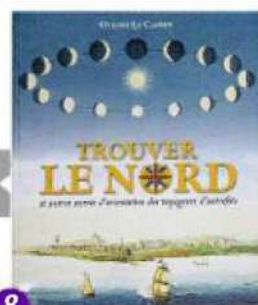
6

A la croisée de la médecine, de l'histoire, de la physique, de la mythologie, de l'archéologie et de la philosophie, voici un dictionnaire éclectique qui fait le pari – réussi – de rassembler en un même ouvrage cent notions de tous horizons et de toutes époques illustrant notre rapport intime avec la Grande Faucheuse. Traduction française d'un ouvrage de Clifford Pickover, auteur de livres de mathématiques et de science-fiction, publié en 2015 aux Etats-Unis, *Le Livre de la mort et de l'au-delà* nous propose un étrange voyage au cours duquel le lecteur croquera la résurrection quantique, les zombies, la chaise électrique, les fleurs funéraires natoufiennes, le "syndrome du cadavre ambulant", la cryogénisation ou encore *La Divine Comédie* de Dante. Un voyage où les sciences côtoient les croyances, pour toucher aux limites de l'insondable.

V.G.

## Trouver le nord

- D'Olivier Le Carrer
- Ed. Delachaux et Niestlé, 192 pp.
- 32 €



8

Encore un ouvrage délivrant des leçons de survie en pleine nature ? Détrompez-vous. L'ambition est ici beaucoup plus séduisante : découvrir les secrets d'orientation à l'ancienne des grands explorateurs, tels Marco Polo, Christophe Colomb ou l'aviateur Jean Mermoz, en passant par les Vikings et les peuples polynésiens. Les fondamentaux sont respectés : belles cartes anciennes, schémas malins pour s'orienter avec le Soleil, la Lune, les constellations... On découvre surtout, dans un style très accessible, qu'il n'est pas forcément besoin d'être un as de la boussole pour se repérer ; soyez aussi attentif aux nuages, à la houle, aux oiseaux migrants, aux dauphins ou bien... demandez votre chemin. Un moment rafraîchissant à l'heure du GPS, dans un monde où l'on ne sait plus s'égarer.

V.N.







22 décembre 1666

# Et Colbert fonda l'Académie des sciences

Sans cérémonie, ils se sont rassemblés, ce 22 décembre 1666, dans la bibliothèque du roi. Des savants illustres, comme Huygens, et d'autres plus obscurs. Vingt et un, en tout, pour la première réunion de ce qui ne s'appelle encore que "la Compagnie" ou "l'Assemblée". Mais il y a déjà là l'embryon d'une future Académie royale des sciences, qui structurera et fera briller dans toute l'Europe la science française. Pour l'heure, la Compagnie n'a ni lettre patente ni règlement à faire valoir. Le roi en a voulu ainsi. Ce qui lui évite, perflent les mauvaises langues, de s'imposer des obligations, en particulier financières, à son égard. Nul ne doute, néanmoins, de son entier soutien. Et tous s'en réjouissent.

Car la science, depuis que Copernic a commencé, il y a un siècle et demi, à s'affranchir des dogmes de l'Eglise, prend chaque année davantage son envol. Les savants ressentent le besoin d'échanger et de valider leurs résultats auprès de leurs pairs.

## POUR LA GLOIRE DE LOUIS XIV

Dès le début du XVII<sup>e</sup> siècle, des premières assemblées savantes ont donc émergé. Ainsi, le père Marin Mersenne, un mathématicien, ouvrit en 1635 une académie au couvent parisien des Minimes, où se discutaient les travaux de Galilée, Descartes, Fermat... Sa mort, en 1648, interrompit cette première expérience. Une autre assemblée prit le relais, à l'initiative cette fois de l'abbé Bourdelot, médecin du

prince de Condé. On y croissait de Roberval, Gassendi, Pascal... La Fronde y mit fin un an plus tard. D'autres tentatives, aussi éphémères, devaient lui succéder, comme celle de Montmor, en 1657.

Mais ces premières assemblées dépendaient toutes de la générosité d'un mécène. Et le besoin d'une structure plus pérenne se faisait sentir. A l'image de la Royal Society, qui apporte en 1660 à l'Angleterre la première institution publique consacrée à la recherche scientifique. Une structure indépendante, qui transcende la durée d'existence de ses membres, tout entière dédiée à la recherche du savoir.

Un ancien secrétaire de l'assemblée de Montmor propose en avril 1663 à Colbert, puissant ministre de Louis

XIV, un modèle de société savante placée sous la protection du roi. L'astronome Auzout, qui souhaite obtenir un observatoire, appuie sa requête. *"Il y va, Sire, de la gloire de Votre Majesté et de la réputation de la France"*, écrit-il. Le grand savant hollandais Huygens, invité à s'installer à Paris, se joint au projet d'une Compagnie des sciences et des arts qui réunirait enfin des savants professionnels rémunérés sur le Trésor royal. Suivi du mathématicien Pierre de Carcavi, fraîchement nommé garde de la bibliothèque du roi et conseiller du ministre en matière scientifique.

La requête arrive à point. Alors que Louis XIV instaurait une monarchie absolue, Colbert comprend que les arts et les sciences doivent

## SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

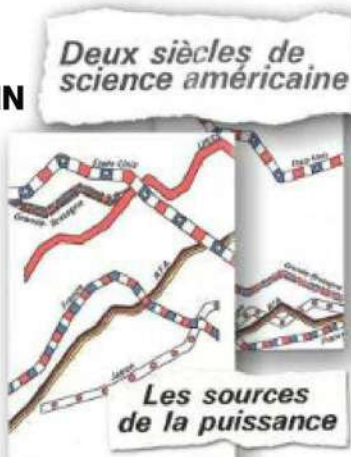
### 1975 FAUT-IL FERMER L'ACADÉMIE DES SCIENCES ?

"Parmi les nombreux dossiers qui ont séjourné sur le bureau de M. Giscard d'Estaing, depuis son arrivée à l'Elysée, il en est un qui n'a encore guère retenu son attention", déplore S&V. Il porte sur la "réforme d'une de nos plus vénérables institutions: l'Académie des sciences", dont l'histoire, juge le magazine, "est celle d'une longue décadence". Elle "n'est plus qu'une institution très âgée sans aucune prise sur le marché des découvertes et des techniques". S&V n° 690

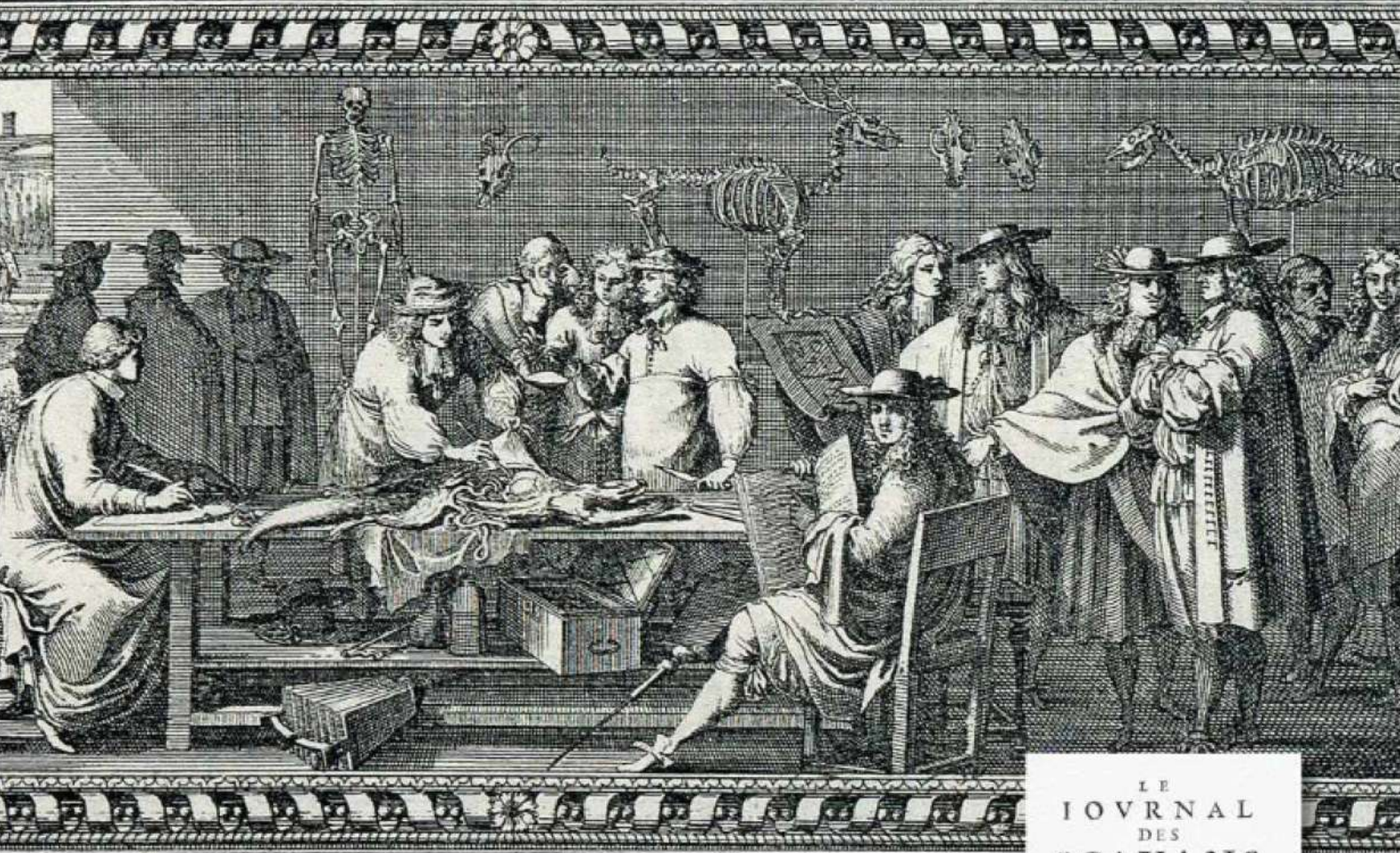


### 1981 QUAND S&V INTERROGEAIT LE SUCCÈS AMÉRICAIN

L'admiration est palpable: "Comment, partie de presque rien en 1766, la science américaine en est-elle arrivée au faite? C'est sa propre histoire qui l'explique: elle a toujours été et reste indépendante de l'Etat, le secteur privé a la charge des programmes publics et la souplesse est un mot d'ordre qui a interdit toute structure rigide". S&V n° 706







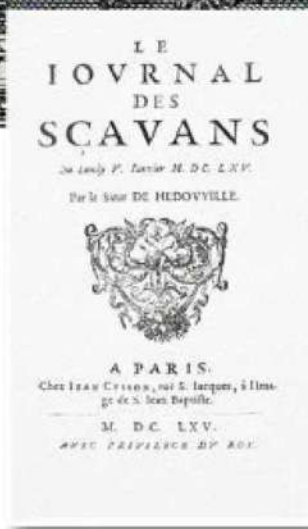
contribuer au rayonnement du roi. Son entourage a déjà préparé le terrain: le conseiller Chapelain a dressé une liste d'hommes de lettres et de savants dignes de recevoir une gratification royale.

Le conteur Charles Perrault propose, lui, de fonder une académie générale qui rassemblerait toutes les disci-

plines, des Belles Lettres aux mathématiques. Mais l'Université, le Collège royal et l'Académie française se pressent d'enterrer l'idée. Colbert tranche alors pour une seule académie des sciences, dont la mission serait de répondre aux problèmes technologiques du royaume et de contribuer à l'accroissement

L'Académie se réunit deux fois par semaine dans la bibliothèque du roi (ici pour une dissection), et assure le rayonnement des sciences françaises à travers un périodique (à dr.) alors unique en Europe.

du savoir. Huygens en sera l'étendard. Ses travaux en mathématiques, son identification des anneaux de



## 1988 LA DIFFICILE RENAISSANCE DES SCIENCES RUSSES

L'engagement de l'URSS dans la Perestroïka (reconstruction) va-t-il bénéficier à la science? Las, la prestigieuse Académie des sciences fondée par Pierre le Grand 250 ans plus tôt, et qui contrôle 270 instituts de recherche, peine à renouveler ses têtes pensantes. "Si les savants soviétiques veulent se mettre à l'heure, il leur faudra triompher de l'obsession bien soviétique elle aussi, du secret [et] que Gorbatchev retire au KGB le contrôle des déplacements de savants." S&V n° 848

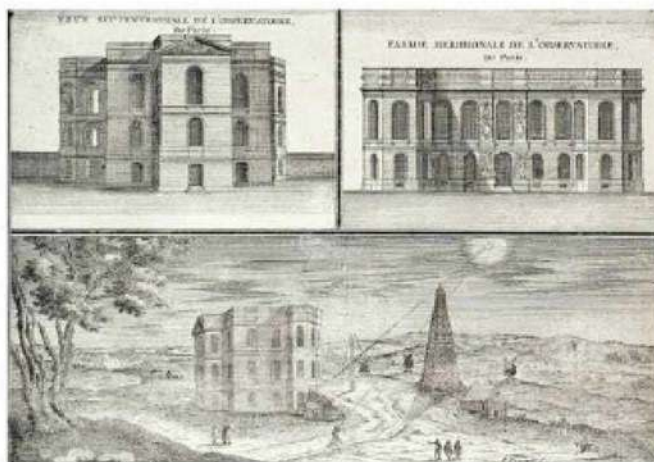




→ Saturne et les perfectionnements qu'il a apportés à la lunette astronomique ont assis sa renommée dans toute l'Europe. On met à sa disposition un appartement dans la bibliothèque du roi et une pension annuelle de 6000 livres.

Entre mai et juin 1666, six autres savants vont être retenus: Auzout, de Carcavi, Buot, de Roberval, de Bessy et l'abbé Picard. Ils forment la section des sciences mathématiques, qui comprend la géométrie et l'astronomie. En octobre, les membres de la section de physique, c'est-à-dire les sciences expérimentales, sont choisis à leur tour. Et le 22 décembre 1666, ils décident de se réunir deux fois par semaine, le mercredi pour les mathématiques et le samedi pour la physique. Au nom de l'unité du savoir, il est convenu qu'ils assisteront tous à toutes les réunions, de Carcavi servant d'intermédiaire avec le ministre.

Le 23 mars 1667, la Compagnie décide que toute découverte de l'un de



△ L'Académie se voit offrir par Louis XIV un Observatoire dans le sud de la capitale, où sera gravé dans le sol, en 1667, le méridien de Paris.

ses membres sera imprimée dans un bulletin périodique, créé en 1665: *Le Journal des sçavans* est alors unique en Europe. La science française dispose désormais d'un lieu pérenne d'échange et de transmission du savoir.

Reste à lui donner les moyens de ses ambitions. Un laboratoire de chimie est installé à côté de la bibliothèque du roi et un Observatoire est construit au sud de Paris, où est dessiné, en juin 1667, sur une pierre, le méridien qui servira de référence pour la France. Celui-ci étant trop

éloigné du centre de Paris, la Compagnie lui préfère le Jardin du roi, futur Jardin des Plantes, où les enseignants défendent des idées nouvelles interdites à l'université.

La Compagnie multiplie les travaux, réalise des transfusions sanguines, dresse une carte plus précise du royaume; elle est consultée sur des sujets techniques, comme le calcul de la longitude en mer, l'approvisionnement en eaux de Versailles, ou pour juger des inventions présentées par les particuliers.

Elle devra toutefois attendre 1699 pour obtenir le règlement qui fera d'elle une institution officielle: l'Académie royale des sciences. Elle sera entre-temps devenue l'un des principaux pôles savants de l'Europe des Lumières. Position qu'elle gardera durant presque trois siècles, traversant sans grand dommage les péripéties de l'Histoire: éclipse en 1793, elle sera fondue dans l'Institut national des sciences et des arts en 1795, avant de retrouver le titre d'Académie en 1816.

La Seconde Guerre mondiale lui portera un coup plus rude. Restée étrangement apathique durant le conflit, elle sera, à la Libération, tenue à l'écart du grand chantier de réorganisation de la science française qui donnera naissance aux principaux organismes nationaux de recherche. Elle attend, depuis, un second souffle, trouvant dans la rédaction de multiples rapports le rôle d'expertise et d'initiation de débats qu'elle a toujours conservé. **Emmanuel Monnier**

AKG-IMAGES/RABATTI - DOMINGIE

## SCIENCE & VIE en parlait encore

### 2010 L'ACADÉMIE PREND POSITION SUR LES ONDES...

"Réduire l'exposition aux ondes des antennes-relais n'est pas justifié scientifiquement", affirment en chœur les Académies de médecine, des sciences et des technologies, prenant position "dans le débat sur les éventuels dangers de la téléphonie mobile". Son secrétaire perpétuel accuse les politiques de "fond[er] leurs mesures sur l'opinion publique et non sur la science [...] : l'angoisse l'emporte sur la rationalité". **S&V n° 1110**



### 2013 ...ET MET EN GARDE CONTRE LES ÉCRANS

"Il faut très tôt éduquer à une pratique modérée et autoréglée des écrans."

Tel est le conseil de l'Académie, que S&V étaye en consultant "un large panel d'études scientifiques". Apprentissage, intelligence, vision et attention: "Les écrans ont bel et bien un effet." Parmi les recommandations: "Ne pas exposer les moins de 2 ans à tout type d'écran [...] ; réduire la télé à une ou deux heures par jour [...] ; privilégier les interactions parents-enfants et les jeux créatifs". **S&V n° 1149**



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)





# LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE

RENFORCER LES LIENS ENTRE LA SCIENCE  
ET LES CITOYENS

NICOLAS MARTIN  
DU LUNDI AU VENDREDI  
16H-17H



© RADIO FRANCE / CHRISTOPHE ABRAMOWITZ

en partenariat avec

**SCIENCE & VIE**

Écoute, réécoute, podcast  
[franceculture.fr](http://franceculture.fr)





# SAMSUNG

# Galaxy S7 edge | S7



Samsung présente les nouveaux Galaxy S7 au design élégant et sobre né de l'alliance du verre et du métal. Sublimé par son écran aux bords incurvés, le Galaxy S7 edge se distingue par sa ligne unique. Grâce à la technologie Dual Pixel, l'appareil photo est encore plus performant pour des images parfaites même en très faible luminosité. Repoussant les limites du stockage grâce au port microSD, résistants à l'eau et à la poussière et dotés d'une batterie à charge rapide, les nouveaux Galaxy S7 vous offrent toujours plus de possibilités.

**Galaxy S7. Repoussez les limites du smartphone.**

[www.samsung.com/fr/galaxys7](http://www.samsung.com/fr/galaxys7)



**DAS Galaxy S7 edge : 0,264 W/Kg - DAS Galaxy S7 : 0,406 W/Kg.** Le DAS (débit d'absorption spécifique des appareils mobiles) quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques, pour une utilisation à l'oreille. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2W/kg. L'utilisation d'un kit mains libres est recommandée. Samsung Electronics France - Ovalle - 1 rue Fructidor - 93484 Saint-Ouen Cedex. RCS Bobigny 334 367 497. SAS au capital de 27 000 000 €. Visuels non contractuels. Écran simulé. **Cheil**