

ÉLECTRON **MOLOCH** NUAGE **HÉPATITE C** SUPER-SENS DESIGN **MOTEUR VCR**
EXPLOSION DE BATTERIES TCHOURI **SPOILERS** TRAITÉ DE L'ESPACE ŒUFS

SCIENCE & VIE

SCIENCE & VIE

JANVIER 2017 N° 1192 A MONDADORI FRANCE

**PLANÈTE
FANTÔME**

LA GRANDE
TRAQUE

**MOTEUR
THERMIQUE**

IL N'A PAS DIT
SON DERNIER MOT

CONSCIENCE
ÉMOTIONS
INTELLIGENCE

À QUOI PENSENT LES BÊTES

LES RÉVÉLATIONS
DES NEUROSCIENCES

POLLUTION ELLE S'ATTAQUE AU CERVEAU !

D: 6,90 € - BEL: 4,80 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,80 € - DOM S: 4,90 € - DOM A: 6,90 €
ITA: 4,90 € - LUX: 4,80 € - PORT CONT: 4,90 € CAN: 6,75 \$ CAN - MAR: 50 DH
TOM S: 750 CFP - TOM A: 1400 CFP - OH: 8,50 FS - TUN: 9 DTU

M 02578 - 1192 - F: 4,50 € - RD



CHYPRE

Du soleil adoré

aux lieux sacrés
en un rien de temps.

Aphrodite, déesse de la beauté, a émergé des eaux turquoise de Chypre. Ici, les splendeurs d'anciennes civilisations se mêlent parfaitement aux plus belles plages de la Méditerranée. Contemplez Chypre ; promenez-vous en bord de mer, visitez ses exceptionnels sites archéologiques, laissez les rayons du soleil vous porter vers la découverte d'une culture qui a illuminé le monde. Écoutez votre cœur et explorez toutes les richesses de l'île. Imprégnez-vous : à Chypre, tout n'est que beauté et émotion.

www.visitcyprus.com



Union Européenne
Fonds européen
de développement régional



République de Chypre



Fonds structurels
de l'Union Européenne à Chypre

Potentiellement éligible pour cofinancement par le Fonds européen
de développement régional (FEDER)



Coralie Hancock
c.hancock@mondadori.fr

Gare au Q.I.

Depuis 2010, les biberons ne contiennent plus de bisphénol A pour éviter cancers ou problèmes de fertilité. Comme beaucoup de parents, ce sont ces effets que j'associe surtout aux perturbateurs endocriniens. Mais au cours de cette enquête, j'ai réalisé que ces polluants, et de très nombreux autres, attaquent aussi le cerveau des bébés à naître. Au point d'affecter leur intelligence future. Pire: la pollution pourrait être liée à des formes d'autisme et des troubles de l'attention. Inquiétant!



Benoît Rey
b.rey@mondadori.fr

La course est lancée!

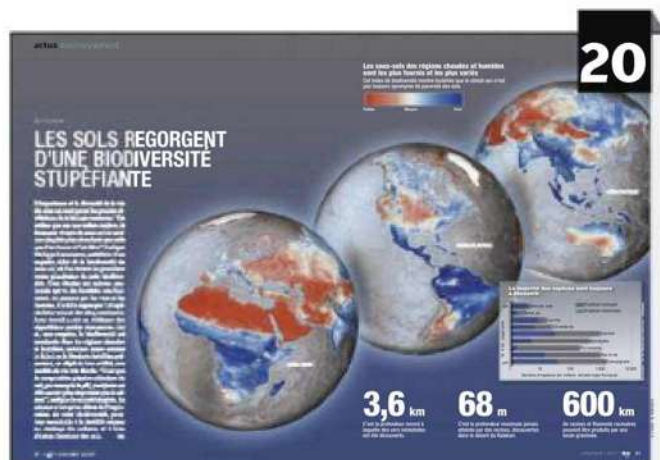
C'est une chasse unique en son genre. Pour l'enjeu, d'abord. Il s'agit de découvrir une planète de plus dans le système solaire! Et pas une ridicule boule de roche, non, une vraie géante gazeuse. Pour l'ambiance ensuite. Au fil des entretiens avec les équipes qui chassent cette neuvième planète, j'ai pu me rendre compte que règnent dans la communauté des astronomes tension, excitation... Une concurrence accrue que je n'avais jamais sentie sur aucun autre sujet de recherche. Et pour cause: il n'y aura pas de second prix. Le premier qui l'observera inscrira instantanément son nom dans l'histoire des sciences... et tant pis pour les autres.



Thomas Cavallé-Foll
t.cavalle-foll@mondadori.fr

Dans la tête des bêtes

Vingt ans auparavant, si nous avions interrogé des scientifiques pour un tel dossier, nous aurions principalement récolté rires et moqueries. Mais quelque chose a changé. Certes, la description de l'univers mental des animaux étant un tout nouveau pan de la science, les spécialistes font encore preuve de retenue, mais tous en ont aujourd'hui la certitude: les animaux pensent – peut-être pas comme nous, mais ils pensent bel et bien. Toute la difficulté étant de choisir les bons mots pour décrire des prouesses cognitives si inattendues, en dosant sagement notre inévitable tendance à l'anthropomorphisme, afin qu'elles ne soient ni exagérées ni dénigrées.



SCIENCE & VIE 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmsn@mondadori.fr

Recevez Science & Vie chez vous. Vos bulletins d'abonnement se trouvent pp. 19 et 125. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart Boutique Science & Vie-Montres est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Conseil Général du 92-"Demain la science" est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un catalogue Science & Vie Voyages-Croisières 2017 est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Science & Vie Voyages-Croisières S&V Russie est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.

06 Forum

Actus

12 Labos

Les spirales célestes sont aussi des nids de planètes; un premier fossile de cerveau de dinosaure a été découvert; plus le cerveau est gros, plus on bâille longtemps...

20 Environnement

Les sols regorgent d'une biodiversité stupéfiante; le mystère des nuages est en voie de résolution...

24 Médecine

La première grippe, c'est pour la vie; un implant cérébral refait marcher un singe...

28 Technos

Un drone alimenté par induction magnétique a réussi à voler; du CO₂ converti en éthanol...

Événement

32 Pollution

Elle s'attaque au cerveau

A la Une

40 À QUOI PENSENT LES BÊTES

42 8 pensées animales décryptées par les neurosciences

54 La science fait sa révolution animale

Science & découvertes

60 Virologie

Virus de l'hépatite C: enfin visible au microscope

63 Aérologie

Hector, l'orage devenu la star du climat

66 Biologie

Nos 5 "super-sens": bien plus aiguisés qu'on ne le croyait!

72 Astronomie

Planète fantôme: la grande traque

Science & techniques

80 I.A. et design

Quand l'ordinateur réinvente les objets

86 Séquençage de l'ADN

Il sauve désormais des vies

92 Moteur thermique

Il n'a pas dit son dernier mot

Science & futur

98 Inauguration d'une ferme géante en plein désert; la première voiture électrique qui roule au solaire; des jardins aériens pour reconnecter les villes coupées par des routes; les appareils ménagers vont s'adapter aux pics de consommation; un concept de moto antichute est à l'étude; l'avion électrique personnel à décollage vertical est en bonne voie; début des tests pour les bateaux sans pilote...

La science & la vie

Science & société

106 Explosions de portables: les batteries lithium-ion sont-elles dangereuses?

110 Accord Canada-Europe: OGM et bœuf aux hormones bientôt dans nos assiettes?

112 En 2070, la France comptera 10 millions de retraités en plus

Science & vie pratique

114 Bon à savoir

116 Technofolies

Science & culture

120 Questions/Réponses

126 A voir / à lire

128 Il y a... 50 ans: le traité qui promettait de ne pas militariser l'espace

Forum

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

La vie extraterrestre est-elle magnétique?

Vous indiquez l'importance de l'existence du champ magnétique terrestre dans l'apparition de la vie (S&V n° 1191 de décembre, p. 64)... Mais dans le cadre de la recherche de possibles vies extraterrestres sur des exoplanètes, avons-nous les moyens de le mesurer?

Jean-Michel Désir, Ardèche

S&V Ce serait évidemment une manière de choisir quelles exoplanètes ont le plus de chances d'être hospitalières... Malheureusement, le champ magnétique a le mauvais goût de ne pas se laisser mesurer à distance. Les astronomes doivent se contenter de données indirectes. Et concernant les exoplanètes, la seule indication



dont ils disposent est la détection d'hydrogène neutre autour d'énormes planètes gazeuses. La présence de ce gaz pourrait signifier que les protons du vent de leur

étoile sont neutralisés... et donc, qu'elles ont un bouclier magnétique. Mais c'est loin d'être confirmé, et ces géantes sont très différentes des petites rocheuses habitables. Pour ces dernières, on ne sait que calculer leur champ magnétique en fonction de leur rayon, de leur rotation, de leur masse... "Mais c'est un problème extrêmement ardu car de nombreux facteurs entrent en ligne de compte, comme l'histoire de la planète, sa composition, son accrétion...", explique Franck Selsis, Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. C'est d'ailleurs pour cela que ce genre d'étude sur le champ magnétique terrestre est si intéressant."

Votre une "Demain la Terre" me fait penser à *La Fin du monde* de Camille Flammarion qui, en 1894, se pliait au même exercice. Le parallèle est saisissant et montre à quel point la science a progressé depuis 120 ans.

Jean-Louis Guyot, Jasseron (Ain)



Des marées lunatiques...

Il est amusant de trouver, dans le même n° 1190 (daté de novembre), deux articles sur l'influence de la pleine lune : l'un sur une possible corrélation entre pleine lune et nombre de naissances (p. 9); l'autre sur un lien avec les tremblements de terre (p. 25). Mais pour ce second texte, n'auriez-vous pas dû titrer plutôt "Le périgée de la

lune favorise les séismes"? Ce qui entretiendrait moins une confusion justifiant de vieux mythes sur la pleine lune...

Jérôme Siour, Ain

S&V En fait, le passage de la Lune au plus près de la Terre (périgée) n'a qu'un impact mineur. Et c'est bien la pleine lune dont il est question ici. L'article auquel

Les feuilles ont tellement de raisons de tomber

Page 124 du *Science & Vie* n° 1189 daté du mois d'octobre 2016, vous traitez dans la rubrique Questions/Réponses un courrier intitulé : "Quel profit tire un arbre de perdre ses feuilles ?" Parmi les nombreux bénéfices énumérés, il me semble pourtant que vous en avez omis un important : la conservation de l'eau pour éviter le dessèchement. En effet, l'eau froide est plus visqueuse que l'eau chaude. Pour cette raison, celle qui est pompée dans la terre par les racines et emmenée jusqu'aux feuilles rencontre une plus forte résistance en hiver... et continuerait de s'évaporer par les feuilles, si elles n'étaient pas tombées. Sans parler de la difficulté à absorber de l'eau quand le sol est gelé.

Lars Olof Bjorn,
université de Lund (Suède)

SV "Je vois avec plaisir que le rayonnement de votre journal va jusque dans les contrées nordiques... s'amuse Hervé Cochard, écophysiologiste à l'Inra, que nous avons invité à vous répondre. Effectivement, la viscosité de l'eau augmente d'environ 2,5 % par degré quand la température baisse, ce qui a pour effet d'augmenter la résistance hydraulique du trajet de la sève dans l'arbre. Mais la demande évaporatoire de l'air chutant aussi avec la température, le flux de sève diminue en hiver pour les espèces qui gardent leurs feuilles. On mesure en général une tension de sève moindre qu'en été. Ceci indique que l'impact de la viscosité de l'eau est assez faible, mais contribue certainement pour partie à la perte d'efficacité du système hydraulique des arbres en hiver."

vous faites allusion explique que l'on observe des séismes plus intenses lors des marées maximales. Or, ces grandes marées se produisent quand la Lune et le Soleil conjuguent leur attraction, autrement dit quand ils sont alignés, c'est-à-dire, précisément, au moment de la pleine lune (Soleil, Terre et Lune sont alignés et le Soleil éclaire la face visible de la

Lune) et de la nouvelle lune (le Soleil éclaire sa face cachée). Le passage de notre satellite au périgée, comme le passage de la Terre au plus près du Soleil (périhélie), ne fait qu'accentuer cet effet. Conclusion : notre titre n'est pas faux. Il est incomplet. Mais avouez qu'il aurait été un peu long d'écrire : "La pleine lune et la nouvelle lune favorisent les séismes" !

On en reparle



ET SI LA MATIÈRE NOIRE ÉTAIT AUSSI UNE ILLUSION...

En 2010 (voir *Science & Vie* n° 1116), nous vous exposons la thèse radicale d'Erik Verlinde, éminent théoricien à l'université d'Amsterdam. Selon lui, loin d'être une force fondamentale, la gravitation ne serait qu'une illusion : elle n'aurait d'existence qu'à notre échelle et s'évanouirait dès que l'on s'aventure dans l'intimité de la matière.

Or, le physicien tire aujourd'hui les fils de cette hypothèse dans un nouvel article qu'il vient de publier. Précisément, en développant ses calculs dans le cadre d'un Univers en expansion accélérée, à l'instar du nôtre, il montre que sa vision de la gravitation conduit naturellement à une modification de la loi de Newton. Une modification qui permet de se débarrasser de l'encombrante matière noire, cette substance censée compter pour 85 % du contenu en matière du cosmos, et qui se dérobe depuis un siècle à l'œil des astrophysiciens.

Erik Verlinde n'est pas le premier à voir dans la matière noire une "simple" mauvaise prise en compte des lois de la gravitation. Mais il est le premier à en donner la raison. "Si les développements de Verlinde s'avèrent exacts, son article sera considéré comme un véritable tournant", lâche, admiratif, Lee Smolin, à l'Institut Perimeter (Canada). L'illusion de Verlinde est en train de prendre corps. Nous suivons l'affaire...

M.G.

On en reparle

CRISPR/Cas9

L'arme fatale de la thérapie génique

Quel est le CRISPR/Cas9 ? Une arme à double tranchant, capable de modifier le génome d'un organisme vivant.

C

UN PREMIER PATIENT A ÉTÉ TRAITÉ PAR CRISPR/CAS9

Le 28 octobre dernier, pour la première fois, un patient a été traité par thérapie génique à l'aide de la technologie CRISPR/Cas9. Un événement dont nous vous annonçons, en novembre 2014, la survenue prochaine (voir S&V n° 1180). Cet assemblage d'une molécule d'ARN et d'une enzyme bactérienne promettait alors en effet, par sa facilité d'utilisation et sa grande précision, de surpasser certaines des difficultés rencontrées par la thérapie génique, difficultés qui l'avaient empêchée ces vingt dernières années de tenir ses promesses.

Si, depuis notre article, de nombreux chercheurs se sont emparés de cette technologie, les médecins de l'université du Sichuan, en Chine, ont été les premiers à obtenir, au mois de juillet dernier, l'autorisation de réaliser des essais cliniques sur des patients. Leur objectif : modifier des cellules immunitaires de patients atteints de cancer, pour qu'elles détruisent leurs cellules tumorales. Après un premier malade atteint d'un cancer du poumon métastasé, neuf autres devraient suivre. Les premiers résultats seront connus dans l'année. Un autre essai clinique, concernant toujours des cancers, devrait démarrer aux États-Unis. Avec CRISPR/Cas9, la quête de la guérison par les gènes est bel et bien relancée. A suivre... E.A.

Piétonnisation : moins de bouchons, vraiment ?



Je suis surpris de voir que votre article sur la piétonnisation des berges de la Seine (n° 1190, p. 114) ne semble s'intéresser qu'à une seule conséquence de ces fermetures : celle du nombre de déplacements finaux. Je tenais à faire remarquer qu'il existe une différence importante entre diminution du nombre de déplacements et "allègement de la circulation", du moins d'un point de vue global. L'exemple que vous citez parle de lui-même : "[...] 71 500 véhicules ont dû trouver un moyen de contournement, en surchargeant d'autres ponts et en y créant potentiellement une circulation moins fluide".

Antoine Delmas, Nantes

S&V En effet, la baisse du nombre de déplacements n'augure pas de la fluidité de la circulation. C'est pourquoi les experts étudient aussi les temps de parcours. L'actualité semble d'ailleurs vous donner raison : le Comité régional chargé d'évaluer les impacts de la piétonnisation des voies sur berges rive droite à Paris, qui

a rendu son premier rapport quelques jours après notre bouclage, constate "un accroissement significatif des temps de parcours sur la plupart des axes retenus aux heures de pointe entre septembre 2015 et septembre 2016". Publié mi-novembre, le second rapport confirme cette tendance. Pour autant, Paul Lecroart, urbaniste à l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, estime qu'il s'agit "d'ajustements qui devraient se résorber peu à peu". Et de citer l'exemple de Séoul : la démolition de la voie express sur la rivière Cheonggyecheon y a entraîné une réduction de 9% du trafic en ville et une diminution généralisée des temps de parcours. Sauf qu'à "Séoul, l'initiative s'est accompagnée d'une batterie de mesures pour développer les alternatives à la voiture en solo. Ce qui n'est pas le cas à Paris". Autre difficulté : la voirie parisienne n'est pas capable d'absorber les reports de circulation. Les phénomènes de congestion risquent donc d'être régulés par la lassitude des usagers.

La boutique SCIENCE & VIE

Plus de

400

- ▶ Livres
- ▶ Objets scientifiques
- ▶ Idées cadeaux

www.laboutiquescienceetvie.com





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

FedEx
Express

Dans les kiosques

UNE HISTOIRE DES MONSTRES

Hybrides fabuleux, créatures grotesques... L'Antiquité a posé un nombre presque infini de monstres. Comment ont-ils évolué au fil du temps, jusqu'à devenir les Pocket Monsters de Nintendo ou les lutins du Père Noël? Exutoire de nos peurs, catalyseur de notre réflexion, marqueur de notre identité, le monstre est bien plus que sa simple apparence fantasmagorique. *Les Cahiers de Science & Vie*, 5,95 €



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 €



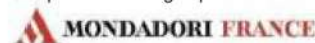
OBJETS CONNECTÉS

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 €



SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Mathieu 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^{re} 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, G. Cirade, A. Colonat, A. Dagan,
A. Debroise, S. Devos, O. Donnar, S. Fay, D.
Florentz, F. Gracci, M. Grousson, E. Haentjens,
C. Hancock, R. Ikonioff, M. Kontente,
H. Leroux, E. Monnier, N. Picard, A. Pihen,
A. Rambaud, B. Rey, Y. Sciamia, G. Siméon,
M. Spée, E. Thierry-Aymé, A. Vernet

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

ABONNEMENTS ET DIFFUSION

DIRECTEUR MARKETING CLIENTS/DIFFUSION

Christophe Ruet

ABONNEMENTS

Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Johanne Gavarini (responsable marketing direct)

VENTES AU NUMÉRO

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

BOULIQUE ET VPC

Sandrine Tiffreau (directrice vente à distance)
Arnaud Henaff (responsable 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 Benezec (19 83)
Grande-Bretagne: Publieurope LTD
(info@publieurope.com -
44 (0)20 7927 9800);
Allemagne: Publieurope Munich
(info@publieurope.com
0049 89 2908150);
Suisse: Publieurope Lausanne
(info@publieurope.com
0041 21 323 3110);
Espagne: Publimedia Madrid
(info@publimedia-gestion.es
0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Daniel Rougier, Agnès Châtelet

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social: 8, rue François-Orly

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR: EL COGRAF - ITALIE

N° ISSN: 0036-8369

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: janvier 2017

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone: 01 46 48 48 96

Par courrier:

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

Pour vous abonner par internet:

www.kiosquemag.com

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-Orly,

92543 Montrouge

Cedex

Par mail: sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES

ET VPC

Tel: 01 46 48 48 83

Contact: laboutiquescienceetvie.com



CROISIÈRE DU 7 AU 14 AVRIL 2017

SCIENCE & VIE



La croisière au cœur du Portugal

Entre vignobles et patrimoine de la vallée du Douro

PORTO - AVEIRO - REGUA - PINHAO - SENHORA DA RIBEIRA - SALAMANQUE

Tarif lecteurs

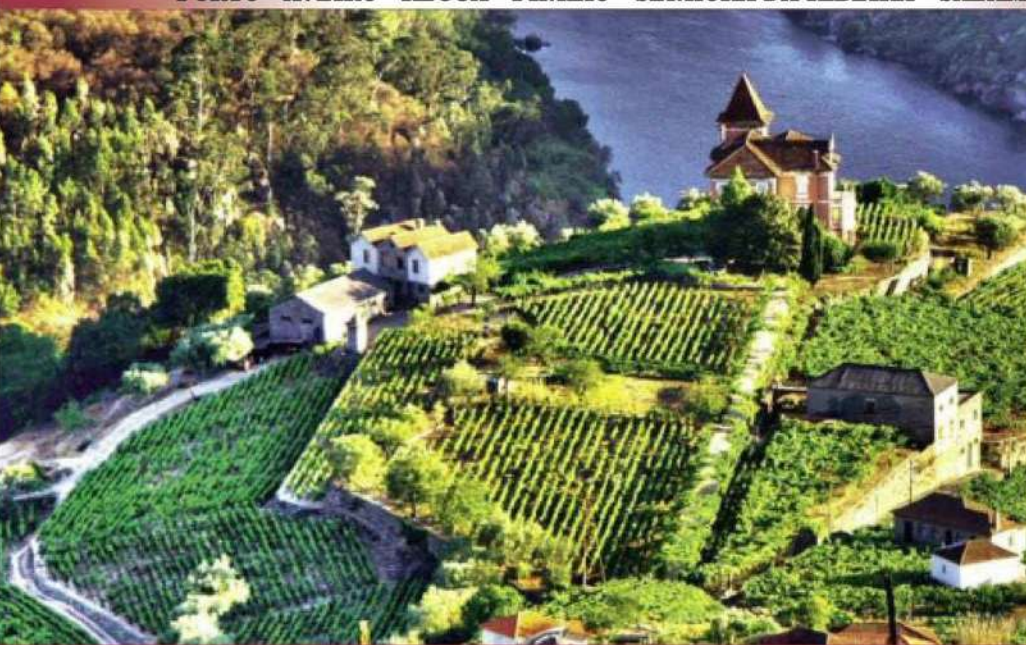
À PARTIR DE

1145€ /PERS.

au lieu de 1399€

8 JOURS/7 NUITS, CABINE DOUBLE,
PENSION COMPLÈTE, BOISSONS
ET VOLS INCLUS.

Visites et dégustations
OFFERTES



Le fleuve d'or oublie les frontières et relie le Portugal à l'Espagne.
Classé au patrimoine mondial de l'UNESCO, le Douro vous ouvre
les portes sur ce bout du monde où vignes en terrasse et villages typiques
se dévoilent au fil du fleuve et des accords du Fado.

VOTRE BATEAU ET SON TRAJET

Le Fernão de Magalhães



Informations et réservation au : **01 41 33 59 00** du lundi au vendredi de 9h à 18h et le samedi de 9h à 12h - Code avantage : **SCIENCE&VIE**

ou téléchargez la documentation complète sur **www.croisieres-lecteurs.com/sv**

ou Complétez, découpez et renvoyez ce coupon à : Science&Vie - Croisière La vallée du Douro - CS 90125 - 27091 Evreux Cedex 9

☐ Je souhaite recevoir **GRATUITEMENT** et **SANS ENGAGEMENT** de ma part la documentation complète de cette croisière.

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Tél. : Email :

☐ J'accepte d'être informé(e) des offres commerciales du groupe Mondadori France et de celles de ses partenaires. Avez-vous déjà effectué une croisière ? ☐ Oui ☐ Non

Conformément à la loi " Informatique et Liberté " du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de ces données par simple courrier. Sauf refus de votre part, ces informations peuvent être utilisées par des partenaires.

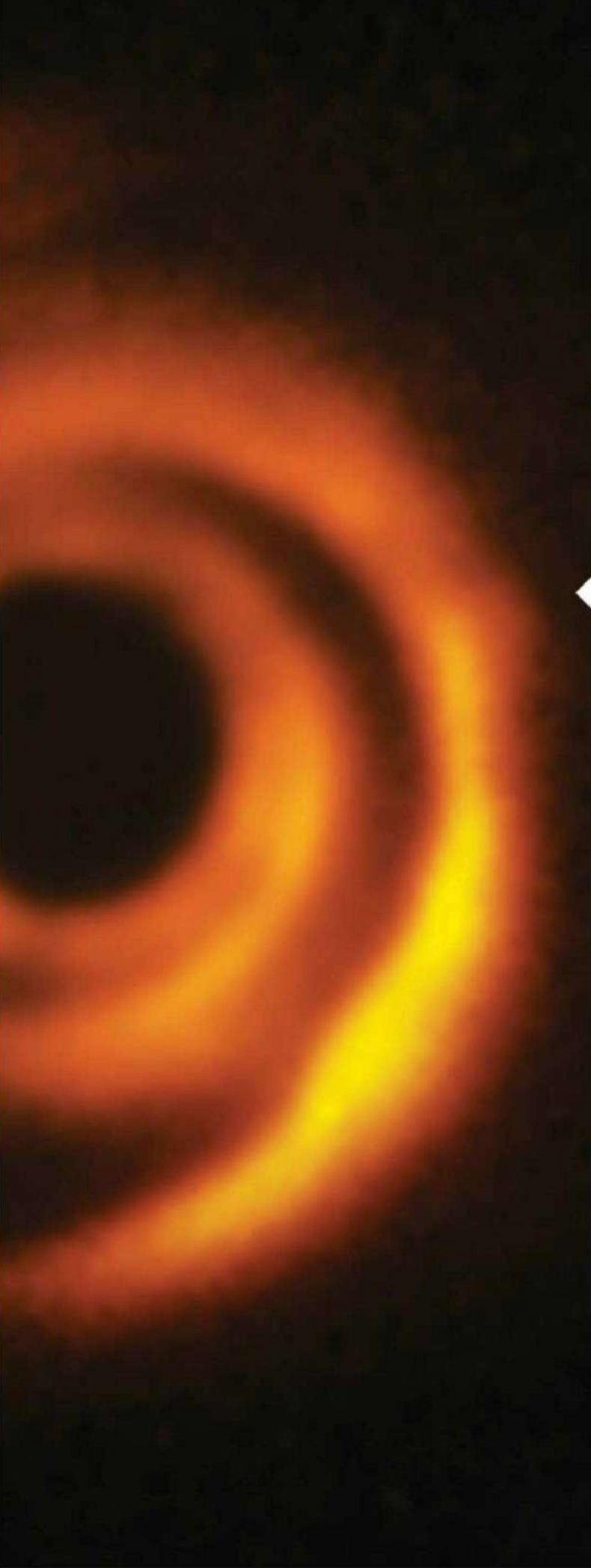
SCIENCE & VIE

CroisiEurope

actus



^ Les jeunes étoiles aussi forment des spirales, qui abritent dans leurs bras des embryons de planètes et même, dans le cas de L1448IRS3B (en bas à g.), d'autres étoiles !



ASTROPHYSIQUE

LES SPIRALES CÉLESTES SONT AUSSI DES NIDS DE PLANÈTES

Les spirales célestes ne sont plus l'apanage des galaxies ! En voici la preuve par trois : trois images haute définition de disques de poussières et de gaz qui enveloppent les étoiles juste après leur naissance, et dans lesquels se forment, à leur tour, les planètes. Sphere, une caméra infrarouge branchée sur l'un des télescopes du VLT, au Chili, a révélé la présence d'un disque de poussières autour de HD135344B (ci-contre la plus grosse spirale), une jeune étoile située à 450 années-lumière de nous, dans la constellation du Loup. On y voit se déployer de majestueux bras, observés jusqu'ici seulement autour des galaxies, probablement modélés par l'influence gravitationnelle de bébés planètes trop petites pour être discernées. A moins

que ce ne soit l'inverse ? La deuxième image, en haut à gauche, jette le doute. Prise par l'interféromètre radio Alma, au Chili, elle montre le gaz qui ondule autour d'Elias 2-27... Ses spirales, au lieu d'être créées par les planètes elles-mêmes, pourraient être dues, au contraire, à des surdensités de matière favorisant la naissance de nouveaux astres. Ce que suggère également L1448IRS3B, dont la spirale abrite le disque d'une nouvelle étoile en formation ! *"Dans tous les cas, ces systèmes sont très intéressants pour la recherche de planètes, conclut Arthur Vigan, l'un des concepteurs de Sphere. La présence de ces structures indique qu'il s'y passe quelque chose".* **B.R.**

PHYSIQUE

ON A MESURÉ LE TEMPS QUE MET UN ÉLECTRON POUR SORTIR D'UN ATOME

Voici donc la tranche de temps la plus courte jamais mesurée : 5 attosecondes... soit $5,10^{-18}$ seconde ! C'est la durée de la photo-ionisation d'un atome d'hélium, autrement dit l'arrachage d'un de ses électrons par de la lumière. Cette mesure a été réalisée par Marcus Ossiander et son équipe de l'Institut Max-Planck d'optique quantique, à Munich (Allemagne). Un faisceau laser

donnait le top départ en bombardant de l'hélium sous forme gazeuse dans la gamme des ultraviolets extrêmes. Soit une piche-nette suffisamment énergétique pour arracher un des deux électrons de l'atome. En s'extirpant, celui-ci passait dans le faisceau d'un second laser, infrarouge celui-là, qui donnait le top final. "Ce second laser se comporte un peu comme un

champ électromagnétique fluctuant très vite, décrypte Marcus Ossiander. L'électron, en tant que particule chargée, est sensible aux caractéristiques du champ. Selon la direction dans laquelle il s'échappe, on peut en déduire la direction du champ à ce moment précis. Et déterminer le moment final de l'ionisation avec une barre d'erreur de seulement 850 zeptosecondes",

soit 0,850 attoseconde de différence entre deux mesures successives. La finalité de cette expérience est de mieux comprendre le magnétisme et la supra-conductivité, en étudiant à quel point la corrélation entre l'électron arraché et celui qui reste influence le temps d'arrachage. Un temps 100 millions de milliards de fois plus rapide... qu'un clignement d'œil. **B.R.**

PALÉONTOLOGIE

Un premier fossile de cerveau de dinosaure a été découvert

Il aura fallu plusieurs années à des chercheurs britanniques pour révéler qu'un "caillou" d'une dizaine de centimètres trouvé en 2004 dans le Sussex par un chasseur de fossiles amateur, constituait en fait les premiers restes jamais découverts d'un cerveau de dinosaure ! Vraisemblablement, celui d'une espèce proche de l'iguanodon, un grand dinosaure herbivore qui vivait il y a environ 133 millions d'années. Chose exceptionnelle, ce cerveau a particulièrement bien résisté à la fossilisation. Les chercheurs ont pu identifier des tissus du cortex, des capillaires sanguins et sans doute des fragments de méninges. L'échantillon est cependant trop petit pour tenter d'en déduire les capacités cognitives du dinosaure. **O.D.**

BOTANIQUE

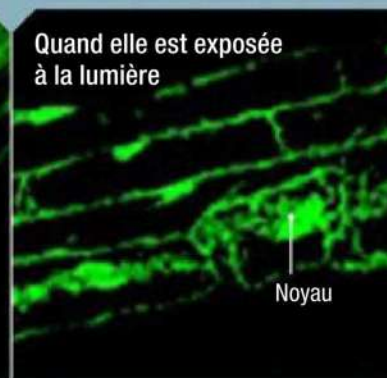
Oui, la lumière pénètre bien jusqu'aux racines des plantes

Alors qu'elles ne voient jamais le jour, les racines des plantes possèdent des photorécepteurs... dont on vient de découvrir qu'ils sont activés par la lumière captée par les feuilles ! Une équipe internationale a montré que la migration et la concentration de ces capteurs à l'intérieur des cellules de la racine se produisent quand les feuilles, exposées à la lumière, transmettent cette dernière par la tige : les faisceaux vasculaires par lesquels circule la sève se comporteraient comme des fibres optiques. C'est cette activation qui stimule *in fine* la croissance de la racine. **E.H.**

Quand la plante est dans le noir



Quand elle est exposée à la lumière



^ Les photorécepteurs situés dans les racines (en vert) sont diffus quand la plante est dans le noir, mais se concentrent dans le noyau cellulaire quand les feuilles de la plante reçoivent de la lumière.



△ Voici la simulation du noyau d'hélium une fois qu'un de ses électrons a été arraché.

PHYSIOLOGIE ANIMALE

Un lézard du désert australien boit... par la peau

Les diables épineux (*Moloch horridus*), qui foulent les terres arides de l'Australie, croquent des insectes avec leur bouche. Classique. Mais pour ce qui est de boire, ils ont recours à une autre tactique. Ils utilisent leur peau pour capter l'eau, rare dans ces contrées, de la pluie, de la rosée et même l'humidité présente dans le sable. Cette fameuse peau est couverte de rainures microscopiques, qui créent une sorte de réseau capable de transporter l'eau par capillarité jusqu'à la bouche de l'animal. Selon les chercheurs allemands, australiens et autrichiens qui l'ont étudié, le volume d'eau requis pour remplir le système correspond à 3 % de la masse corporelle du lézard. Et à chaque mouvement de la bouche, ce courageux habitant du désert se désaltère de 0,7 microlitre d'eau !

M.S.

▽ Les rainures microscopiques de la peau du diable épineux captent l'eau et la transportent par capillarité jusqu'à sa bouche.



PLANÉTOLOGIE

LA COMÈTE TCHOURI S'EST CASSÉE... ET RECOLLÉE À L'ENVERS

Crac! Il y a un milliard d'années environ, un impact a brisé la comète Tchouri en deux morceaux qui, après un bref pas de deux, se sont recollés sous la forme d'un gigantesque canard de bain... C'est ce qui ressort d'une simulation réalisée par Martin Jutzi et Willy Benz, de l'université de Berne, en Suisse, qui a permis de reproduire à la perfection la silhouette si caractéristique de Tchouri. Selon l'estimation des deux chercheurs, la comète aurait même pu subir entre 3 et... 258 transformations de ce genre depuis sa naissance, à l'aube du système solaire, voilà 4,5 milliards d'années. Tchouri étant censée être un archétype des comètes de sa famille, peut-on dès

lors encore les considérer comme des "fossiles du système solaire"? "Oui, assure Nicolas Biver, à l'Observatoire de Paris, *elles conservent bel et bien leur caractère primitif. Car les chocs, à environ 200 mètres/seconde, restent trop lents, et donc trop peu énergétiques, pour chauffer globalement la comète et affecter sa composition chimique.*" Ouf, les données collectées sur Tchouri par la sonde européenne Rosetta et son atterrisseur Philae restent donc bien des enregistrements de la naissance du système solaire. Les deux sondes, dont l'une (Philae) y a atterri en novembre 2014 et l'autre s'y est crashée en septembre dernier, peuvent y reposer en paix. **B.R.**



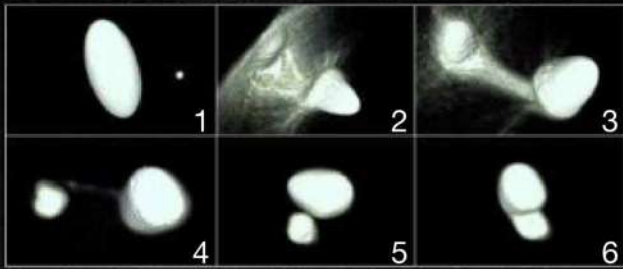
160 km/h

Ce record de vitesse en vol horizontal (et non en piqué) est détenu par une chauve-souris! On pensait les oiseaux plus efficaces, mais les 110 km/h du martinet sont bien pulvérisés. Ce résultat a été obtenu en attachant un transmetteur radio sur le dos de tadarides du Brésil: ces animaux de 10 cm de longueur très répandus en Amérique du Sud ont un corps aérodynamique et des ailes plus longues que la moyenne des chauves-souris. **A.D.**

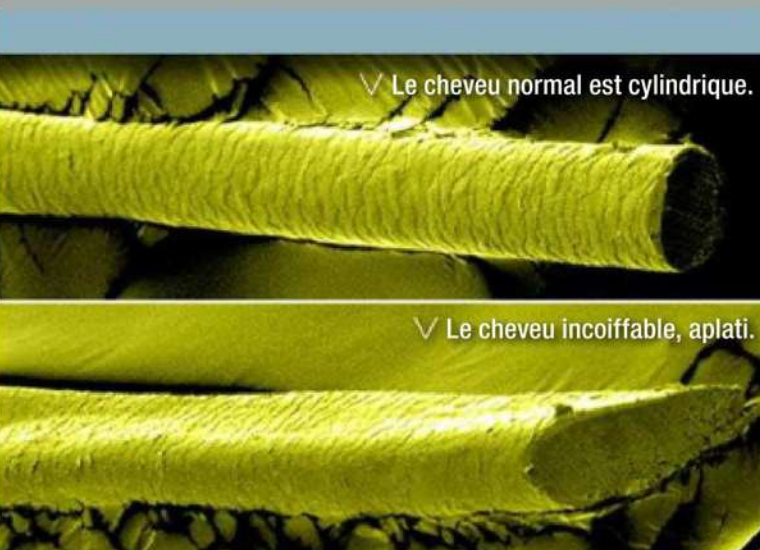
GÉNÉTIQUE

C'est une maladie génétique qui rend les cheveux incoiffables

Récalcitrants au peigne et poussant dans tous les sens, les cheveux incoiffables ne sont pas un simple désagrément esthétique, mais une véritable maladie génétique rare du cheveu! L'équipe de Michel Simon, directeur de recherche à l'université Paul-Sabatier de Toulouse, vient d'isoler trois gènes récessifs dont la mutation provoque ce syndrome. Ils régissent en effet la production de tryptophane, qui confère sa structure à la tige du cheveu: celle-ci est alors aplatie et parcourue d'une gouttière... ce qui explique que le cheveu soit inflexible. **F.G.**



<^ Cette simulation permet de voir comment les deux morceaux de la comète, cassée par une collision, se sont recollés.



✓ Le cheveu normal est cylindrique.

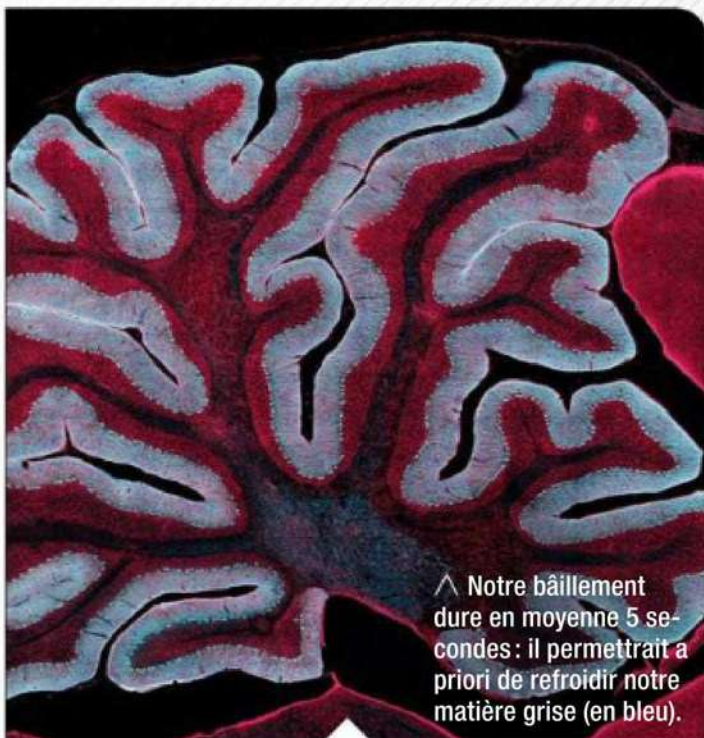
✓ Le cheveu incoiffable, aplati.



Quel est le plus fort des super-héros ? La science a tranché

Il aura fallu sept ans et une soixantaine d'apprentis chercheurs canadiens et anglais (université de Leicester) pour venir à bout de cette question ô combien cruciale. Métabolisme, rapidité, capacité de régénération, immunité contre les maladies... Superpouvoirs et talon d'Achille de chaque super-héros ont été passés au crible des sciences naturelles le plus sérieusement du monde. Pour un résultat sans appel : c'est sans doute aucun que Superman sortirait vainqueur d'un combat entre super-héros, grâce à la variété de ses pouvoirs hors normes (super-force, super-résistance...) lui venant, rappelons-le, de sa capacité à absorber les radiations solaires. Les étudiants ont ainsi estimé que s'il obéit bien à la loi de la conservation de l'énergie, il disposerait d'une force de $7,07 \times 10^5$ joules/seconde (environ l'énergie cinétique d'une voiture lancée à 125 km/h). Les X-Men Wolverine et Mystique complètent le trio de tête grâce à leurs qualités de mutants (entre autres, la régénération tissulaire augmentée), suivis de près par Thor pour sa très haute efficacité énergétique. Bon dernier, Batman est de loin le moins bien équipé. D'autant que selon les lois de la physique, sa vitesse en vol (environ 80 km/h) lui serait sans doute fatale au moment d'atterrir...

E.H.



^ Notre bâillement dure en moyenne 5 secondes: il permettrait a priori de refroidir notre matière grise (en bleu).

PHYSIOLOGIE

PLUS LE CERVEAU EST GROS, PLUS ON BÂILLE LONGTEMPS

Des chercheurs de l'université d'Etat de New York, à Oneonta (Etats-Unis) ont passé des heures à visionner des vidéos sur internet pour analyser la durée moyenne de bâillement de 109 animaux appartenant à 19 espèces, des éléphants aux lapins en passant par les chameaux, les rats, les lions, les écureuils et... les humains. Conclusion: le temps de bâillement, qui va d'un peu plus d'une demi-seconde chez la souris à en moyenne 5 secondes chez les humains, est directement proportionnel à la taille du cerveau et au nombre de neurones du

cortex cérébral. Un résultat qui va dans le sens d'une des hypothèses déjà avancées pour expliquer le rôle du bâillement: il permettrait d'améliorer la circulation sanguine dans le cerveau, et ainsi de refroidir la matière grise et nos neurones. Selon les chercheurs en psychologie qui ont mené l'étude, des bâillements plus longs semblent effectivement nécessaires pour moduler de manière plus efficace l'activité cérébrale des animaux ayant un cerveau plus gros et plus complexe. On en sait donc un peu plus sur ce comportement si banal. **M.S.**

LES BONOBOS AUSSI DEVIENNENT PRESBYTES

Avec l'âge, les bonobos s'assoient de plus en plus loin du congénère qu'ils épouillent... tout comme nous tendons les bras pour lire le journal! Il n'y a donc pas que les humains qui voient moins bien de près en vieillissant. **A.D.**

UN VER CULTIVE LES GRAINES GERMÉES

Rien de plus commun que le néréis multicolore, ce ver marin qui creuse des galeries en bord de mer. On se demandait juste comment il parvenait à ingérer les graines dures de spartine, une plante côtière. Simple: il les fait germer dans ses galeries pour pouvoir les manger. **A.D.**

PLACÉS EN COMPÉTITION, LES OISILLONS TRICHENT

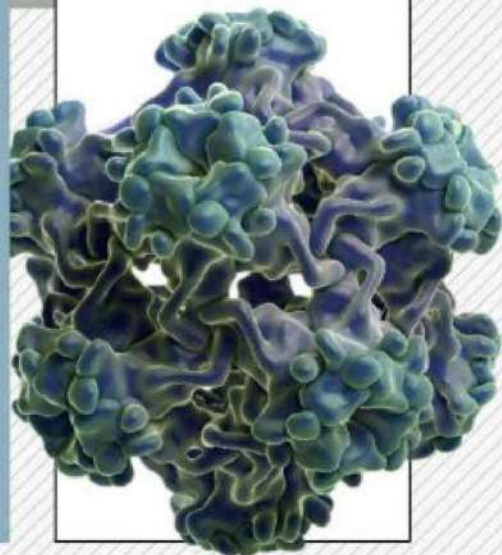
Selon 108 études menées chez 60 espèces d'oiseaux, les petits appartenant à une fratrie piaillent plus fort. Placés en compétition, ils exagèrent leur besoin en nourriture. **A.D.**

GÉNÉTIQUE

Neandertal nous a aussi légué une MST

De nos ébats avec Neandertal ou Denisova, nous avons conservé des traces d'ADN... et une MST! En séquençant 1 680 génomes du papillomavirus HPV16, responsable de la plupart des cancers dus à des papillomavirus, une équipe espagnole a retracé son histoire. "Il compte 4 variantes A, B, C et D, détaille Ville Pimenoff, coauteur de l'étude. Si les souches B, C et D se sont développées en Afrique chez Sapiens, la souche A provient d'Eurasie. Elle nous a été sexuellement transmise il y a entre 120 000 et 60 000 ans par ces espèces humaines disparues. Cela explique pourquoi elle est si virulente: notre système immunitaire n'y est pas habitué." **T.C.-F.**

✓ La souche A du virus HPV16 nous a été transmise il y a plus de 60 000 ans.



Réservée à nos lecteurs

Photo non contractuelle.



Soit
50%
de réduction

Caractéristiques :

- Réglable et confortable.
- Compatible tous smartphones écran 3,5" à 6,0"
- Réglage du focus
- Dim: 19 x 13 x 9,8 cm.
- Mode retardateur
- Télécommande Bluetooth 3.0

SCIENCE & VIE

LES SUPER-POUVOIRS DU VENTRE

LE PAYSAN ET SON
UN SÉCRETE POUVOIR

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

**Science & Vie le journal
de tous ceux
qui veulent vivre
en intelligence avec
le monde.**



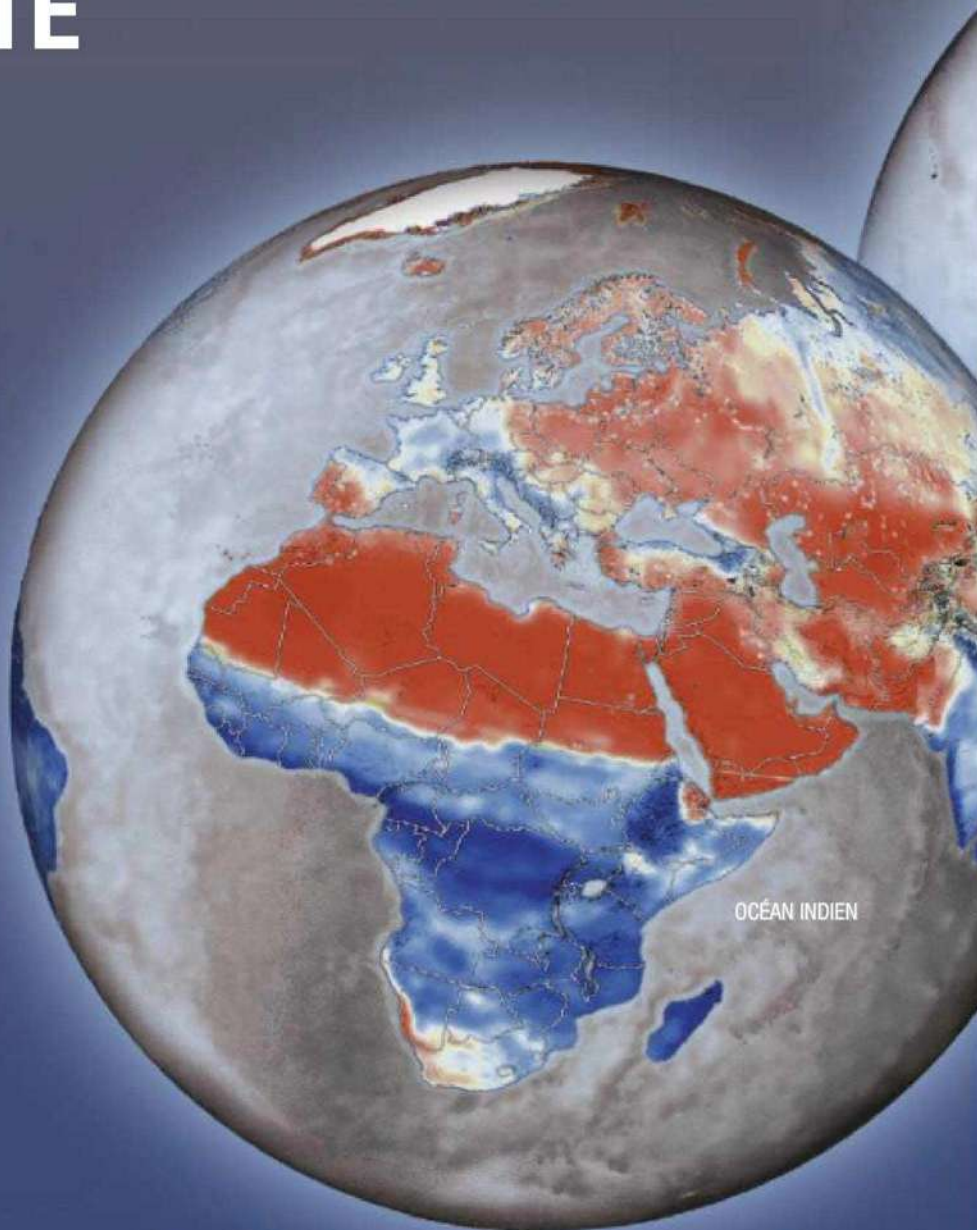
Disponible sur
KiosqueMag.com

24192

ÉCOLOGIE

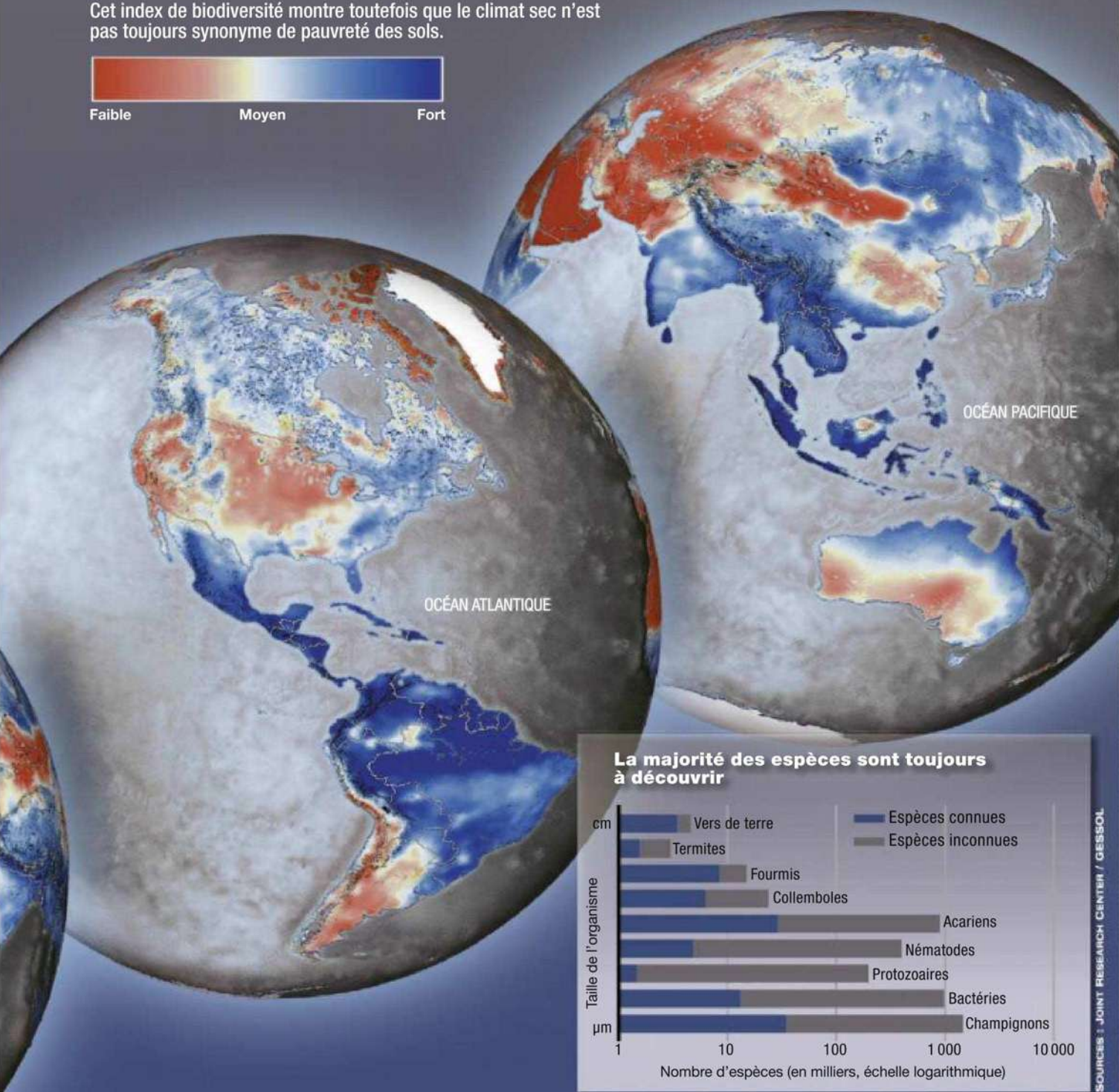
LES SOLS REGORGENT D'UNE BIODIVERSITÉ STUPEFIANTE

L'importance et la diversité de la vie du sous-sol sont parmi les grandes révélations de la biologie moderne: *"On estime que sur une même surface, la biomasse vivante du sous-sol est environ cinq fois plus abondante que celle que l'on trouve à l'air libre"*, indique Philippe Lemanceau, coéditeur d'un superbe *Atlas de la biodiversité du sous-sol*, où l'on trouve les premières cartes planétaires de cette biodiversité. Pour décrire cet univers souterrain qui va des bactéries aux blaireaux, en passant par les vers et les insectes, il a fallu regrouper 120 spécialistes venant des cinq continents. Leur travail a mis en évidence des répartitions parfois étonnantes. Car si, sans surprise, la biodiversité est maximale dans les régions chaudes et humides, certaines zones comme le Sahel ou le Nordeste brésilien présentent, en dépit de leur aridité, une variété de vie très élevée. *"C'est que la composition physico-chimique du sol, par exemple le pH, peut jouer un rôle encore plus important que le climat"*, indique le microbiologiste. La science n'est qu'au début de l'exploration de cette biodiversité, pourtant essentielle à la fertilité comme au stockage du carbone, et à bien d'autres fonctions des sols. **Y.S.**

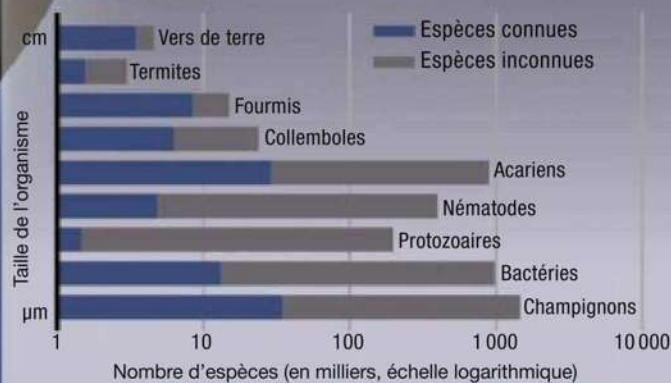


Les sous-sols des régions chaudes et humides sont les plus fournis et les plus variés

Cet index de biodiversité montre toutefois que le climat sec n'est pas toujours synonyme de pauvreté des sols.



La majorité des espèces sont toujours à découvrir



3,6 km

C'est la profondeur record à laquelle des vers nématodes ont été découverts.

68 m

C'est la profondeur maximale jamais atteinte par des racines, découvertes dans le désert du Kalahari.

600 km

de racines et filaments racinaires peuvent être produits par une seule graminée.

SOURCES : JOINT RESEARCH CENTER / GESSOL

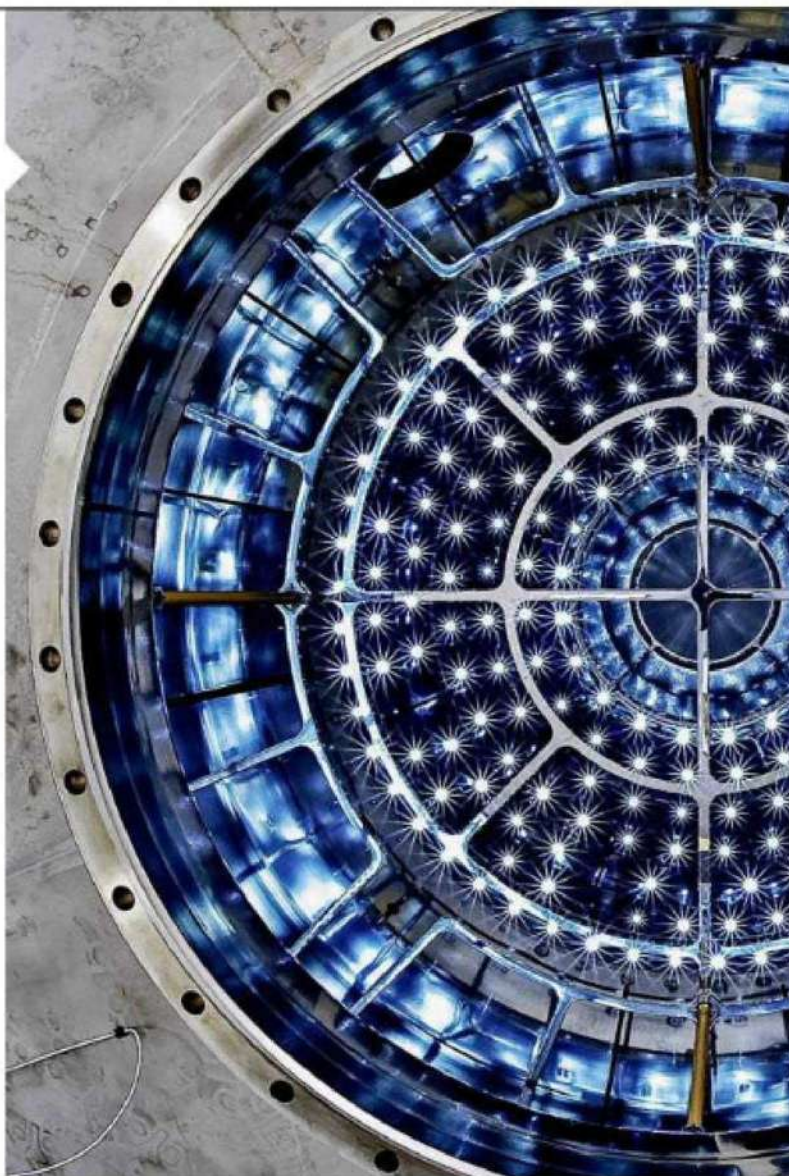
G. CIRADE - M. KONTENTE

CLIMATOLOGIE

LE MYSTÈRE DES NUAGES EST EN VOIE DE RÉSOLUTION

La compréhension fine de la formation des nuages est à ce jour le principal verrou pour la prédiction du climat de demain. Les chercheurs peinent en effet à comprendre comment les multiples molécules chimiques peuplant l'atmosphère commencent à agréger des molécules d'eau, un processus baptisé nucléation, qui conduit à la formation des nuages. Une expérience baptisée Cloud, menée au Cern de Genève, et qui reproduit en laboratoire aussi fidèlement que possible les conditions de la haute atmosphère (froid extrême, rayonnement ultraviolet intense, flux de particules énergétiques, gaz multiples à une densité

très faible), vient de livrer des résultats fascinants sur la question. *"Nous avons constaté que le soufre, que nous pensions indispensable à la nucléation, ne l'est pas, et que des composés organiques, naturels ou d'origine humaine, jouent un rôle important. Cela suggère qu'il y avait plus de nuages avant la révolution industrielle que ce que nous croyions",* indique Urs Baltensperger, l'un des auteurs de ce travail, qui est en train de confirmer ces résultats avec des mesures dans des sites d'altitude. *"Cela pourrait rendre moins probables les réchauffements les plus extrêmes prévus par les modèles climatiques."* **Y.S.**



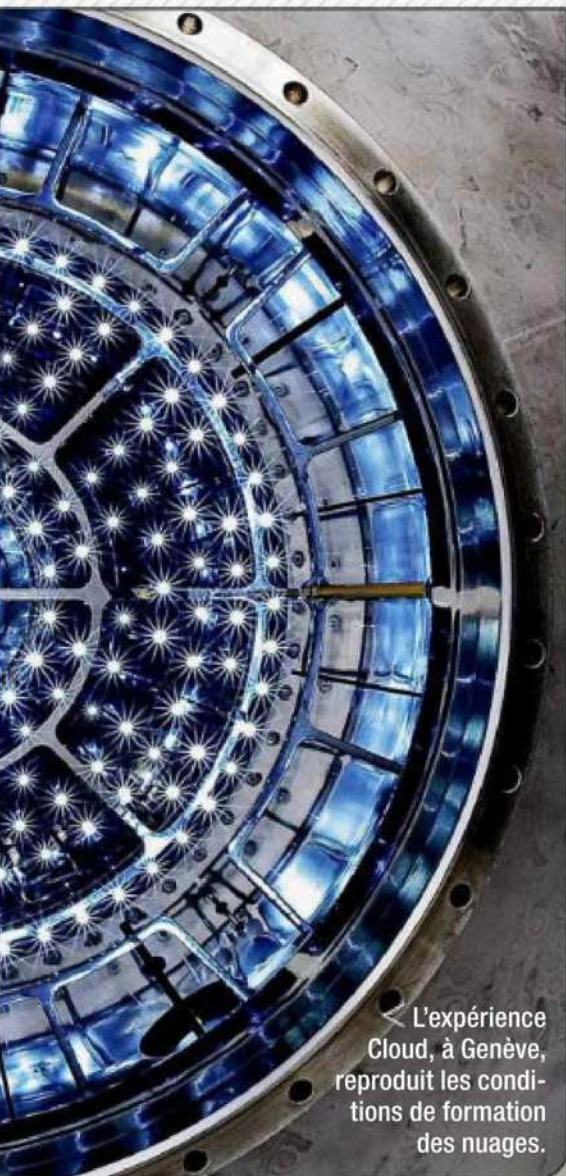
7,74 secondes

C'est la durée de l'éclair le plus long du monde, et il était français ! Récemment révélé par l'Organisation météorologique mondiale, il a eu lieu en 2012 et a franchi plus de 200 km entre le village de Mirabel, en Ardèche, où il est né, et celui de Tavernes, dans le Var, où il s'est dissipé. C'est la première fois que l'OMM crée une catégorie "éclair" parmi les multiples records (températures, vents, précipitations...) qu'elle homologue.

POLLUTION

Les oiseaux sont victimes de l'odeur du plastique

On a longtemps pensé que les oiseaux avalaient des bouts de plastique parce qu'ils les confondaient avec des proies. Il semblerait en fait qu'un autre mécanisme soit en jeu. Dotées d'un odorat sensible, certaines familles d'oiseaux, dont les albatros et les pétrels, seraient ainsi attirées, selon une équipe américaine, par une substance, le diméthylsulfure (DMS), émis par le plastique... mais aussi le plancton végétal ! Un résultat inquiétant car le plastique est toujours plus abondant dans l'océan. D'autres animaux (tortues, poissons...) pourraient aussi être concernés. **Y.S.**



↳ L'expérience Cloud, à Genève, reproduit les conditions de formation des nuages.



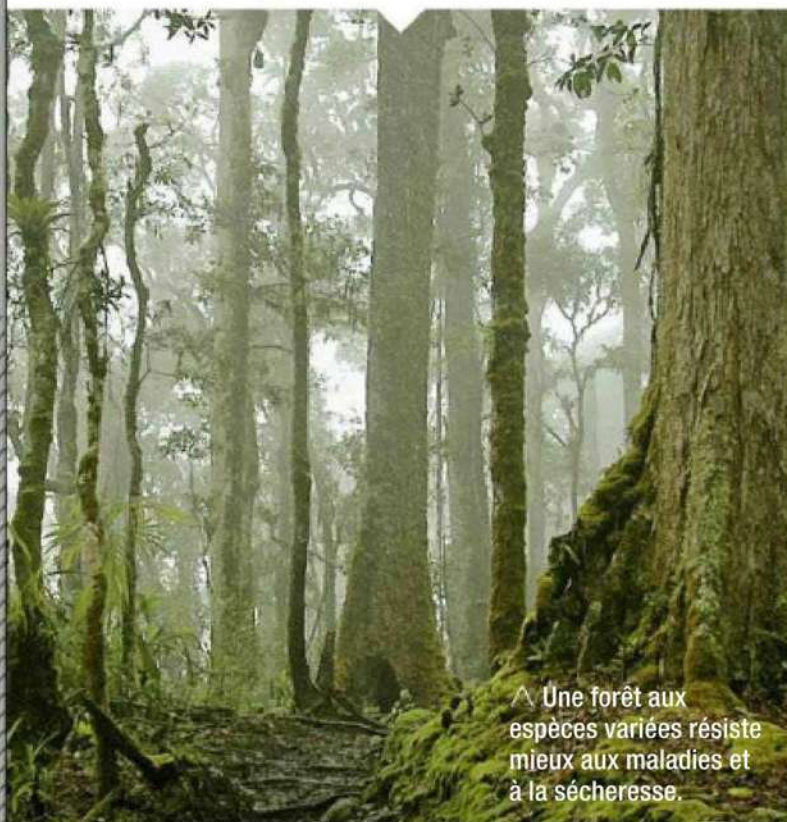
▽ Les albatros avalent le plastique car il sent comme le plancton végétal.

SYLVICULTURE

C'est prouvé : la santé d'une forêt est liée à la diversité de ses arbres

Plus une parcelle forestière contient d'espèces, plus elle est productive – autrement dit, plus elle fabrique de matière végétale au mètre carré. Voilà ce que vient d'établir une étude d'une ampleur inédite conduite par le projet international GFBI (Global Forest Biodiversity Initiative), à partir des données de 780 000 parcelles réparties dans 44 pays. En dépit de la grande diversité de forêts impliquées, qui vont de l'Amazonie à l'Arctique, en passant par la Méditerranée, la règle s'est confirmée partout, avec plus ou moins de force. *"C'est quelque chose que l'on soupçonnait, car plus d'espèces signifie une meilleure exploitation des ressources et une meilleure résistance aux chocs écologiques, comme les sécheresses ou les maladies"*, précise Bruno Hérault, chercheur au Cirad en Guyane et coauteur de l'étude. Mais de l'avoir démontré à pareille échelle devrait définitivement tordre le cou à l'idée, répandue selon lui parmi les forestiers, que la parcelle la plus productive est celle où tous les arbres appartiennent à la même espèce. *"De plus, rappelle-t-il, la biodiversité est une assurance contre le changement climatique : si l'on a plus d'espèces, on a plus de chances que la forêt résiste bien au réchauffement."*

Y.S.



△ Une forêt aux espèces variées résiste mieux aux maladies et à la sécheresse.

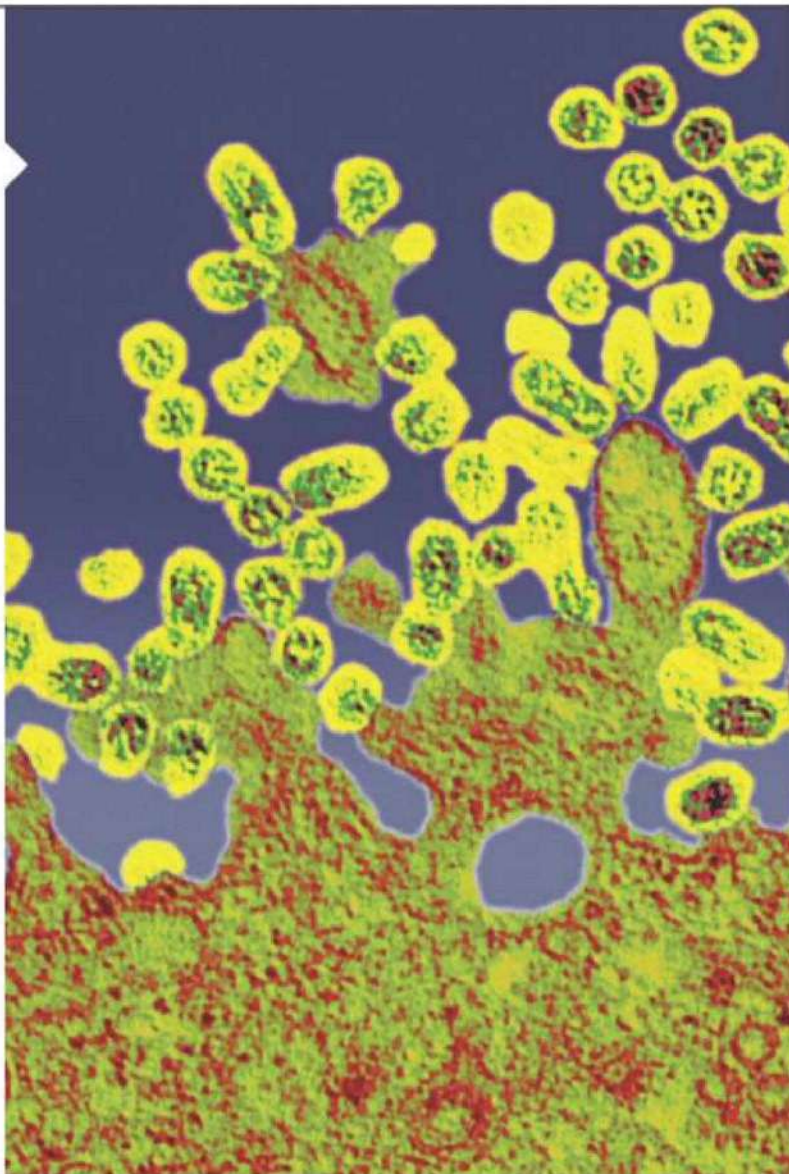
CERN - PAUL & PAVEENA MCKENZIE/VISUALS UNLIMITED, INC./SPL COSMOS - BRUNO LOCATELLI/CIRAD

IMMUNOLOGIE

LA PREMIÈRE GRIPPE, C'EST POUR LA VIE

Notre fragilité face aux virus de la grippe dépend... de notre année de naissance. C'est ce qu'indiquent des chercheurs américains, qui ont identifié les facteurs de risque de souffrir sévèrement d'une grippe aviaire due soit au virus H5N1, soit au H7N9. Selon leurs résultats, pour bien résister au H5N1 il faut être né avant 1968. En effet, le premier contact avec la grippe est crucial : il laisse une empreinte immunologique plus forte que les contacts ultérieurs et donne des armes irremplaçables contre de futures infections. *"Entre 1918 et 1968, les virus H1N1 et H2N2 circulaient chez l'homme"*, explique Monique Ambrose. Les en-

fants qui ont été infectés à cette époque ont donc développé des défenses contre les antigènes H1 et H2. Or, ceux-ci sont proches de H5. Cette première infection a donc provoqué une réponse immunitaire croisée, protectrice vis-à-vis du virus de la grippe aviaire H5N1. *"Mais en 1968, une pandémie provoquée par le virus H3N2 installe durablement cette souche."* Résultat, les personnes nées après 1968 sont bien protégées contre le virus de la grippe aviaire H7N9 car les antigènes H3 et H7 sont apparentés... mais plus contre le H5N1. Ces données pourraient permettre de désigner les personnes à vacciner en priorité lors d'une pandémie. **O.C.**



✓ La toxine paralysante du serpent bleu corail pourrait être exploitée.

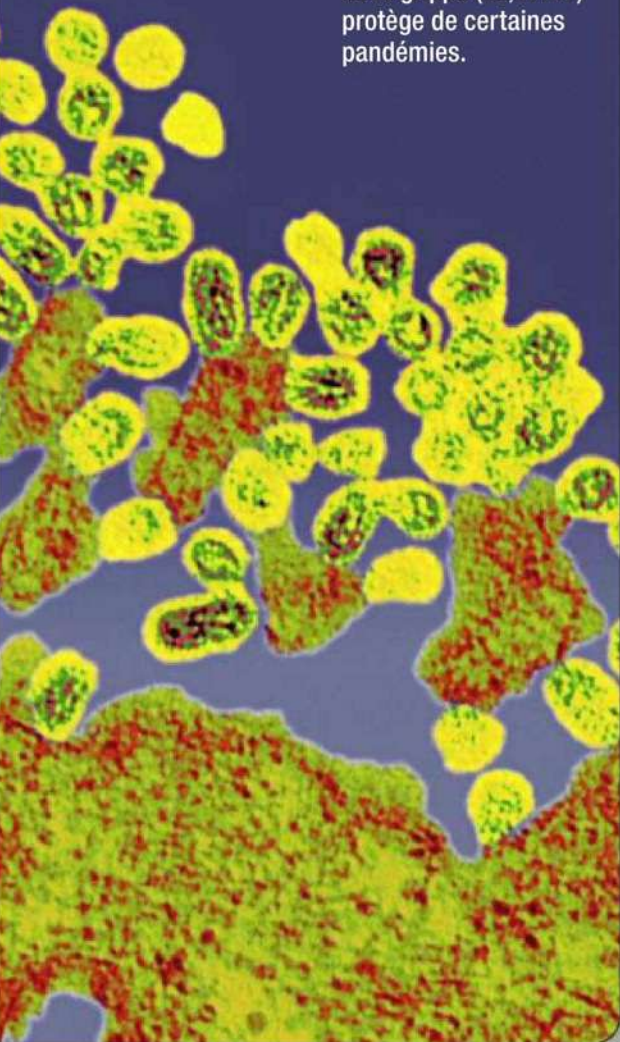
PHARMACOLOGIE

Son venin cache un antidouleur

Le serpent bleu corail pourrait bien devenir un réservoir pharmacologique ! Des chercheurs australiens de l'université du Queensland viennent de découvrir que son venin, capable de paralyser une proie quasiment instantanément, contient en fait une toxine qui bloque avec une efficacité inouïe un canal sodium impliqué dans l'excitabilité des neurones et des muscles. Un outil précieux pour mieux connaître et manipuler ces canaux, dont le dysfonctionnement est associé, chez l'homme, à plusieurs pathologies : faiblesses musculaires, paralysies, douleurs. A terme, des dérivés de cette toxine pourraient servir de médicaments dans certaines de ces indications.

A.R.

◀ L'infection pendant l'enfance par le virus de la grippe (ici, H1N1) protège de certaines pandémies.



UN "ANTIPALU" À LIBÉRATION PROLONGÉE

Une gélule en forme d'étoile qui diffuse un antipaludisme dans l'estomac pendant deux semaines : de quoi diminuer le nombre de doses, espère une équipe du MIT. La plus longue durée d'action d'une pilule était jusqu'alors de 24 heures. C.T.

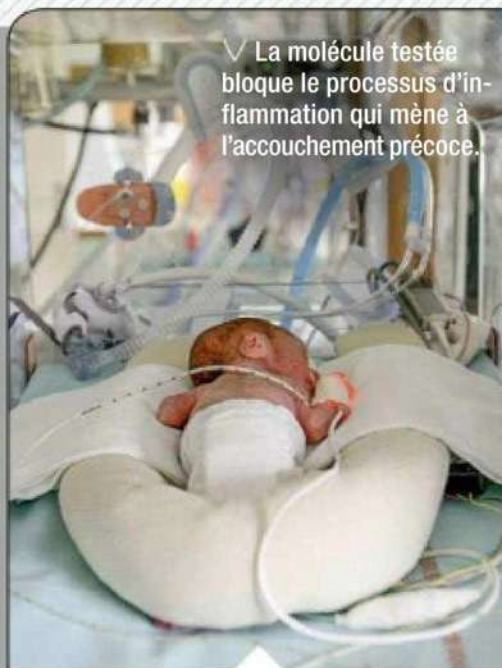
L'ÉCUREUIL ET LA LÈPRE

Des écureuils roux porteurs de bactéries responsables de la lèpre ont été découverts en Grande-Bretagne par une équipe internationale. Cette maladie était pourtant considérée comme uniquement transmissible d'homme à homme. C.T.

LA SURPRISE D'UN ANTI-DIABÉTIQUE

La metformine, médicament traitant le diabète de type 2, agirait contre la production d'une protéine toxique chez les enfants atteints de progeria, une maladie rare qui accélère leur vieillissement (étude de l'institut I-Stem). C.T.

✓ La molécule testée bloque le processus d'inflammation qui mène à l'accouchement précoce.



OBSTÉTRIQUE

Une injection pourrait éviter la prématurité

A-t-on identifié la molécule capable de bloquer le processus d'un accouchement prématuré ? C'est ce qu'espère Sarah Robertson (université d'Adélaïde, Australie) et son équipe. Comme l'accouchement est le résultat d'une cascade d'événements d'origine inflammatoire, les chercheurs ont testé une molécule qui bloque la signalisation de cette inflammation, la naxolone. Ce médicament est déjà utilisé contre la dépendance aux opiacés, mais personne n'avait eu l'idée d'en faire un traitement "anti-accouchement". Or, ça marche... du moins chez la souris. Après avoir provoqué une inflammation, les chercheurs ont administré à une partie des souris de la naxolone : aucune de ces dernières n'a accouché prématurément, contrairement à toutes les autres. L'emploi de cette molécule va nécessiter des tests cliniques, mais les chercheurs sont confiants sur son innocuité : des femmes enceintes toxicoomanes en reçoivent déjà. C.H.

K. BOLLER/SPL/COSMOS - FLPA/C. MATTISON/MINDEN - DELOCHE/BSIP

50%

des traitements antibiotiques prescrits en France sont inutiles ! Les Français sont toujours parmi les plus gros consommateurs européens. Avec plus de 100 millions de boîtes remboursées en 2015, la consommation hors hôpital est même repartie à la hausse. Un vaste plan vise à la réduire de 25 % d'ici à 2018. C.T.





✓ L'implant, dans le cortex, est relié à un autre dans la moelle épinière et à un générateur d'impulsions électriques.

NEUROLOGIE

UN IMPLANT CÉRÉBRAL REFAIT MARCHER UN SINGE

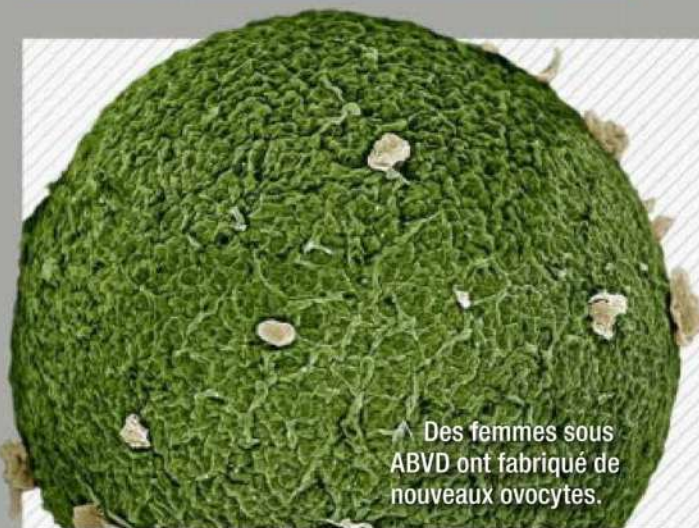
C'est une première mondiale: un implant cérébral a rendu la marche à deux macaques paralysés d'une patte. L'expérience avait déjà réussi sur des rongeurs mais jamais sur un primate, le sujet le plus proche de l'homme. De fait, ce résultat s'est traduit par le lancement d'un essai clinique chez des patients souffrant de lésions de la moelle épinière. La neuroprothèse (une broche de 96 électrodes), mise au point par un consortium international piloté par l'Ecole polytechnique de Lausanne, a été implantée dans le cortex moteur gauche des singes. Elle mesure l'activité d'une

centaine de neurones impliqués dans la motricité de la patte droite, paralysée par une lésion de la moelle épinière. Et détecte donc la volonté de l'animal de bouger ce membre. Après analyse, le message est transmis (sans fil) à un générateur d'impulsions électriques relié à un implant dans la moelle épinière qui va activer les muscles souhaités. Les deux macaques ont pu remarcher sur un tapis roulant instantanément. *"Le tour de force réside dans la capacité de l'algorithme à décoder l'activité corticale en temps réel"*, détaille Erwan Bezard, coauteur de l'étude (Inserm). **P.-Y.B.**

GÉNÉTIQUE

Le tabac imprime sa marque sur l'ADN

Les "signatures mutationnelles" du tabac sur les cellules ont été identifiées, en comparant plus de 5200 tumeurs prélevées sur des fumeurs et des non-fumeurs. Une signature correspond à une suite d'erreurs fréquemment répétée dans l'ADN. Parmi les 30 répertoriées à ce jour, plusieurs sont très fréquentes chez les fumeurs. *"Il existe une relation étroite entre le nombre de cigarettes fumées et la quantité de mutations observées"*, souligne Ludmil Alexandrou (université du Nouveau-Mexique). **O.C.**



Des femmes sous ABVD ont fabriqué de nouveaux ovocytes.

CHIMIOTHÉRAPIE

Un traitement anticancer a dopé la fertilité de patientes

Les médecins étaient jusqu'alors confrontés à deux dogmes: les femmes ont un stock fini d'ovocytes à la naissance, et celui-ci risque d'être détruit lors de traitements anticancéreux. Sauf, notamment, par l'ABVD, un ensemble de molécules utilisé contre le lymphome de Hodgkin. Ce traitement aurait même... un impact positif sur la fertilité! L'équipe d'Evelyn Telfer, de l'université d'Edimbourg (Ecosse), a en effet observé, chez des patientes sous ABVD, trois fois plus de follicules ovariens que chez les femmes qui composaient le groupe de contrôle. Plus étonnant encore, ces patientes fabriqueraient de nouveaux ovocytes! **C.H.**

SCIENCE VIE

Questions Réponses

Faut-il être
fou pour
être **génial** ?

Internet
rend-il
bête ?



Le **Q.I.** des
Français
en baisse ?

Comment
fonctionne
notre **cerveau** ?

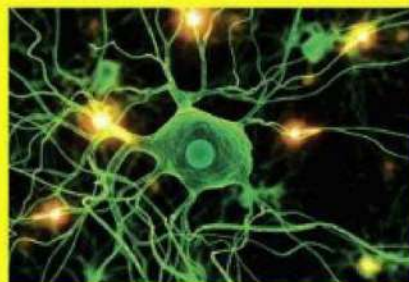


100 RÉPONSES DE SCIENCE

LE GÉNIE & SES MYSTÈRES

Un **ado**, ça a quoi
dans le **crâne** ?

Peut-on greffer
des **neurones** ?



C'est vrai que notre
métier déforme
notre **cerveau** ?

L'**intelligence**
artificielle
a-t-elle
dépassé
la
nôtre ?



Spécial hiver

Transport Le train supersonique
Grand Nord Le bestiaire fabuleux
Noël Des cadeaux techno

Cryothérapie
Ça marche
ou pas ?

EN VENTE ACTUELLEMENT



ÉNERGIE

UN DRONE ALIMENTÉ PAR INDUCTION MAGNÉTIQUE EST PARVENU À VOLER

Imaginez un drone capable de s'élever dans les airs, simplement alimenté à distance grâce à un émetteur sans fil à induction magnétique... Voici ce qu'a mis au point une équipe de l'Imperial College de Londres. Une première ! Pour ce faire, les chercheurs ont modifié un quadricoptère du commerce, lui adjoignant un cir-

cuit imprimé et une antenne de réception en fil de cuivre. Ils lui ont ensuite retiré sa batterie, *"pour montrer que nous ne trichons pas"*, explique Samer Aldhaher, qui a mené l'étude. Au sol, un transmetteur était chargé de créer un champ magnétique à haute fréquence (13,56 MHz), l'électronique du drone étant accordée à

cette même fréquence. Résultat : dès que le drone est entré dans le champ magnétique, un courant alternatif a été induit dans son antenne de réception puis converti en courant continu afin de l'alimenter. *"Pour le moment, nous pouvons fournir de l'énergie sur une distance d'une dizaine de centimètres seule-*

ment", précise le chercheur. Pour voir plus loin, il faudra augmenter la taille du transmetteur de manière à générer un champ magnétique nettement plus puissant. A la clé, de nombreux débouchés, comme la création de stations mobiles de recharge que les drones n'auraient qu'à survoler pour se ravitailler. **E.T.-A.**



◀ Le comportement de cet objet s'explique à la fois par son matériau (cuivre et polymères) et par sa forme.

MÉCANIQUE

Voici le premier matériau qui, chauffé,

Alors qu'un matériau solide tend généralement à se dilater lorsqu'il est chauffé, des chercheurs du MIT viennent d'en inventer un qui, au contraire, devient plus petit... grâce à sa forme ingénieuse. La structure de base qui le compose a la taille d'un

morceau de sucre ; elle est composée de rayons interconnectés qui lui donnent une forme étoilée. Certains de ces rayons sont rigides et composés de cuivre, d'autres sont plus élastiques et faits de polymères. Lorsque le matériau est chauffé au-delà

UNE I.A. AUSSI DOUÉE QUE L'HOMME

Microsoft a créé un logiciel capable de transcrire des conversations enregistrées, en anglais, avec seulement 5,9 % d'erreur. Soit le même résultat que des professionnels humains. **A.V.**

DES ÉPINARDS DÉTECTEURS D'EXPLOSIFS

En insérant des nanotubes de carbone dans des feuilles d'épinards, des chercheurs du MIT ont créé des détecteurs d'explosifs. Car ces nanotubes, en présence de nitroaromatiques, émettent une fluorescence ; celle-ci peut être décelée par la caméra d'un ordinateur, qui enverra une alerte. **A.V.**

LE ROBOT QUI TRANSPIRE

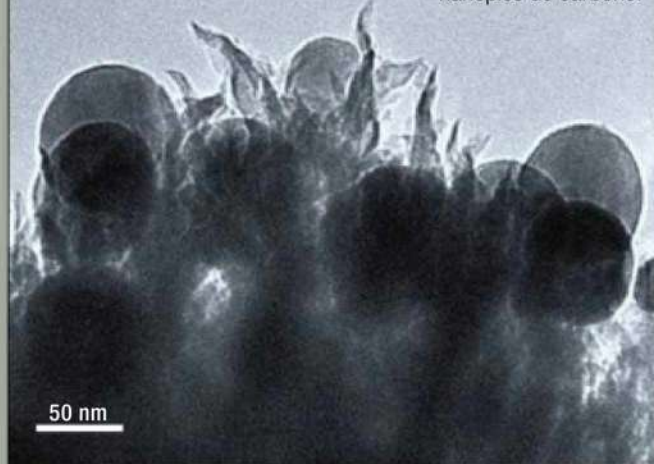
Des chercheurs de l'université de Tokyo ont fabriqué un robot humanoïde qui sue pour évacuer la chaleur ! Des micro-canaux sur son squelette en aluminium font circuler de l'eau afin de refroidir ses 108 moteurs par évaporation. **E.T.-A.**

CARBURANT

Des chercheurs ont réussi à convertir du CO₂ en éthanol

Transformer efficacement le CO₂ en un carburant propre comme l'éthanol : c'est le graal recherché par nombre de chimistes à travers le monde. Or, un nouveau procédé, découvert presque par hasard à l'Oak Ridge National Laboratory (Etats-Unis), suscite de nouveaux espoirs en la matière. A l'origine, les chercheurs planchaient sur un catalyseur à base de nanoparticules de carbone pour doper la conversion du CO₂ en méthanol, un alcool proche de l'éthanol. Mais, contre toute attente, ils ont constaté la production d'éthanol avec un rendement élevé de 63 %. Des résultats probablement liés à la structure du catalyseur utilisé. Ce procédé présente plusieurs avantages. Il opère à des conditions de température et de pression accessibles. Par ailleurs, le catalyseur est constitué de carbone et de cuivre et ne nécessite aucun matériau rare comme le platine. *"Beaucoup d'industriels, des brasseurs, des chimistes, nous ont contactés pour valoriser le CO₂ issu de leurs usines. Un pilote industriel est prévu d'ici un an",* déclare Adam Rondinone, membre de l'équipe. D'ici là, les chercheurs travaillent encore à réduire l'apport électrique nécessaire à la conversion, qui réduit pour l'instant son efficacité globale. **H.L.**

✓ Le CO₂ s'est converti en éthanol lors de tests sur un catalyseur à base de nanoparticules de cuivre (sphères ci-dessous) et de nanopics de carbone.



DR. SAM ALDHAHER - MIT - GENEVIEVE MARTIN/ORNIL

se met à rétrécir

de 280°C, les rayons les plus solides exercent des contraintes mécaniques sur les plus souples, ce qui réduit le volume du cube. Ce nouveau matériau, mélangé à d'autres, pourrait être employé dans le domaine de la construction ou de l'électronique. **S.F.**

L'explication des phénomènes simples pour lesquels vous vous interrogez sans jamais prendre le temps... d'e-penser !

Succès
YouTube

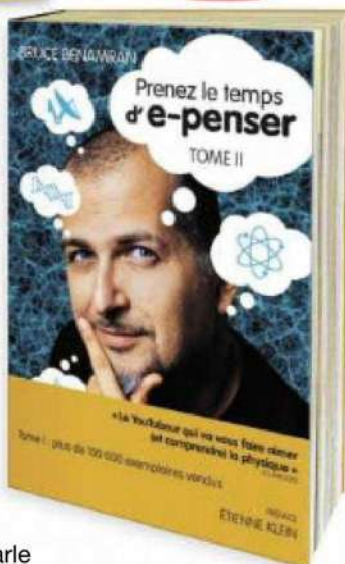
NOUVEAU

Le spécialiste de la vulgarisation scientifique sur YouTube !

Notre univers a une histoire, mais a-t-il une origine ? Qu'est-ce que le Big Bang ? Peut-on vraiment observer un phénomène aussi vieux ? Du coup, peut-on voyager dans le temps ? Comment l'Univers fonctionne-t-il dans le monde de l'infiniment petit ? Schrödinger a-t-il eu un chat ? Est-il vrai que ce livre parle de Casimir ? D'actions fantômes ?... Offrez-vous le second livre de Bruce Benamran, créateur de la chaîne YouTube de vulgarisation scientifique éponyme.

Prenez le temps d'e-penser Tome 2 - 19,90 €

DIM. 14,5 x 3 x 21 cm. 374 PAGES. AUTEUR : BRUCE BENAMRAN. PRÉFACE : ÉTIENNE KLEIN. ÉDITIONS MARABOUT.



Regardez partout vos DVD et la télévision en HD !

Ce lecteur DVD portable avec TNT HD est idéal avec son écran rotatif 9" et sa télécommande, il est très simple d'utilisation. Multifonctions, il capte toutes les chaînes TNT, lit vos DVD, vos fichiers multimédias avec son port USB, son lecteur de cartes SD, sa sortie HDMI et ses différents accessoires.



TNT HD

PAIEMENT 3x SANS FRAIS

LIVRAISON RAPIDE COLISSIMO OFFERTE

lecteur DVD portable 9" TNT HD - 139 € ou 3x46,33 €

ÉCRAN ROTATIF ET INCLINABLE À 180° 9" (22,5 cm) 16:9. TUNER TNT HD (MPEG-4). BATTERIE RECHARGEABLE INTÉGRÉE (LI-ION). 2 HAUT-PARLEURS INTÉGRÉS. FORMATS COMPATIBLES : DVD/CD/MP3/JPEG/MPEG 1, 2, 3 ET 4. CONNEXIONS : PORT USB, SORTIE AV, LECTEUR DE CARTE SD, SORTIE HDMI, COAXIAL, SORTIE AUDIO 3,5 mm. INCLUS : ADAPTATEUR AC, ALIMENTATION 12 VOLTS POUR LA VOITURE, FIXATION APPUI-TÊTE & TROUSSE, COMMANDE À DISTANCE, ANTENNE TNT. GARANTIE 1 AN (HORS BATTERIE). ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

Toujours disponible :

Prenez le temps d'e-penser Tome 1 - 19,90 €

DIM. 14,8 x 21,5 cm. 396 PAGES. AUTEUR : BRUCE BENAMRAN. PRÉFACE : ALEXANDRE ASTIER. ÉDITIONS MARABOUT.



POUR VOUS DÉTENDRE...



Appui-tête intégré

Dossier chauffant et massant

Accoudoirs rembourrés

Pivotant à 360°

Repose pied inclinable

Télécommande

Relaxez-vous dans ce fauteuil massant de haute qualité

Installez-vous confortablement dans ce fauteuil de relaxation inclinable, massant avec dossier chauffant (lombaires) qui tourne sur 360°. Inclinez le dossier selon votre confort et choisissez parmi les 10 programmes massants et ses 10 intensités. Le dossier chauffant au niveau des lombaires accentue les effets relaxants du massage qui s'effectue par vibration sur 8 zones de la tête aux pieds. Sa télécommande vous permet d'activer facilement les zones de massage souhaitées et l'intensité ainsi que le temps de marche, pour un moment de détente sur mesure ! Bien-être immédiat garanti !

LIVRAISON PAR TRANSPORTEUR OFFERTE*
Valeur 35 €

* À réception de la commande, le fabricant prend contact avec le client pour fixer la date de livraison (sous deux semaines). Merci de préciser un numéro de téléphone. ATTENTION : pas de livraison la dernière semaine de décembre.

PAIEMENT 3x SANS FRAIS

399 €
seulement !
OU 3x 133 €

fauteuil de relaxation

DIMENSIONS : POSITION ASSISE (CM) : H 103 x L 70 x P 70 ET POSITION ALLONGÉE : PROFONDEUR 140 CM. POIDS FAUTEUIL : 23 KG. DENSITÉ 24 Kg/m² POUR LE SIÈGE (MOUSSE 7 CM) ET LES ACCOUDOIRS (MOUSSE 2 CM). DENSITÉ 20 Kg/m² POUR LE DOSSIER (MOUSSE 6 CM AU CENTRE ET 8 CM SUR LES CÔTÉS), LA TÊTE (MOUSSE 9 CM) ET LE REPOSE PIED (MOUSSE 10 CM). REVÊTEMENT POLYURÉTHANE DE TRÈS HAUTE QUALITÉ. FONCTIONNE SUR SECTEUR (TRÈS BASSE TENSION DE SÉCURITÉ PAR UN TRANSFORMATEUR). LIVRÉ PRÊT À MONTER. GARANTIE 1 AN. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

POLLUTION ELLE S'ATTAQUE AU CERVEAU

On connaît ses méfaits sur les poumons, le cœur, les hormones... Mais la pollution affecterait aussi le cerveau et ce, dès la vie embryonnaire. Résultat : des points de Q.I. en moins ! L'enquête de **Coralie Hancock**.

"Imaginez que je demande l'autorisation de pratiquer un essai clinique dans lequel j'exposerais les participants à un cocktail de produits suspectés d'être neurotoxiques. Cette autorisation me serait sûrement refusée. Et si je demandais à pratiquer cet essai sur des femmes enceintes ou des bébés, je passerais carrément pour un fou. Cet essai clinique a pourtant lieu partout dans le monde, à notre insu, à nos dépens et sur-

*tout aux dépens de nos enfants." Ce cri d'alarme, c'est celui de Philippe Grandjean, professeur de médecine environnementale d'origine danoise installé aux Etats-Unis et auteur de l'ouvrage *Cerveaux en danger*, publié en France en 2016.*

Vous pensiez que la pollution atmosphérique n'affectait "que" nos poumons et notre cœur ? Que les polluants regroupés sous le terme "perturbateurs endocriniens" n'affectaient

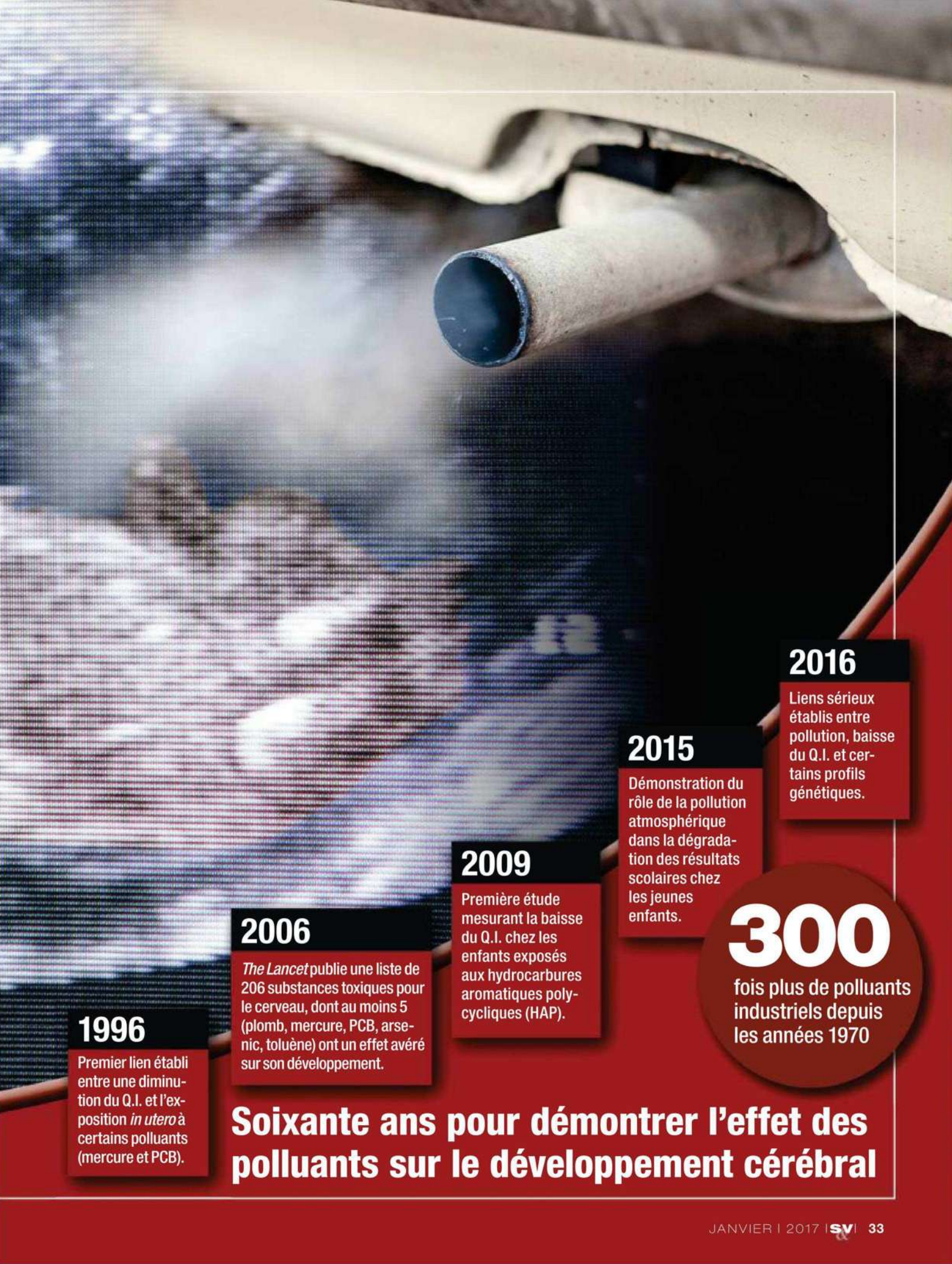
"que" notre fertilité ? Oui, mais saviez-vous que le cerveau de nos enfants en est également victime, et ce, dès la grossesse ? Au point que cela a carrément des conséquences sur leur intelligence.

1943

Première publication sur les conséquences à long terme d'une intoxication au plomb (saturnisme), démontrant des problèmes d'apprentissage et d'échec scolaire.

1991

Invention de l'expression "perturbateur endocrinien".



1996

Premier lien établi entre une diminution du Q.I. et l'exposition *in utero* à certains polluants (mercure et PCB).

2006

The Lancet publie une liste de 206 substances toxiques pour le cerveau, dont au moins 5 (plomb, mercure, PCB, arsenic, toluène) ont un effet avéré sur son développement.

2009

Première étude mesurant la baisse du Q.I. chez les enfants exposés aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

2015

Démonstration du rôle de la pollution atmosphérique dans la dégradation des résultats scolaires chez les jeunes enfants.

2016

Liens sérieux établis entre pollution, baisse du Q.I. et certains profils génétiques.

300

fois plus de polluants industriels depuis les années 1970

Soixante ans pour démontrer l'effet des polluants sur le développement cérébral

→ Depuis quelques années, ce qui n'était encore qu'une présomption se mue peu à peu en certitude, à mesure que les publications scientifiques se multiplient.

7 POINTS DE Q.I. D'ÉCART

Citons par exemple les résultats obtenus à partir du suivi, depuis la naissance, de deux cohortes d'enfants américains. La première, du Columbia Center for Children's Environmental Health (CC-CEH) et sa directrice Frederica Perera, impliquait des enfants nés entre 1998 et 2006 à New York. Les chercheurs ont mesuré sur eux les conséquences de l'exposition *in utero* aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, soit des résidus de combustion issus de l'industrie, des transports et du chauffage), au chlorpyrifos (un pesticide) et aux phtalates (contenus dans les matières plastiques).

Pour les HAP, les chercheurs ont montré, en 2009, une différence de plus de 4 points lors de

tests standardisés d'évaluation du quotient intellectuel (Q.I.) entre le groupe d'enfants âgés de 5 ans le plus exposé et le groupe le moins exposé. Pour le chlorpyrifos, chaque augmentation de 1 pg/g dans le sang du cordon ombilical prélevé à l'accouchement était associée à une diminution de 0,2 à 0,4 point de Q.I. chez l'enfant à l'âge de 7 ans. Enfin, concernant les phtalates, leurs résultats publiés en 2014 montrent que les enfants de 7 ans nés des mères les plus exposées avaient un Q.I. inférieur de 7 points à celui des enfants nés des mères les moins exposées!

De son côté, l'équipe de Brenda Eskenazi (Berkeley School of Public Health) s'est intéressée au devenir d'enfants nés dans une communauté agricole de Californie. Après avoir mesuré l'exposition des mères aux pesticides organophosphorés pendant la grossesse, les chercheurs ont montré là encore une différence de 7 points de Q.I. entre les enfants les plus exposés et les enfants les moins exposés.

Les effets du...

MERCURE

ORIGINE

Combustion de produits fossiles (charbon, fioul), exploitation des minerais (mines de plomb et de zinc, orpaillage), incinération des déchets, industrie électrique (piles, lampes), industrie chimique (fabrication du chlore et de la soude).

MODES D'ACTION

Augmentation du stress oxydatif, modulation de l'activité des neurotransmetteurs (glutamate), inhibition des désiodases.

-0,18 point de Q.I. pour chaque augmentation de 1 µg/g de mercure dans les cheveux de la mère



Des centaines de produits suspectés

En 2006, Philippe Grandjean et Philip Landrigan ont établi une liste de 206 substances chimiques (214 depuis 2012) connues pour leur toxicité cérébrale. Parmi elles, des métaux comme l'arsenic, le manganèse ou l'aluminium, des solvants comme l'acétone, le benzène, le toluène ou le tétrachloroéthylène, ou encore des pesticides comme le glyphosate et le DDT. Mais cette liste pourrait encore s'allonger: plus de 1 000 substances sont connues pour être neurotoxiques chez l'animal.

Mais le pire, dans tout cela, c'est que les premiers liens entre pollution et Q.I. ont été repérés il y a plus de quarante ans! Dès les années 1970, plusieurs équipes de recherche se penchent sur les effets du plomb sur l'intelligence des enfants. Certes, à l'époque, on connaissait déjà les ravages du saturnisme; mais on pensait que ceux qui réchappaient d'une intoxication aiguë au plomb n'avaient aucune séquelle et que l'exposition à plus faible dose était sans conséquence. On avait tort: en 1979, des chercheurs américains montrent que cette pollution silencieuse est en fait associée à une diminution du Q.I. des enfants.

Dans les années 1980, Philippe Grandjean se focalise sur un autre polluant, le méthylmercure, que l'on

retrouve dans les poissons. A la même période, Sandra et Joseph Jacobson (université Wayne, Etats-Unis) étudient eux aussi l'effet de la consommation de poissons pollués, mais ce sont les polychlorobiphényles (PCB) qui les intéressent. Dans les deux cas, les chercheurs découvrent que le



Les effets des...

PCB

ORIGINE

Matériel électrique (transformateurs, condensateurs, etc.), additifs dans les peintures, plastiques, produits lubrifiants, etc.

MODES D'ACTION

Modification de l'activité des neurotransmetteurs (glutamate) et des hormones thyroïdiennes.

-6,2 points de Q.I. lorsque la quantité de PCB dépasse 1,25 µg/g de lipide dans le lait de la mère

Q.I. des enfants en prend pour son grade! Malheureusement, en dépit des travaux de ces pionniers, les choses ne se sont pas arrangées. Bien au contraire.

"Depuis les années 1970, la production de l'industrie



Les effets du...

PLOMB

ORIGINE

Essence, vieilles peintures, vieilles canalisations d'eau, industries, combustion du charbon.

MODES D'ACTION

Modification de l'homéostasie du calcium, altération de la myéline, modification de l'activité des neurotransmetteurs (dopamine, acétylcholine).

-1 à -5 points de Q.I. pour chaque augmentation de 100 µg/l de plomb dans le sang des enfants



Les effets des...

PBDE

ORIGINE

Plastiques, textiles, équipements électriques et électroniques.

MODES D'ACTION

Perturbation des hormones thyroïdiennes.

-3 à -5 points de Q.I. pour les enfants les plus exposés comparés aux moins exposés

chimique a été multipliée par 300, et certains produits sont très inquiétants, comme les retardateurs de flamme bromés, par exemple les polybromodiphényléther (ou PBDE). Présents dans des meubles rembourrés, des textiles ou des matériels électroniques, ils connaissent une croissance

exponentielle", s'alarme Barbara Demeneix, endocrinologue au Muséum national d'histoire naturelle et auteur du livre *Le Cerveau endommagé*.

Aujourd'hui, tous les scientifiques s'accordent à le dire: c'est parce que le cerveau est en plein développement qu'il est

plus sensible durant la vie intra-utérine puis pendant les deux à trois premières années du jeune enfant. Pour autant, la pollution peut également impacter le développement cognitif d'enfants plus âgés. Pour preuve, l'étude publiée en 2015 par l'équipe de Jordi Sunyer, du

Les effets des...

PESTICIDES

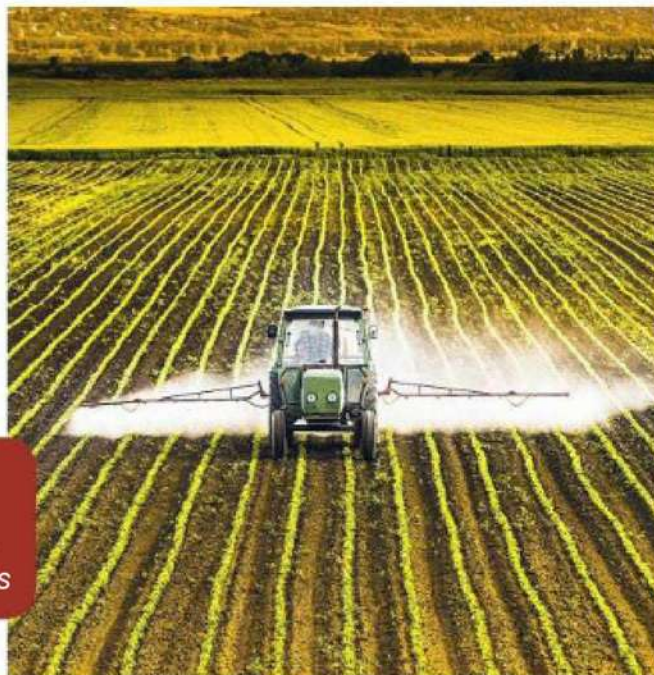
ORIGINE

Epanchages dans les cultures.

MODES D'ACTION

Modification de l'activité des neurotransmetteurs (acétylcholine), perturbation des hormones thyroïdiennes (en 2013, l'EFA a rapporté que sur 287 pesticides analysés, 103 affectaient la signalisation thyroïdienne).

-7 points de Q.I.
pour les enfants les
plus exposés compa-
rés aux moins exposés



→ Centre pour la recherche en épidémiologie environnementale, à Barcelone. Dans la métropole catalane, les chercheurs ont suivi pendant un an 2715 enfants âgés de 7 à 10 ans, dans 39 écoles présentant un profil socio-économique identique mais une forte différence d'exposition à la pollution atmosphérique. Résultat, dans les écoles où la pollution est la plus élevée, les enfants progressent moins bien. "Certaines fonctions cognitives, comme celles nécessaires à

l'élaboration de la mémoire de travail, se développent plutôt entre 6 et 10 ans. Il semble donc que cet âge-là constitue une seconde fenêtre de vulnérabilité", commente Jordi Sunyer.

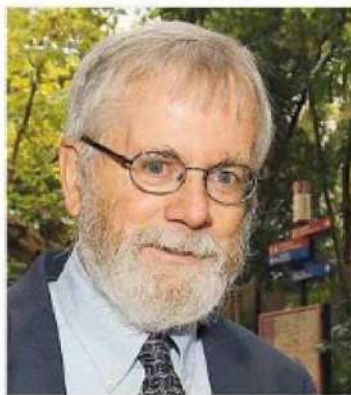
DE MULTIPLES FACTEURS

Question cruelle: la pollution rend-elle bête? "Sans aller jusque-là, je dirais plutôt qu'elle empêche les enfants d'atteindre leur plein potentiel intellectuel", avance David Bellinger, professeur de neurologie et de psychologie

à la Harvard School of Public Health, qui travaille depuis de nombreuses années sur les polluants neurotoxiques. Il n'empêche! Si de plus en plus d'enfants sont empêchés d'atteindre leur potentiel, peut-on dès lors expliquer la stagnation, voire la diminution du Q.I. observée à l'échelle entière de certains pays (voir S&V n° 1135) par la pollution? "C'est quelque chose de tout à fait possible", répond Philippe Grandjean. David Bellinger, lui, se veut plus prudent: "Il est

difficile d'imputer à un seul facteur, en l'occurrence la pollution, une tendance nationale de Q.I., car le Q.I. est sous l'influence de nombreux autres facteurs (nutrition, culture, etc.) qui ont évolué en même temps que l'exposition à la pollution."

Pour autant, ajoute-t-il, "compte tenu du mode de calcul du Q.I., qui est une estimation individuelle par rapport au niveau moyen d'une population donnée, et du nombre important de personnes exposées à de nombreuses substances, même un effet modeste au niveau individuel a des répercussions énormes à l'échelle d'une population". Le chercheur a ainsi estimé en 2012 le nombre total de points de Q.I. perdus par l'ensemble des enfants américains âgés de 0 à 5 ans (soit 25,5 millions d'enfants), en prenant en compte seulement trois types de polluants: le mé-



DAVID BELLINGER

Professeur de neurologie et de psychologie à la Harvard School of Public Health

La pollution empêche les enfants d'atteindre leur plein potentiel intellectuel

SHUTTERSTOCK/PAUTICA - SHUTTERSTOCK/M. SHCHERBYNA - SHUTTERSTOCK/R. BERGAN - D.R.



Les effets des...

HAP

ORIGINE

Résidus de combustion issus de l'industrie, des transports et du chauffage.

MODES D'ACTION

Stress oxydatif, perturbation endocrinienne, réduction des échanges de nutriments et d'oxygène au niveau du placenta, altérations de l'ADN.

-4,3 points de Q.I.
chez les enfants dont les mères ont été exposées à certains niveaux de HAP

thylmercure, le plomb et les pesticides organophosphorés. Résultat : 22 947 450 points perdus. Pour comparaison, les naissances prématurées faisaient, elles, perdre 34 031 025 points aux petits Américains.

Mais surtout, la baisse de Q.I. ne constitue que la partie émergée de l'iceberg. *"Nous avons montré que l'exposition aux HAP augmente aussi le risque de développer des troubles de l'attention et induit des effets délétères sur la capacité des enfants à réguler leurs émotions et leurs comportements. Leurs compétences sociales sont également affectées"*, indique Frederica Perera.

L'autisme pourrait être également favorisé par la pollution, bien que dans ce cas les résultats soient assez équivoques. *"Aux Etats-Unis et en Asie, plusieurs études ont montré un lien entre pollution atmos-*

phérique et autisme. En Europe, en revanche, les études similaires ne sont pas parvenues à l'établir. Pourquoi une telle différence? On ne sait pas...", indique Jordi Sunyer.

CHEVAL DE TROIE TOXIQUE

Reste une question en suspens : comment la pollution peut-elle avoir de tels effets sur notre cerveau ? Etant donné la diversité des polluants considérés comme nocifs, leurs modes d'action sont eux aussi très divers.

Les particules fines, par exemple, qui pénètrent jusqu'au cerveau des fœtus lorsque leur mère inhale des fumées de diesel, déclenchent des phénomènes de neuroinflammation. Soit directement, soit indirectement. *"Les particules fines constituent de vrais chevaux de Troie : certaines toxines s'y agrègent et, grâce à elles, pénètrent*



Les effets des...

PHTALATES

ORIGINE

Utilisés comme plastifiants dans les plastiques (films plastique, emballages, revêtements de sol, tuyaux et câbles, etc.) et comme fixateurs dans les cosmétiques.

MODES D'ACTION

Perturbation endocrinienne (hormones sexuelles et thyroïdiennes), modification de l'activité des neurotransmetteurs (dopamine).

-7 points de Q.I.
pour les enfants les plus exposés comparés aux moins exposés

bien plus profondément que si elles n'avaient compté que sur leurs propres moyens", indique Pierre Gressens, neurologue à l'hôpital Robert-Debré, à Paris.

D'autres polluants modifient l'activité de certains neurotransmetteurs, comme le GABA. *"Et quand on sait que le GABA agit, entre autres, sur la régulation de l'anxiété, cela explique les modifications des comportements anxieux que nous avons observés"*, explique le neurobiologiste Henri Schroeder, qui étudie à l'université de Lorraine, à Nancy, les effets des PCB, des HAP et de certains retardateurs de flamme organobromés sur des rongeurs.

Enfin, selon l'hypothèse défendue par Barbara Demeneix dans son livre, les polluants perturbent indirectement la neurogenèse via leur action sur les

hormones thyroïdiennes. *"Ces hormones sont essentielles au développement cérébral : sous leur contrôle, les cellules nerveuses prolifèrent, migrent, se différencient, deviennent matures, développent des synapses ou sont myélinisées. Or, de nombreux polluants ont la capacité de modifier le bon fonctionnement des hormones thyroïdiennes"*, explique la chercheuse.

Mais les polluants qui inquiètent le plus Barbara Demeneix, ce sont les substances contenant des éléments chimiques de la classe des halogènes (fluor, chlore, brome, iode et astatine), comme les retardateurs de flamme bromés : *"En raison de leurs similitudes avec l'iode,*

→ le chlore, le fluor ainsi que le brome contenus dans les retardateurs de flamme ont un potentiel de perturbation élevé.”

“Perturbateurs endocriniens” : l’expression est lâchée. Après avoir fait la une des médias (voir *S&V*, nos 1095 et 1150) pour leurs effets sur la reproduction et la fertilité, voici qu’on les soupçonne d’agir aussi sur la neurogenèse. “On connaît depuis longtemps le rôle des hormones thyroïdiennes dans le développement cérébral, il est donc

individus. La plus grande vulnérabilité de certains pourrait trouver son origine dans... les gènes. Ainsi, dans une étude publiée en juillet 2016, l’équipe de Lilian Calderón-Garcidueñas, qui travaille depuis les années 1990 sur l’impact de la pollution de l’air sur le cerveau des enfants à Mexico, a montré que ceux dont le Q.I. était le plus affecté étaient les jeunes filles porteuses de l’allèle 4 du gène de l’apolipoprotéine E. Fait troublant, cet allèle constitue aussi un fac-

tions neuroendocrines, on a potentiellement un effet cumulatif qui pourra faire pencher la balance du mauvais côté”, résume Pierre Gressens.

RÉGLEMENTATION À REVOIR

Mais alors, que faire ? On peut voir le verre à moitié plein et saluer la mise en place de réglementations de plus en plus strictes. L’essence plombée, par exemple, retirée progressivement du marché américain à partir de 1972 et du marché européen (seulement !) en 2000, n’est plus vendue que dans une poignée de pays. Les PCB sont interdits depuis 2001 dans les 154 pays signataires de la convention de Stockholm. Quant au bisphénol A, la France a élargi en 2015 son interdiction à tous les produits entrant en contact avec les denrées alimentaires.

“En Europe, la réglementation Reach a constitué un progrès important”, se félicite Henri Schroeder. Adoptée en 2007, elle impose en effet aux industriels de prouver eux-mêmes l’innocuité des produits qu’ils fabriquent ou importent. Aux États-Unis, la révision du Toxic Substances Control Act, signée en juin dernier par le président Obama, impose désormais la même chose.

Mais on peut aussi voir le verre à moitié vide et regretter, comme Barbara Demeneix, que “sur les 145 000 substances recensées par Reach, seule une poignée ait été réglementée”, ou que

les études de toxicité ne soient pas optimales. “Elles sont menées sur l’animal, et qui plus est sur l’animal adulte. Elles ne disent donc rien de leur potentiel toxique sur le développement cérébral et le devenir neurocomportemental de l’individu à long terme”, reconnaît Henri Schroeder.

Alors, à défaut d’une réglementation optimale, Philippe Grandjean “conseille aux femmes enceintes de manger des fruits et légumes bio et de ne pas consommer certains poissons comme le thon”. Barbara Demeneix, elle, propose une autre solution pour contrebalancer, au moins en partie, les effets des polluants qui interagissent avec le métabolisme de l’iode et des hormones thyroïdiennes : compléter toutes les femmes enceintes en iode. En France, aucune mesure de ce genre n’est à l’ordre du jour et on recommande seulement aux femmes enceintes d’augmenter leur consommation d’aliments riches en iode. Suffisant ? Rien n’est moins sûr...

Alzheimer, Parkinson... La pollution impliquée

Depuis les années 1980, on suspectait un lien entre la maladie de Parkinson et l’exposition aux pesticides ; il a été confirmé par une méta-analyse en mars 2012. La maladie d’Alzheimer, quant à elle, pourrait être favorisée par la pollution atmosphérique. En 2015, une étude taïwanaise sur plus de 95 000 personnes de plus de 65 ans a montré que les plus exposées à l’ozone et aux particules fines risquaient davantage d’être atteintes. Pire, pour Lilian Calderón-Garcidueñas, “l’exposition à la pollution atmosphérique des enfants peut conduire, plusieurs décennies plus tard, au développement de maladies neurodégénératives”.

justifié de penser que leur perturbation peut avoir un impact sur celui-ci. Mais on manque encore de preuves pour valider cette hypothèse. De façon très étonnante, la thyroïde a été, et est encore, le parent pauvre des études sur les perturbateurs endocriniens”, remarque Henri Schroeder.

Enfin, il semble que les effets de la pollution ne soient pas identiques chez tous les

teur de prédisposition à la maladie d’Alzheimer, dont certains soupçonnent justement qu’elle pourrait être favorisée par... la pollution (voir encadré ci-dessus).

“A elle seule, la pollution ne peut être rendue responsable de tous les maux, mais si l’on ajoute à une prédisposition un polluant causant une neuroinflammation ou un autre perturbant les fonc-



EN SAVOIR PLUS

A lire : les publications sur les baisses de Q.I. pour chacun des polluants. *Cerveaux en danger*, par P. Grandjean ; *Le Cerveau endommagé*, par B. Demeneix.

science-et-vie.com

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



SHUTTERSTOCK



À QUOI PENSENT LES BÊTES

À LA
UNE

Car elles pensent ! Qu'il s'agisse de mammifères, de poissons ou d'oiseaux, la science reconnaît aujourd'hui que les animaux sont doués non seulement d'affects, mais de pensées. Quelles pensées ? Des pensées comme les nôtres ? Pour le savoir, de récents travaux, mêlant étude du comportement et imagerie cérébrale, ont relevé le défi d'entrer dans la tête d'un certain nombre d'animaux pris dans des situations spécifiques. A quoi pense un chien lorsqu'il regarde son maître ? Un éléphant devant la mort d'un des siens ? Un poisson rouge dans son bocal ?... Une fois qu'on le sait, on ne peut plus regarder les "bêtes" comme avant.

PAR THOMAS CAVAILLÉ-FOL,
AVEC ALEXANDRA PIHEN ET ROMÁN IKONICOFF

À QUOI PENSE... UNE PIEUVRE QUI EXPLORE?

Le spectacle est toujours déconcertant. *“Lorsque nous allons la déranger en mer, elle peut être en train de capturer un crabe avec deux bras et vous repousser avec un autre, témoigne Ludovic Dickel, spécialiste en neuroéthologie cognitive des céphalopodes à l’université de Caen. Nous avons déjà du mal à coordonner les deux nôtres, alors imaginez avec huit !”*

Et à quoi pense donc cette pieuvre lorsqu’elle fait toutes ces choses en même temps ? Eh bien... elle pense à autre chose ! Forgé à partir d’un petit escargot par 540 millions d’années d’évolution indépendante de la nôtre, ce corps mou au degré de liberté infini déploie la plus étrange intelligence de tout le règne animal... en délocalisant le traitement de l’information.

“En matière de machinerie biologique de l’esprit, les céphalopodes sont une expérience indépendante dans l’évolution des systèmes nerveux grands et complexes”, souligne Peter Godfrey-Smith, philosophe des sciences, dans un essai sur cet “esprit” capable de ruse, d’invention, d’innovation. L’organisation du système nerveux de cet

animal aux trois cœurs et au sang bleu est en effet unique : seul un tiers de ses 500 millions de neurones est dédié au fonctionnement du cerveau central – composé de deux larges lobes optiques et de plusieurs centres de haut niveau comparables, d’après leur structure, à notre hippocampe. Les deux tiers restants nourrissent, eux, un système nerveux périphérique qui s’étend jusqu’à la pointe de ses huit bras (voir infographie). Des bras qui sont donc autonomes et qui disposent de leur propre structure motrice et de récepteurs sensorimoteurs : même coupés, ils continuent de s’agripper et de réagir à leur environnement pendant plus d’une heure ! Des millions de fibres sensibles tactiles, chimiques et proprioceptives se répartissent dans ce système nerveux périphérique. Et les bras disposent même d’une reconnaissance chimique d’eux-mêmes prévenant leur emmêlement. Une quantité énorme d’informations sensorielles (goût, Ph, température, texture...) leur est apportée par leurs 200 à 300 ventouses, par leur peau et par leurs muscles.

UN AVANTAGE ÉVOLUTIF ÉTONNANT

“C’est pour ça que le système est délocalisé, souligne Ludovic Dickel. La pieuvre profite ainsi d’une étape de tri préalable. Si elle devait tout faire avec son cerveau central, il faudrait qu’il soit plus gros que le nôtre !”

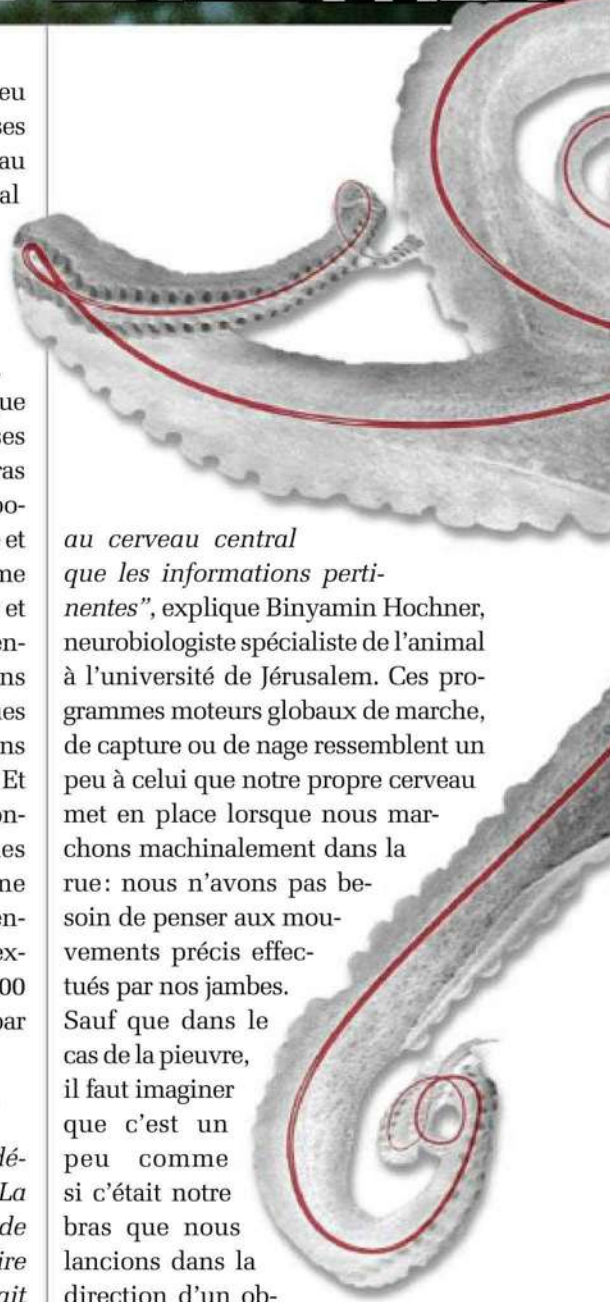
Elle peut donc explorer l’environnement sans mobiliser les ressources du cerveau central. *“Lorsqu’il envoie la commande globale ‘Sonde l’environnement’, les bras semblent effectuer leur propre exploration de façon indépendante pour ne faire remonter*

au cerveau central que les informations pertinentes”, explique Binyamin Hochner, neurobiologiste spécialiste de l’animal à l’université de Jérusalem. Ces programmes moteurs globaux de marche, de capture ou de nage ressemblent un peu à celui que notre propre cerveau met en place lorsque nous marchons machinalement dans la rue : nous n’avons pas besoin de penser aux mouvements précis effectués par nos jambes. Sauf que dans le cas de la pieuvre, il faut imaginer que c’est un peu comme si c’était notre bras que nous lançons dans la direction d’un objet à saisir, en lui laissant le soin d’effectuer les bons ajustements, jusqu’au bout de nos doigts...

Au même titre que notre cœur bat sans que nous y fassions attention, le cerveau central de la pieuvre n’est sans doute pas “conscient” de cette gestion périphérique. D’autant qu’il

UN DRÔLE D’ANIMAL

De son ancêtre du Cambrien, un **escargot** né il y a environ 540 millions d’années, la pieuvre a gardé le **corps sans squelette**. Défiant les extinctions de masse, elle a troqué sa coquille contre **8 bras** et s’est forgé un **système nerveux unique**.





Elle pense à 9 choses à la fois

Grâce à ses 8 systèmes nerveux périphériques...

Ses bras sont innervés par des millions de fibres sensibles tactiles, chimiques et proprioceptives, et sont dotés d'une autonomie fonctionnelle sans rétrocontrôle cérébral.

... et à son cerveau central spécialisé

Similaire à notre hippocampe, il se concentre sur les processus cognitifs élaborés (mémoire, prise de décision, coordination des mouvements complexes...).

est dénué de somatotopie, autrement dit, il est incapable de se représenter son corps point par point.

"En stimulant les centres moteurs supérieurs – les lobes basaux – dans le cerveau central de la pieuvre, nous ne déclenchons pas le mouvement spécifique d'une partie du corps mais un mouvement complet, expose Binyamin Hochner. Nous n'avons trouvé aucune zone de stimulation qui puisse provoquer le mouvement d'un seul bras ou d'une unique partie du corps."

Oleg Simakov, biologiste moléculaire à l'Institut pour la science et la technologie d'Okinawa (Japon), admire la solution. *"Il est difficile pour nous de saisir ce que cela signifie vraiment d'avoir des bras très autonomes,*

mais c'est un avantage évolutif indéniable de séparer la mémoire et l'apprentissage des centres de contrôle moteur."

Le cerveau central peut donc penser à autre chose... Oui, mais à quoi? Difficile à dire. *"Ça leur laisse du temps pour réfléchir, imagine Ludovic Dickel. Pour faire un peu de philosophie..."* **A.P.**

À QUOI PENSE... UN CHIEN QUI REGARDE SON

Il vit un choc amoureux permanent. Un amour aveugle, exclusif, indéfectible, euphorique et sans condition. Bref, quelque chose qui ressemble de près à un vrai amour romantique.

Depuis 2013, deux équipes – The Dog project, aux États-Unis, et le Family Dog Project, en Hongrie – ont réussi à effectuer des expériences d'imagerie à résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) chez les chiens, en les entraînant à rester éveillés et parfaitement immobiles dans un tunnel coiffés d'un casque antibruit. *“Jusqu'ici, on n'avait accès, chez lui, qu'aux indicateurs comportementaux et physiologiques de la manifestation des émotions”,* explique l'éthologue Charlotte Duranton, à l'université Aix-Marseille. *Ces investigations permettent de voir quelles zones du cerveau réagissent.”*

De quoi constater l'incroyable singularité de la relation du chien à son maître: sans aucune compensation alimentaire, l'odeur d'un être humain familier active chez lui des systèmes de récompense au niveau du striatum ventral. Des systèmes qui restent inactifs quand l'odeur est celle d'un inconnu ou d'un autre chien. Or l'activité de ce striatum ventral est connue pour augmenter

UN DRÔLE D'ANIMAL

Son plus proche cousin est le **loup gris**. Leur ancêtre s'est rapproché de l'homme pour tirer bénéfice de ses activités. **15000 ans** de sélection ont inscrit dans son cerveau un **attachement indéfectible**.

Ses pensées sont totalement dirigées vers lui

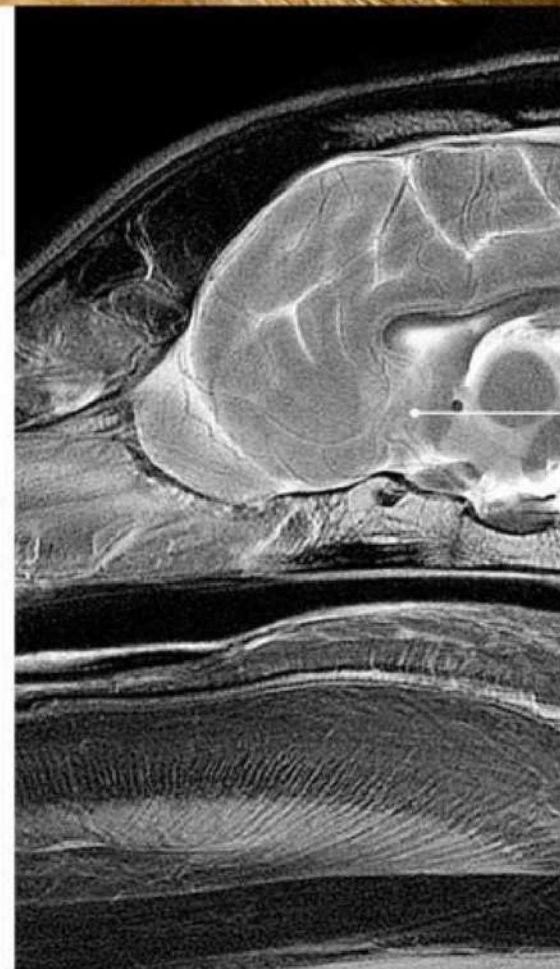
Grâce à son cortex temporal...

Une région spécifiquement dédiée à la reconnaissance faciale leur permet de distinguer un visage humain familier parmi d'autres. Et ce malgré des aptitudes visuelles générales peu performantes.

en présence de stimuli associés à des émotions positives – il est aussi appelé “centre de la motivation”.

Ces deux projets montrent par ailleurs que cet amour n'est pas du tout “aveugle”: le cerveau du chien possède en effet une machinerie neuronale spécifique dédiée au traitement complexe des visages. L'IRMf a révélé, dans son cortex temporal, la présence d'une zone de reconnaissance faciale sélective spécialement dédiée aux signaux sociaux humains. *“Des résultats très intéressants sachant que les chiens ne disposent pas d'aptitudes visuelles performantes”,* souligne le neurobiologiste Georges Chapouthier (CNRS). *Pourtant, ils suivent le regard des hommes, ce qui est très rare chez les animaux.”*

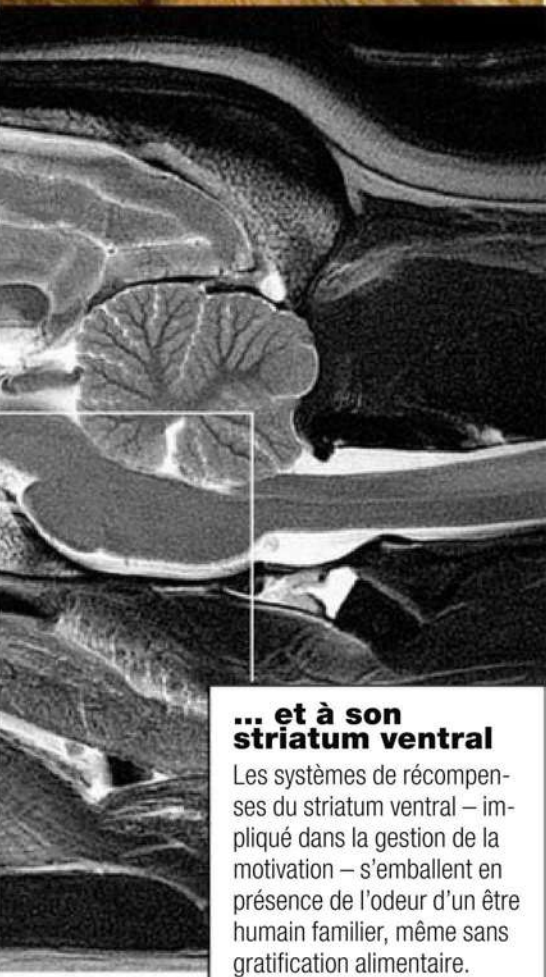
Ni aveugle ni sourd... Car la voix humaine et les émotions qu'elle véhicule n'échappent pas non plus à l'hypersensibilité canine pour son maître. Alors que deux zones de la partie supérieure du lobe temporal s'activent à l'écoute d'une voix ou d'un aboiement, une zone supplémentaire de l'hémisphère droit réagit uniquement à l'écoute d'une voix humaine. *“Non seulement les chiens présentent une région audi-*



tive secondaire sélective de la voix humaine, mais aussi une différenciation neuronale des stimuli vocaux positifs et négatifs”, explique Ádám Miklósi, membre du Family Dog Project.

Il ne faut donc pas s'étonner qu'ils soient de véritables éponges. *“Ils sont extrêmement sensibles à nos émotions, et apprennent à réagir en fonction de nous”,* souligne Charlotte Duranton. *“Si nous sommes en colère, ils émettent les signaux comportementaux issus de leur répertoire de chiens pour essayer de nous calmer. Si nous sommes joyeux, par contagion émotionnelle, ils sont joyeux. Si nous avons peur d'une*

MAÎTRE ?



... et à son striatum ventral

Les systèmes de récompenses du striatum ventral – impliqué dans la gestion de la motivation – s'emballent en présence de l'odeur d'un être humain familier, même sans gratification alimentaire.

chose, par référencement social et apprentissage observationnel, ils peuvent se mettre à en avoir peur aussi. Ils sont incroyablement plus attentifs qu'on le croit à ce que nous faisons !”

Selon l'hypothèse d'une domestication sélectionnant génétiquement des individus dociles, ils seraient donc nés pour aimer leur maître. “La sensibilité des chiens aux signaux humains serait présente dès le plus jeune âge, confirme Charlotte Duranton. Et nos connaissances penchent pour la mise en place de fortes relations affiliatives induisant de la joie et de l'attachement... N'est-ce pas un peu cela, l'amour?”

A.P.

3

À QUOI PENSE... UN POISSON ROUGE DANS SON BOCAL ?

Probablement à rien de précis – ce qui ne signifie pas qu'il ne pense à rien, encore moins qu'il ne pense pas. De fait, comme dans tout cerveau en état de marche, les neurones du poisson rouge ne cessent de crépiter ; mais dans ce milieu clos, son attention ne se porte sur rien. Son cerveau est en mode automatique, “un peu comme nous, lorsque nous allons au travail par un chemin que nous empruntons tous les jours : on ne fait pas attention, sauf si un phénomène éveille notre curiosité”, compare Juan Carlos Lopez, professeur spécialisé en apprentissage et cognition de l'université de Séville.

IL TOURNE EN MODE AUTOMATIQUE

Contrairement à la croyance populaire qui l'affuble d'une mémoire de trois secondes, ce poisson issu de la carpe à la lune, qui peuple les mers d'Europe et de Chine, ne redécouvre pas son bocal à chaque tour. “C'est une légende urbaine, balaie Manuel Portavella, du Laboratoire de psychobiologie (université de Séville). Les fonctions comme la mémoire et l'apprentissage sont apparues avant la séparation entre le groupe dont sont issus les poissons actuels et celui des vertébrés terrestres, il y a 400 millions d'années. Et elles ont été préservées car elles assurent la survie de l'animal !”

Pas de quoi donc être surpris ou stimulé à chaque tour par la vision répétée du même coquillage au fond de l'aquarium... Et par notre présence ? “Les poissons rouges, qui ont une très bonne vision associent vite votre présence à l'arrivée de nourriture”, répond Juan Carlos Lopez. Passé cette récompense qui a éveillé leur attention, ils se remettent sûrement à nager en stand-by, jusqu'à l'apparition d'un nouveau stimulus.”

Mais alors, son cerveau n'est-il pas rongé par l'ennui ? “Pour répondre, il faudrait connaître son niveau de conscience”, pointe Juan Carlos Lopez. Sachant que, chez l'homme, l'ennui ne provient pas d'un manque d'excitation, mais de la conscience de ce manque. Le poisson sait-il qu'une vie plus riche existe hors du bocal ? Le chercheur ose une comparaison : “L'appétit sexuel dépend de la présence d'hormones. Selon moi, un poisson tout seul dans un bocal ne sera pas ‘éveillé’ sexuellement, simplement parce qu'il n'y a pas d'hormones pour le faire.”

C'est le paradoxe du poisson rouge : sa vie est si monotone qu'il n'a même pas les moyens de s'ennuyer... T.C.-F.

Il ne pense à rien de précis

Même s'il est moins spécialisé que notre cortex cérébral, son pallium est capable de gérer mémoire et émotions. Sauf que l'absence de stimulation inhibe son activité.

MARK RAYCROFT / MINDEN PICTURES - UNIVERSITY OF MINNESOTA - PLAINPICTURE/CULTURA

À LA UNE



À QUOI PENSE... UN DAUPHIN QUI NOUS REGARDE

Si vous regardez un dauphin dans les yeux en essayant de savoir ce qu'il a en tête, dites-vous qu'il pense probablement à la même chose que vous : cet animal doué d'une extraordinaire empathie essaie lui aussi de savoir à quoi vous pensez !

Ce cétacé à dents, doté du plus fort quotient d'encéphalisation – qui mesure la masse du cerveau par rapport à celle du corps –, juste derrière l'homme et devant les grands singes, *"est aussi intéressé par nous que nous le sommes par lui"*, assure Olivier Adam, bioacousticien et spécialiste des cétacés au Centre de neurosciences de Paris-Sud.

Reconnu pour ses compétences cognitives supérieures, telles que la conscience de soi ou le traitement d'informations symboliques, le dauphin est, de fait, particulièrement bien équipé pour plonger au plus profond de l'individu qui lui fait face, quelle que soit son espèce.

Grâce à l'écholocation d'abord. En effet, contrairement à ce qui a

longtemps été envisagé, ces émissions de sons ou d'ultrasons renvoyés en écho qui leur permettent de se construire une image mentale de ce qu'ils ont en face d'eux, ne sont pas uniquement dédiées à l'exploration "géographique" de leur environnement. Véritables échographies, ces clics ultra-directifs des cétacés fournissent aussi de nombreux renseignements sur l'état intérieur des individus ciblés.

UN ALTRUISME GÉNÉRALISÉ

"En cliquant, il peut potentiellement percevoir les organes internes de celui qui se trouve en face de lui : il peut voir au travers des tissus et même traverser différentes couches", explique Aurélie Célérier, spécialiste en écologie comportementale à l'université de Montpellier. *"Il peut prendre en compte, chez ses congénères, des signaux reflétant leurs états émotionnels en observant leur rythme cardiaque ou la vitesse de leur respiration par exemple. Il peut aussi 'voir' les blessures internes et les maladies, comme les tumeurs"*, ajoute la neurobiologiste Lori Marino, de l'université Emory à Atlanta (Etats-Unis). *"Lorsqu'ils sont en groupe, ils vont par exemple cliquer vers la partie enflée d'une femelle gestante pour suivre le développement du fœtus, complète l'éthologue Fabienne Delfour (université Paris 13). Et les mâles cliquent aussi vers les parties génitales des femelles pour connaître leur statut reproducteur."*

Comme le souligne Lori Marino, le cerveau du dauphin est particulièrement adapté à cette attention à l'autre : *"Ce type de comportement empathique est corrélé à l'observation de*

Il se demande aussi à quoi nous pensons

Grâce à son cortex auditif hypersensible...

Stimulé en permanence par son système d'écholocation, il est capable de "voir" à l'intérieur des corps avec une résolution inférieure au millimètre. Il peut ainsi connaître l'état de santé ou les émotions des animaux qu'il croise.

parties très développées de leur cerveau impliquées dans les émotions et la cognition sociale. Ils disposent en particulier d'une sorte de lobe supplémentaire à côté de leur système limbique et de leur néocortex." Ce cortex paralimbique, associé au traitement des émotions, est très réduit chez les humains et absent chez d'autres mammifères. *"Ce qui suggère que les dauphins traitent leurs émotions de façon très sophistiquée"*, poursuit la chercheuse. Peut-être même plus que nous, finalement...

Cela est vrai aussi au niveau des neurones. Comme le souligne l'éthologue américaine Maddalena Bearzi, *"les neurones en fuseau, également appelés neurones de Von Economo, qui sont liés chez les humains à la capacité de sentir ce que pensent les autres, ont également été retrouvés chez les grands dauphins"*. Chez l'homme, leur défaillance peut affecter les capacités d'empathie,

UN DRÔLE D'ANIMAL

Il y a 58 millions d'années, le dauphin vivait sur la terre ferme sous la forme... d'un **ongulé** de l'ordre des condylarthres.

Chevaux, chameaux, cochons et hippopotames sont les plus proches cousins actuels de cet odontocète (cétacé à dents). S'ils ont tous bien en commun le **sens du troupeau**, les dauphins semblent l'avoir élevé à un niveau supérieur.



RDE ?

... à ses neurones en fuseau sièges de l'empathie...

Rarissimes chez les animaux, ces neurones présents dans le cortex fronto-insulaire sont liés à la capacité de sentir ce que pense l'autre et à l'évaluation intuitive ultrarapide de situations sociales complexes.

de conscience de l'autre et de maîtrise de soi.

De la même manière, chez les dauphins, cette capacité d'empathie se traduit par un comportement très altruiste. Étroitement liés les uns aux autres, ces animaux sociaux s'entraident et sont même capables, pour ne pas abandonner un congénère en détresse, de mettre en danger leur propre vie. Ils peuvent aussi venir au secours d'un humain ou d'une autre espèce animale. *"Chez les dauphins, il s'agit d'un altruisme généralisé qui exige un niveau très élevé de compréhension de la façon dont ses propres expériences peuvent être mises en perspective chez un individu complètement différent"*, estime Lori Marino.

En nous regardant dans les yeux, le dauphin se demande donc sans doute ce que ça fait de penser comme un humain...

A.P.

... et à son cortex paralimbique surdéveloppé

Particulièrement développé chez le dauphin, le cortex paralimbique est très réduit chez l'homme et absent chez de nombreux mammifères. Il est dédié au traitement d'émotions sophistiquées.

À LA UNE

À QUOI PENSE... UN ÉLÉPHANT FACE À LA

Sans doute à des choses finalement assez proches de celles que nous-mêmes ressentons au moment d'un deuil, avec son lot d'attachement, d'incompréhension, de conscience de la perte et de souvenirs.

Un exemple. En 2003, dans la réserve nationale Samburu, au Kenya, Eleanor, doyenne du groupe d'éléphants appelé First Ladies, s'est effondrée. La matriarche d'une autre famille est venue l'aider, la soutenant pour la remettre sur pied, vocalisant et diffusant des sécrétions par ses glandes temporales, comme souvent lorsque les éléphantesses subissent un stress. Las, Eleanor s'est éteinte le lendemain. Pas moins de cinq familles, dont la sienne, ont visité son corps à plusieurs reprises durant les jours qui ont suivi : se contentant parfois de rester juste immobile auprès d'elle, d'autres fois la poussant ou la reniflant.

Pourquoi chercher à bouger le corps d'un mort ? *"Ce sont des animaux très empathiques qui prennent soin les uns des autres,"* répond John Allman, professeur de

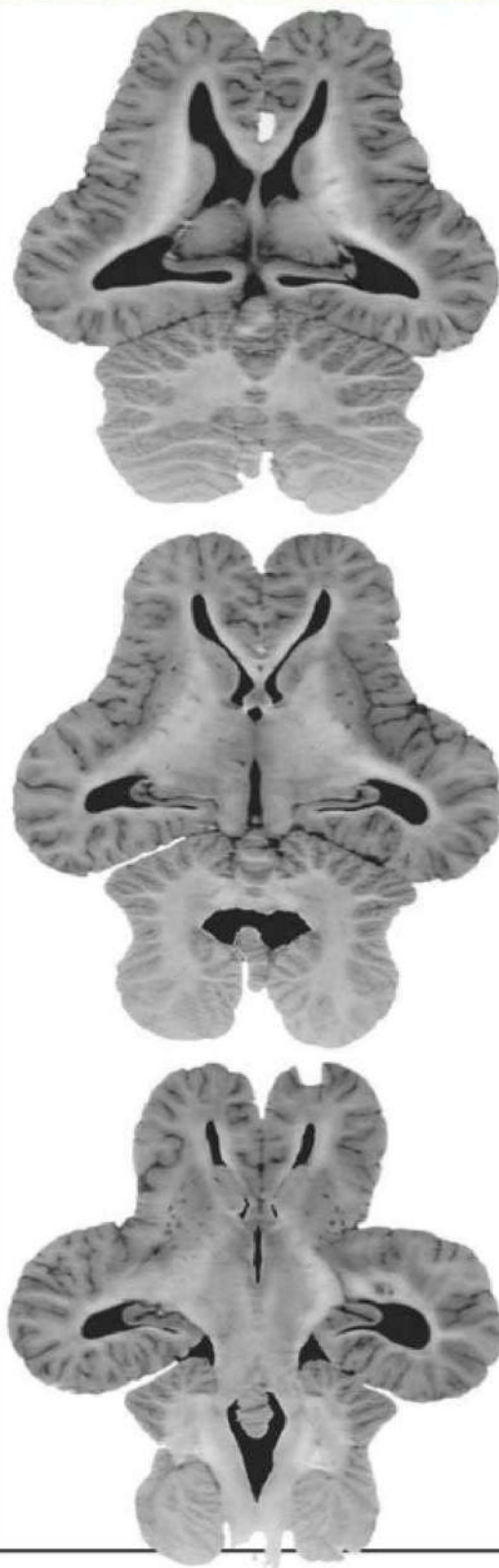
neuro-anatomie à l'Institut technologique de Californie. *Ils ressentent la détresse de leurs congénères et réagissent en essayant d'aider. Ceci est un comportement tout à fait attendu d'un animal à la vie aussi longue, à savoir plus de soixante ans pour l'éléphant d'Afrique, et à la vie sociale si développée. Pour moi, cette forte empathie est à relier à la présence de neurones particuliers dans leur cerveau, principalement dans leur cortex fronto-insulaire : les neurones en fuseau."*

IL ESSAIE D'ABORD DE L'AIDER

Seules quelques espèces de mammifères – dont le dauphin, voir pages précédentes – possèdent ces neurones de forme allongée, soupçonnés de jouer un rôle dans le traitement des émotions, de l'empathie, mais aussi dans la conscience de soi. *"Un éléphant essaiera donc d'aider son compatriote mort, puisqu'il est amené à le faire dans sa vie de tous les jours, et ne comprendra pas pourquoi il n'y a pas de réactions",* propose John Allman. *"Ils ont clairement envie que l'éléphant mort revienne à la 'normale'",* confirme Phyllis Lee, professeure de psychologie et comportement animal à l'université de Stirling, en Ecosse.

Et une fois le stade de l'incompréhension passé ? *"Ils intègrent assez vite la notion de perte, ce qui est vraiment fascinant, car cela implique de pouvoir se visualiser soi-même dans le temps, mais aussi les autres",* poursuit la chercheuse.

L'éléphant est en effet un des rares animaux à avoir réussi le test dit du miroir, à savoir montrer de la curiosité pour une tâche située sur une



UN DRÔLE D'ANIMAL

Le plus ancien représentant des **proboscidiens** est daté d'environ 60 millions d'années : **il n'avait pas de trompe et était gros comme un chat.** Si cet ordre a rayonné, avec plus de 170 espèces dont le mammoth, il ne survit plus qu'à travers les éléphants d'Afrique et d'Asie.

MORT D'UN DES SIENS?

Il pense à celui qui vient de mourir

Grâce à ses neurones en fuseau qui traitent les émotions...

Ces neurones spécifiques à la forme effilée se trouvent en particulier dans le cortex insulaire, où ils traiteraient les émotions sociales et la conscience de soi. Grâce à eux, l'éléphant ressentirait la perte.

... et à son incroyable mémoire stockée dans son gros hippocampe

Son hippocampe (en bas) est plus gros que le nôtre. Comme les parties de son cortex les plus développées sont celles qui soutiennent les systèmes olfactif (en haut) et auditif (sur le côté), ses souvenirs sont surtout constitués d'odeurs et de sons.

partie de leur corps en s'observant dans une glace, ce qui démontre un certain niveau de conscience de soi. Comme nous, *"les éléphants ressentent la perte, cela ne fait aucun doute"*, confirme Paul Manger, neuro-anatomiste à l'université de Witwatersrand, en Afrique du Sud.

Et, comme pour nous, le sentiment de perte, lié aux souvenirs et à la mémoire, est vécu différemment selon la proximité avec le défunt. *"Tous les éléphants ne réagissent pas de la même façon, certains se comportent seulement avec curiosité, quand d'autres peuvent aller jusqu'à se retirer socialement, et même ne plus se nourrir ni dormir normalement. Peut-être que ces éléphants-là pensent effectivement au temps passé avec le défunt"*, imagine Barbara J. King,

professeur émérite d'anthropologie au Collège de William et Mary de Williamsburg (Etats-Unis).

Car la mémoire d'éléphant n'est pas un mythe. *"L'hippocampe des éléphants, dont dépendent en partie les mémoires spatio-temporelle et sociale, est un peu plus gros que celui des humains, même s'il est moins dense en neurones"*, décrit John Allman. *Le cortex temporal, qui soutient le système auditif, et le cortex frontal, qui contient le système olfactif, sont aussi très développés, beaucoup plus que le système visuel. La mémoire des éléphants est donc principalement olfactive et auditive. Cela permet ainsi aux matriarches de reconnaître une centaine d'autres éléphants, simplement par leurs vocalisations, et ceci à plusieurs kilomètres de distance."* Plus que des souvenirs visuels, comme chez nous, les éléphants garderaient donc surtout en mémoire la "voix" et l'odeur de leur proche disparu.

Les pensées d'un éléphant face à la mort d'un des siens nous semblent finalement bien familières. *"Il ne faut pas oublier non plus qu'avec la mort d'une matriarche, ce sont des souvenirs importants pour la survie de toute la famille qui disparaissent. C'est elle qui savait où trouver à manger et à quelle période. Ceci peut ajouter à la confusion du groupe"*, ajoute le neuro-anatomiste. Possible détresse, donc. *"Il peut même arriver que certains s'auto-mutilent"*, ajoute Phyllis Lee.

Contrairement au mythe, les éléphants n'ont pas de cimetière... mais ils ont bien des funérailles. **T.C.-F.**

À LA UNE

N. PATZKE ET AL. - THIERRY FALISE/GETTY

À QUOI PENSE... UN OISEAU QUAND IL CHANTE ?

A l'image de la joie si simple et si personnelle que nous avons à chanter sous la douche, l'oiseau qui chante seul sur sa branche ne pense sans doute à rien d'autre qu'à son propre plaisir.

"En laboratoires, un oiseau seul en cage dans un caisson d'isolation acoustique produira tout de même trois mille chants par jour, note Nicolas Giret, spécialiste de la neurobiologie du chant des oiseaux à l'Institut des neurosciences Paris-Saclay. On se demande un petit peu pourquoi il chante. Alors oui, peut-être y a-t-il une forme de plaisir. D'autant que d'autres arguments font aussi pencher la balance en ce sens."

Une équipe indienne du Centre national de neurosciences de Manasar s'est en effet penchée en 2010 sur l'hypothalamus du diamant mandarin, une des 4 000 espèces d'oiseaux chanteurs recensés. Lors de ses chants non dirigés – c'est-à-dire non produits dans un but de séduction ou de protection du territoire –, ils ont constaté par injection graduelle d'un neuro-suppresseur d'endorphine le lien direct entre l'augmentation de la concentration d'opiacés endogènes, ces petites protéines appelées "hormone du bonheur" et ce chant. Et ont vérifié qu'une forte dose l'abolit.

Plus récemment, en 2015, c'est la neuroscientifique Sarah Woolley, de l'université McGill de Montréal, qui a implanté des électrodes dans

l'aire X du cerveau de ce même oiseau, et démontré que deux types de neurones, les FSI (fast spiking interneurons) et les GPe (external pallidal neurons), s'activent beaucoup plus rapidement et intensément lors de leurs chants solitaires.

"Si les oiseaux prennent du plaisir quand ils chantent, c'est dans cette structure qu'il faut aller regarder, car c'est dans l'aire X qu'on trouve de la dopamine", estime Nicolas Giret. Des mesures par microdialyse ont en effet démontré que le taux de ce neurotransmetteur mis en jeu dans la sensation de plaisir augmente lorsque l'oiseau chante seul – quoique plus légèrement que lorsque c'est pour une femelle.

Comment expliquer sinon qu'un oiseau comme le lyre d'Australie du Sud imite des sons complètement artificiels comme le bruit de la tronçonneuse ou de l'appareil photo ?

Michel Kreutzer, spécialiste émérite d'éthologie et de cognition comparées de l'université Paris-Ouest-Nanterre-La-Défense en est aujourd'hui persuadé : *"Les oiseaux aussi recherchent ce qui leur fait plaisir dans la vie."* **A.P.**

Il ne pense qu'à se faire plaisir

Chanter en solitaire libère des endorphines (hormones du bonheur) dans leur hypothalamus et de la dopamine (neurorécepteur impliqué dans le plaisir) dans l'aire X.

À QUOI PEN UNE ABEIL

Difficile à croire mais une abeille en quête de nourriture passe son temps à... résoudre des énigmes logiques. En survolant phacélies, bourraches ou sainfoin, elle se représente les fleurs et le monde en général comme autant de symboles sur lesquels elle mène des opérations mentales afin d'optimiser sa recherche de nourriture en évitant les pièges et les prédateurs. Elle suit les règles logiques apprises, en déduit de nouvelles. Bref, elle fait des maths !

"On peut affirmer que l'abeille résout les problèmes en manipulant des concepts abstraits !" s'émérveille Martin Giurfa, directeur du Centre de recherche sur la cognition animale à Toulouse, grand spécialiste des abeilles. Par exemple ? *"Son système cognitif effectue des opérations qui, traduites dans notre langue, ressemblent à un raisonnement dit transitif."* Le chercheur a en effet confronté ces insectes à des symboles visuels (A, B, C, D et E). En mettant du nectar – qu'elles adorent – derrière le symbole A et de la quinine – qu'elles détestent – derrière B, il les a entraînées à mémoriser une relation du type A>B. Idem pour les relations B>C, C>D et D>E. Puis il les a confrontées à des associations nouvelles, comme A et E, ou B et D. Sans hésiter, l'abeille va directement chercher le nectar derrière le bon symbole (A et B) : de tout ce qu'elle a appris, elle en a elle-même déduit que A>E et B>D. Une vraie matheuse, on vous dit ! *"Sachant qu'elle doit inspecter de nombreuses sources de nourriture, le fait de savoir classer par ordre croissant ou décroissant d'intérêt les zones*



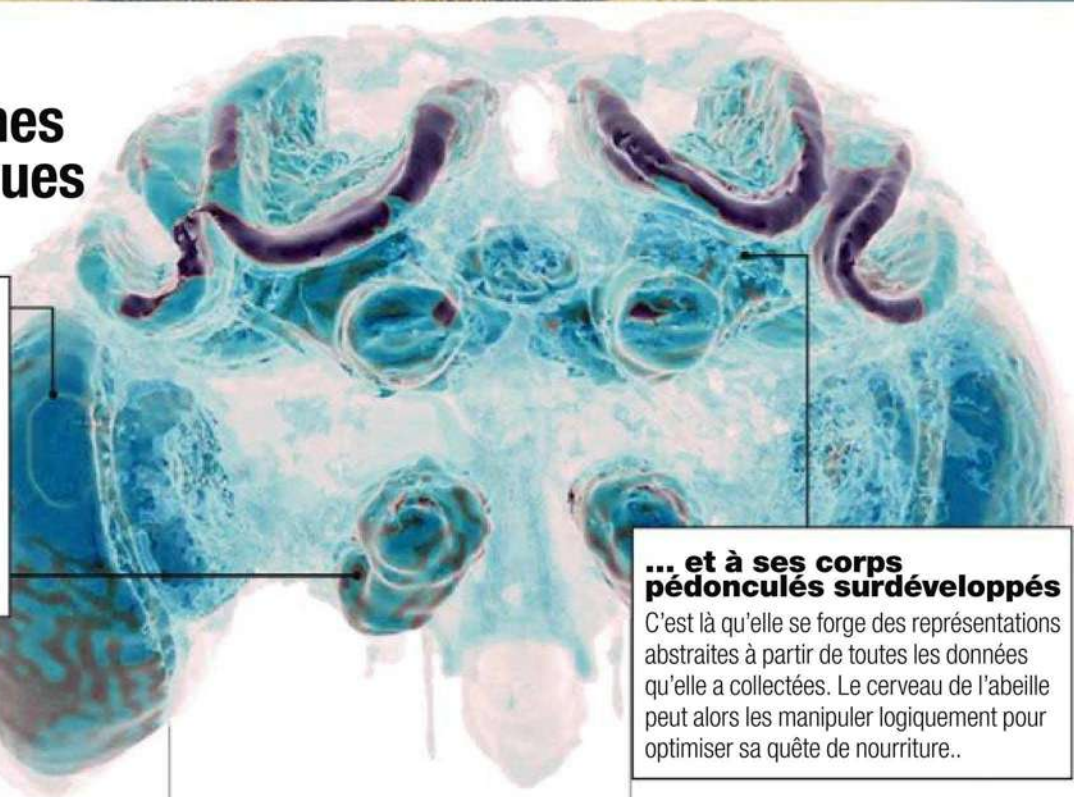


SE... LE QUI SURVOLE UN CHAMP?

Elle résout des problèmes mathématiques

Grâce à ses aires sensorielles primaires ultrasensibles...

Ses aires visuelle (à g.) et olfacto-gustative (à dr.) captent les données de l'environnement (formes et couleurs, odeurs, goûts) qui sont ensuite hiérarchisées.



... et à ses corps pédonculés surdéveloppés

C'est là qu'elle se forge des représentations abstraites à partir de toutes les données qu'elle a collectées. Le cerveau de l'abeille peut alors les manipuler logiquement pour optimiser sa quête de nourriture..

À LA
UNE

inspectées, autrement dit les hiérarchiser, est crucial pour être efficace."

Mais d'autres études ont montré qu'elle ne se contente pas de raisonnements linéaires. "Par exemple, explique encore Martin Giurfa, elle est capable de comprendre que si deux fleurs présentent deux odeurs associées à de riches récompenses, cela n'implique pas nécessairement qu'une espèce présentant un mélange des deux odeurs sera doublement riche."

ELLE SAIT AUSSI... QU'ELLE NE SAIT PAS

Plus impressionnant, même si, précise Martin Giurfa, cela reste à confirmer: "Il semblerait que l'abeille sait se représenter et évaluer ses propres connaissances." Après un apprentissage symbolique en règle, des abeilles ont été confrontées à une situation ambiguë

inédiite qui peut représenter un gain ou un danger. "L'abeille reste alors à distance, tournoie, hésite, comme si elle passait en revue ses connaissances. Et peut finalement refuser d'y aller, comme un étudiant qui 'sècherait' un examen car il sait qu'il ne sait pas." Autrement dit, l'abeille n'évoquerait pas son savoir sur la source de nourriture, mais son savoir sur son savoir.

Comment, avec 960 000 neurones seulement, l'abeille serait-elle capable d'une telle "métacognition", que l'on pensait réservée, comme le raisonnement abstrait, aux gros cerveaux dotés d'un cortex préfrontal? "Notre attention se focalise sur une structure particulière: les corps pédonculés", détaille Martin Giurfa, une sorte de "boucle de contrôle" où convergent les informations des systèmes visuel et olfacto-

gustatif, et où est stockée la mémoire à long terme. Présents chez la plupart des insectes, ils sont surdéveloppés chez les abeilles et pourraient être considérés comme leur "cortex préfrontal": les sens y sont "intégrés", c'est-à-dire dépouillés de leurs particularités pour former des représentations abstraites à partir desquelles l'abeille effectue des raisonnements logiques... De quoi butiner mathématiquement.

R.I.

UN DRÔLE D'ANIMAL

Issues des crabronidés, des guêpes solitaires prédatrices d'insectes, les abeilles auraient, voici 100 millions d'années, changé de régime alimentaire et opté pour un mode de vie social.

À QUOI PENSE... UN HOMARD PLONGÉ DANS

La question soulève autant d'appétit que d'empathie. Le comportement d'un homard plongé dans l'eau bouillante qui, durant une minute, donne des coups de pinces contre la casserole avant de mourir, traduit-il une véritable sensation de douleur, comparable à celle que nous ressentons lorsque nous nous brûlons – ou s'agit-il d'une simple réaction réflexe, dénuée de toute sensibilité? Cette question concerne en fait tous les arthropodes, cette faune piétinée, négligée, oubliée, qui constituent pourtant 80 % des espèces animales connues.

“Pendant longtemps, ces crustacés ont été considérés comme simplement dotés de réflexes, raconte Pascal Fossat, maître de conférences en neurosciences à l'université de Bordeaux. En effet, leur système nerveux ne comporte pas les structures qui, chez les mammifères, soutiennent les fonctions cognitives supérieures, tel le cortex cérébral.”

Il faut avouer que le système nerveux du homard est très simplifié: il ne compte qu'environ 100 000 neurones quand notre cerveau tutoie, en estimation basse, les 86 milliards. Celui de ce crustacé est basiquement composé de plusieurs paires de ganglions reliées

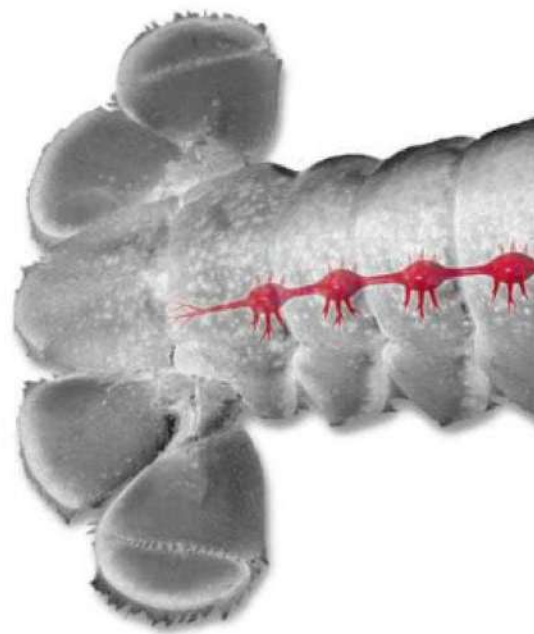
par un cordon ventral à une masse nerveuse au niveau de la tête, elle-même fusion de ganglions.

Pas de cortex cérébral donc, qui abriterait ce qu'on appelle chez nous la conscience; ni de système limbique, siège des émotions. Cela signifie-t-il que le homard ne ressent pas de douleur? *“Non, répond Zen Faulkes, professeur de neuro-éthologie à l'université Rio Grande Valley, au Texas. Cela équivaudrait à dire que les chauves-souris ne volent pas car elles n'ont pas de plumes. La même fonction peut provenir de différents systèmes. Les décapodes ont des organes sensoriels sur tout le corps, des petits poils souvent sensibles aux stimuli, et nos études suggèrent la présence de nocicepteurs.”*

IL EST SUBMERGÉ PAR LE STRESS

Ces récepteurs sensoriels s'activent uniquement face à des stimuli pouvant provoquer des lésions de l'organisme. Posez votre main sur une plaque chauffante: vos nocicepteurs déclencheront un réflexe rapide de retrait, avant même que la sensation de douleur n'arrive à votre cerveau. *“Lorsque nous avons mis en contact les antennes ou les pinces d'écrevisses avec un fer chauffé à 54 °C, 100 % d'entre elles ont eu un réflexe immédiat de fuite, quand seulement 11 % réagissaient à une température ambiante ou très basse, explique le chercheur. Ce qui suggère la présence de nocicepteurs spécialisés, sensibles aux hautes températures.”* Quand il racle la marmite avec ses pinces, c'est donc bien à la trop forte chaleur que le homard, comme sa cousine l'écrevisse, réagit. Et pas seulement avec ses antennes ou ses yeux, avec certains points de sa carapace aussi.

Paniqué, il ne pense qu'à s'enfuir



La nociception n'étant qu'un réflexe de survie, il ne permet pas d'en déduire une quelconque expérience douloureuse. *“Si les homards n'étaient sujets qu'à la nociception, imagine Robert Elwood, professeur émérite en comportement animal à l'université de Belfast (Irlande), ils ne sentiraient rien dans la casserole, par contre tout leur corps serait pris de mouvements incontrôlés.”* Une sorte de crise éveillée en somme. *“Mais plusieurs expériences montrent que les décapodes répondent aux stimuli nocifs d'une façon trop prolongée et complexe pour n'être qu'un simple réflexe. Il y a donc autre chose.”* Un constat que partage Zen Faulkes: *“Les réponses des écrevisses aux hautes températures ne sont pas qu'automatiques, elles sont*

UN DRÔLE D'ANIMAL

Cet **arthropode** est doté de **10 appendices articulés** (ordre des décapodes). Seules 3 espèces de cet **animal solitaire et très territorial** ont été recensées, dont le homard européen.

L'EAU BOUILLANTE ?

Ses nocicepteurs captent tout de suite la chaleur...

Ses nocicepteurs sensoriels réagissent aux hautes températures par un réflexe défensif. Ils sont surtout présents sur les antennes et en certains points de la carapace.

... tandis que ses neurotransmetteurs propagent le stress

La concentration de sérotonine, un neurotransmetteur impliqué dans la régulation de l'anxiété, augmente fortement dans le cerveau. Associée à la nociception, cette réaction définit la douleur.

contrôlées et diffèrent entre individus." Les arthropodes seraient-ils donc sensibles au même titre que nous ?

"On parle de douleur lorsqu'à la nociception est associée une émotion désagréable comme la peur, qui prolonge le comportement aversif", commente Georges Chapouthier, neurobiologiste et philosophe, directeur de recherche au CNRS. Une telle émotion a-t-elle déjà été observée chez un invertébré décapode ? Il semblerait que oui : en 2014, Pascal Fossat a montré que les écrevisses éprouvaient... comme de l'anxiété. Celles ayant subi des chocs électriques évitaient les zones éclairées, quand les autres exploraient tout leur environnement (voir S&V n°1180,

p. 74). "Leur comportement est donc bien modifié dans la durée par un stress, pointe Pasca Fossat. Et ce changement s'accompagne d'une augmentation de la concentration de la sérotonine qui, dans le cerveau, régule plusieurs réponses liées à l'anxiété... Or, si on leur injecte un anxiolytique, leur comportement d'évitement disparaît."

"Nous ne saurons jamais ce que ressent exactement le homard, reconnaît Robert Elwood, mais cela s'approche fortement de ce que nous appelons douleur." "On peut imaginer qu'il est d'abord saisi d'un réflexe incontrôlable

ainsi que d'un grand stress et donc d'une décharge d'hormones", propose Pascal Fossat. "Ses nocicepteurs en feu le pousseraient à se dégager intentionnellement de la source de chaleur", continue Zen Faulkes. "Et il prendrait tous les risques pour y arriver", termine Robert Elwood.

Bref, ce qu'il ressent n'est sans doute pas si éloigné de ce qui se passe dans la tête d'un humain brûlé vif, dont les pensées sont submergées par la panique. **T.C.-F.**

LA SCIENCE FAIT SA RÉVOLUTION ANIMALE

Longtemps la science a considéré les animaux comme de simples créatures dont elle pouvait user et abuser. Avant de découvrir que les bêtes étaient loin de l'être. Une vraie révolution scientifique, qui pose de nouvelles questions.

Il y a quand même de quoi s'étonner en entendant des scientifiques parler de la douleur du homard, de l'ennui du poisson ou du raisonnement de l'abeille (lire pages précédentes).

Car c'est cette même science qui, pendant des centaines d'années, a réduit l'animal à un être conditionné pour répondre instinctivement à des stimuli triviaux. A une bête sans intelligence, incapable d'émotions, dénuée d'univers mental ; une créature, certes de chair et de sang, mais sans âme ni conscience. Une vieille tradition.

"Cette vision provient de la thèse de l'animal-machine de Descartes, au XVII^e siècle, retrace le neurobiologiste et philosophe Georges Chapouthier. Elle a été bien illustrée par son disciple

Malebranche, qui, dit-on, battait des chiens en s'exclamant : 'Regardez : ça crie, mais ça ne ressent pas, exactement comme une horloge !' L'Homme avait une âme, pas l'animal. Ces êtres avaient été créés et mis à notre disposition pour que l'on comprenne le fonctionnement du corps humain."

Serviles et silencieux, les animaux nous aidaient dans nos tâches, tiraient les charrues, amusaient la galerie, offraient leur chair, mais la science l'assurait : ils ne pensaient pas, ne ressentait rien, et ne souffraient donc pas.

"Pourtant, il y a toujours eu des gens pour contredire cette thèse", assure Georges Chapouthier. Comme George Romanes, biologiste de l'évolution et protégé de Darwin, qui publia en 1882 Animal Intelligence, traité dans lequel

GEORGES CHAPOUTHIER

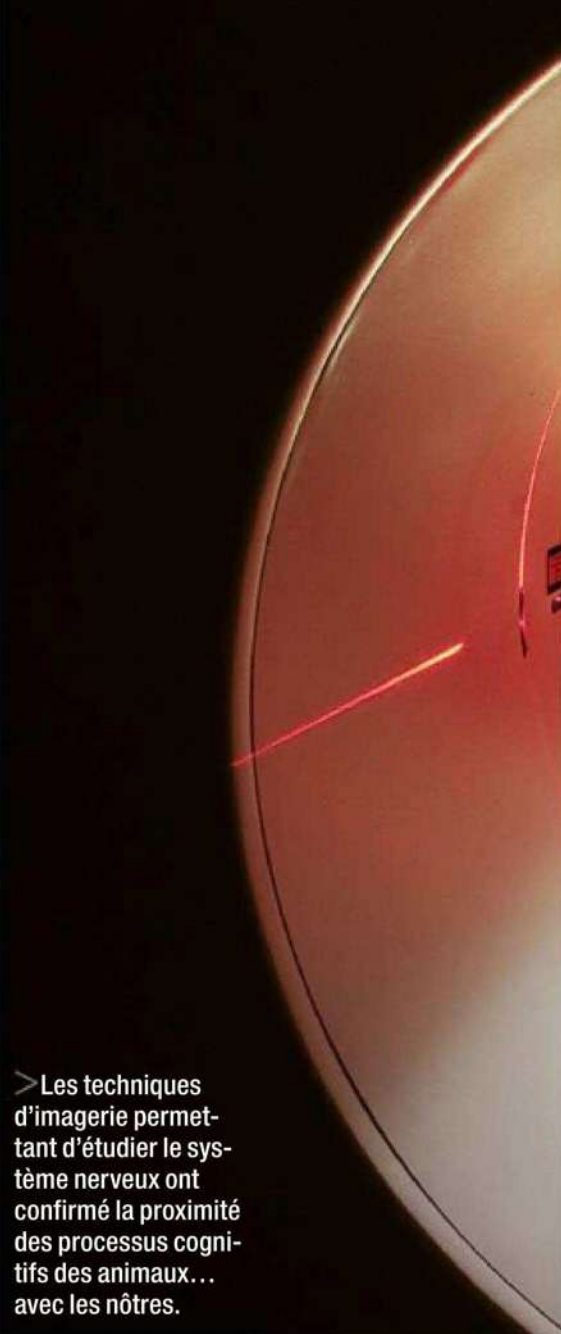
Neurobiologiste et philosophe, directeur de recherche émérite au CNRS

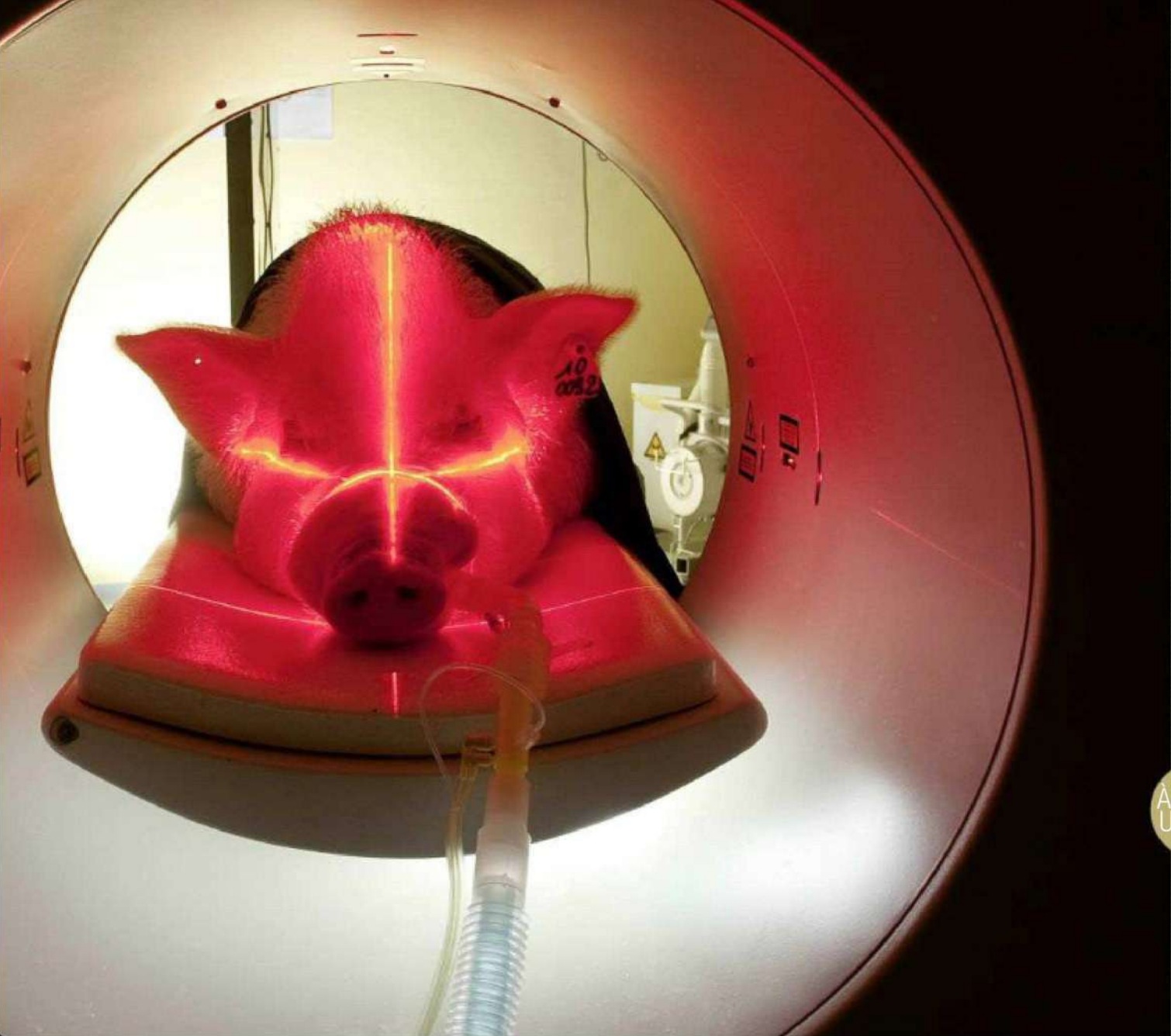
Dans les années 1970, toute empathie envers les animaux était vue comme une sensiblerie déplacée

> Les techniques d'imagerie permettant d'étudier le système nerveux ont confirmé la proximité des processus cognitifs des animaux... avec les nôtres.

il prêtait aux animaux des émotions et même des capacités de raisonnement. Très limité dans ses fondements empiriques, cet essai fut accusé de tenir des propos anthropomorphiques. Prêter aux animaux des processus mentaux humains était alors perçu comme une faute scientifique.

La prudence ne fit que redoubler avec l'approche behavioriste, qui interprète les comportements à l'aide des seuls stimuli de l'environnement. Dans son *Introduction à la psychologie comparée* (1894), Conwy Lloyd Morgan stipule qu'il est inutile de chercher à expliquer les comportements animaux par des fonctions cognitives supérieures, quand des





À LA
UNE

processus basiques de type réflexes peuvent en rendre compte. L'animal reste un simple rouage. *“Et cette vision a perduré, témoigne Georges Chapouthier. Quand j'ai commencé mes études dans les années 1970, on m'a dit de considérer les souris d'expérimentation comme des petits bouts de bois. Toute empathie était source de railleries, considérée comme une sensiblerie déplacée.”*

LES MENTALITÉS ONT CHANGÉ

Virage à 180 degrés : depuis les années 2000, rares sont ceux qui se gaussent quand un chien est qualifié d'affectueux, un dauphin de joueur ou un éléphant de triste. Que s'est-il passé ?

Comment, de simple machine, la bête est-elle devenue un être pensant ?

Ce que la science tenait pour acquis a été peu à peu sapé par des découvertes liées au progrès technologique, pointe Frans de Waal, professeur en éthologie des primates à l'université Emory d'Atlanta (Etats-Unis) : *“Par exemple le séquençage de l'ADN... Découvrir que nous partageons plus de 98 % du code génétique avec le chimpanzé a forcément eu un impact fort sur notre perception des singes, et du règne animal en général.”*

Génétique et biologie de l'évolution ont également remis l'homme à sa place : un simple rameau perdu au milieu des innombrables branches

de l'arbre du vivant, aux racines évolutives indéniablement communes. Inversement, les animaux se sont retrouvés mis sur le même plan que nous. Et les nouvelles techniques permettant l'étude du système nerveux, comme l'IRM fonctionnelle, n'ont fait que confirmer l'extrême ressemblance de nos processus cognitifs avec ceux des animaux, du moins avec les plus proches de nous.

“Pour moi, la véritable révolution au sein de la communauté scientifique s'est jouée sur les mots, analyse Frans de Waal. Quand j'ai commencé mes recherches à la fin des années 1970, il était impossible de décrire un animal dans des termes →

utilisés habituellement pour les humains. Enfin, il n'y avait aucun problème pour les comportements négatifs : on pouvait les taxer de violents ou de dominants, mais les émotions positives, elles, étaient taboues, sous peine d'être accusé d'anthropomorphisme. Par exemple, si deux singes se réconciliaient après une dispute, on parlait de 'contact post-conflit', et non de réconciliation ou d'amitié renouvelée. C'était exagéré, et c'est pour cela que j'ai inventé le terme d'anthropodéni. Aujourd'hui, la jeune génération de scientifiques est plus ouverte d'esprit, et les neurobiologistes s'intéressent davantage aux émotions et à l'intelligence animales."

AU CŒUR DE LA CONSCIENCE ANIMALE

Plus qu'une révolution scientifique classique, déclenchée par une série de découvertes, ce sont donc les mentalités qui ont changé. Les mots ne font plus peur. "Ils pensent, ressentent, rêvent et sont aussi conscients que nous, car ils partagent avec nous les mêmes structures neuronales qui gouvernent ces processus, ose ainsi Gay Bradshaw, spécialiste en psychologie animale à l'université Lesley de Cambridge (Etats-Unis), en parlant des éléphants. J'estime qu'il ne faut pas parler de comportement animal sans

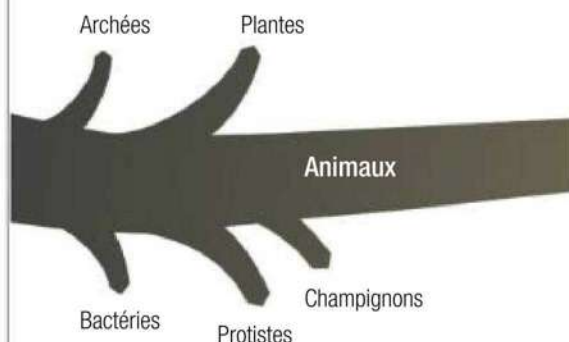
intégrer une véritable psychologie."

Même la plus haute des fonctions cognitives, la conscience de soi et des autres, commence à être accordée aux animaux. Et pas seulement aux mammifères. En 2012, un groupe d'éminents chercheurs en neurosciences cognitives a ratifié la *Déclaration de Cambridge sur la conscience* rédigée par Philip Low (MIT). Laquelle affirme que l'absence de néocortex, structure cérébrale présente seulement chez les mammifères, n'empêche pas d'éprouver des états affectifs, ni de posséder une conscience – c'est le cas des oiseaux et des pieuvres.

Le neuroscientifique Christof Koch, alors professeur à l'Institut de technologie de Californie et signataire de la déclaration, va même plus loin : "La conscience est un continuum, et non un palier. Chaque espèce dotée d'un système nerveux un minimum complexe est capable d'avoir une conscience. Certes, les expériences subjectives d'un ver de terre doivent être moins nuancées que les nôtres. Mais il n'empêche que ça doit faire quelque chose d'être un ver de terre."

Et voici que la question se pose aujourd'hui, inimaginable il y a quelques décennies : cela fait quoi, justement, d'être un ver de terre ? Maintenant que leur existence est reconnue, comment

Notre cerveau s'est structuré avec celui de tous les animaux



Notre cerveau d'*Homo sapiens* a hérité de près d'un milliard d'années d'invention : en regardant l'histoire évolutive des animaux, on repasse par les cinq grandes étapes qui ont structuré notre organe de pensée. Et on constate que les cerveaux des animaux ont eux aussi profité de ces inventions. Pas étonnant, dès lors, que l'on partage avec eux des expériences similaires. D'ailleurs, un crocodile qui nous regarde fait sûrement du crocodilomorphisme...

plonger dans ces pensées animales ? Certains, comme Paul Manger, neuro-anatomiste à l'université du Witwatersrand (Afrique du Sud), mettent en garde : "On ne saura jamais ce qu'un animal pense, ni même s'il pense. C'est une question d'ordre ésotérique qu'illustre bien le fameux article de Thomas Nagel, 'Quel effet cela fait-il d'être une chauve-souris ?'"

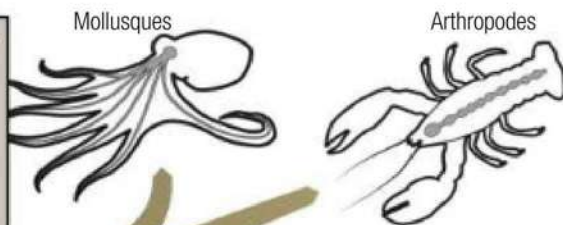
"Si j'essaie d'imaginer quel effet cela fait à une chauve-souris d'être une chauve-souris, je suis borné aux ressources de mon propre esprit, et ces ressources sont inadéquates pour cette tâche", écrivait en 1974 le philosophe américain. Et il avait raison. Bien sûr que la tâche de ressentir les pensées intimes d'un animal est vouée à l'échec. Il est déjà impossible de savoir ce qu'un autre être humain pense, alors une espèce de rongeur volant à sonar... Des difficultés qui n'empêchent pas les spécialistes de la cognition

Les enjeux de l'expérimentation animale

Pascal Fossat, chercheur en neurosciences à l'université de Bordeaux, l'assure : "L'expérimentation a bien changé ces dernières années. Il faut respecter des règles, notamment celle des trois R." Le premier R est pour "remplacer", si possible, le modèle animal par un autre moyen (expérience *in vitro* ou modélisation informatique). Et si ce n'est pas possible ? "On peut aussi 'réduire' le nombre d'animaux testés, et 'rafiner', c'est-à-dire diminuer au maximum leur souffrance", poursuit le chercheur. Et comment vit-il l'expérimentation animale, lui qui connaît la complexité de leurs états mentaux ? "C'est un moment difficile, mais indispensable pour faire avancer la recherche, en santé humaine bien sûr, mais aussi en cognition animale", répond-il. Christof Koch acquiesce et illustre à sa façon le malaise : "Nous avons dans notre laboratoire un autel dédié aux animaux, pour honorer leur sacrifice et nous rappeler notre objectif : éliminer totalement leur souffrance."

Apparition des neurones

Entre -1 400 et -970 millions d'années (Ma) apparaissent ces unités de base du système nerveux, qui intègrent et transmettent les informations, puis les premiers ganglions, nés du regroupement des corps cellulaires de ces neurones.



Apparition du tube neural

Entre -830 et -550 Ma, les amas neuronaux se structurent en un système nerveux primitif (prosencephale, mésencéphale et métencéphale). Entre -550 et -450 Ma apparaissent les premiers cervelet et cerveau, ce dernier comprenant un bulbe olfactif.

Apparition du tronc cérébral complet

Entre -450 et -310 Ma, toutes les structures formant le tronc cérébral sont présentes. Presque tous les cerveaux ont alors un système limbique (formation de la mémoire et de certaines émotions).

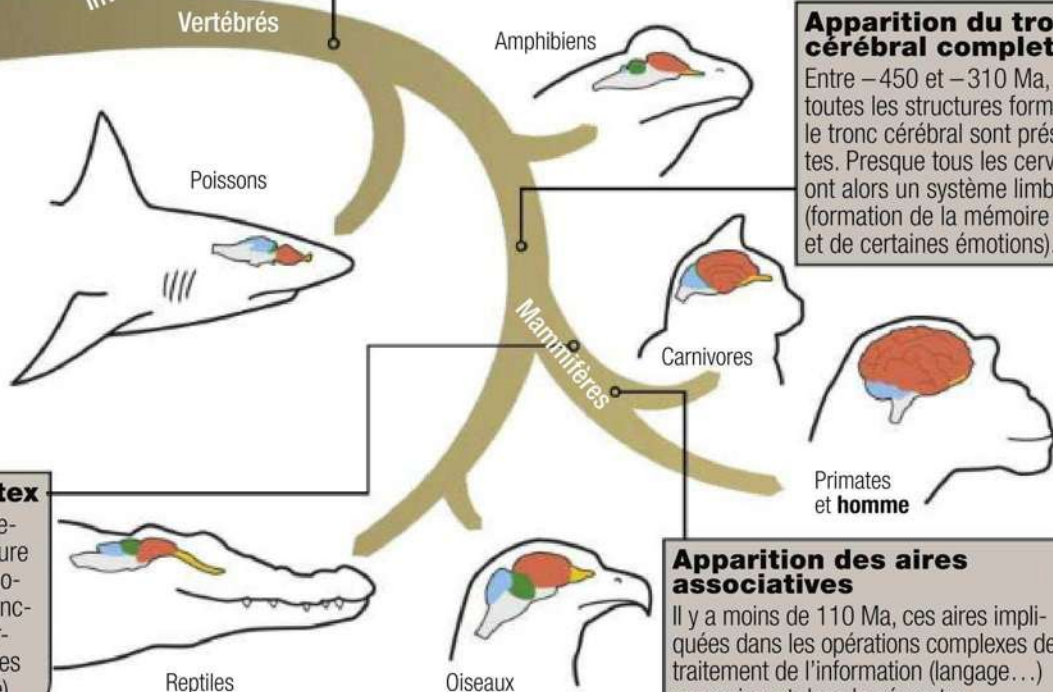
Apparition du néocortex

Entre -310 et -110 Ma se développe le néocortex, qui se structure en aires sensibles et en aires motrices. Il est impliqué dans les fonctions cognitives supérieures (perceptions sensorielles, commandes motrices volontaires, conscience).

Apparition des aires associatives

Il y a moins de 110 Ma, ces aires impliquées dans les opérations complexes de traitement de l'information (langage...) apparaissent dans le néocortex.

Structures cérébrales chez les vertébrés



animale de plonger dans la tête des bêtes pour tenter de comprendre comment se structure leur espace mental, mesurer les ressorts de leur vie intérieure, saisir leurs états d'esprit... Et ce, en mobilisant tous les outils scientifiques disponibles: expérimentations animales, tests de psychologie comportementale, examens des structures neuronales, analyses de génome, manipulations génétiques, etc. Le tout avec une dimension anthropomorphique intégrée, presque assumée, l'être humain n'étant plus l'unique détenteur de toutes les émotions qu'il ressent.

NOS PRATIQUES EN QUESTION

Aujourd'hui, il ne faut donc pas s'étonner d'entendre que les rats rient quand on les chatouille (comme semblent le montrer les expériences menées par une équipe de l'université Humboldt de Berlin, qui aurait

même identifié dans le cortex somatosensoriel le "centre cérébral du chatouillis" des mammifères), que les cochons sont lunatiques (d'après une étude des universités de Lincoln et de Newcastle, en Grande-Bretagne, ils sont plus ou moins optimistes selon leur personnalité et leur environnement), ou que les poules se projettent dans le futur (elles réussissent une variante du test du marshmallow, dans lequel s'empêcher de manger tout de suite permet d'obtenir plus tard davantage de nourriture). "Et ce n'est que le commencement", assure Frans de Waal.

La reconnaissance est tardive, mais prometteuse. De quoi s'émerveiller encore longtemps devant cette incroyable richesse spirituelle, qui avait été niée jusqu'ici. De quoi aussi interroger la condition animale et certaines de nos pratiques. Dans le monde sauvage, d'abord. Une étude du



CHRISTOF KOCH

Neuroscientifique, signataire de la Déclaration de Cambridge sur la conscience

Chaque espèce dotée d'un système nerveux un minimum complexe peut avoir une conscience

→ Fonds mondial pour la nature réalisée sur 14 152 populations appartenant à 3 706 espèces de vertébrés a révélé en octobre 2016 que ces populations ont diminué de plus de moitié – en nombre d'individus, et non en espèces – ces quarante dernières années sous l'effet de la dégradation, très majoritairement d'origine humaine, de leur habitat.

L'expérimentation animale est elle aussi concernée. Certes, les pratiques évoluent (lire p. 56). Mais comme le reconnaît Pascal Fossat, chercheur en neurosciences à l'université de Bordeaux, *"notre position est schizophrénique. Notre regard sur l'animal évolue avec les nouvelles recherches réalisées... sur modèle animal"*!

Reste que les victimes des recherches scientifiques ne pèsent pas bien lourd face à celles de l'industrie agroalimentaire: 60 milliards d'animaux terrestres environ y perdent la vie tous les ans. Et parfois dans des conditions inhumaines, "inanimales", a-t-on presque envie de dire, comme en témoignent les vidéos chocs sur certaines pratiques en cours dans les abattoirs, et la vague d'indignation qui a suivi leur diffusion.

"Une réelle réflexion autour du statut de l'animal est en marche, observe Jean-Marc Neumann, chargé d'enseignement en droit animal à l'université de Strasbourg. Ce mouvement est profond, puissant. Après le racisme, après le sexisme, le spécisme est le troisième combat."

HUMANISME ÉLARGI OU ANTI-HUMAIN ?

Le combat "antispéciste", c'est la lutte contre l'établissement d'une hiérarchie entre les espèces animales, *Homo sapiens* compris. C'est l'affirmation que, même s'il est plus facile d'éprouver de l'empathie pour un singe que pour une crevette, la même considération morale devrait être accordée à toutes les espèces. Un mouvement qui résonne avec l'essor du végétarisme (pratique alimentaire qui exclut la consommation de chair animale),

Et à quoi pensent les plantes ?

Plus osé encore que de percer les secrets de la cognition animale, certains chercheurs s'emploient à étudier... celle des plantes ! Car les végétaux, eux aussi, font preuve de capacités surprenantes : mémoire, entraide, protection et même... sens de la famille (voir S&V n° 1146, p. 50). Et ce sans posséder un seul neurone ! Selon certains chercheurs, c'est l'extrémité des racines qui jouerait le rôle d'un cerveau décentralisé, en réussissant à traiter les multiples informations qu'elles reçoivent. Les mots utilisés par les spécialistes sont cependant encore plus piégeux que dans le monde animal. Certains, hardis, n'hésitent pas à parler de *"neurobiologie végétale"*, quand d'autres qualifient ce type de terme d'*"analogie superficielle"* ou encore d'*"extrapolation discutable"*. Attendons donc un peu avant de savoir exactement à quoi pense un arbre...

du végétalisme (qui exclut en plus les sous-produits d'origine animale comme le lait, les œufs, le miel...) et du véganisme (qui exclut en général tout ce qui est lié à l'exploitation d'un animal, comme le cuir, la laine...).

Comme en témoigne l'appel d'une vingtaine d'intellectuels à la création d'un secrétariat d'Etat à la condition animale, le 18 octobre dernier, ou la fondation, le 14 novembre, du Parti animaliste, qui veut promouvoir *"une évolution de société prenant en compte les intérêts des animaux"*, le sujet est en train de devenir politique. "Anti-humanisme" pour certains, "humanisme élargi" pour d'autres, le débat est engagé. Mais une chose est sûre : la reconnaissance scientifique du monde mental des animaux a non seulement fait bouger ses propres lignes, mais celles de la société.

"La science interroge l'éthique, qui interroge nécessairement le droit, explique Jean-Marc Neumann. Depuis deux ans, les choses ont bien changé. Les animaux ont été reconnus en tant qu'êtres sensibles dans le code civil en février 2015, même s'ils sont toujours sous le régime des biens dont on peut disposer comme on veut. Dans la foulée, l'enseignement du droit de l'animal, né aux Etats-Unis dans les années 1970, est arrivé en France. La première formation est dispensée de-

puis novembre 2015 à Strasbourg, et plusieurs autres ont ouvert depuis."

Le droit animal est encore balbutiant, l'animal en lui-même n'étant pas vraiment défini. Les invertébrés, par exemple, sont bien moins considérés que les vertébrés – hormis les pieuvres, auxquelles on prête une vraie intelligence. Devrait-on par exemple accorder les mêmes droits à un homard qu'à un veau ? A un oiseau qu'à un chien ? A un zèbre qu'à un cheval ? Et les moustiques, bien qu'ils soient les animaux non humains les plus meurtriers de la planète, s'ils ont une quelconque forme de conscience, devrais-je éviter de les écraser ?

La voix des bêtes se fait entendre. Elle envahit la société, chahute le droit, l'industrie, l'enseignement, la recherche, les traditions et même la morale. Et la science, cette même science qui a si longtemps refusé de leur admettre un monde mental, est désormais en première ligne pour l'écouter. **T.C.-F.**



A lire : de nombreuses publications scientifiques ; *Révolutions animales*, sous la direction de Karine Lou Matignon. A voir : plusieurs vidéos montrant des comportements animaux insoupçonnés.

science-et-vie.com

& Science découvertes

HÉPATITE C
60

ORAGE
63

SUPER-SENS
66

9^e PLANÈTE
72

ICI, SON PATRIMOINE GÉNÉTIQUE

Dans cette zone sombre se cache l'ARN du virus de l'hépatite C.

ET ICI, LES LIPIDES VOLÉS AUX CELLULES INFECTÉES

Le virus renferme des acides gras captés dans la cellule hôte. Leur concentration est variable, ce qui explique que tous les virus n'aient pas la même taille.

LÀ, SON ENVELOPPE EXTÉRIEURE

Composée de phospholipides, elle lui permet de se fixer à la surface des cellules du foie.

20 nm

^ LA PREMIÈRE IMAGE DU VIRUS
Elle a été obtenue en octobre 2016 par une équipe Inserm à Tours.

VIRUS DE L'HÉPATITE C

Enfin visible au microscope

Il aura fallu vingt-cinq ans pour observer l'unique virus qui échappait jusqu'ici à la microscopie : celui de l'hépatite C. Un exploit que nous raconte **Aude Rambaud**.

Une petite masse aux teintes grisâtres, rien de franchement impressionnant... L'image n'en est pas moins historique. *"C'est un exploit scientifique"*, selon Philippe Roingeard, directeur d'une unité Inserm et responsable de la plateforme IBiSA de microscopie électronique à Tours. Il s'agit en effet du premier cliché d'un des virus

les plus redoutés et les plus connus depuis les années 1990 : le virus de l'hépatite C.

Imaginez : les scientifiques ont décrypté son génome, identifié ses protéines et compris en grande partie son fonctionnement grâce aux outils de la biologie moléculaire. Les médecins connaissent la maladie du foie qu'il provoque. Il existe même des traitements efficaces pour éradiquer ce virus qui infecte près de 150 millions de personnes dans le monde. Et pourtant, malgré des tentatives répétées, personne n'avait jamais réussi à le voir. Comme un aveugle qui vivrait vingt-cinq ans avec quelqu'un et le connaîtrait par cœur alors qu'il ne l'a jamais vu.

Le cas est unique en son genre ! Depuis les années

1930, la microscopie électronique est venue à bout de tous les virus (variole, varicelle... et même sida). *"Certains virus sont plus difficiles à cultiver, et donc à observer, que d'autres, explique Bruno Lina, directeur de l'unité Inserm Virpath (Virologie et pathologies humaines) à Lyon. C'est le cas des métapneumovirus (responsables d'infections des poumons) ou de certains rhinovirus (rhume). Mais à force d'acharnement, les chercheurs y sont toujours parvenus. Aucun virus n'était resté indétectable... à part celui de l'hépatite C !"*

COUPLÉ À DE LA GRAISSE

Il faut dire que ce virus est tout à fait particulier. Il est en effet couplé à des particules lipidiques dans le sang, des sortes de petites "bulles" de graisse. Ça aussi, les chercheurs le savaient, grâce à la biologie moléculaire et à des photos obtenues en microscopie électronique dès les années 1990. Voilà d'ailleurs ce qui a rendu

Repères

L'hépatite C touche **130 à 150 millions** d'individus dans le monde. Ce virus se transmet par **voie sanguine** (injections à risque, mauvaise stérilisation de matériel médical...). Elle provoque 700 000 décès dans le monde liés à une évolution en **cirrhose ou en cancer du foie**. Les chances de guérison sont de **90 %** mais les traitements sont très chers.

→ le travail si difficile. *“Le virus se réplique dans un compartiment des cellules du foie au sein duquel sont aussi fabriquées les particules lipidiques qui transportent le gras dans l'organisme. Nous savons qu'il se place à proximité de ces particules en cours de fabrication et parasite totalement le cours des choses en les incorporant dans sa propre structure. Il en résulte une vésicule*

comme virales par méprise. C'est ce qui s'est passé en 2013 quand une équipe américaine, pensant avoir observé le virus de l'hépatite C, a fait grand bruit. *“Ils s'étaient en fait trompés sur la nature des particules observées”*, clarifie Jean-Christophe Meunier.

Sauf que, cette fois, les chercheurs sont sûrs de leur coup. Ils ont trouvé une botte secrète qui leur a permis d'observer

son centre de l'ARN viral et du noyau, délimités par une première couche de lipides, laquelle est entourée d'un mélange d'acides gras et de cholestérol, de nouveau délimité par une seconde couche de lipides. *“Rien que l'on ne savait déjà, mais cette description concorde avec des travaux antérieurs de biologie moléculaire. Elle valide donc vingt-cinq ans de travail”*, ajoute Jean-Christophe Meunier.

Certes, les progrès de la biologie moléculaire rendent les observations moins essentielles. *“Mais il est toutefois très important de confirmer les hypothèses d'organisation formulées par d'autres moyens, rappelle Philippe Roingeard. Ces travaux apportent par exemple la preuve irréfutable que le virus de l'hépatite C est associé à des protéines de particules lipidiques appelées ApoE. Information pertinente pour développer un vaccin, sachant qu'aucun n'est disponible à ce jour. En outre, les données de microscopie électronique, au-delà de la simple description, permettent par exemple d'étudier les interactions d'un virus avec une cellule cible pour comprendre comment il y pénètre et comment il s'y comporte.”*

Un peu comme si notre aveugle retrouvait la vue. Il découvrirait forcément de nouveaux traits chez son acolyte.

La microscopie électronique, indispensable en virologie

A l'exception de quelques géants, la plupart des virus mesurent entre 20 et 200 nanomètres – environ 200 nm pour celui de l'hépatite C, soit 500 fois plus petit qu'une cellule humaine. Impossible à distinguer avec un simple microscope optique. Seule la microscopie électronique, qui consiste à projeter des électrons sur un échantillon, permet d'obtenir un niveau de détail suffisant pour décrire des particules de quelques nanomètres. Elle permet des grossissements allant jusqu'à 5 millions de fois alors que les meilleurs microscopes optiques sont limités à 2000 fois.

hybride viro-lipidique, explique Jean-Christophe Meunier, responsable de ces travaux dans une unité Inserm à Tours. *C'est donc ‘déguisé’ que le virus quitte la cellule pour aller en infecter une autre. Il détourne ainsi l'attention du système immunitaire et pénètre plus facilement dans les cellules cibles.”*

Impossible, donc, de distinguer les morceaux du virus des particules lipidiques circulantes. Pis: si le virus incorpore des lipides au cours de sa formation, les particules lipidiques captent en échange quelques protéines virales au passage, de sorte que des particules lipidiques dénuées de virus peuvent être considérées

ces particules hybrides dont la structure est bien différente de celle des simples particules lipidiques. *“Nous avons utilisé des anticorps spécifiques de protéines virales et simplement modifié le protocole classique de préparation des échantillons, en améliorant un aspect qui avait été négligé au cours de précédents travaux. Une petite manipulation et de la chance !”, résume Jean-Christophe Meunier, qui reste discret car sa technique n'a pas encore été publiée.*

En attendant, le résultat est là, approuvé par la communauté scientifique. Et c'est ainsi qu'ils ont décrit, à partir des clichés réalisés, une structure en couches composée en



A lire : *L'Observation des virus par microscopie électronique*, par P. Roingeard, août 2008.

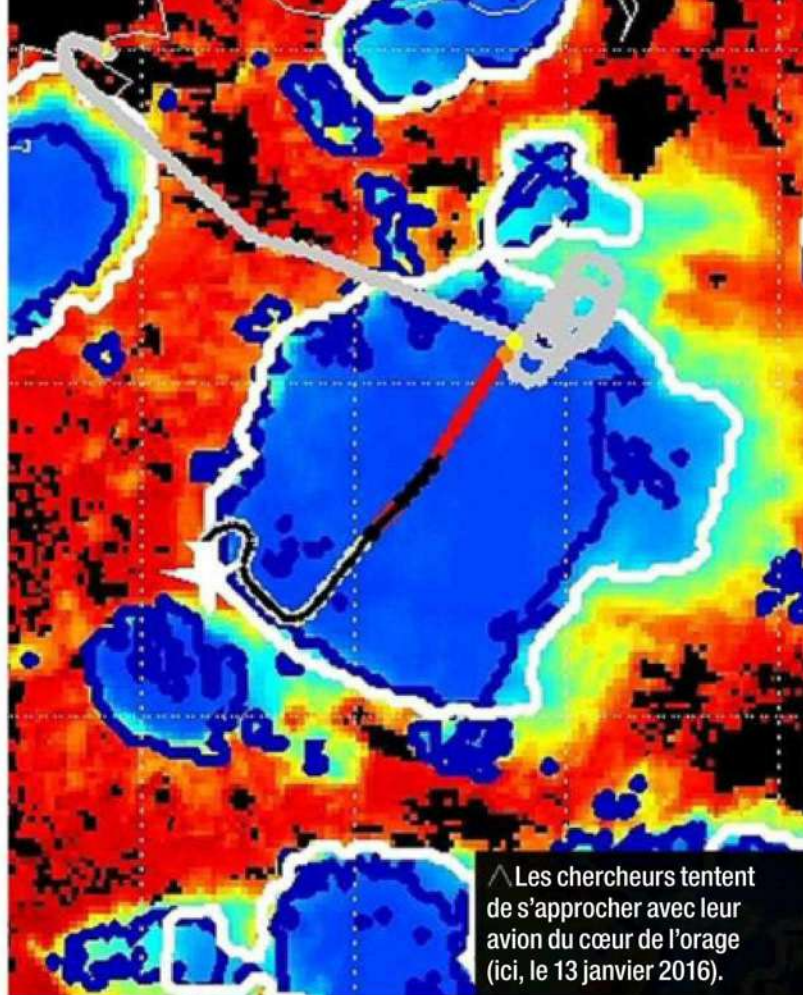
EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Hector

L'orage devenu la star du climat

Les climatologues se passionnent pour un monstrueux orage qui, chaque jour, éclate au large de l'Australie. Une des clés de la machinerie climatique, nous explique **Vincent Nouyrigat**.



▲ Les chercheurs tentent de s'approcher avec leur avion du cœur de l'orage (ici, le 13 janvier 2016).

Les îles Tiwi sonnent comme une destination idéale pour une lune de miel. Situé au sud de l'archipel indonésien et à 80 km au large de la ville de Darwin (Australie), l'endroit est d'ailleurs vanté pour ses eaux poissonneuses et son art aborigène; avis aux amateurs. Mais, bizarrement, les brochures touristiques oublient d'évoquer un certain Hector et ses ravages...

Hector? Ce prénom, qui claque comme un coup de tonnerre, désigne un orage monumental se développant presque chaque jour au-dessus des îles Tiwi – spécialement en période de pré-mousson, entre novembre et décembre.

A défaut de touristes, ce phénomène attire des chercheurs du monde entier. "Il est le seul orage auquel on a attribué un nom, privilège d'habi-

tude réservé aux ouragans et aux tempêtes", souffle Jean-Pierre Chaboureau, physicien au Laboratoire d'aérologie de l'université de Toulouse, dont l'équipe vient de modéliser les bourgeonnements d'Hector (voir p.64).

Il faut dire que tous les ingrédients sont ici réunis pour former un monstre atmosphérique: température de l'air à 30°C, humidité de 80 %, température de l'eau supérieure à 28°C, et surtout une brise de mer aux caractéristiques idéales pour accumuler les nuages et alimenter de profonds mouvements de convection. "La structure nuageuse d'Hector est deux fois plus élevée que l'Everest et se développe horizontalement sur une surface comparable à celle de la Corse, tout en dégageant une puissance équivalente à celle de 600 000 réacteurs nucléaires!", admire

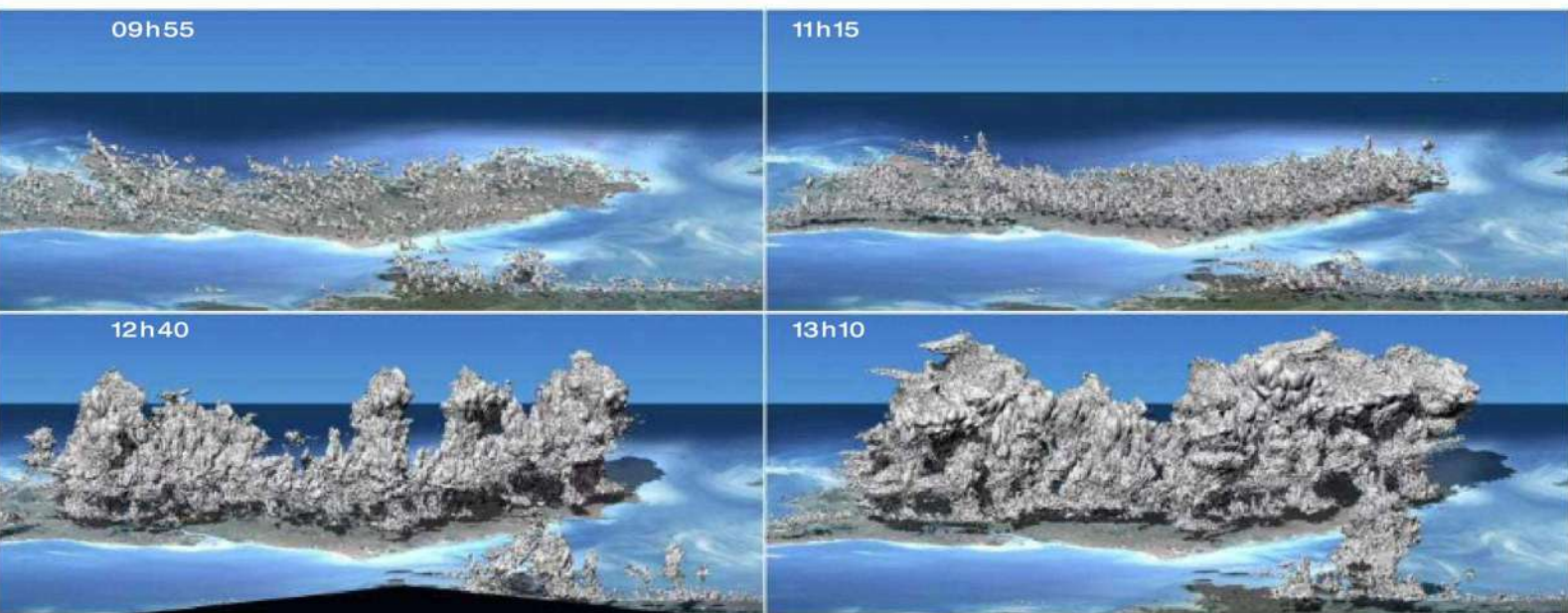


Jean-Pierre Chaboureau. "Hector peut contenir une centaine de millions de tonnes d'eau", complète Thibaut Dauhut, qui vient d'achever une thèse sur le sujet.

Ces chiffres ahurissants ne sont pas forcément des records absolus (voir encadré). Il n'empêche. "Hector est idéal pour les chercheurs car il se produit de manière répétitive et se forme toujours au même endroit", évoque Peter May, du Centre de recherche météorologique australien. Ce qui en fait

Repères

Chaque jour, environ 40 000 orages se déclarent sur Terre; comptez environ 50 éclairs par seconde. La bande tropicale est la zone la plus active, à commencer par le continent africain, suivi par l'Asie, l'Amérique du Sud et l'Australie. Ces orages intenses génèrent de grandes quantités d'ozone nocif, et leurs convections profondes ont des effets globaux aujourd'hui à l'étude.



LA NAISSANCE D'UN MONSTRE

Chaque jour, ou presque, la brise de mer au-dessus des îles Tiwi fait converger l'humidité ambiante. Puis d'énormes mouvements de convection se développent vers la stratosphère.

→ un véritable laboratoire naturel de la violence atmosphérique.

Depuis environ vingt ans, les équipes de recherche se succèdent autour de lui... sans jamais oser pénétrer à l'intérieur de la bête. "Un avion qui traverserait le cœur de cet orage serait probablement disloqué par les turbulences!" avertit Thibaut Dauhut. On envoie des avions équipés d'instruments de mesure à la périphérie et seulement une fois

qu'Hector a délivré le maximum de sa puissance."

Très fragiles, les ballons-sondes sont aussi utilisés avec parcimonie. Les scientifiques préfèrent s'appuyer prudemment sur les données du radar météo installé à Darwin, "sauf que les signaux sont atténués par la masse nuageuse; il faut donc s'en remettre à des simulations numériques pour deviner la structure du cœur de l'orage", explique Thibaut Dauhut. Le seul moyen d'observer directement les plus intenses bourgeonnements d'Hector est de faire appel à *Geophysica*, un ancien avion espion russe reconverti en

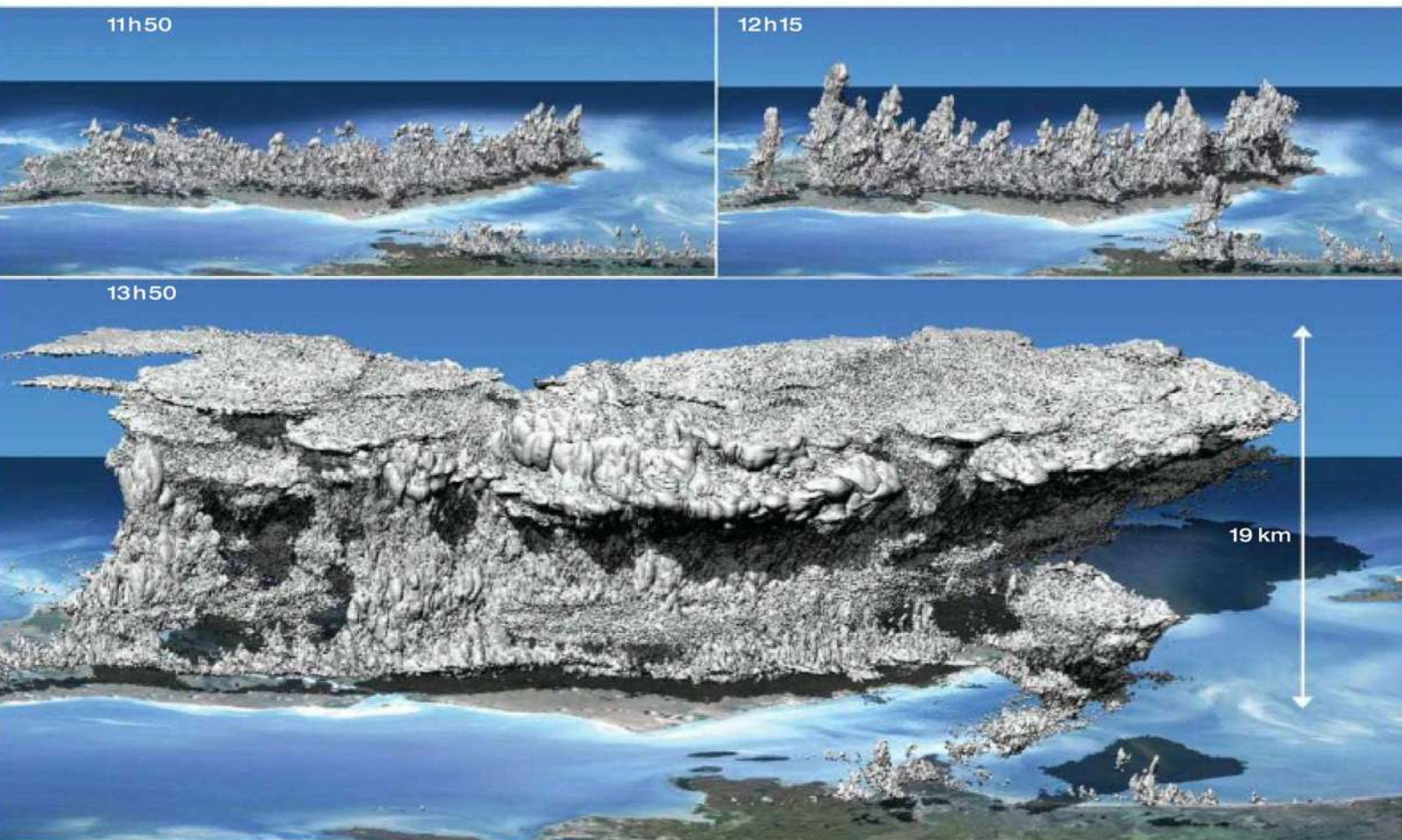
appareil de recherche, capable de voler à près de 20 km d'altitude, à l'abri des turbulences, de la grêle ou de la foudre.

Cette débauche de moyens dépasse la simple fascination pour les grandes forces de la nature. En fait, de lourds soupçons pèsent sur ces super-orages tropicaux, accusés de pénétrer la stratosphère à plus de 17 km d'altitude pour en modifier la composition. Au risque de jouer sur le climat mondial! "Nous ne comprenons pas l'évolution de la teneur en vapeur d'eau stratosphérique", avoue Emmanuel Rivière, chercheur au Groupe de spectroscopie moléculaire et atmosphérique (université de Reims). Cette concentration semble en effet avoir augmenté jusqu'à la fin des années 1990, avant de diminuer de 10 % durant la décennie 2000. De mystérieuses variations qui peuvent influencer lourdement sur l'effet de serre...

Ces nuages extrêmes sont-ils capables de propulser de la matière à très haute altitude comme le font les éruptions volcaniques les plus viru-

Au Venezuela, un autre orage géant

Le lac Maracaibo, au Venezuela, est l'endroit le plus orageux du globe. D'après une étude parue début 2016, cette région affiche en effet la plus grande densité mondiale d'éclairs – 233 par km² et par an... contre 4 dans les endroits les plus électriques de France. Le tonnerre gronde ici en moyenne 297 jours par an, pendant près de dix heures! En cause? La configuration du terrain: l'air hyperchargé en humidité par ce grand lac tropical et par la mer des Caraïbes toute proche est forcé de remonter en altitude par les reliefs andins alentour, formant alors des cristaux de glace, sources d'électricité statique. Résultat: un déluge de foudre qui menace les hommes et le bétail, affecte la pêche, l'extraction pétrolière ainsi que la distribution d'électricité.



lentes? Les récentes simulations numériques menées par l'équipe de Toulouse confirment les soupçons: parmi les quelque vingt mille courants qui agitent Hector, une poignée parvient en effet à atteindre 19 km d'altitude.

ÉCHANGES À HAUTE ALTITUDE

"Nos résultats montrent que les tourelles d'Hector injectent dans la stratosphère 3 000 tonnes de vapeur d'eau par épisode, ce qui est beaucoup plus qu'attendu, explique Thibaut Dauhut. Or, environ 130 orages par jour dans le monde atteignent la stratosphère..." Ces intrusions répétitives et brutales concernent aussi tous les polluants de la basse atmosphère: molécules bromées, chlorées, soufrées,

etc. *"Ces échanges entre la troposphère et la stratosphère sont devenus un sujet de recherche très actif",* confirme Emmanuel Rivière.

Mais d'autres équipes se pressent actuellement autour d'Hector. En l'occurrence, la communauté aéronautique cherche à exploiter le phénomène pour résoudre un problème de sécurité préoccupant. *"Au voisinage des champignons de convection, on trouve des zones à très forte concentration de microcristaux de glace, que les radars embarqués sur les avions de ligne peinent à détecter",* signale Julien Delanoë chercheur au Laboratoire atmosphère, milieux, observations spatiales. Or, ces grains de 40 micromètres sont susceptibles de colmater les

sondes de mesure de vitesse et de température des avions, voire de s'infiltrer dans les réacteurs pour les étouffer. Boeing a répertorié une centaine d'incidents depuis 1990 liés à ce phénomène. Et souvenez-vous du crash du vol Rio-Paris, en 2009, en plein orage... Airbus n'a donc pas hésité à envoyer, début 2016, un A340 – sans passager – flirter avec Hector pour tester de nouveaux moyens de détection.

Bref: les scientifiques se régalaient de cet orage répétitif, localisé, ultra-puissant, insatiable. Un monstre toujours au rendez-vous, qui fait figure d'aubaine pour analyser les plus puissants phénomènes atmosphériques. Pas sûr que les 2 500 habitants des îles Tiwi partagent cet enthousiasme...



A voir : des simulations et photos de l'orage Hector.

★
EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

Nos 5 “super-sens” Bien plus aiguisés qu’on ne le croyait!

Limités, nos cinq sens ? Moins affûtés que ceux des animaux ? Détrompez-vous ! nous dit **Hugo Leroux**. De récents travaux révèlent que nos récepteurs sensoriels sont non seulement incroyablement sensibles, mais capables de véritables prouesses.

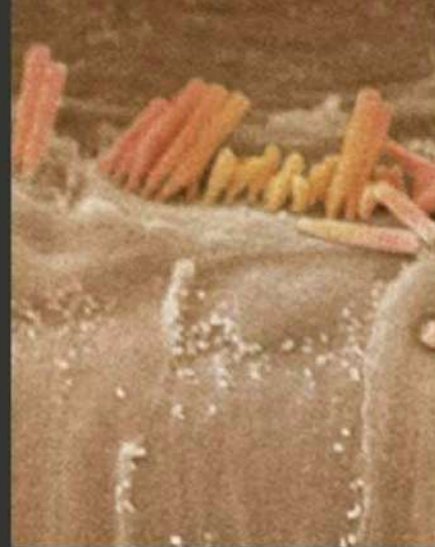
Voir un seul photon, distinguer une dizaine de goûts primaires, analyser les sons avec une précision inouïe... Nos sens se révèlent bien plus affûtés qu’on ne le croyait. Et c’est aussi leur union qui fait leur force, et les transforme... en “super-sens” ! Les biologistes qui étudient nos récepteurs

sensoriels et les neuroscientifiques qui explorent notre cerveau le découvrent peu à peu : non seulement nos sens travaillent “main dans la main”, mais ils sont en outre implantés au plus profond de nous.

Premier enseignement : aucun sens ne fonctionne tout seul. Au contraire, le cerveau favorise très largement le dialogue inter-sens. L’exemple des interactions entre l’odorat et le goût est bien connu : bouchiez-vous le nez, et les saveurs seront réduites aux goûts primaires (sucré, salé...). Le goût est d’ailleurs le champion de la coopération avec les autres sens ! Une étude récente montre qu’un bruit “craquant” généré artificiellement modifie totalement

Chronologie

1864 : Adolph Fick définit les quatre saveurs primaires. **1940** : Selig Hecht montre que l’œil humain peut détecter des signaux lumineux de cinq photons dans le noir total. **2004** : Richard Axel et Linda Buck reçoivent le prix Nobel pour avoir réussi à identifier les récepteurs biologiques de l’odorat. **2010** : Bertrand Coste découvre le récepteur du toucher haptique.



STEVE GRIMMESEN/SHUTTERSTOCK - © CHRISTIN GILBERT/AGEFOTO/STOCK



Ouïe : elle est assez fine pour sonder l'espace !

L'ouïe est un "super-sens" qui s'ignore. Nos oreilles affichent en effet une résolution temporelle bien supérieure à celle de nos yeux – à la milliseconde près. Assez pour discerner de subtiles anomalies dans une série sonore, quand nos yeux ont, eux, besoin de beaucoup plus de temps pour visualiser et interpréter ces mêmes données sous une classique forme graphique. Les astrophysiciens utilisent d'ailleurs leur ouïe pour sonder les ondes gravitationnelles ou les vents solaires dans le grand "bruit" du cosmos, grâce à une technique appelée sonification, qui consiste à convertir en bande-son de grandes quantités de données.

Un outil d'analyse idéal

La recherche en médecine commence également à s'appuyer sur l'audition pour détecter... des cellules cancéreuses. A l'heure du big data, nos oreilles constitueraient une sorte d'outil d'analyse idéal. Mais pas seulement : capables de percevoir des fréquences entre 20 Hz et 20 000 Hz, elles fonctionnent parfois comme un radar, nous renseignant, comme chez la chauve-souris, sur notre environnement spatial. Des chercheurs ont ainsi montré en 2016 que les humains, qu'ils soient aveugles de naissance ou voyants, savent évaluer la taille des personnes qui les entourent à partir du seul son de leur voix ! Nos oreilles seraient donc plus utiles qu'on ne le croit pour nous renseigner sur notre entourage direct, par exemple.

Les cellules ciliées internes captent les vibrations sonores...

La mise en mouvement de ces cellules situées dans la cochlée (oreille interne) déclenche un signal chimique, transmis jusqu'au cerveau.

... qu'amplifient les cellules ciliées externes

C'est grâce à leur système contractile qu'elles amplifient les vibrations locales.

10 μ m

→ l'appréciation des chips par le consommateur; une autre nous apprend qu'un jus d'orange teinté en rouge peut prendre le goût de cerise en fonction des papilles de celui qui le goûte...

"On a longtemps considéré les cortex sensoriels comme étant exclusivement dédiés à un seul sens et indépendants les uns des autres. Or, on s'aperçoit de plus en plus qu'ils comportent chacun des neurones impliqués dans les autres sens", explique Olivier Marre, à l'Institut de la vision. Le cortex olfactif abriterait ainsi 15 % de neurones répondant à des stimulations auditives!

DANS LE FOIE, LE CŒUR...

Autre leçon, encore plus surprenante: certains de nos sens seraient infiltrés au plus profond de nous! Des récepteurs du goût, de l'odorat et de la lumière ont en effet été découverts ces dix dernières années dans différents tissus du corps, où ils assurent des fonctions très variées. Ainsi, nos intestins "goûteraient" les parasites avant d'initier une réponse immunitaire; notre foie "sentirait" les acides gras avant de réguler la pression sanguine...

Mais le rôle de ces récepteurs sensoriels n'est pas toujours aussi clair. Des récepteurs olfactifs ont été trouvés dans les muscles, la peau, le cœur et même les spermatozoïdes... Faute de pouvoir être stimulés, ils restent difficiles à étudier. Et pour cause: on n'a identifié que 10 à 20 % des molécules qui permettent d'activer les quelque 350 récepteurs olfactifs du nez humain. Une chose est sûre: de plus en plus de chercheurs s'attellent désormais à mieux comprendre leurs mécanismes et leurs fonctions.

Odorat: il perçoit une infinité d'odeurs

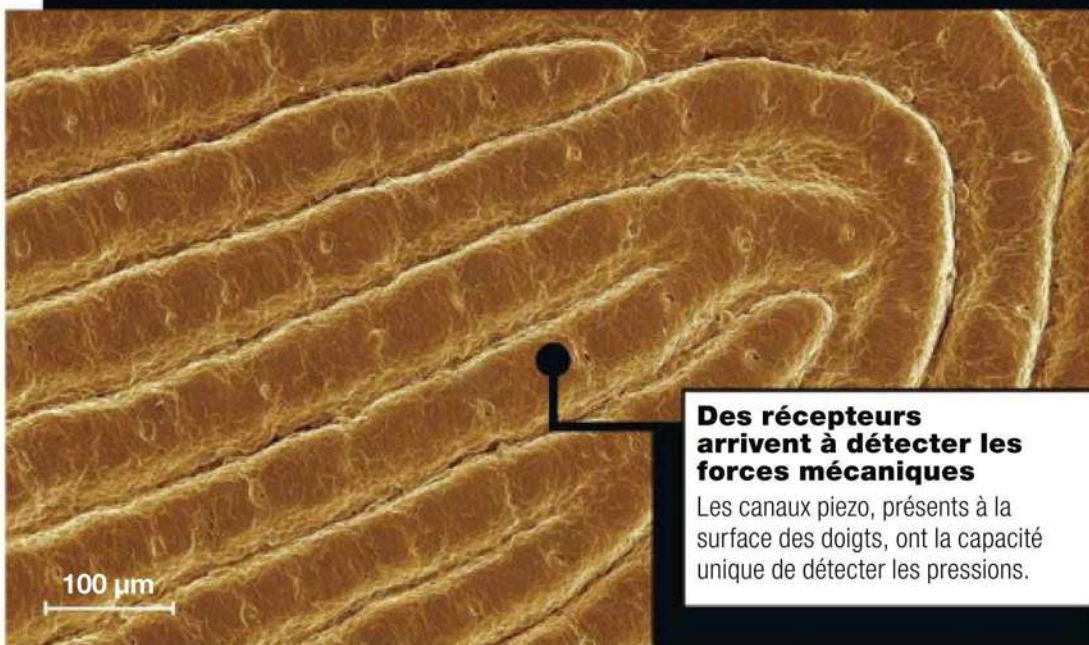
C'est connu: nous serions capables de différencier jusqu'à 10 000 composés odorants. Une limite en fait totalement arbitraire... et pulvérisée par une étude publiée en 2014. Ses auteurs, de l'université Rockefeller (New York), ont concocté à partir de 128 molécules odorantes un panel de senteurs associant chacune 10, 20 ou 30 molécules. Ils ont ensuite demandé à 26 volontaires de les différencier. Résultat: il serait possible de distinguer en moyenne 1,7 trillion (millier de milliards) d'odeurs... quand les plus doués iraient même au-delà de 10 trillions de trillions. Une quasi-infinité, et l'étude ne portait que sur 128 molécules!

Près de 350 récepteurs

"Le chiffre de 10 000 senteurs datait des années 1920 et se basait sur un classement des odeurs selon quatre dimensions (plutôt acide, plutôt brûlé...). Les chimistes de l'époque ont obtenu un 'code' à quatre

chiffres pour chaque odeur, selon leur ressenti. Ils ont trouvé près de 7 000 odeurs qu'ils pouvaient classer ainsi. Et ce chiffre arrondi est devenu une espèce de légende urbaine", sourit Claire Martin, chercheuse spécialiste de l'olfaction au CNRS.

L'idée d'une limite dans la puissance de notre odorat avait déjà été sérieusement remise en doute par les travaux en génétique de Richard Axel et Linda Buck, nobélisés en 2004. Ces deux chercheurs américains ont largement contribué à identifier les récepteurs de l'olfaction: l'homme en posséderait près de 350, chacun sensible à différents types de molécules, et fonctionnant en réseau. *"L'odeur du café mobilise près de 100 récepteurs, par exemple. C'est un sens extrêmement complexe!"* souligne Claire Martin. Il faut maintenant comprendre comment ces récepteurs se combinent pour produire la perception d'une odeur précise dans le cerveau.



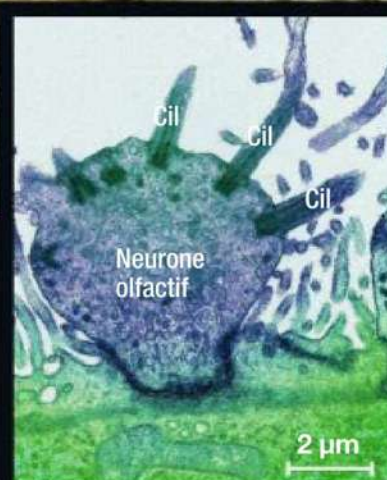
Des récepteurs arrivent à détecter les forces mécaniques

Les canaux piezo, présents à la surface des doigts, ont la capacité unique de détecter les pressions.



Des millions de cils attrapent les molécules odorantes

Flottant dans un mucus, ils forment l'extrémité des neurones olfactifs (au moins 10 millions dans un nez), qui transmettent l'information vers le cerveau.



Toucher: il descend à l'échelle nanométrique

Treize nanomètres: c'est la taille de la plus petite rugosité qu'un doigt humain est capable de détecter, selon une étude suédoise parue en 2013. Soit un objet plusieurs milliers de fois plus petit que le diamètre d'un cheveu!

Pour le savoir, des scientifiques ont demandé à des volontaires de palper différentes surfaces chimiquement identiques, mais dont la texture était formée de "nanoridules" plus

ou moins profondes, puis de décrire leurs sensations. Une étude révélatrice de l'extrême sensibilité de notre toucher dit "haptique" (qui nous permet de sentir les objets), l'une des trois formes de toucher identifiées, avec celles liées à la douleur et au plaisir.

Pourtant, c'est peut-être celui de nos cinq sens qui est le moins compris à ce jour. "La découverte des récepteurs sensoriels du toucher haptique

[les canaux piezo] date seulement de 2010! s'exclame Marcel Crest, du Centre de recherche en neurobiologie et neurophysiologie de Marseille. Et les récepteurs de la douleur et du plaisir n'ont toujours pas été identifiés à ce jour..." Réalisée par Bertrand Coste, chercheur au CNRS, cette découverte fondamentale a ouvert un boulevard pour la recherche, à l'heure où la technologie devient si friande de surfaces tactiles.

Vue: elle détecte la lumière au photon près

Plus forte que les caméras ultra HD: notre vue peut percevoir le signal lumineux le plus infime qui soit! Une "hyper-acuité" qui dépasse les limites biologiques de l'œil dans certaines conditions. Dès les années 1980, les chercheurs ont mis au point des dispositifs permettant de diriger, dans un noir total, des paquets de photons sur des photorécepteurs de souris et d'enregistrer un signal électrique correspondant à leur activation.

L'expérience publiée par des psychophysiciens en juillet 2016 pousse l'idée jusqu'à ses limites. Cette fois, un unique photon a été envoyé vers des sujets humains placés dans les mêmes conditions, à qui l'on a ensuite demandé s'ils avaient cru percevoir un signal. Surprise: 51,6% de bonnes réponses... Un résultat très légèrement supérieur au hasard, mais statistiquement significatif. "On

croyait jusque-là qu'un seul photon était un signal trop faible pour obtenir un résultat significatif par rapport au 'bruit' – les signaux aléatoires issus des photorécepteurs au repos. Cela confirme que l'œil n'est pas une limite à notre perception", s'amuse Olivier Marre, à l'Institut de la vision.

Sensible à des signaux infimes

Problème: comment nos bâtonnets, ces photorécepteurs dédiés à la vision nocturne et espacés d'environ un micromètre, peuvent-ils capter des signaux infiniment plus fins? La réponse se situe à l'avant de la rétine, au niveau des cellules ganglionnaires. Cette zone traite le signal lumineux reçu par les photorécepteurs et envoie un influx électrique vers le cerveau. "Notre vision fonctionne de manière relative: les cellules ganglionnaires évaluent la différence entre un signal et le suivant. C'est

ainsi que nous sommes sensibles à de très petits déplacements d'objet, inférieurs à la distance qui sépare deux photorécepteurs", explique Olivier Marre.

C'est grâce à ce même principe que l'archer sud-coréen Im Dong-Hyun, surnommé "l'archer aveugle" – son acuité visuelle n'excède pas 1/10 pour l'œil gauche, et 2/10 pour l'œil droit – a remporté plusieurs fois le titre de champion du monde. "Grâce à des déplacements de l'œil le long des contours de la cible, ce dernier corrigerait son acuité via l'action des cellules ganglionnaires. C'est un effort cognitif très particulier, probablement développé par des années d'entraînement", souligne le chercheur. Reste à comprendre comment le cerveau parvient à produire une perception claire à partir des signaux électriques parfois infimes qui lui parviennent des cellules ganglionnaires...

EYE OF SCIENCE/COSMOS - PROF. P. MOTTA/G. FRANCHITTO/UNIVERSITY LA SAPIENZA, ROMÉ/SPL/COSMOS



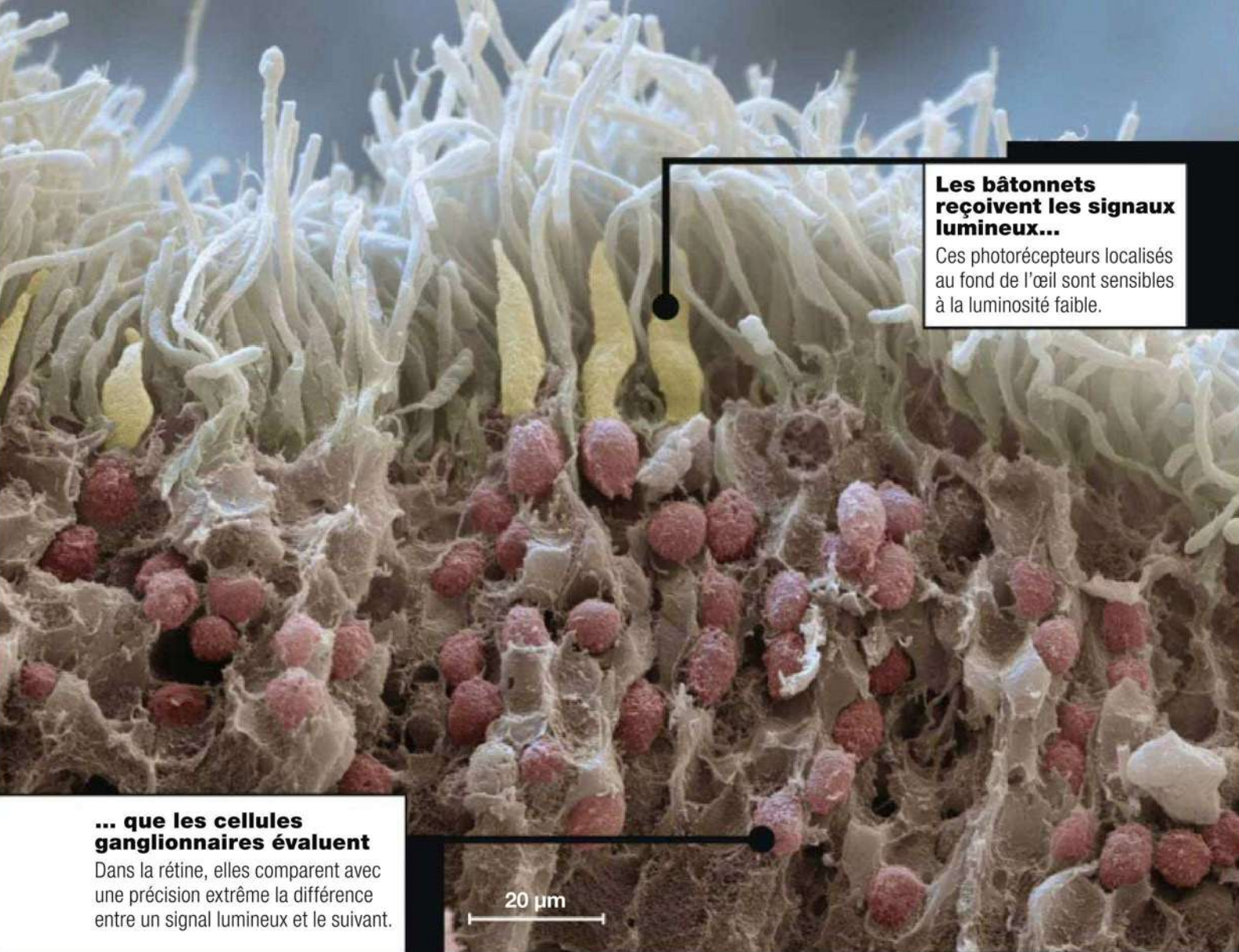
Les bourgeons gustatifs cachent des récepteurs inédits

Ils sont environ 10 000, principalement situés dans nos papilles.

Goût: il va bien

Sucré, salé, acide et amer: s'il y a une chose que l'on apprend dès la maternelle, ce sont les quatre goûts primaires. Des substances ayant une saveur propre indépendamment de l'odorat, et qui provoquent une stimulation spécifique des nerfs gustatifs pouvant même induire une réponse physiologique, comme la salivation à la vue d'un mets qu'on aime.

Or, nos papilles et leurs bourgeons seraient en fait capables d'en discerner bien plus que quatre! En 2002, un cinquième



Les bâtonnets reçoivent les signaux lumineux...

Ces photorécepteurs localisés au fond de l'œil sont sensibles à la luminosité faible.

... que les cellules ganglionnaires évaluent

Dans la rétine, elles comparent avec une précision extrême la différence entre un signal lumineux et le suivant.

20 µm

au-delà des quatre saveurs primaires

goût a été officiellement reconnu : l'*umami* – “savoureux” en japonais –, qui provient de l'acide glutamique (contenu dans les viandes, fromages, champignons...).

Gras, amidon, eau...

Depuis, les progrès en génomique ont permis de faire d'autres découvertes. Ainsi, en 2012, une équipe américaine a montré que certaines personnes détectent le goût des lipides avec une sensibilité

supérieure à la normale. En cause : un gène nommé CD36. *“Auparavant, les méthodes biochimiques étaient trop limitées pour étudier des molécules aussi petites que les récepteurs gustatifs”*, souligne Loïc Briand, directeur de recherche au Centre des sciences du goût et de l'alimentation.

Autre candidat sérieux : l'amidon, ce sucre lent constitutif du pain, du riz et des pâtes. Des chercheurs viennent de montrer que

certains individus peuvent l'identifier indépendamment des autres saveurs. Le *ko-kumi* – “long en bouche” en japonais – est plus atypique : cette qualité présente dans l'ail ou l'oignon n'a aucun goût propre, mais prolonge les goûts sucré et *umami*. Et que dire de ces autres (très sérieuses) propositions : goût du métal, du dioxyde de carbone, voire... de l'eau ! L'exploration des papilles nous réserve encore bien des surprises.



A consulter :
les publications citées dans l'article.
EN SAVOIR PLUS
science-et-vie.com

Planète fantôme

La grande traque

Les astronomes en sont quasi sûrs : notre système compte une neuvième planète, une géante gazeuse passée totalement inaperçue ! Des dizaines d'équipes se sont lancées à ses trousses, mais il n'y aura qu'un gagnant... **Benoît Rey** nous embarque dans cette traque historique.

D.FLORENTZ - M.KONTENTE

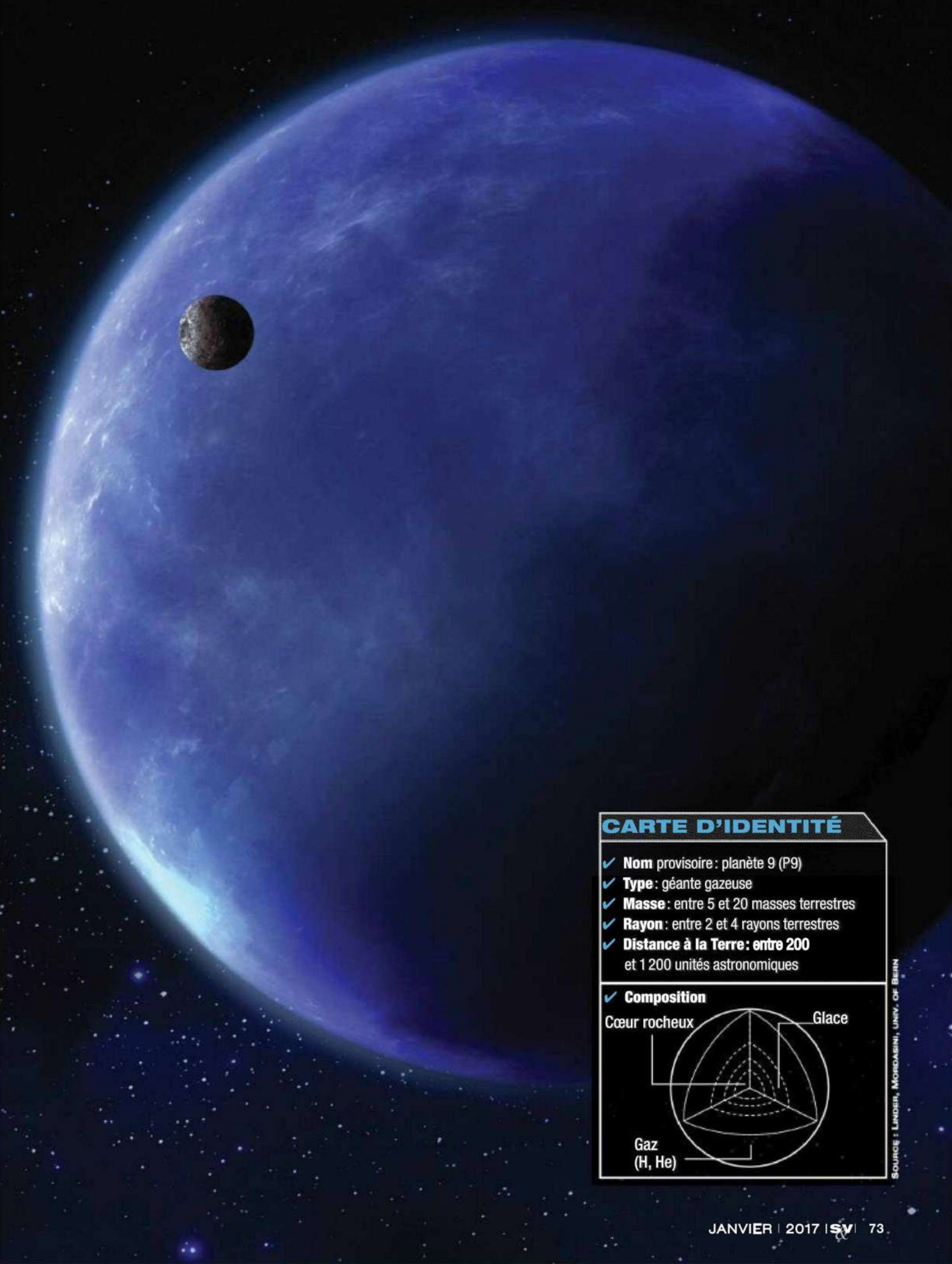
Ils n'ont pas fermé l'œil de la nuit. Le 26 septembre dernier, Constantin Batygin et Mike Brown, de l'Institut de technologie de Californie, à Pasadena, ont veillé, à l'affût des résultats de leur première nuit d'observation envoyés depuis Hawaï, à 4 000 km de là, par Subaru. Ils avaient demandé aux équipes japonaises sur place de tourner leur imposant télescope vers la constellation d'Orion. Là où, pensent-ils, se trouve l'objet de leur traque.

La caméra de Subaru aurait eu besoin de vingt nuits entières pour balayer la zone. Hélas, ils n'ont pu en réserver que six. Les suivantes auront lieu au prochain semestre... et c'est fâcheux. Car ils savent que leurs concurrents sont déjà sur leurs talons.

Au même moment en effet, Scott Sheppard, de la Carnegie Institution, à Washington, s'envolait pour le Chili afin de réaliser ses propres observations avec le télescope Magellan ; David Gerdes, de

l'université du Michigan, épluchait méticuleusement les données réfléchies par un autre miroir chilien, le Víctor M. Blanco ; et Agnès Fienga, de l'Observatoire de la Côte d'Azur, à Nice, réservait, elle, un créneau d'observation sur le télescope GranTeCan, aux Canaries...

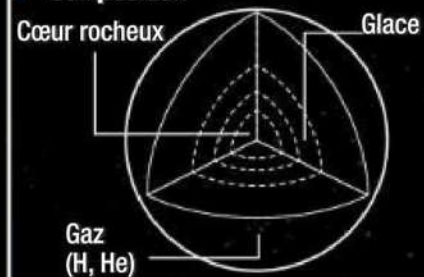
La traque est lancée depuis plusieurs mois déjà. Une cinquantaine d'équipes dans le monde seraient impliquées. Il faut dire que la cible n'est pas un vulgaire



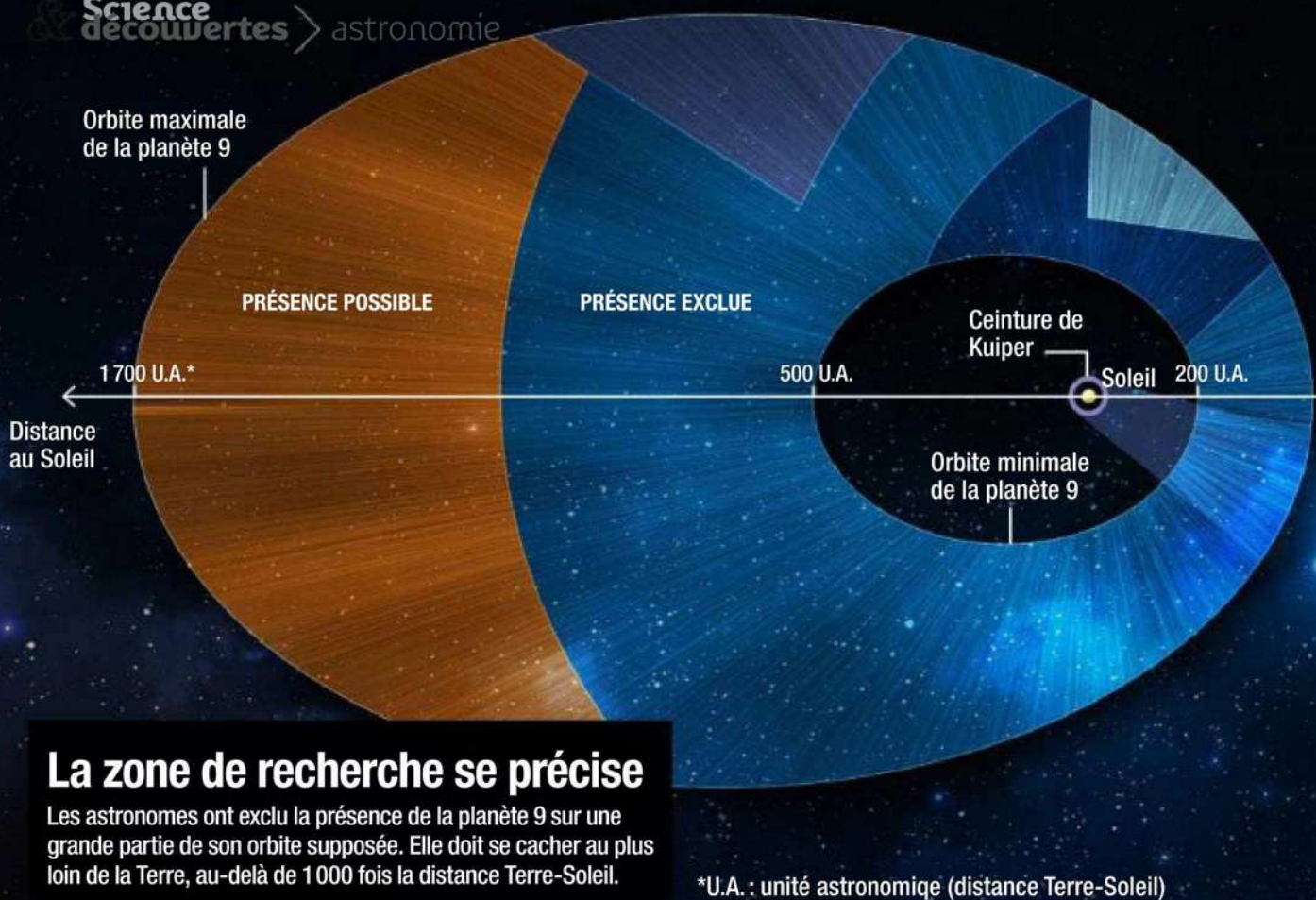
CARTE D'IDENTITÉ

- ✓ **Nom** provisoire : planète 9 (P9)
- ✓ **Type** : géante gazeuse
- ✓ **Masse** : entre 5 et 20 masses terrestres
- ✓ **Rayon** : entre 2 et 4 rayons terrestres
- ✓ **Distance à la Terre** : entre 200 et 1 200 unités astronomiques

✓ **Composition**



SOURCE : LINDER, MOREASINI, UNIV. OF BERN



→ caillou de quelques kilomètres; ni une lointaine exoplanète, comme il y en a des milliards. Non. Les astronomes chassent, à l'intérieur même de notre système solaire, une géante gazeuse invisible et pourtant bien présente, de dix fois la masse de la Terre et de trois fois son rayon! Une planète, la neuvième, qui prendrait la place laissée vacante par Pluton. Un nouveau monde à explorer, qui nous obligerait à réimprimer les tables du système solaire et à redessiner les mobiles au-dessus des berceaux.

Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et... la planète 9, "P9", comme l'appellent Brown et Batygin, se refusant, par superstition, à lui donner un nom avant l'heure. Car c'est un des enjeux de la traque. Celui qui la trouvera la baptisera (lire page

Chrono

C'est la découverte d'un corps nommé Sedna **en 2003** qui a relancé l'hypothèse, sa trajectoire inclinée pouvant s'expliquer par la présence d'une 9^e planète.

En 2014, 10 astéroïdes également inclinés ont été découverts, puis **en 2016**, une étude de leur trajectoire a conclu à la présence de la planète fantôme.

suivante). Et entrera dans l'histoire aux côtés des légendaires William Herschell, découvreur d'Uranus en 1781, et Urbain Le Verrier, qui pointa en 1846 une zone du ciel dans laquelle on découvrit Neptune en une seule nuit. "Peut-être aurons-nous aussi cette chance!" espéraient Brown et Batygin à la veille de leur semaine d'observation sur le Subaru.


Hélas, ces six nuits n'ont rien donné. La planète 9 n'est pas Neptune. Même si elle lui ressemble: comme elle, P9 serait gazeuse et froide. Et comme elle, son existence est déduite d'anomalies gravitationnelles. Rappelons en effet que c'est parce qu'Uranus n'était jamais là où, selon les éphémérides, elle devait se trouver que l'on imagina que sa trajectoire pouvait être perturbée par une planète invisible... ce qui permit

de détecter Neptune. De même, "on soupçonne l'existence de P9 à cause des Sedna, une douzaine de petits objets si éloignés qu'ils se tiennent hors d'atteinte de l'influence gravitationnelle de Neptune", explique Agnès Fienga. Objets dont la trajectoire étrange suggère pourtant l'influence d'une planète fantôme.

UN PREMIER INDICE PRÉCIEUX

Selon les calculs des astrophysiciens, P9 graviterait beaucoup plus loin que sa jumelle Neptune, au-delà même de Pluton, aux confins du système solaire... Si loin que depuis la Terre, elle serait des millions de fois plus ténue que la moins brillante des étoiles visibles à l'œil nu! Or, l'étude de l'orbite des Sedna ne donne aucune indication sur sa position instantanée. Elle permet

Zones déjà exclues par les télescopes

-  DARK ENERGY SURVEY (CHILI)
-  PAN-STARRS (HAWAÏ)
-  CATALINA REAL TIMES SURVEY (AUSTRALIE-ÉTATS-UNIS)
-  SONDE CASSINI

Zone de présence potentielle

-  NON EXPLORÉE



MIKE BROWN

Institut de technologie de Californie, Pasadena (États-Unis)

C'est un moment unique dans ma carrière : si on la trouve, ce sera historique ! Je n'ai jamais été aussi heureux d'aller au travail qu'en ce moment...

Nous disposons donc des outils adaptés pour détecter la planète 9 et nous nous sommes lancés dans l'aventure." Modélisant l'évolution à 700 fois la distance Terre-Soleil, là où, en se fiant aux Sedna, elle serait née, les chercheurs en ont déduit qu'elle aurait une température moyenne de -226°C et, surtout, que le refroidissement toujours en cours des éléments radioactifs de son noyau la ferait rayonner très faiblement dans les domaines optique et infrarouge...

Voilà un indice précieux ! Car depuis des décennies, des programmes de relevés proposent une cartographie systématique du ciel en lumière visible et en

infrarouge. Alors, se pourrait-il que P9 soit enfouie dans les monceaux de données d'un télescope ? L'histoire serait tellement belle : comme Neptune, que Galilée avait observée sans la voir 200 ans avant Le Verrier, notant la présence d'une "petite étoile bleue à côté de Jupiter", P9 pourrait être déjà là, quelque part sur un cliché.

"C'est tout à fait possible, confirme Benoît Carry, de l'équipe d'Agnès Fienga. Un astronome en train d'observer une étoile ou une galaxie lointaine a peut-être déjà vu passer P9 ! Elle a pu traverser son champ de vision au premier plan sans forcément qu'il s'y attarde, pensant qu'il



seulement aux astronomes de définir sa trajectoire : P9 se déplacerait ainsi sur une gigantesque ellipse dont le point le plus proche du Soleil serait à 200 fois la distance Terre-Soleil et au-dessus de nos têtes au mois de mai ; tandis que son point le plus éloigné, au-dessus de nous en novembre, serait au moins à 500 fois, voire à 1 200 fois cette distance ! On a vu plus précis...

C'est pourtant cette esquisse de carte qui a poussé nombre d'équipes à suspendre leur recherche en cours pour se consacrer à la traque. "Quand l'article de Brown et Batygin sur les Sedna est sorti il y a un an, nous étions en train de travailler sur la détection des exoplanètes géantes de faible masse, raconte Christoph Mordasini, spécialiste des exoplanètes à l'université de Bern.

Baptiser les planètes : un vrai casse-tête

Saturne, Uranus, Neptune... Quel sera le nom de la planète n°9 ? Apollon ? Vulcain ? Minerve, pour que le genre féminin soit davantage représenté ? L'Union astronomique internationale en décidera : c'est elle qui fixe les règles d'appellation des astéroïdes, des comètes, des cratères lunaires... Sauf qu'elle n'a rien prévu en cas de nouvelle planète dans le système solaire ! De fait, ce cas de figure ne s'est produit que trois fois dans l'histoire. Et la dernière, c'était en 1930, lorsque le nom de "Pluton", suggéré par une fillette de 11 ans, fut validé officiellement. "Cette fois, ce sera probablement au public de suggérer et de voter le nom de la planète, espère Scott Sheppard (Carnegie Institution), qui refuse d'émettre une proposition tant qu'il n'a pas trouvé la planète. Même réserve du côté de son concurrent Mike Brown : "Mon côté superstitieux me fait penser que cela ne nous porterait pas chance. Nous avons délibérément décidé de ne pas y penser."

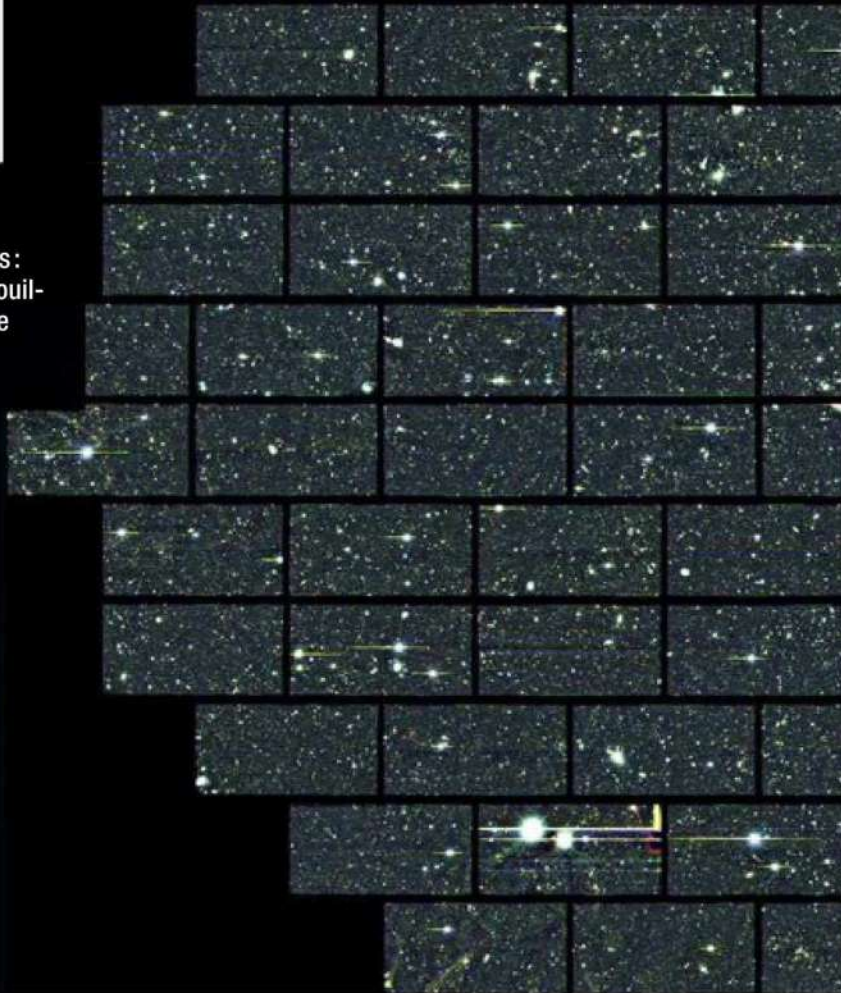
Une traque sur trois fronts

Les astronomes chassent la planète 9 dans trois directions : ils scrutent l'espace avec les plus puissants télescopes ; fouillent dans les données déjà collectées et tentent de déduire sa position des mesures prises par les sondes spatiales.



LES TÉLESCOPES

De nombreux télescopes sont mobilisés spécialement, parmi lesquels les puissants CFHT et Subaru (photo), à Hawaï ; le VST et le télescope Víctor M. Blanco au Chili ; l'Observatorio Astrofísico de Javalambre aux Canaries...



→ *s'agissait sans doute d'un astéroïde insignifiant."*

Le premier réflexe des chasseurs de P9 a donc été de plonger dans les données des télescopes qui pourraient l'avoir vue passer. Comme *Wise*, par exemple. Ce télescope spatial infrarouge a permis à la Nasa de découvrir des milliers d'étoiles de faible luminosité à 500 années-lumière à la ronde. Epluchant ses données, Kevin Luhman, de l'université d'Etat de Pennsylvanie, a montré

qu'aucune planète de la taille de Saturne (110 000 km de diamètre) n'existe à moins de 10 000 fois la distance Terre-Soleil... mais qu'en revanche, *Wise* n'est pas assez sensible pour distinguer une planète de la taille de Neptune (50 000 km de diamètre) à plus de 200 fois la distance Terre-Soleil. Un coup d'épée dans l'eau, donc.

Gaïa, alors ? Le satellite de l'Agence spatiale européenne cartographie les étoiles avec une précision record. Il pourrait

être sensible à la faible lumière de P9. Le problème, selon Ronald Drimmel, investi dans la mission, c'est que la planète se déplace très lentement, d'environ 0,2 seconde d'arc par heure (1/3 600 de degré) seulement. Alors oui, peut-être *Gaïa* l'a-t-il déjà photographiée, mais elle apparaîtrait alors de façon statique, une étoile parmi toutes celles qui brillent en arrière-plan. Encore raté.

En revanche, le Catalina Sky Survey, un programme du télescope du mont Tucson, dans l'Arizona, est théoriquement sensible à la fois à la faible brillance et à la lenteur de P9, ne serait-ce que sur la partie de son orbite la plus proche du Soleil. En 2015, Mike Brown a tenté de devancer tout le monde en se plongeant dans les relevés du télescope. En vain.

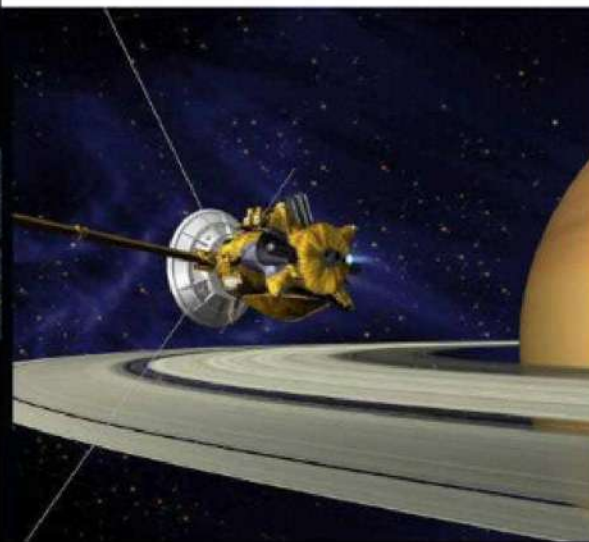
Mais rien, c'est déjà un résultat. Au moins peut-on exclure cette partie de l'orbite. Si on



ENRIQUE SOLANO

Responsable de l'Observatoire virtuel espagnol

Il n'y a pas de temps à perdre. Un matin, au réveil, je risque d'apprendre que quelqu'un d'autre a trouvé la planète !



LES DONNÉES

Et si P9 avait été photographiée sans qu'on le sache ? Les astronomes scrutent les données des programmes passés (Planck, Wise, Pan-STARRS, Dark Energy Survey, ci-dessus...), en attendant 2019 et le Large Synoptic Survey Telescope.

LES SONDES

Il fallait y penser : la sonde *Cassini* a mesuré la position de Saturne à 75 m près ! Une précision qui permet de détecter les petites perturbations gravitationnelles que lui infligerait P9... et donc de révéler sa position probable.

ne sait toujours pas où est P9, au moins commence-t-on à se faire une idée des zones où elle n'est pas. Mike Brown réitère l'opération avec les données de Pan-STARRS, un grand relevé de comètes, d'astéroïdes et d'étoiles effectué depuis le télescope PS1, à Hawaï. Là encore, nulle trace de planète, mais une autre zone à exclure. Mine de rien, l'état commence à se resserrer.

David Gerdes dirige, lui, une équipe qui cherche P9 dans les données du Dark Energy Survey, un télescope lui aussi installé au Chili. Ce programme n'a a priori rien à voir puisqu'il consiste à mesurer l'expansion de l'Univers, mais "*ce télescope de 4 m présente un bon compromis entre sensibilité et surface balayée, ce qui en fait un outil adéquat pour traquer la planète*", justifie le chercheur. Nous sommes dans la quatrième année d'un programme de cinq

ans à l'issue duquel on aura cartographié 5000 degrés carrés, soit un huitième de la sphère céleste". Pour l'heure, toujours pas de planète. Mais une zone de recherche qui s'affine de plus en plus.

VISER LA CONSTELLATION D'ORION

Une zone en particulier concentre sur la carte tous les espoirs : la constellation d'Orion. C'est là que se situe a priori la partie la plus lointaine de l'orbite de la planète. Logique, c'est là qu'elle est censée passer le plus clair de son temps : une planète sur une orbite très elliptique file à toute vitesse quand elle frôle son étoile, avant de ralentir à mesure qu'elle s'en éloigne.

Reste à creuser. La planète est si ténue que pour la dénicher il faudrait sortir l'artillerie lourde, la crème de la crème des télescopes. Le satellite *Hubble* ? Hélas, non. Son

champ de vision est beaucoup trop étroit : quelques minutes d'arc (1/60 de degré), alors que la zone à observer est encore large de plusieurs dizaines de degrés ! "*C'est comme chercher une pièce de 20 centimes dans un terrain de foot*", compare Benoît Carry. Si vous utilisez une loupe, c'est sûr que vous la verrez nettement... mais au bout de combien de temps ?

Voilà pourquoi Brown et Batygin se sont rabattus sur le télescope japonais Subaru. Ce monstre au miroir de 8,2 m a un pouvoir collecteur énorme, mais aussi une caméra grand-angle, ce qui lui confère un avantage certain sur ses concurrents. D'autant que seuls les Américains et les Japonais peuvent réserver du temps sur ce télescope !

Mais tout n'est pas perdu pour l'équipe française, menée par Agnès Fienga et Jacques Laskar, de l'Observatoire de Paris. Depuis le début, ils pensent connaître un raccourci qui les mènera directement à la planète, sans avoir à faire tous ces détours par éliminations successives des différentes zones du ciel.

Leur idée est ingénieuse : si la planète existe, elle doit exercer une attraction gravitationnelle sur les autres planètes du système solaire. Une perturbation imperceptible pour Uranus ou Neptune, mais peut-être pas pour Saturne. Car on connaît sa position à 75 m près grâce à la sonde *Cassini*, qui orbite autour d'elle depuis 2004. A partir de cette mesure, les chercheurs excluent de larges portions du ciel où, si P9 était présente, les données de *Cassini* seraient différentes. A l'inverse, ils trouvent quatre zones où son existence permet

→ d'interpréter les données de la sonde mieux que dans l'hypothèse d'un système solaire à seulement huit planètes !

Quatre croix sur une même carte, dont aucune ne chevauche la constellation d'Orion. *"Nous avons déjà commencé ce travail en 2014, racontent les chercheurs. Mais quand Brown et Batygin ont sorti leur article le 20 janvier 2016, nous avons décidé de mettre le turbo."* Ils

de leur côté. Le chercheur espagnol est parvenu à exploiter les données du télescope infrarouge *Planck*, en commençant par les quatre zones de plus haute probabilité. Ça n'a rien donné mais il reste à éplucher les données correspondant aux autres parties du ciel. *"Il n'y a pas de temps à perdre, je risque d'apprendre un matin au réveil que quelqu'un d'autre a trouvé la planète, reconnaît-*

ont d'autres tuyaux de côté... qu'ils se gardent bien de divulguer. Scott Sheppard, lui, a eu sa chance sur Subaru les 25 et 26 novembre derniers. Il la tentera en 2017.

RACLER LE CIEL EN PROFONDEUR

La concurrence est rude. Le secret de mise. Et la tension palpable. *"C'est un moment unique dans ma carrière, confie Mike Brown, non seulement parce que si on la trouve ce sera historique, mais aussi parce que c'est palpitant ! Je n'ai jamais autant aimé aller au travail..."*

Selon les chercheurs, la traque pourrait se poursuivre ainsi jusqu'en 2018. Ils auront alors exploité à plein la capacité des télescopes. Si, à ce moment-là, personne ne l'a trouvée, ce sera peut-être simplement que P9 brille encore moins que ce que l'on pensait. Dans ce cas, tous attendront 2019 et la mise en service du Large Synoptic Survey Telescope au Chili : un vrai bulldozer capable de racler le ciel en profondeur, qui ne laissera aucune chance à la planète de rester cachée.

Et si lui non plus ne trouve rien ? Eh bien ce sera alors... qu'il n'y a rien. L'absence de preuve sera preuve de l'absence. Ce monde rêvé ne serait qu'une illusion. Il faudrait se résoudre à ce que notre système ne compte que huit planètes. Dommage pour la forme des futurs mobiles au-dessus des berceaux.



A voir : les conférences d'Agnès Fienga et d'Emmanuel Lellouch.

A consulter : les publications scientifiques qui concluent à l'existence de la planète 9.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Une existence sûre "à 90 %"

Si cela fait quelques années déjà que l'existence d'une planète invisible est suspectée (*S&V* n° 1162, p. 84), les indices s'accumulent. En septembre dernier, Scott Sheppard, de la Carnegie Institution, a découvert dans les données du Dark Energy Survey trois petits astéroïdes Sedna dont l'orbite atypique conforte son existence. En juillet, c'était une étude d'Alessandro Morbidelli qui montrait que l'influence de P9 résolvait élégamment le mystère de l'inclinaison de 6 degrés de l'équateur du Soleil par rapport au plan de l'écliptique. Sans oublier Niku et Drac, deux corps découverts par Pan-STARRS il y a quelques années, et dont le sens de rotation inversé serait aussi dû à P9, selon une étude de Brown et Batygin en cours de publication. *"J'étais sûr à 80 % qu'elle existe. Désormais je le suis à 90 %", lance Scott Sheppard.*

ont publié leurs résultats en avril et, dans la foulée, réservé d'abord du temps sur le VST à la Silla, au Chili, un petit télescope de 2,2 m à très grand champ, *"car c'était la façon la plus rapide de démarrer"*, explique Benoît Carry. Puis sur le télescope Canada-France-Hawaï, et enfin sur celui des Canaries. Des observations sont toujours en cours.

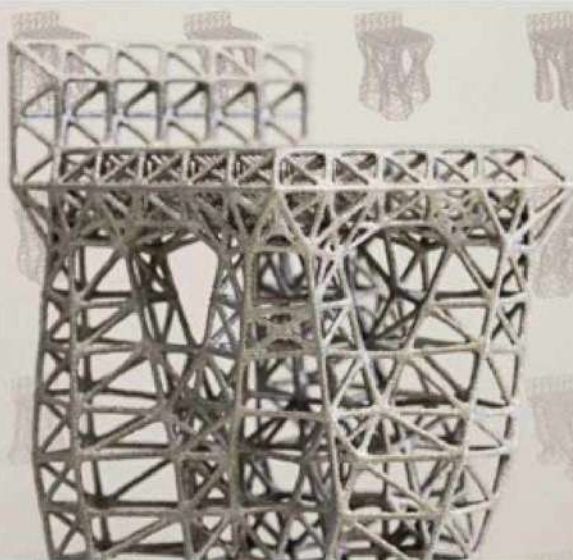
Parallèlement, ils sont entrés en contact avec Enrique Solano, responsable de l'Observatoire virtuel espagnol, spécialisé dans le traitement de données, un savoir-faire précieux qu'ils ont voulu mettre

il. *Je rêverais de me consacrer à temps complet à P9..."*

De son côté, Agnès Fienga se prépare à reproduire son étude de Saturne avec Jupiter. *Juno* y est arrivée l'été dernier pour une mission d'un an, à la fin de laquelle les chercheurs pourront encore augmenter leurs zones d'exclusion et affiner la croix sur leur carte.

Pendant ce temps, chacune des autres équipes poursuit sa campagne d'observation... Où vont-elles regarder ? Quand ? Difficile de le savoir. Brown et Batygin ont une nouvelle semaine de prévue *"dans l'année"* sur le Subaru. Mais ils

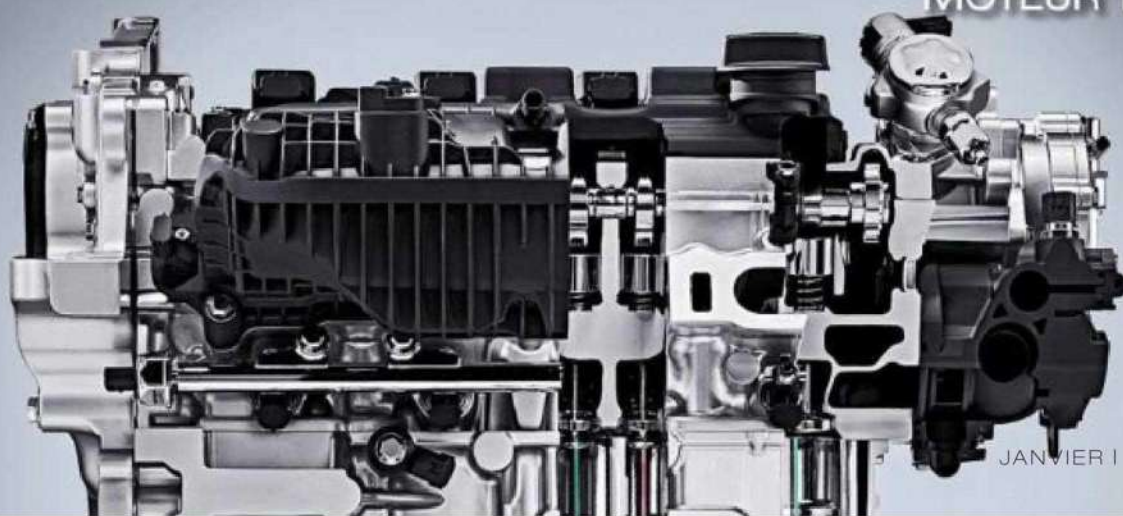
& Science techniques



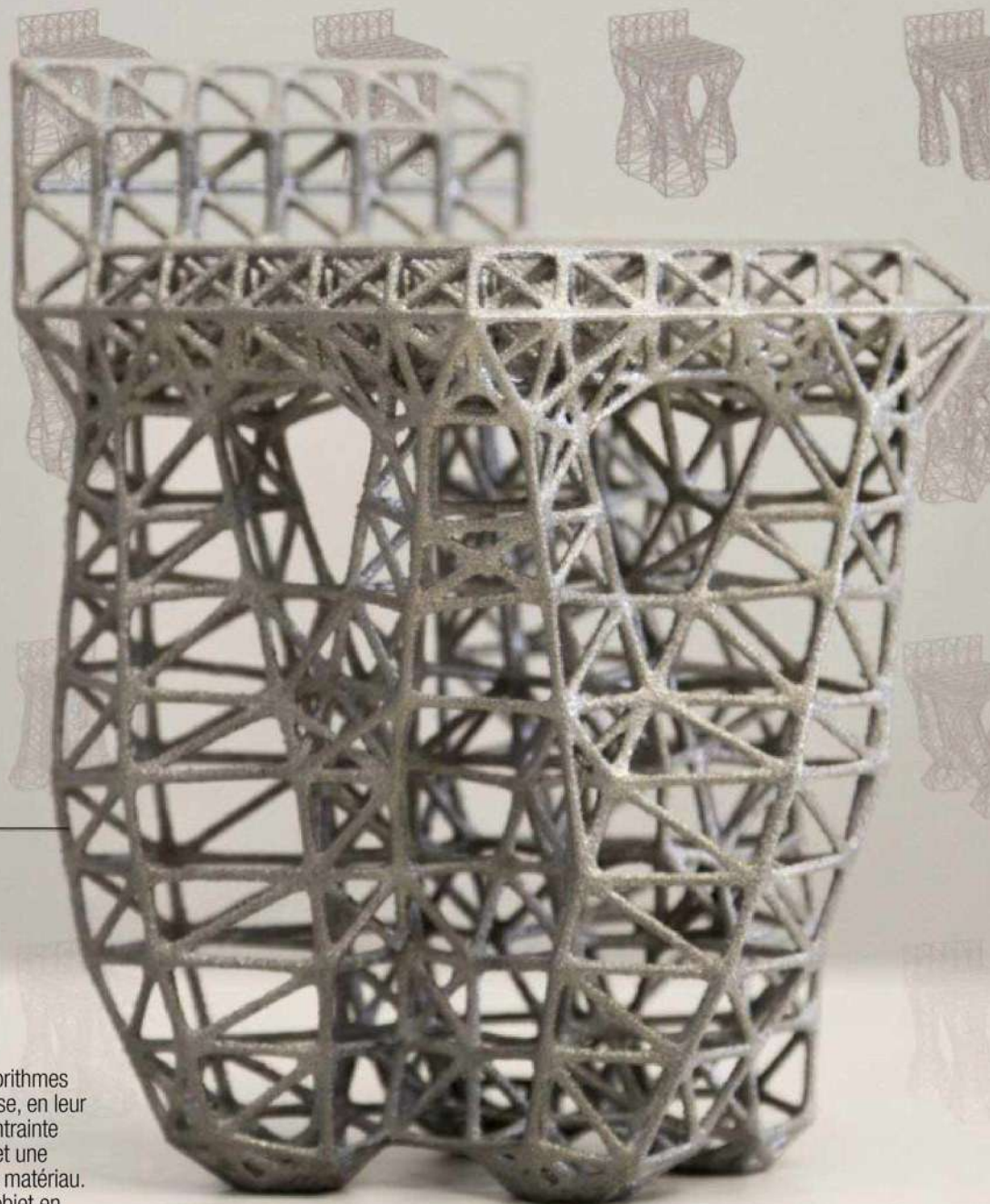
DESIGN
80



GENOME
86



MOTEUR THERMIQUE
92



La chaise

la plus
légère

Demandez à des algorithmes de dessiner une chaise, en leur imposant comme contrainte d'avoir quatre pieds et une quantité minimale de matériau. Vous obtiendrez cet objet en titane de 2,9 kg, ou encore ces milliers d'autres, en arrière-plan. Pour l'heure, aucune réalisation industrielle n'est prévue, mais ce projet mené par Autodesk est un des premiers exercices de style montrant ce que la conception générative par un ordinateur pourrait produire.

The background of the entire page is a repeating pattern of wireframe chairs, rendered in a light brown or tan color. These chairs are arranged in a grid-like fashion, with some appearing slightly offset or rotated, creating a sense of depth and movement. The chairs have a modern, geometric design with a square seat and a backrest.

I.A.& design

Quand l'ordinateur
réinvente les objets

Des algorithmes intelligents permettent désormais de concevoir n'importe quel objet à partir de contraintes prédéfinies. Résultat : des designs complètement inédits, qu'il s'agisse d'une chaise ou d'un avion. **Muriel Valin** nous fait découvrir ce nouveau monde des objets.

Contexte

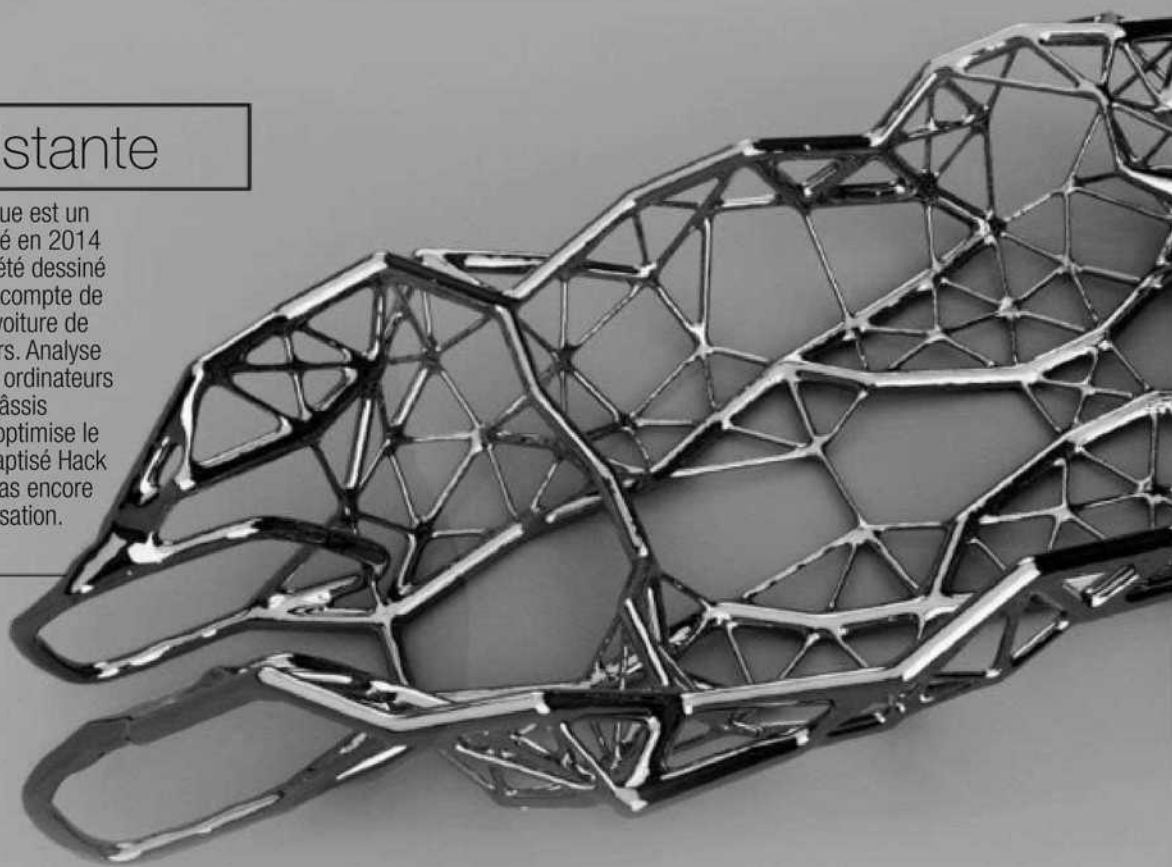
Nanostructure, éléments composites... : les recherches pour optimiser nos objets s'articulent souvent autour de nouveaux matériaux. Moins autour de leurs formes. La "conception générative" s'y emploie.

AUTODESK

La voiture

la plus résistante

Cette forme quasi oblongue est un châssis de voiture. Inventé en 2014 par des algorithmes, il a été dessiné chez Autodesk en tenant compte de l'expérience d'une vraie voiture de course bardée de capteurs. Analyse de données à l'appui, les ordinateurs ont conçu ce nouveau châssis (forme, matériaux...) qui optimise le poids et la robustesse. Baptisé Hack Rod, ce prototype n'est pas encore en phase de commercialisation.



“Dessine-moi une chaise.” Cette requête n’est pas celle du Petit Prince à l’aviateur, mais celle d’un ingénieur à un ordinateur. Et la réponse, étonnante, est présentée sur la page précédente : une chaise inédite, avec ces structures rondouillardes, déclinées en milliers de variantes : un peu plus large ou plus tarabiscotée...

A première vue, cette chaise ne paraît pas ultra-confortable. Qu’importe, à ce stade, le plus intéressant n’est pas tant la praticité que la démarche : il s’agit d’un des premiers objets au monde dessiné par un programme informatique...

Une vraie révolution dans l’histoire du design où, jusqu’ici, l’ordinateur était

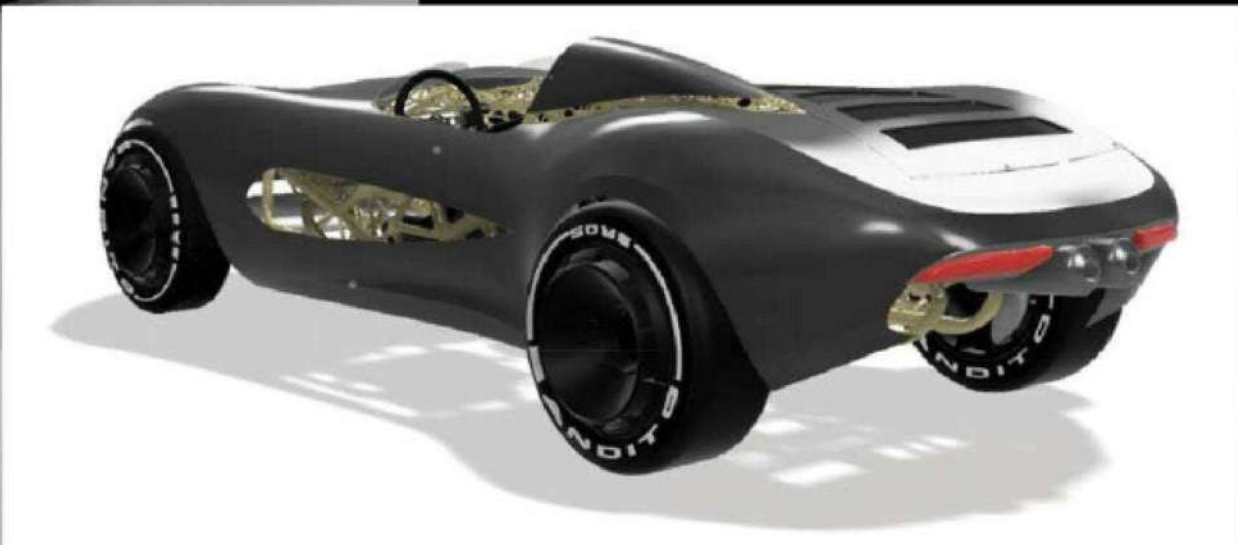
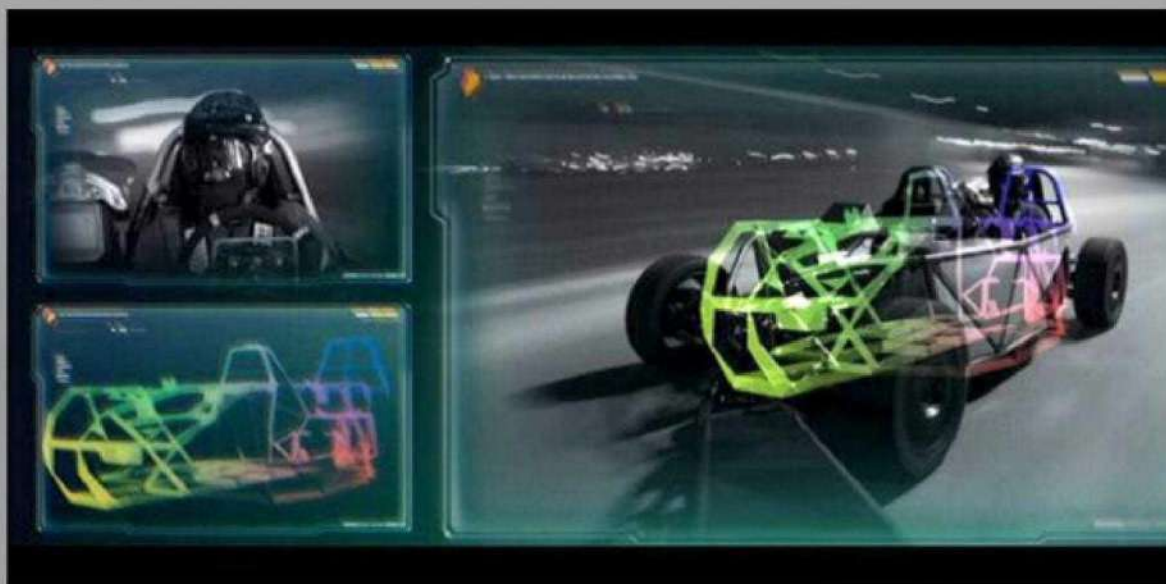
cantonné au rôle d’assistant, comme dans la conception assistée par ordinateur (CAO). Ici, il a pris la main, ou plutôt le crayon, et inventé lui-même des formes sans idées préconçues, mais en respectant des contraintes et des objectifs que des ingénieurs lui ont imposés.

En l’occurrence, inventer un objet à quatre pieds, avec assise haute, utilisant le moins de matériau possible. En s’appuyant sur divers algorithmes, dont des modèles évolutionnistes inspirés du vivant, l’ordinateur a calculé des millions de formes possibles. Et retenu les configurations qui répondent le mieux à la demande initiale, dessinant au final des chaises à l’allure très différente de ce qu’un humain aurait pu esquisser.

Née il y a plusieurs années aux Etats-Unis, cette approche baptisée “conception générative” commence tout juste à se concrétiser sous forme d’objets et de structures fabriqués exclusivement à l’aide d’une machine. Et certains commencent même à être commercialisés. L’un des tout premiers sur le marché ? Une paire de baskets ! Mise en vente depuis mars 2016 par Under Armour, elles sont dotées d’une semelle dessinée par ordinateur de façon à optimiser l’amortissement.

UNE FORME D’ABORD EFFICACE

Dès 2006, la Nasa, l’agence spatiale américaine, avait prouvé l’intérêt de cette approche. En tâchant de concevoir une antenne pour microsatellites, les ingénieurs s’étaient rendu



compte, à leur grande surprise, que l'ordinateur avait obtenu une forme bien plus efficace que toutes celles qu'ils avaient esquissées eux-mêmes. Mais cet essai était resté sans suite. Et pour cause...

"Pendant plusieurs années, les algorithmes de conception générative produisaient des formes trop difficiles à fabriquer et qui restaient cantonnées aux jeux vidéo ou aux films", explique Hod Lipson, professeur de génie mécanique à l'université de Columbia.

Logique: cette approche ayant été jusqu'ici principalement déployée pour

AUTODESK - ADRIAAN DE GROOT/MX3D



Le pont

le plus épuré

Solidité ne rime pas forcément avec grande quantité de matériau. En témoigne ce design filaire de pont inventé par des algorithmes et qui devrait être imprimé en 3D et en acier, à Amsterdam, d'ici quelques mois.

→ minimiser le coût en matériau, ce sont surtout des structures filaires qui ont vu le jour, souvent impossibles à réaliser avec des techniques classiques.

Mais l'arrivée de l'impression 3D a tout changé: *"Il est alors devenu possible de générer de nouveaux objets imaginés de cette manière, poursuit le chercheur. Pour la première fois dans l'histoire des techniques, la production via l'impression 3D nous ouvre des possibilités que nos outils et notre imagination ne savent pas encore pleinement exploiter. La conception générative va nous y aider."*

PUISSANCE DE CALCUL

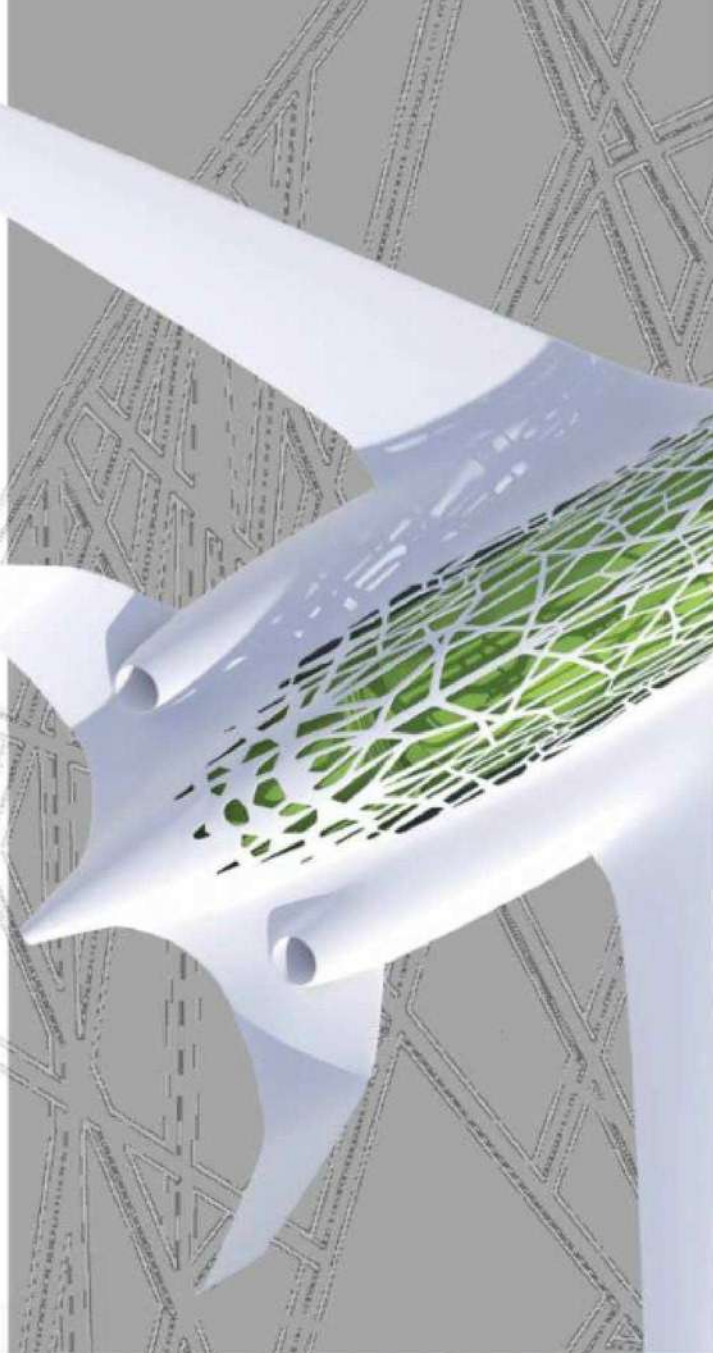
"Au-delà de six variables comme la charge, les directions, l'énergie absorbée..., l'homme ne peut plus concevoir et dessiner lui-même des formes", souligne Mark Davis, chercheur à Autodesk (éditeur de logiciels pour la conception et l'ingénierie), qui travaille depuis plus de deux ans sur le sujet avec plusieurs laboratoires comme Cornell, l'université de Toronto ou Berkeley. "L'ordinateur, lui, va brasser des centaines de paramètres différents et envisager 100 000 designs d'un coup. Il arrivera ainsi à des réponses optimisées, sur commande, dont l'ingénieur pourra s'emparer."

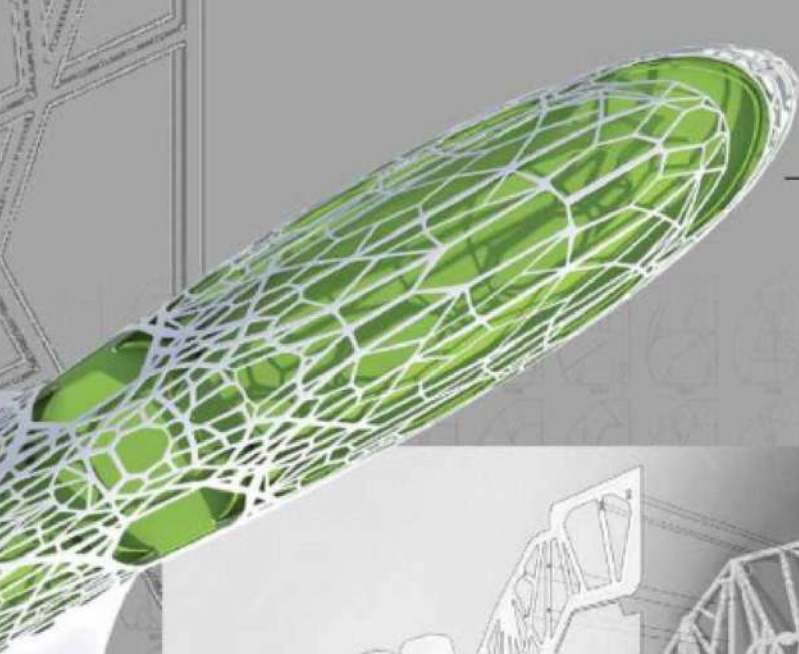
Bastian Schaefer, responsable de l'innovation chez Airbus, confirme: *"Nous sommes en train de franchir une étape très importante, qui devrait déboucher sur des résultats étonnants dans l'industrie si les étudiants et les designers s'approprient cette approche."*

Chaussures, avion, pont, voiture, prothèse... Tout est possible. La conception générative pourrait redessiner complètement notre cadre de vie. Elle pourrait même redessiner le monde... avec des formes aux allures souvent organiques. Rien d'étonnant: comme le rappelle Mark Davis, la nature est déjà un optimisateur de structure hors pair.

Mais Xavier Marsault, ingénieur en architecture, prévient: *"Avec l'approche générative, on est en train de se défaire des formes classiques, ce qui est très prometteur. Mais attention de ne pas tomber dans une dérive trop technoïde en perdant de vue que chaque objet a une forme mais aussi, et surtout, une fonction."*

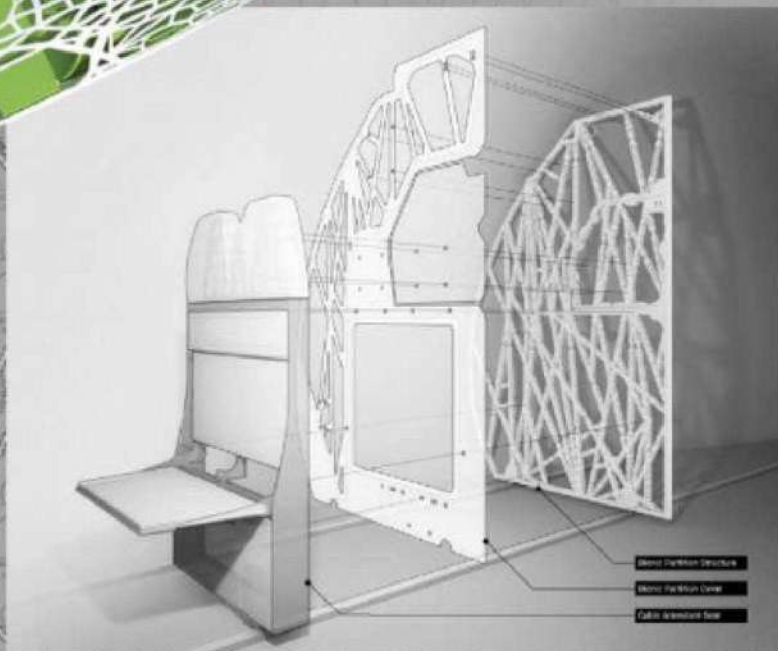
Notre chaise, comme beaucoup d'objets en cours d'invention, aura en effet tout intérêt à intégrer des contraintes de confort et d'ergonomie. Sinon, ces objets pourraient ne pas dépasser le stade de beaux prototypes de laboratoires pour designers.





L'avion le plus écologique

Airbus a demandé à Autodesk que certaines pièces de ses avions soient redessinées par des programmes de conception générative. Avec pour objectif de réduire la quantité de matière à son strict minimum – un facteur déterminant pour le transport aérien. Résultat : des cloisons 45 % plus légères. A l'échelle d'une cabine entière d'A320, cela permettrait d'émettre 465 000 tonnes de CO₂ en moins par an ! Des tests de résistance à la gravité sont en cours en laboratoire, avant d'envisager un développement commercial.



La prothèse la plus personnalisée

Les algorithmes peuvent contribuer à trouver le meilleur compromis personnalisé qui facilitera la bonne intégration et la cicatrisation d'un implant, comme cette prothèse de hanche. Déjà, plus de 600 patients vivent avec des implants conçus ainsi.



A voir : des vidéos montrant des exemples de conception générative.

**EN
SAVOIR
PLUS**

science-et-vie.com

Séquençage de l'ADN

Il sauve désormais des vies

Quinze ans après le décryptage du premier génome humain, le séquençage de l'ADN s'impose à l'hôpital, pour offrir à des centaines de milliers de patients diagnostic plus rapide et traitement sur mesure. Une vraie révolution médicale, que décrypte **Elsa Abdoun**.

En avril 2003, la nouvelle fait la une de tous les journaux : pour la première fois, un génome humain complet a été séquencé. Un véritable exploit, qui a nécessité plus d'une décennie de travail et coûté 2,7 milliards de dollars. Douze ans plus tard, décrypter des fragments d'ADN est devenu un examen médical comme un autre, qui a concerné, en 2015, près d'un demi-million de Français – ils n'étaient pas plus du double, la même année, à passer un scanner. Plusieurs centaines de patients pourraient même déjà avoir été soumis à l'analyse de la totalité de leurs gènes.



Rêve futuriste il y a quinze ans (voir *S&V* n° 993), cet examen d'un genre nouveau se révèle aujourd'hui presque aussi fondamental que de mesurer la tension ou la température, et améliore la prise en charge de nombreuses maladies.

Ce développement exceptionnellement rapide s'explique par une série d'innovations technologiques qui ont, ces dix dernières années, atomisé la durée et le coût du séquençage: un génome humain entier peut à présent être déchiffré en quelques dizaines d'heures et pour 1 000 euros, à l'aide de machines pas plus grosses qu'un photocopieur. *"Une véritable rupture technologique*

est en train de se produire", confirme Pascale Lévy, référente en génétique à l'Agence de la biomédecine.

Une accessibilité nouvelle qui s'est accompagnée d'une somme formidable de découvertes en génétique, chacune rendant le séquençage un peu plus utile aux médecins et aux patients. *"On trouve aujourd'hui dans nos bases de données plus de 4 700 gènes associés à des maladies"*, décompte Robert Green, qui étudie le potentiel médical du séquençage du génome à la faculté de médecine de Harvard.

Les premières personnes concernées sont celles atteintes de maladies rares. Des

▲ Le séquençage du génome humain (composé de milliards de bases A, T, G et C) a vu son coût et sa durée chuter drastiquement ces dix dernières années.

Chronologie

2003 : le génome humain est pour la première fois intégralement séquencé, après une décennie de travail et pour un coût de 2,7 milliards de dollars.

2012 : le séquençage d'un génome humain complet ne coûte plus que 1 000 euros.

2015 : l'ADN de près d'un demi-million de Français est séquencé sur prescription (dans le cas de maladies rares, de cancers...).

2016 : le gouvernement français annonce l'investissement de 670 millions d'euros dans la médecine génomique sur 5 ans.

→ pathologies qui, bien que touchant chacune moins d'une personne sur deux mille, affectent dans leur ensemble plus de 3 millions de Français. Parmi eux, environ 270 000 patients et membres de leur famille ont fait l'objet d'un séquençage d'ADN en 2015. Les objectifs étaient multiples : poser ou confirmer le diagnostic de la maladie ; déterminer le traitement adéquat ; informer les membres de la famille du risque de développer la même pathologie (lire l'encadré ci-dessous) ; et, dans certains cas, offrir une aide médicale à la procréation, pour éviter que le patient ne transmette sa maladie à ses futurs enfants.

TRAQUER LES MUTATIONS

Certes, les premiers séquençages de gènes visant à diagnostiquer ces pathologies, à 80 % d'origine génétique, ont été réalisés dès les années 1980. Mais ces tests ont, depuis, pris une importance inédite. En 2015, 1 518 maladies différentes pouvaient être diagnostiquées par la génétique, soit 500 de plus qu'en 2011, et depuis quatre

ans, des dizaines de gènes suspects d'être impliqués dans les symptômes d'un patient peuvent parfois être séquencés en même temps, en seulement quelques heures – là où il fallait auparavant attendre des mois, voire des années.

Mieux, quelques services hospitaliers proposent désormais à des patients dont les symptômes ne correspondent à aucune mutation connue de séquencer tous leurs gènes (c'est ce qu'on appelle l'exome), voire, beaucoup plus rarement, la totalité de leur ADN (séquences entre les gènes comprises) : le fameux génome. Parmi ces nanoscopiques bottes de foin, composées de milliards de molécules (représentées par les quatre lettres A, T, G et C du code génétique), les chercheurs doivent trouver la mutation responsable des symptômes du patient. Ce qui nécessite des analyses de plusieurs semaines à plusieurs mois, basées sur des simulations informatiques, la lecture de la littérature scientifique, et parfois même des expériences sur des cellules ou

des animaux génétiquement modifiés de manière à porter la mutation incriminée.

Un travail titanesque, mais payant, comme l'ont démontré en 2014 des médecins néerlandais en séquençant le génome de cinquante enfants atteints de retard mental, qui n'avaient pu être diagnostiqués d'aucune autre manière. Les chercheurs ont identifié la cause des troubles – principalement des mutations ayant entraîné l'inactivation de gènes liés à la maladie chez au moins un patient auparavant – pour près de la moitié d'entre eux.

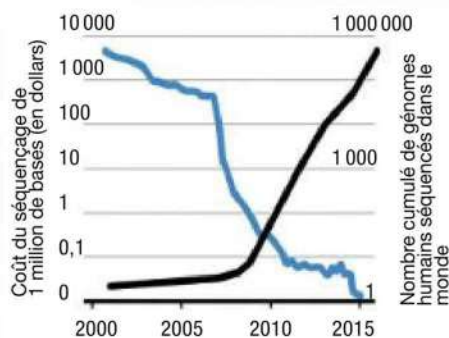
Un résultat significatif, car *"l'errance diagnostique est un problème majeur pour les patients atteints de maladies rares"*, regrette Yves Lévy, PDG de l'Inserm et auteur d'un plan de développement de la médecine génomique en France, remis l'été dernier au gouvernement. Encore aujourd'hui, en



Vers une médecine prédictive ?

Les médecins prescrivent chaque année un séquençage à des milliers de Français en bonne santé. Leur but : connaître le risque qu'ils développent plus tard une maladie (cancers familiaux, maladies neuro-dégénératives...) dont un parent est déjà atteint. Mais cette pratique reste limitée, car peu de mutations connues sont associées à une probabilité vraiment forte de tomber malade. Une pathologie résulte en effet souvent d'un ensemble complexe de facteurs (multiples gènes, environnement...). Raison pour laquelle Dominique Stoppa-Lyonnet (Institut Curie), comme la plupart des spécialistes, invite à *"rester prudent sur l'extension des tests prédictifs"*. Contrairement à ce que laissent entendre des tests vendus sur internet (voir S&V n° 1181), l'ADN n'est pas une boule de cristal.

HiSeqX™



Séquencer coûte de moins en moins cher

Depuis 2000, et surtout depuis 2008, grâce à une nouvelle génération de séquenceurs dits "à haut débit", le coût du séquençage n'a fait que baisser (courbe bleue). Résultat : le nombre de génomes humains séquencés dans le monde (courbe noire) a explosé.

SOURCES : A.R. SCOTT, NATURE; STEPHENS ET AL., PLOS BIOLOGY

France, un quart de ces patients n'ont toujours pas reçu de diagnostic cinq ans après l'apparition de leurs symptômes.

Parfois, séquencer l'ADN permet même d'identifier un traitement auquel les médecins n'auraient jamais pensé. Comme dans le cas, marquant, de cet enfant atteint d'une maladie inconnue responsable d'une dégénérescence des intestins, qui, après des années d'échecs thérapeutiques, a été pris en charge à l'hôpital pour enfants du Wisconsin (Etats-Unis), où son exome a été séquencé. Grâce à cet examen, les médecins ont pu identifier la mutation responsable, comprendre les mécanismes biologiques de la maladie... et trouver le traitement qui lui a sauvé la vie : une transplantation de cellules souches sanguines, qui a permis de remplacer son système immunitaire déréglé.

Espérant soulager de la même manière certains de leurs propres patients tout en faisant avancer la recherche sur les causes de leur maladie, quelques médecins français commencent donc, même si cette pratique reste rare, à séquencer des exomes entiers. Dans de tels cas, cependant, "on est à mi-chemin entre la recherche et

le soin", précise Véronique Barbu, médecin spécialiste du diagnostic génétique des maladies biliaires. En effet, avant d'étendre ce service à tous les patients qui en auraient besoin, et de le voir reconnu comme un véritable acte médical, preuve doit encore être apportée que son coût est compensé par le nombre de vies qu'il sauve ou, tout du moins, qu'il améliore, et par les économies en traitements inutiles, hospitalisations, etc., qu'il permet de réaliser.

DES ANTICANCÉREUX "CIBLÉS"

En attendant que cette révolution aboutisse dans le champ des maladies rares, le séquençage de l'ADN a déjà transformé un autre domaine de la médecine, de premier plan : l'oncologie. En 2014, l'ADN des cellules cancéreuses de 70 000 patients, soit près d'un sur cinq, a été séquencé. Le but étant ici d'établir un pronostic ou de suivre l'évolution de la maladie, mais aussi, et surtout, de prescrire le traitement le mieux adapté à chaque patient.

Depuis quelques années en effet se multiplient les traitements anticancéreux dits "ciblés". Soit des molécules efficaces contre certaines anomalies biologiques

CANCERS OPTIMISER LES TRAITEMENTS

Connaître l'ADN de la tumeur permet de prescrire le traitement le plus adapté au patient

✓ Au moins 7 cancers différents sont concernés par ces thérapies "ciblées"

✓ Au moins 22 médicaments dépendent de l'ADN du patient

27%

Le nombre de malades séquencés est passé de 55 000 en 2011 à 70 000 en 2014

responsables de la cancérisation des cellules, liées à des mutations bien particulières. L'avantage de ces traitements est qu'ils attaquent les cellules cancéreuses plus spécifiquement que la chimiothérapie classique, ce qui peut accroître l'efficacité des soins tout en allégeant les effets secondaires. L'inconvénient, c'est qu'ils sont sans intérêt si la tumeur ne porte pas les mutations ciblées. Plonger dans l'ADN du patient est donc souvent un examen



MALADIES RARES

MIEUX LES DIAGNOSTIQUER

Séquencer les gènes facilite la recherche de la mutation responsable des symptômes et l'établissement d'un diagnostic

- ✓ Au moins 1518 maladies sont concernées
- ✓ 286538 examens ont été réalisés en 2015

20-25%

Le nombre de personnes séquencées aurait augmenté d'environ 20 à 25 % depuis 2011, pour atteindre près de 270 000 personnes en 2015

→ préalable à la prescription de ce type de molécules.

Contre au moins sept cancers (sein, côlon, poumon...), vingt-deux traitements ciblés étaient disponibles fin 2015, soit un anticancéreux sur huit. Un chiffre qui devrait rapidement s'envoler, car des dizaines d'autres médicaments sont déjà administrés dans le cadre d'essais cliniques.

Certes, tous les patients ne sont pas concernés : pour certains cancers, aucun traitement ciblé n'a encore été développé ; pour d'autres, les médicaments en question n'ont pas fait la preuve de leur supériorité par rapport à la chirurgie ou à la chimiothérapie, notamment. Et tous les patients dont l'ADN tumoral est séquencé ne sont pas porteurs d'une mutation ciblée par une molécule : en 2015, seul un tiers des tests donnait

un résultat permettant d'envisager l'un de ces traitements.

Mais pour les plus de 20 000 patients éligibles, les bénéfices peuvent être considérables. *"Certaines thérapies ciblées ont vraiment révolutionné les traitements"*, confirme Dominique Stoppa-Lyonnet, directrice du service de génétique à l'Institut Curie (Paris). Le trastuzumab, par exemple, diminue de moitié le risque de rechute chez les femmes atteintes d'un cancer du sein invasif associé à des mutations dans le gène HER2. Grâce à ce traitement, le pronostic pour les femmes porteuses de ces mutations, initialement de très mauvais augure, s'est considérablement amélioré.

L'analyse génétique n'a toutefois pas encore exprimé tout son potentiel dans la lutte contre le cancer. Des médecins testent actuellement le séquençage de la totalité de l'exome ou du génome de la tumeur afin, notamment, de combiner plusieurs thérapies ciblées, adaptées aux différentes mutations portées par une même tumeur, et ainsi de diminuer le risque de rechute. D'autres, enfin, testent la possibilité de faire fi de la localisation de la tumeur dans l'organisme, et de se concentrer uniquement sur son profil génétique pour choisir le traitement. Augmentant ainsi le nombre de patients traités, et transformant la conception de cette maladie. Car pour la première fois, le cancer ne serait plus défini en premier lieu par l'organe touché ou par ses caractéristiques physiques... mais par son profil génétique.

BIENTÔT TOUS SÉQUENCÉS ?

En 2017, il n'est cependant pas nécessaire de développer une maladie génétique comme un cancer ou une maladie rare pour se voir prescrire un séquençage de l'ADN. Les infections ou les troubles cardiovasculaires, par exemple, sont aussi concernés. Car nos gènes influencent la façon dont notre organisme métabolise, ou transporte, tous types de médicaments. Et certaines mutations peuvent dès à présent prédire de manière assez fiable l'efficacité, le risque de développer des effets secondaires, et même le dosage a priori optimal de molécules qui étaient à l'origine prescrites à tous les patients indifféremment.



PASCALE LÉVY

Référente en génétique à l'Agence de la biomédecine

Une véritable rupture technologique est en train de se produire

C'est le cas par exemple de l'abacavir, un médicament donné en cas d'infection par le virus du sida et qui entraîne très souvent une réaction grave, voire mortelle, chez les patients porteurs d'une mutation dans le gène HLA. Un test génétique préalable est systématiquement mené avant de prescrire ce médicament, et les porteurs de la mutation, une fois détectés, se voient proposer un traitement alternatif. D'autres médicaments, prescrits notamment dans le cas d'une maladie de Crohn (maladie inflammatoire des intestins), d'une hépatite C, d'une transplantation

nombre de tests devrait continuer de croître à mesure que de nouveaux gènes impliqués dans la réaction aux médicaments sont découverts. *"C'est une voie de recherche importante pour lutter contre les effets indésirables de certaines molécules"*, assure Céline Verstuyft, pharmacologue au service de pharmacogénétique de l'hôpital Bicêtre et à l'université Paris-Sud.

Des spécialistes imaginent même que l'exome ou le génome de chacun d'entre nous pourrait à l'avenir être séquencé, afin que ces informations génétiques soient

Que deviennent les données ?

Risque de discrimination par les assurances, par son employeur... Les inquiétudes sont nombreuses quant à la propagation des données génétiques, d'où un encadrement très strict des tests réalisés dans un cadre médical : les laboratoires doivent être agréés, les données anonymisées... En revanche, depuis 2013, quand les résultats du séquençage peuvent avoir une influence importante sur la santé d'un membre de la famille, le patient est légalement tenu de l'en informer. Est-il possible de récupérer sa propre séquence d'ADN ? En théorie, aucune disposition légale ne l'interdit, mais rien n'oblige non plus les laboratoires à la transmettre.

MALADIES NON GÉNÉTIQUES

ÉVITER LES EFFETS SECONDAIRES DES MÉDICAMENTS

En étudiant l'ADN du patient, on peut prédire comment il réagira à un médicament

✓ Plusieurs dizaines de maladies sont concernées

✓ Une trentaine de traitements peuvent dépendre de ces tests

+27%

Le nombre d'examens de pharmacogénétique est passé de 15 737 en 2011 à 19 909 en 2015



d'organe ou d'une maladie cardio-vasculaire, sont également concernés. Dans ce dernier cas, cependant, le test génétique, préalable à la prescription d'un anticoagulant (la warfarine) afin d'éviter les surdosages chez les personnes qui y sont trop réactives, est de plus en plus souvent remplacé par un test immunologique plus classique, de fiabilité équivalente.

Au total, en France, près de 20 000 examens dits de "pharmacogénétique" ont été proposés à des patients en 2015, soit 4 000 de plus qu'en 2011. Et le

rapidement disponibles, notamment au moment de la prescription de certains médicaments.

Les applications du séquençage de l'ADN, déjà nombreuses, devraient donc se multiplier dans les années qui viennent. L'industrie pharmaceutique se montre très intéressée : l'entreprise Roche a récemment fait savoir qu'elle travaille sur des traitements ciblés pour la maladie d'Alzheimer et la schizophrénie. Et le gouvernement français a annoncé cet été, après les États-Unis, la Chine et le Royaume-

Uni, sa décision d'investir 670 millions d'euros sur cinq ans dans le développement de la médecine génomique. Son ambition affichée : pouvoir analyser dès 2020, en plus de tous les séquençages déjà effectués aujourd'hui, 70 000 génomes complets de patients chaque année.

Le séquenceur pourrait donc bientôt devenir, au même titre que le stéthoscope, l'outil indispensable du médecin. Et si les rayons X ont éclairé les maladies du XX^e siècle, le nouveau millénaire ouvre un nouveau chapitre, écrit en A, T, G et C.

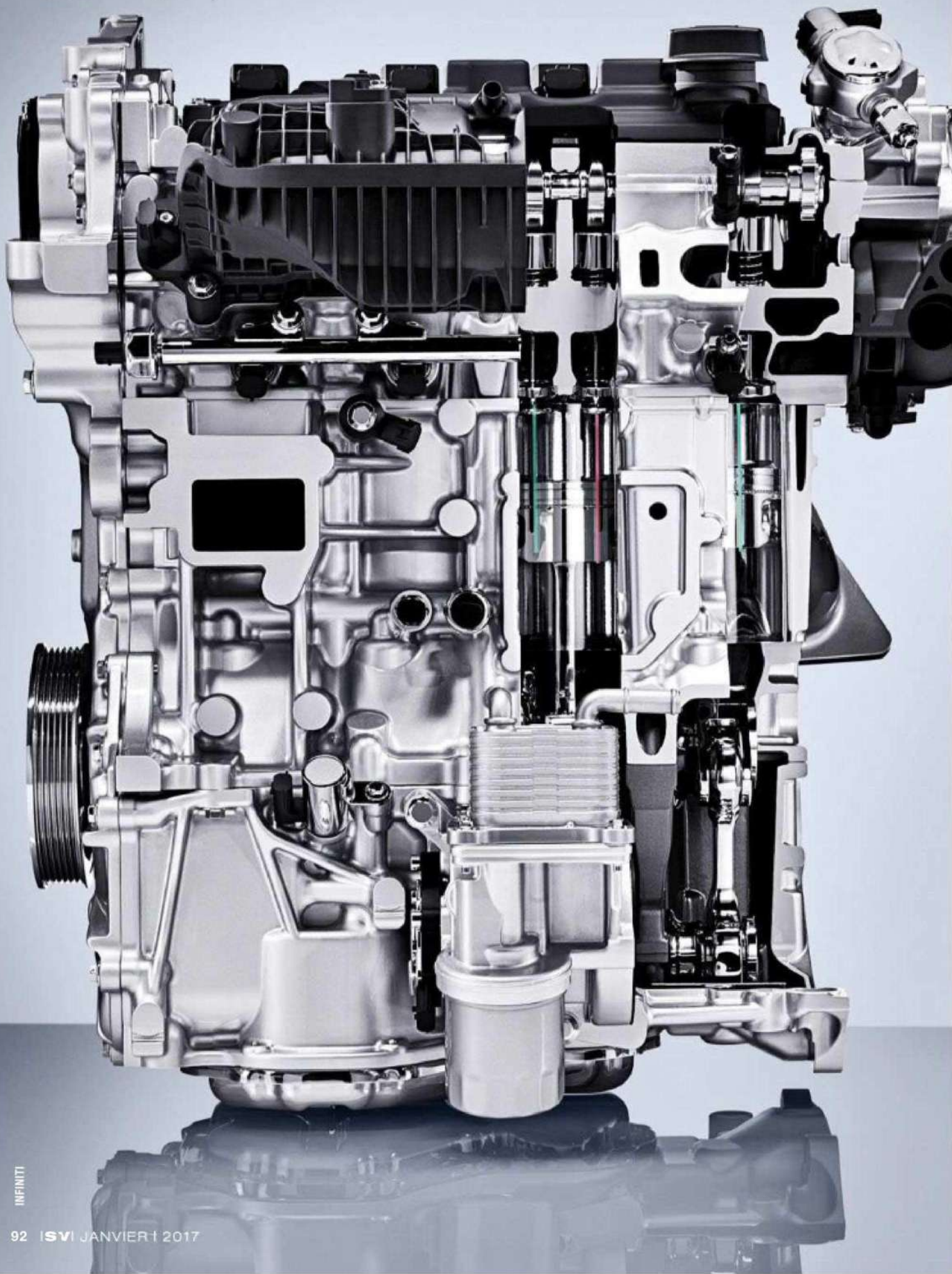


A consulter : des publications et rapports sur la génétique médicale en France.

A voir : une vidéo pédagogique sur la génomique médicale.

science-et-vie.com

EN SAVOIR PLUS





Moteur thermique

Il n'a pas dit son dernier mot

Pour la première fois, un moteur à "taux de compression variable" va équiper des véhicules de série. Un renouveau pour le moteur thermique, explique **Hugo Leroux**.

Cent vingt ans qu'il roule sa bosse. On l'a souvent cru trop lent, trop limité, trop sale, mais il a toujours su se renouveler. Ce vieux monsieur, c'est le moteur à essence. Et Nissan vient de dévoiler sa nouvelle cure de jouvence: le moteur à taux de compression variable.

Derrière ce nom barbare se cache un principe alléchant: imaginez un moteur qui maximiserait son rendement en fonction de la charge. Que vous rouliez en seconde au centre-ville, ou pied au plancher sur l'autoroute, le moteur trouverait à chaque fois son point de fonctionnement idéal, celui pour lequel la consommation d'essence est minimale et les performances maximales. Un

peu comme si un athlète ajustait son métabolisme selon qu'il court un marathon ou un sprint. On voit bien l'intérêt. En l'occurrence, des consommations d'essence et des émissions de CO₂ réduites d'un tiers par rapport à un moteur traditionnel similaire!

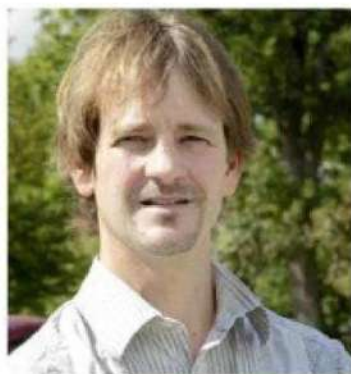
Repères

A partir de 2021, les émissions de CO₂ des voitures vendues dans l'Union européenne ne devront pas dépasser 95 g/km en moyenne, contre 130 g/km actuellement. Particules fines et oxydes d'azote (NO_x) sont aussi dans le viseur. Avec un moteur diesel très discuté, les constructeurs doivent repenser le moteur thermique.

< **UN MOTEUR RÉVOLUTIONNAIRE**
Grâce à son taux de compression variable (VCR), ce moteur qui tient sous le capot de l'Infiniti (Renault-Nissan), fruit de vingt années de recherche, combine la sobriété du diesel et la vivacité de l'essence.

→ Alors que la voiture 100 % électrique gagne sans cesse en autonomie et que les carburants alternatifs comme l'hydrogène s'annoncent de plus en plus crédibles, ce pari peut sembler anachronique. On aurait pourtant tort d'enterrer le bon vieux moteur thermique: l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) estimait ainsi en 2014 que les véhicules thermiques représenteront encore 89 % du parc automobile en 2030, et 34 % en 2050. A condition que cette mécanique plus que centenaire maîtrise mieux ses émissions polluantes.

"Toutes les régions du monde mettent en place des normes environnementales très contraignantes sur les émissions des moteurs", explique Henri Trintignac, directeur général de MCE-5, pionnier français de cette technologie.



FABRICE FOUCHER
Laboratoire Prisme de l'université d'Orléans

On se rapproche ici des performances du diesel en termes de consommation

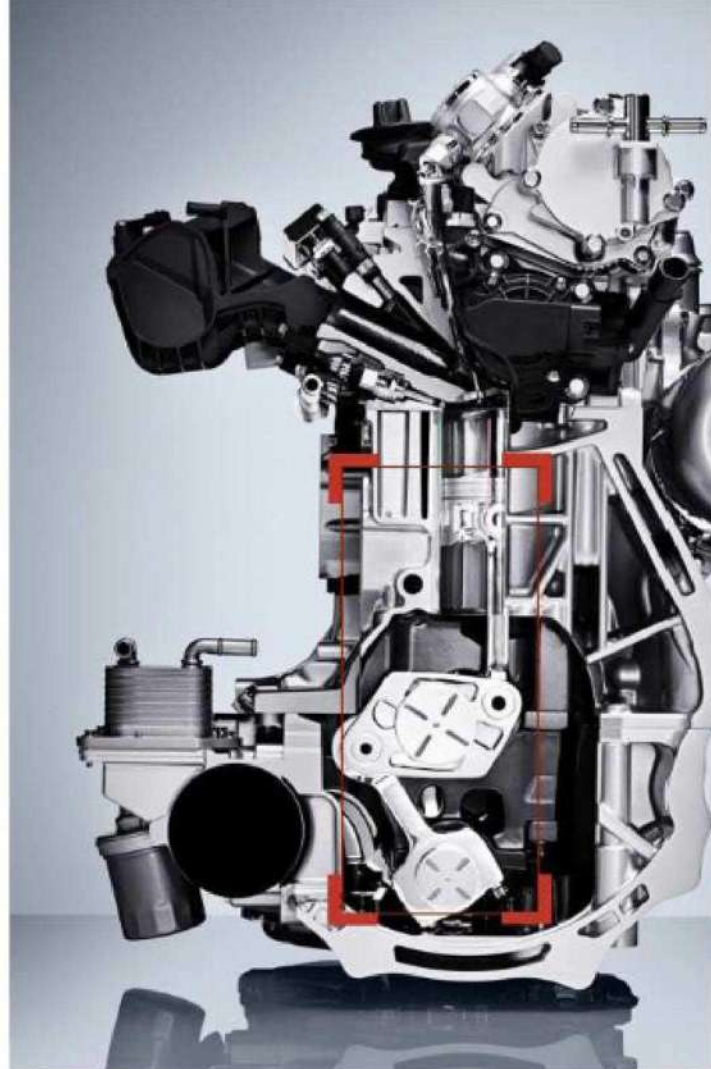
Sachant que les anciens tests de contrôle d'émissions, réalisés en labo et très "déconnectés" de l'utilisation réelle d'un moteur – donc faciles à tromper – sont remplacés par des essais proches des vraies conditions. *"Au final, les constructeurs devront gagner 50 % de rendement en dix ans!",* calcule Henri Trintignac.

LES LIMITES DU DOWNSIZING

Les grands constructeurs automobiles n'ont donc pas le choix: ils doivent innover vite et fort. Non que le moteur n'ait pas évolué récemment. Depuis vingt ans, le "downsizing" (réduction de la cylindrée) a considérablement dopé son efficacité. Mais ce filon est épuisé. *"On est arrivé au bout de cette logique. Sur les grosses cylindrées, cela ne suffira pas à atteindre les objectifs",* concède Alain Raposo, directeur de la technologie motopulseur chez Renault-Nissan.

Et justement: le moteur à taux de compression variable (souvent désigné sous son acronyme anglais VCR, pour Variable Compression Ratio) se tient prêt à prendre la relève. *"Avec ce moteur, les constructeurs se rapprochent des performances du diesel en termes d'émissions de CO₂ et donc de consommation",* analyse Fabrice Foucher, spécialiste de la combustion et des moteurs au laboratoire Prisme de l'université d'Orléans.

Infiniti, la marque haut de gamme de Nissan, en équipera son modèle SUV QX50 Sport Inspiration à compter de 2018. Fruit de vingt années de recherche, ce moteur 4 cylindres prétend combiner la sobriété à bas régime d'un 4 cylindres diesel à la vivacité d'un 4 cy-



lindres essence. Le constructeur annonce ainsi 27 % d'économies d'essence et de CO₂ par rapport au V6 qu'il remplacera. *"C'est le début d'une famille d'organes qui commence par le haut de gamme et devrait se décliner sur d'autres modèles de l'Alliance Renault-Nissan",* prévoit Alain Raposo.

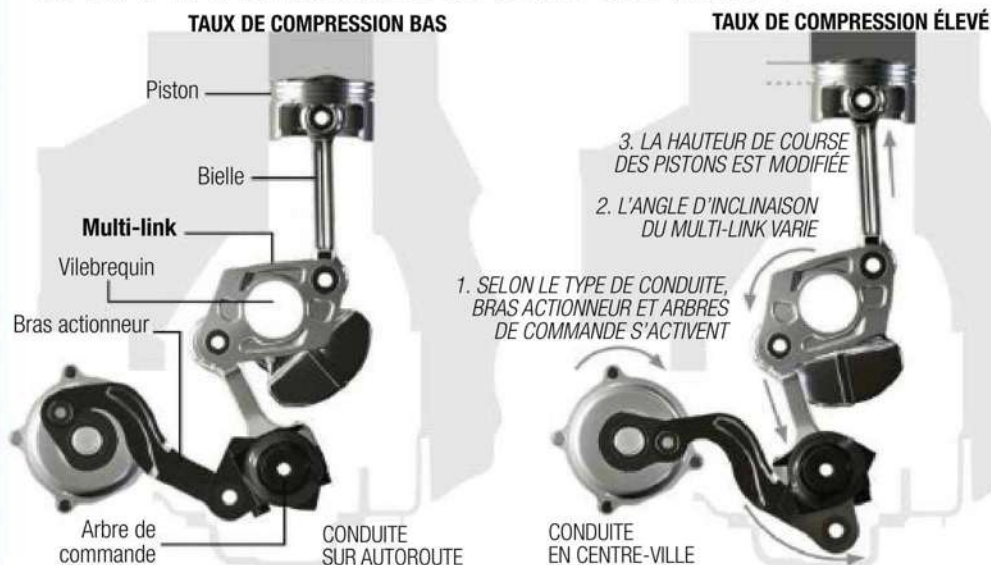
Pour bien en saisir l'intérêt, un petit retour sur le fonctionnement du moteur à essence s'impose. La propulsion provient de l'énergie dégagée par la combustion du mélange d'air et de carburant. Au sein des chambres de combustion, les pistons compriment ce mélange pour le faire monter en température; puis une bougie déclenche l'inflammation d'une simple étincelle. *"Plus le taux de compression est élevé, plus la température et la pression sont élevées lors*

Jargon

4 motorisations existent aujourd'hui.

L'essence, qui peut aussi brûler des carburants alternatifs: éthanol, gaz naturel (GPL, GNL). **Le diesel**, qui brûle aussi de l'huile ou du biodiesel. **L'hybride**, qui associe moteur thermique (le plus souvent essence) et électrique. **L'électrique** à 100 %.

COMMENT LE MOTEUR À COMPRESSION VARIABLE S'ADAPTE AUX CONDITIONS DE CONDUITE



Un système de bras actionneur permet, lorsqu'une évolution du taux de compression est nécessaire, de faire varier l'angle d'inclinaison du Multi-link, l'innovation de ce moteur. Ce qui modifie la hauteur de course des pistons : maximale à 14:1 pour une meilleure efficacité (en centre-ville par exemple), minimale à 8:1 pour plus de puissance (sur autoroute). Cette variation s'effectue rapidement et automatiquement, en fonction des conditions de conduite et des besoins ressentis par le moteur.



△ L'Infiniti QX50 Sport Inspiration, commercialisée en 2018, sera la première voiture de série équipée d'un moteur VCR.

de l'allumage du mélange, et meilleur est le rendement du cycle thermodynamique", explique Fabrice Foucher.

Pour concevoir un moteur efficace, l'idéal est donc de pousser très loin la compression du mélange. Mais en théorie seulement ! Car à forte charge, c'est-à-dire pied au plancher, le mélange air-es-sence trop compressé tend à s'auto-enflammer de manière incontrôlée, sans attendre d'étincelle, ce qui occasionne un bruit caractéristique de "cliquetis". Un bruit redouté par les mécaniciens, car cette auto-inflammation est désastreuse pour le moteur.

Pour éviter ce fléau, les motoristes n'ont d'autre choix que

d'abaisser le taux de compression... au détriment du rendement. "Tout l'intérêt d'un moteur à taux de compression variable est là : à faible charge, quand il n'y a pas de risque de cliquetis, on augmente le taux de compression. En revanche, quand il y a un risque pied au plancher, le moteur l'abaisse automatiquement", explique Xavier Tauzia, de l'équipe Thermodynamique des systèmes moteur à l'Ecole centrale de Nantes.

UN PREMIER BREVET EN 1931

Sauf que mettre au point un tel engin n'est pas si facile. Les connaisseurs du monde automobile le savent : l'idée d'un moteur à taux de compression variable ne date pas d'aujourd'hui – son premier brevet

remonte à 1931 ! Sur le plan industriel, cela fait une bonne vingtaine d'années que presque tous les constructeurs l'ont sérieusement envisagé, chacun y allant de ses brevets... avant de le mettre au placard. Car si l'idée met tout le monde d'accord, sa mise en pratique relève du casse-tête. "Le concept implique plus de pièces en mouvement... donc une fragilité et des frottements supplémentaires, explique Xavier Tauzia. Jusqu'ici, cette complexité était peu en phase avec le marché de l'automobile, qui privilégie des moteurs simples, robustes et à un prix concurrentiel."

C'était avant que Nissan ne trouve le moyen de ressusciter cette Arlésienne de l'auto. Parmi la myriade de dispositifs imaginés depuis quatre-

vingts ans pour faire varier le taux de compression, les ingénieurs de Renault-Nissan ont misé sur une technologie permettant de faire varier la course des pistons dans le moteur. La clé de ce système tient dans une pièce inédite baptisée "Multi-link", ajoutée entre la bielle du piston et le vilebrequin (l'arbre transformant le mouvement vertical de la bielle en mouvement rotatif).

et Infiniti l'ont rendu plus compact, plus fiable, moins coûteux... jusqu'à remplir le cahier des charges drastique imposé à tout moteur destiné au marché grand public.

En pole position sur le sujet, l'Alliance Renault-Nissan n'est cependant pas seule sur les rangs. *"Beaucoup de constructeurs disposent d'une technologie VCR proche de l'industrialisation"*, confirme Fabrice

nome du cousin diesel, lui-même en perte de vitesse en raison de sa pollution et des récents scandales liés justement à ses émissions, le moteur à essence VCR pourrait donc équiper un nombre croissant d'automobiles.

L'HYBRIDE, TOUJOURS EN LICE

Jusqu'à incarner l'avenir du moteur? *"Ce n'est pas écrit. Certains constructeurs pourraient conserver un moteur à taux de compression fixe et investir sur l'hybridation. Le moteur électrique prend ainsi le relai sur les plages de fonctionnement où le rendement du moteur à essence n'est pas optimal..."*, prévoit Fabrice Foucher, qui souligne que la technologie VCR présente justement moins d'intérêt pour ces véhicules hybrides dans l'immédiat.

"En trente ans de métier, je n'ai jamais vu un tel éventail de solutions envisageables pour répondre à la fragmentation des marchés et la pression des réglementations", s'exclame Alain Raposo.

Dans cette bataille qui s'annonce, le moteur à taux de compression variable est désormais un challenger crédible. L'avenir dira s'il s'imposera ou s'il retournera aux oubliettes de l'automobile et, cette fois, probablement pour toujours.

Carburants alternatifs : l'autre avenir du moteur thermique

Révolutionner la mécanique n'est pas le seul moyen d'alléger les émissions du moteur thermique. Un carburant propre pourrait aussi faire l'affaire : c'est la promesse des biocarburants. Certes, biodiesel et bioéthanol dits de "première génération", produits à partir de matières agricoles, ne l'ont jamais tenue. En concurrence avec un usage alimentaire, leur soutenabilité est plus que contestable (voir S&V n°1188, p. 90). En revanche, les biocarburants de seconde génération, raffinés à partir de parties non comestibles des végétaux, rectifient le tir. Et ils sont enfin proches de la production de masse... Mais cette propulsion propre devra encore s'affranchir du "mur de mélange", un problème de carburation empêchant d'adjoindre plus de 15 % d'éthanol à l'essence dans les moteurs.

Un engrenage électromécanique fait varier son angle de quelques degrés sur commande de l'ordinateur de bord, ce qui allonge ou raccourcit le point d'arrêt final du piston, et fait donc varier le taux de compression du mélange air-essence (voir infographie, page précédente). Reste qu'une fois ce choix technique arrêté, c'est surtout une optimisation d'au moins dix ans, et quelque 300 brevets, qui ont permis de digérer la complexité du VCR. Composant après composant, liaison après liaison, les ingénieurs de Nissan, Renault

Foucher. L'ingénieur MCE-5 a, par exemple, développé sa propre technologie, qui vise elle aussi à faire varier la hauteur maximale du piston. Ici c'est une roue dentée qui est intercalée entre le piston et le vilebrequin; commandée par un vérin hydraulique, elle opère comme un bras de levier sur le piston. Cette technologie, baptisée VCRI, est actuellement à l'essai chez le constructeur chinois Dongfeng, pour une commercialisation prévue à l'horizon 2020.

En s'appropriant le fonctionnement plus souple et éco-



A voir : une vidéo sur le VC-T d'Infiniti. A lire : la comparaison des technologies VCRI et VC-T par le magazine *Motor Trend*.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

*Des interprétations légendaires
sélectionnées par Diapason !*

59€



Albeniz: Iberia. Bach : Les six Concerts brandebourgeois, Variations Goldberg. **Beethoven:** Concertos pour piano n°s 3 et 5, Sonates pour piano n°s 30, 31 et 32, Sonates pour violoncelle n°s 3, 4 et 5, Symphonie n° 7. **Berlioz :** Symphonie fantastique, Nuits d'été. **Brahms:** Symphonie n° 3, Concerto pour violon. **Debussy :** La Mer, Prélude à l'après-midi d'un faune, Nocturnes, Ibéria, Quatuor, Mélodies, Pour le piano, Suite bergamasque. **Dvorak:** Symphonie n° 9. **Fauré :** Mélodies. **Gershwin:** Un Américain à Paris, Rhapsody in blue, Concerto en fa. **Haydn:** Symphonie n° 104. **Liszt:** Concertos pour piano, Etudes d'exécution transcendante. **Mahler:** Symphonie n° 4. **Mendelssohn:** Symphonie n° 4, Octuor, Le Songe d'une nuit d'été. **Monteverdi:** Madrigaux. **Moussorgski:** Enfantines, Tableaux d'une exposition. **Mozart:** Airs de concert, Sonate pour piano n° 13, Concerto pour piano n° 22, Concertos pour piano n°s 10, 16, 19, 20, 23 et 25, Grande Messe en ut, Symphonies n°s 39, 40 et 41. **Rimski-Korsakov:** Schéhérazade. **Saint-Saëns:** Carnaval des animaux, Concerto pour piano n° 2, Danse macabre. **Schubert:** « La Truite », Quintette à deux violoncelles, Sonate D 850, Symphonie n°s 8 et 9, Trios avec piano. **Schumann:** L'Amour et la Vie d'une femme, Liederkreis. **Scriabine:** Poème de l'extase, Sonates pour piano n°s 3, 5 et 9. **Tchaïkovski:** Eugène Onéguine. **Verdi:** Le Trouvère. **Wagner:** Le Vaisseau fantôme.

880 310

Merci de retourner ce bon à : DIAPASON - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9



☐ Je commande le coffret de 40 CD:
Les indispensables de Diapason pour 59€.

	Prix	Quantité	Total
Coffret 40 CD Les indispensables	59€	x	= €
réf.: 2040 2301	Frais de port offerts!		Gratuit
			€

Offre valable jusqu'au 31/12/2016, uniquement en France Métropolitaine dans la limite des stocks disponibles. Conformément à l'article 27 de la loi informatique et Libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations vous concernant. Les informations demandées dans ce courrier sont indispensables au traitement de votre commande. Elles pourront être utilisées ultérieurement pour d'autres offres ou cédées à des tiers. Si vous ne le souhaitez pas, merci de nous écrire.

Délai de livraison 4 semaines à réception de votre règlement. Vous disposez d'un droit de rétractation de 7 jours concernant votre commande au 01 46 48 47 60

MONDADORI MAGAZINES FRANCE S.A.S. au capital de 60 557 458 € - 452 791 262 RCS
Nanterre - APE 5814Z - Siège social : 8, rue François Orly - 92543 Montrouge Cedex

☐ Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de Diapason (groupe Mondadori).

Je joins mon règlement :

☐ Je règle par chèque postal ou bancaire à l'ordre de Diapason ☐ Je règle par Carte Bancaire dont voici le numéro :

[illegible]

J'indique mes coordonnées :

Nom

Prénom

Adresse

Code Postal

Ville

Téléphone

Email



> ^ La ferme inaugurée près de Port Augusta est quasi autonome: les 39 MW produits par ses 23 000 miroirs alimentent son usine de désalinisation d'eau de mer pour cultiver 20 ha hors sol.



AUSTRALIE

Inauguration d'une **ferme géante** en plein désert

La Sundrop Farms, inaugurée le 6 octobre dernier dans le sud de l'Australie, produira 15 000 tonnes de tomates par an sur 20 hectares implantés en plein désert ! Et cela en quasi-autonomie. Pour fonctionner, cette ferme n'a en effet besoin que de l'énergie du soleil et de l'eau de mer puisée dans le golfe de Spencer voisin. Ses 23 000 miroirs dirigent les rayons solaires vers un concentrateur, qui accumule l'énergie. Les 39 MW de puissance thermique produits serviront ensuite à alimenter une unité de désalinisation d'eau de mer pour irriguer les cultures installées sous serre : des plants de tomates cultivés en hydroponie, c'est-à-dire hors sol et, plus précisément ici, sur un support inerte à base de coques de noix de coco. Enfin, les promoteurs de cette

Sundrop Farms affirment cultiver sans pesticides, mais avec des insectes prédateurs. La compagnie, qui planifie déjà des exploitations similaires au Portugal et aux États-Unis, compte amortir les quelque 200 millions de dollars d'investissement de l'installation grâce à une facture d'énergie nulle. Elle prévoit également d'ajouter d'autres fruits et légumes à sa production dans un futur proche. Si elle ne précise pas dans quelle mesure elle emploie des engrais chimiques (issus de la pétrochimie), son exploitation quasi autonome a en revanche le mérite de s'affranchir de l'utilisation de terres arables et d'eau potable, deux ressources qui se raréfient à l'échelle mondiale. Une initiative intéressante pour l'autonomie alimentaire des régions désertiques. H.L.

MUNICH (ALLEMAGNE)

La première **voiture** électrique qui roule au **solaire**



Sion, la voiture électrique de la jeune pousse Sono Motors, se charge toute seule au soleil grâce à sa carrosserie couverte de panneaux solaires. Son autonomie, suffisante pour les trajets du quotidien, est d'environ 30 km pour cinq heures d'exposition, 50 km pour huit heures. Vitesse maxi : 140 km/h. Tarif entre 12 000 € et 16 000 €, mais les batteries seront vendues séparément. Une campagne de financement participatif est ouverte pour un mois jusqu'au 6 janvier 2018. E.T.A.

ATLANTA (ÉTATS-UNIS)

Des **jardins aériens** pour reconnecter les villes coupées par des routes

Comment reconnecter différents quartiers séparés par des autoroutes urbaines ou des voies de chemin de fer ? Réponse : en créant des parcs suspendus pour piétons. Les quelque 700 m de longueur du Buckhead Park Over GA400 pourraient ainsi offrir aux habitants d'Atlanta la possibilité de déambuler dans des espaces verts, jardins publics, amphithéâtre, place, commerces, restaurants... Ses concepteurs, l'architecte Rogers Partners et le paysagiste Nelson Byrd Waltz – auxquels on doit de nombreux projets aux États-Unis, comme une aile de la bibliothèque publique de New York – expliquent vouloir ainsi "redonner une cohérence aux différents espaces du centre-ville". Ils espèrent également que cette solution pourra inspirer d'autres villes, aux États-Unis et ailleurs. Un projet encore en phase d'étude.

E.T.-A.



Les appareils ménagers vont s'adapter aux pics de consommation

C'est une première mondiale : une expérience britannique a permis de commander à distance, à travers le réseau électrique national, des appareils ménagers afin de lisser les pics de consommation. Pour réduire momentanément leur consommation, de minuscules baisses de courant ont été commandées à distance par l'opérateur du réseau grâce à des boîtiers intelligents connectés aux appareils énergivores de types ballon d'eau chaude ou congélateur. La flexibilité gagnée au niveau du réseau permet également d'alléger la facture des particuliers. Cette technologie développée par Reactive Technology garantit l'anonymat des données. **H.L.**

Idée neuve



"ON VA RECYCLER LES DÉCHETS PLASTIQUES EN BLOCS D'ÉCO-CONSTRUCTION"

Peter Lewis, inventeur de Byfusion, Nouvelle-Zélande

Si les déchets plastiques envahissent la planète, c'est entre autres parce que tout le plastique ne peut être recyclé, notamment lorsqu'il est usé ou sale (sacs de courses, pots de yaourt...). Un problème que le concept de Byfusion, inventé par le néo-zélandais Peter Lewis, prend à rebours, grâce à un procédé très simple et peu onéreux : en trois minutes et demie, n'importe quel plastique se retrouve haché, rincé, séché et compressé en blocs de construction. La fabrication de ces briques "vertes" émet 95 % de gaz à effet de serre en moins que celle du béton. Et, en prime, elles sont incassables : elles résistent au cisaillement, à une compression de 1000 fois leur poids et possèdent une mémoire de forme. Imbriquées comme des Lego, elles forment toutes sortes de parois, y compris, étant poreuses, des murs végétalisés ou des maisons : recouvertes d'enduit, elles deviennent aussi ignifuges et résistantes aux UV. Peter Lewis espère exporter sa chaîne de production, si légère qu'elle tient dans des containers : des tests se déroulent déjà à Hawaï à base de déchets récupérés dans l'océan. **F.G.**

SONOMOTORS - ROGERS PARTNERS - BYFUSION





ASTURIES (ESPAGNE)

Un réseau de détecteurs de feux de forêt à monter soi-même

Pour repérer au plus tôt les incendies de forêt et protéger les habitations avoisinantes, l'assureur Generali a imaginé des nichoirs à oiseaux un peu spéciaux. Alimentés par un mini-panneau solaire, ils abritent un détecteur qui, en cas de fumée, alerte les pompiers en envoyant sa position GPS par SMS. Un système qui permet de gagner un temps précieux. Quatre de ces nichoirs sont actuellement testés dans une forêt du nord de l'Espagne, une région particulièrement touchée par les incendies ces dernières années.

L'assureur ne souhaite pas commercialiser son invention, mais la partager sous forme de DIY (Do It Yourself) pour la rendre accessible à tous. **L.B.**

AMSTERDAM (PAYS-BAS)

Début des tests pour les bateaux sans pilote

Près de 60 % de la population et 80 % de l'économie mondiale se situent le long de côtes et de deltas. Le MIT et deux universités hollandaises ont donc eu l'idée de créer Roboat, un programme de développement de bateaux autonomes. Le premier prototype devrait voir le jour en 2017 à Amsterdam. Ces robots transporteront des marchandises et des personnes, et pourront s'assembler pour former des ponts temporaires ou des transports collectifs. Ils pourraient aussi collecter dans les égouts des données comme celles relatives à l'état sanitaire d'une ville. **S.F.**

ALLEMAGNE

Un concept de **moto antichute** est à l'étude

BMW a dévoilé le 11 octobre dernier le concept futuriste de la Motorrad Next 100, préfigurant les caractéristiques de la moto à l'ère connectée pour 2030-2050. Fini les chutes : elle se conduira même sans casque ! "Auto-stabilisé", ce concept ajustera de lui-même son équilibre pour pallier les défaillances du pilote... et tenir debout tout seul, même à l'arrêt. Les échanges d'informations entre l'engin et son pilote passeront essentiellement par des lunettes de réalité augmentée fournies avec la moto, qui projeteront dans le champ de vision du conducteur la trajectoire optimale à adopter dans les courbes. Enfin, cette moto au design rétro-futuriste, encore au stade du concept, sera évidemment zéro émission, même si le constructeur ne fournit, à ce stade, aucun détail sur son futur mode de propulsion. **H.L.**



Rendez-vous en...
2045

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PERMETTRA DE SAUVEGARDER NOTRE PERSONNALITÉ APRÈS NOTRE MORT

Back from the dead: littéralement "revenu d'entre les morts". Si cela pourrait parfaitement être le titre d'un film de série Z, il s'agit en fait ici du rêve, un peu fou, que promet de réaliser Josh Bocanegra, un jeune entrepreneur basé à Los Angeles, avec son projet Humai. Il envisage rien moins que d'utiliser intelligence artificielle et nanotechnologies pour stocker la personnalité de chaque individu de leur vivant : "Façon de parler, schémas comportementaux, processus de pensée, fonctionnement du corps..." Des données codées puis implantées après la mort dans un corps artificiel contrôlé "avec vos pensées, en mesurant vos ondes cérébrales", puisqu'au moment du décès, le cerveau serait maintenu en vie et implanté dans votre clone robotique. Mieux, les nanotechnologies pourraient permettre de réparer, voire améliorer, les cellules cérébrales. Bien sûr, il y a un léger hic : certaines des technologies évoquées n'existent pas encore et les défis à relever sont immenses. Patience, patience... il suffira d'attendre 2045, date limite que s'est fixée Josh Bocanegra, pour savoir si votre personnalité deviendra immortelle ou si tout cela n'était qu'un énième délire transhumaniste. **E.T.-A.**



MUNICH (ALLEMAGNE)

L'avion électrique personnel à décollage vertical est en bonne voie

Parmi les nombreux projets d'engin volant personnel à l'étude, celui de l'allemand Lilium Aviation est l'un des plus prometteurs. *"Nous voulons développer un avion du quotidien"*, explique son président : un biplace capable de voler à 3 km d'altitude. La trentaine de petites turbines électriques pivotantes du Lilium Jet lui permettra de combiner les avantages d'un hélicoptère et d'un avion. Il pourra atterrir et décoller verticalement de manière autonome grâce à un ordinateur de bord. Puis, en vol, faire pivoter ses moteurs afin de propulser l'appareil comme un avion (jusqu'à 400 km/h en pointe). Son autonomie annoncée est de 500 km ; il se rechargera sur une prise de secteur et, pour plus de sécurité, sera équipé de batteries et de moteurs redondants. Aucune fourchette de prix n'a été annoncée, mais ses créateurs affirment qu'il devrait être *"bien moins élevé qu'un avion de taille similaire"*. Son poids à charge maximum tournera autour de 600 kg. Le Lilium Jet devrait pouvoir être piloté avec un simple permis pour avions légers. Premier test avec une personne à bord en 2017. Commercialisation prévue en 2018. **E.T.-A.**

LILIUM

LA SCIENCE & LA VIE

106

Explosions de portables

Les batteries lithium-ion sont-elles dangereuses ?



118

Technofolies

Ce VTT électrique roule absolument partout

124

Questions/Réponses

Est-il vrai qu'un sac plastique ne se dégrade qu'au bout de 500 ans ?



**Science
& société**

106

Explosions de portables

Les batteries lithium-ion sont-elles dangereuses ?

Séries TV, films, livres...

Les "spoilers" ne gâchent rien

Accord Canada-Europe

OGM et bœuf aux hormones bientôt dans nos assiettes ?

En France en 2070

10 millions de retraités en plus

**Science
& vie pratique**

114

Bon à savoir

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

Technofolies

Un VTT électrique qui roule absolument partout; le joystick pour pieds; une vigie pour consommer moins d'énergie; enfin un lave-linge vraiment silencieux; des lunettes d'entraînement interactives...

**Science
& culture**

120

Questions/Réponses

Est-il vrai qu'un sac plastique ne se dégrade qu'au bout de 500 ans ?
Le pouvoir d'un aimant s'épuise-t-il avec le temps ?...

A voir / A lire

Ouverture du fac-similé Lascaux 4

Il y a... 50 ans

Le traité qui promettait de ne pas militariser l'espace

SHUTTERSTOCK / POPROTSKY ALEXEY -
D.R. - SHUTTERSTOCK / PAVEL KUBARKOV

Explosions
de portables

Les batteries lithium-ion sont-elles dangereuses ?

A la fin de l'été dernier, les dizaines de cas de surchauffe, voire d'explosion, du Galaxy Note 7 de Samsung ont fait grand bruit. Inhabituelle par son ampleur, cette catastrophe est pourtant loin d'être inédite dans le vaste monde des appareils électroniques. Ordinateurs portables, e-cigarettes, voitures électriques et même... avions qui prennent feu (lire l'encadré p. 108): la liste a de quoi inquiéter. Pour chaque accident, un même

composant est pointé du doigt: la batterie. Or, toutes fonctionnent avec la même technologie, dite "lithium-ion".

Commercialisées dès 1991, ces batteries sont aujourd'hui omniprésentes dans les objets de notre vie quotidienne. Les 2 milliards de téléphones mobiles, les 207 millions de tablettes et les 165 millions d'ordinateurs portables écoulés dans le monde au cours de la seule année 2015 seraient incapables de fonctionner sans elles. *"Cette technologie a marqué une révolution dans le monde de l'électronique portable, analyse Renaud Bouchet, professeur d'électrochimie à l'Institut polytechnique de Grenoble. Actuellement, si l'on souhaitait stocker la même quantité d'énergie avec une batterie nickel-hydrure métallique, par exemple, celle-ci devrait être deux à trois*

fois plus lourde et plus volumineuse!" Logique, donc, que cette technologie ait intéressé les industriels, qui ont misé sur elle pour développer la plupart de nos appareils portables.

UN PRINCIPE TRÈS SIMPLE

D'autant que le fonctionnement d'une batterie lithium-ion est très simple, beaucoup plus que celui d'une batterie au plomb, par exemple. Il repose sur trois éléments: une électrode positive (cathode), une autre négative (anode), et une couche liquide électronique

entre les deux (électrolyte). Lors de la décharge, des ions lithium présents dans l'anode migrent vers la cathode, ce qui pousse l'anode à libérer des électrons, et délivre donc un courant électrique. Lors de la charge, c'est le contraire: lorsqu'on apporte un courant à la batterie, l'anode regagne des électrons, ce qui attire à elle les ions lithium de la cathode.

Qui plus est, *"cette technologie ne présente aucun danger réel pour la sécurité, et sa chimie est bien maîtrisée,* assure Jean-Marie

LE RAPPEL DES FAITS

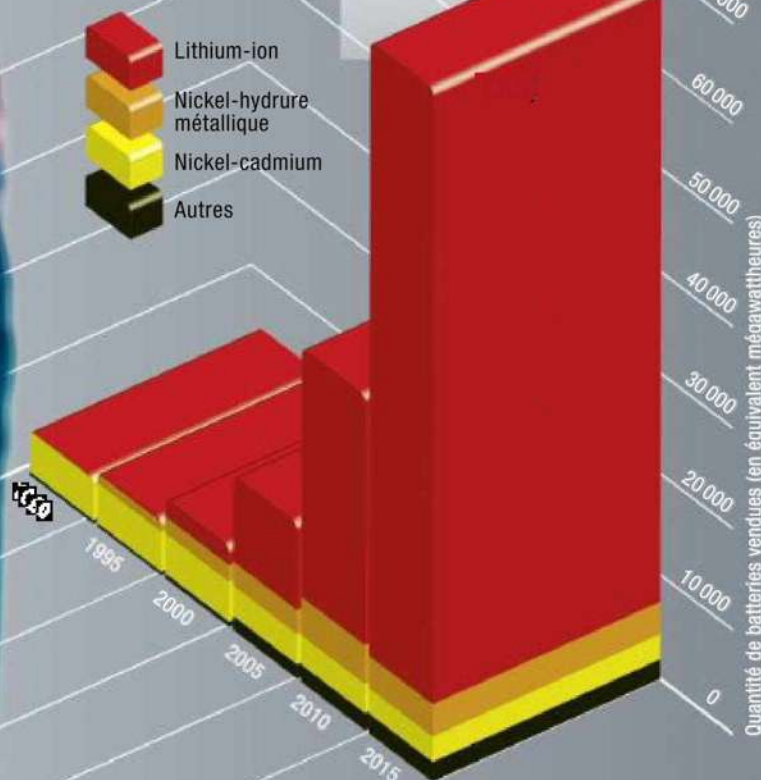
Après que plusieurs **dizaines de smartphones Galaxy Note 7** ont pris feu à la fin de l'été dernier, Samsung a dû **rappeler 2,5 millions d'appareils**. Si l'enquête n'a pas encore clairement établi la cause du problème, les batteries sont les principales suspectes.

2 milliards

C'est le nombre de smartphones équipés d'une batterie lithium-ion vendus en 2015.

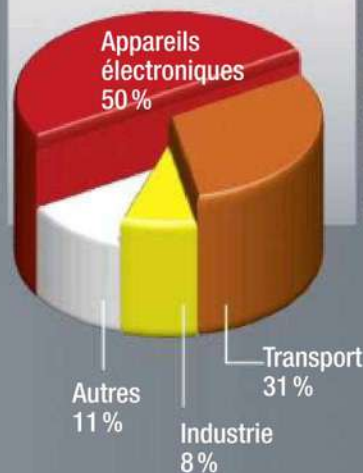
Plébiscitées par les industriels

Depuis leur commercialisation au début des années 1990, les batteries lithium-ion ont connu une énorme croissance. Elles équipent aujourd'hui la majeure partie de nos appareils portables.



La moitié de ces batteries alimente nos appareils électroniques

L'autre moitié (soit l'équivalent de 30 000 MWh) est utilisée pour des véhicules électriques, des dispositifs médicaux, etc.



Tarascon, spécialiste de la chimie du solide au Collège de France. *La surchauffe d'une telle batterie ne peut avoir que deux origines: soit sa forme empêche l'évacuation de la chaleur durant la charge; soit les deux électrodes se retrouvent en contact, ce qui crée un court-circuit et provoque un emballement thermique.* L'électrolyte, qui sert à isoler les deux électrodes, étant en effet la plupart du temps hautement inflammable, il faut donc l'éloigner de toute chaleur excessive.

Est-il possible de repérer les signes avant-coureurs d'une surchauffe? Le gonflement d'une batterie peut, dans certains cas, annoncer un risque d'inflammation ou d'explosion, mais pas toujours. C'est en tout cas le signe qu'il y a un problème

avec la batterie, et qu'il vaut mieux éviter de l'utiliser.

A l'heure actuelle, n'importe quelle entreprise est toutefois capable de concevoir une batterie sécurisée en suivant deux principes simples: prendre en compte l'échauffement lors

de la charge, et incorporer un séparateur (matière plastique qui enrobe l'électrolyte) suffisamment épais pour empêcher tout contact entre les électrodes.

Alors, si ces consignes de sécurité sont si faciles à respecter, pourquoi certains



JEAN-MARIE TARASCON

Spécialiste de la chimie du solide au Collège de France

Les batteries lithium-ion ne présentent aucun danger réel pour la sécurité, et leur chimie est bien maîtrisée

C'est la course à la performance qui engendre les accidents

En cherchant à améliorer l'autonomie de leurs batteries, les industriels favorisent la formation de petits dépôts métalliques sur l'électrode négative : des dendrites, qui peuvent mener au court-circuit... voire à la combustion (ci-dessous, à droite).



→ appareils prennent-ils soudainement feu ? Pour les chercheurs que nous avons interrogés, la raison est très simple : dans leur course à la performance, certains industriels font le choix de rogner sur la sécurité. *“Pour l’instant, l’unique moyen d’améliorer l’autonomie d’une batterie est d’augmenter l’épaisseur des électrodes, tout en diminuant celle du séparateur afin de garder un volume constant”,* atteste Renaud Bouchet. Et cela pose plusieurs problèmes.

D’abord, en réduisant l’épaisseur du séparateur – parfois de moitié ! –, les fabricants augmentent la probabilité d’un défaut au cœur de celui-ci. Dans certains cas, cela peut mener au contact entre les électrodes, et donc au court-circuit.

Autre problème : *“Durant la charge, des anomalies*

peuvent se former au niveau de l’anode, expose Charles Delacourt, du Laboratoire de réactivité et de chimie des solides d’Amiens. Les ions lithium ne s’insèrent pas correctement dans l’électrode négative et forment des petits dépôts métalliques, appelés dendrites.” Ces dépôts aussi peuvent être à l’origine d’un court-circuit, en créant des sortes de ponts conducteurs entre les deux électrodes. D’où l’utilité, encore une fois, d’un séparateur assez épais !

Qui plus est, l’apparition de ces anomalies est beaucoup plus fréquente quand on augmente l’intensité du courant lors de la charge. Or, une batterie conçue avec des électrodes plus épaisses a besoin d’un courant électrique plus élevé. Le risque de formation des dépôts métalliques est donc plus grand.

Idem lorsque les fabricants tentent de réduire le temps de charge de la batterie : le seul moyen d’y parvenir est d’augmenter un peu plus l’intensité du courant électrique délivré lors de la charge, et donc de faire grimper le risque de court-circuit causé par la formation de dendrites.

ENCORE IRREMPLAÇABLES

En résumé, c’est donc en voulant concevoir des batteries toujours plus performantes que les entreprises poussent la technologie lithium-ion dans ses retranschements et favorisent les accidents, à l’image du dysfonctionnement du Galaxy

Note 7 de Samsung, pour lequel la cause exacte n’a toutefois pas encore été établie.

Peut-on tout de même espérer disposer de batteries plus puissantes... sans pour autant qu’elles nous explosent au visage ou dans la poche ? Quelques équipes, notamment au Laboratoire d’innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux, à Grenoble, ou à l’université de Waterloo, au Canada, tentent de mettre au point des batteries basées sur une technologie radicalement différente.

Parmi les pistes envisagées, le sodium-ion (qui fait transiter des ions sodium à la place d’ions lithium), ou le lithium-soufre (qui utilise de nouveaux matériaux pour les

Des incendies de batteries en série

En 2006, Dell rappelait 4 millions de batteries d’ordinateur portable à la suite de l’incendie spontané de six modèles aux États-Unis. En 2013, plusieurs compagnies aériennes ont dû stopper momentanément tous les vols du Boeing 787 Dreamliner après que les batteries de cinq appareils ont pris feu dans des circonstances diverses. Plus récemment, deux utilisateurs de cigarettes électroniques MXJO ont signalé, à Toulouse, l’explosion brutale de leur appareil, tandis que deux voitures électriques Tesla ont pris feu : l’une en Norvège, durant la recharge de la batterie, l’autre près de Bayonne, pendant un test.

électrodes), sont les plus prometteuses. Mais pour Jean-Marie Tarascon, le lithium-ion actuel est encore loin d'avoir trouvé un remplaçant. *"Je pense que d'ici cinquante ans, cette technologie dominera toujours le marché des appareils portables"*, prédit le spécialiste. D'ici là, elle aura probablement subi quelques changements visant à optimiser ses performances.

"Nous travaillons sur plusieurs moyens d'améliorer les batteries lithium-ion actuelles, indique Charles Delacourt. Le plus simple est d'augmenter la tension de la cathode en utilisant des matériaux à haut potentiel; nous sommes en train de les développer. L'autre est de jouer sur la quantité d'électricité que peuvent porter les électrodes."

Pour cela, chercheurs et industriels étudient sans relâche de nouvelles chimies, qui permettront peut-être un jour d'augmenter l'énergie stockée par les batteries tout en garantissant leur sécurité. Mais comme il y a toujours un délai de cinq à dix ans entre la découverte d'une nouvelle technologie et sa commercialisation, entreprises et consommateurs vont devoir prendre leur mal en patience et se contenter des batteries actuelles, dont l'autonomie est loin d'être le point fort...

Simon Devos

Pour aller plus loin :
www.science-et-vie.com

Séries TV, films, livres...

Révéler la fin d'une histoire ne gâche rien

LE RAPPEL DES FAITS

C'est dans la série *Doctor Who*, diffusée dès 1963 sur la BBC, que River Song a popularisé le terme **"spoilers"**, pour éviter de dévoiler un avenir connu d'elle seule. **Aujourd'hui très utilisé pour les séries TV**, le terme signifie la révélation de la fin d'une histoire, ou d'un rebondissement important.



NICHOLAS
CHRISTENFELD

Professeur de psychologie
à l'université de Californie

Science & Vie: "Spoiler" est pour beaucoup synonyme de gâchis. Pourquoi?

Nicholas Christenfeld: Parce qu'au premier abord, on se dit que l'intérêt d'une histoire réside dans son intrigue. Pourtant, nous apprécions les pièces de Shakespeare alors que la plupart annoncent la fin dès le début! Et nous aimons tous revoir nos films préférés. *Usual Suspects* (de Bryan Singer, 1995), par exemple, est basé sur un retournement final imprévisible. Il est radicalement différent lorsqu'on l'a déjà vu, et pourtant la plupart des gens l'apprécient de plus en plus au fur et à mesure des visionnages.

S & V: Le "spoiler" n'entraverait donc pas le plaisir de la découverte?

N.C.: Non! Il l'accroît, même. Avec mon équipe, nous avons demandé à 800 volontaires de lire des histoires, dont on avait raconté la fin à certains, et pas à d'autres. L'expérience

procurait plus de plaisir lorsque l'issue de l'histoire était révélée avant, quel que soit le registre littéraire. Les grands classiques ne reposent d'ailleurs pas sur l'intrigue, qui reste au service de l'art. Connaître la chute permet de profiter pleinement de la valeur artistique d'une œuvre, plutôt que de la survoler en essayant sans cesse d'imaginer le dénouement. L'intrigue est en quelque sorte le cintre sur lequel le vêtement est suspendu: nécessaire, mais pas source de valeur.

S & V: Cela se vérifie-t-il dans d'autres domaines?

N.C.: Il serait intéressant de tester ce phénomène dans le cadre du sport. Profiterions-nous plus des J.O. si nous savions à l'avance quel perchiste allait franchir la barre la plus haute? En considérant les valeurs athlétiques et esthétiques du sport, je pense que le résultat pourrait être similaire. Seule exception à ce principe: les blagues, qui reposent entièrement sur la surprise de la chute.

Propos recueillis
par Alexandra Pihen



Accord Canada-Europe

OGM et bœuf aux hormones bientôt dans nos assiettes ?

Grâce à l'accord économique et commercial qu'ils ont signé à la fin de l'année dernière, l'Union européenne (UE) et le Canada espèrent augmenter de 20 % la valeur des échanges commerciaux entre eux, soit un gain d'environ 12 milliards d'euros annuels. Nul ne doute que le commerce y trouvera en effet son compte. Mais pour la santé des consommateurs, c'est moins clair. Que deviendront les multiples règlements sanitaires

qui interdisent aujourd'hui à certains OGM, au bœuf élevé aux hormones de croissance ou au porc boosté à la ractopamine de finir dans nos assiettes ?

Le traité se veut réassurant : il n'est nulle part question, dans ses quelque 500 pages, d'obliger l'une des parties à remettre en cause ses principes sanitaires. *"La dernière version du CETA tient compte de ces préoccupations et assure explicitement que les gouvernements gardent le droit d'établir leurs normes*, observe l'Allemand Kurt Hübner, professeur de sciences politiques à l'université de Colombie-Britannique, spécialiste des relations économiques entre le Canada et l'UE. *Cela semble être une affirmation claire, sur laquelle les gouvernements peuvent s'appuyer pour*

éviter d'abaisser les normes et les garanties."

Le consommateur européen n'aurait donc pas lieu de s'inquiéter... Sauf que dans ce même traité (article 5.2), l'UE et le Canada s'engagent à *"faire en sorte que [leurs] mesures sanitaires et phytosanitaires ne créent pas d'obstacles injustifiés au commerce"*. Or, le texte se garde bien de définir ce qu'est un obstacle *"injustifié"*. Il n'est pas inutile de rappeler qu'en 1998, l'Organisation mondiale du commerce (OMC) a considéré comme injustifié le refus de l'UE d'importer du bœuf nord-américain élevé aux hormones de croissance. D'autant que

le CETA reconnaît, dans ce même article 5.2, l'accord sur les mesures sanitaires et phytosanitaires sur la base duquel l'UE a justement été condamnée par l'OMC.

MOINS DE CONTRAINTES ?

En signant le CETA, l'UE et le Canada s'engagent par ailleurs à faire converger leurs normes et procédures de qualification au moyen, notamment, d'un comité de régulation. Selon l'Association internationale de techniciens, experts et chercheurs, il y a lieu de craindre que ce comité serve de chambre d'enregistrement des lobbies industriels et financiers, invités à y expliquer leurs difficultés et

LE RAPPEL DES FAITS

Signé le **30 octobre 2016**, le **CETA** (Comprehensive Economic and Trade Agreement) doit **supprimer à terme 99 % des droits de douane** entre l'Union européenne et le Canada.



8 milliards

... d'euros : c'est ce que coûterait un séisme en France uniquement en termes de dégâts sur les habitations et les commerces (BRGM/Caisse centrale de réassurance). Alpes, Pyrénées, Alsace et Antilles sont les régions les plus exposées.

13,7 millions

... de Français ont été victimes de cybercriminalité (vol de mot de passe, fraude à la carte bancaire...) en 2016, d'après un rapport Norton. N'ouvrez pas les pièces jointes de mails suspects, variez vos mots de passe et ne les partagez pas.



pas interdits, en tant que tels, au niveau européen, s'ils ont démontré leur absence de risque. "Or, les méthodes permettant d'évaluer les risques liés aux OGM diffèrent de par et d'autre", rappelle Kurt Hübner, pour qui, par assouplissement progressif des procédures, "le CETA pourrait bien ouvrir la porte à un futur commerce d'OGM". **Emmanuel Monnier**

à y proposer leurs solutions sans véritable contrôle démocratique. Une crainte que partage Kurt Hübner : "Ce comité de régulation est une institution dangereuse, c'est pourquoi il est dit en annexe qu'il ne peut pas prendre de décisions engageant les parties. La société civile devra surveiller prudemment cette nouvelle institution", prévient-il.

Rien ne garantit en effet que la convergence des normes se fera par le haut : l'accord ne sera, au contraire, économiquement profitable que s'il aboutit à lever des contraintes qui pèsent sur les industriels, et non à en rajouter. La pression sera donc forte pour les assouplir. Notamment dans le cas des OGM, dont le Canada est un gros producteur. D'autant qu'ils ne sont



KURT HÜBNER

Professeur de sciences politiques à l'université de Colombie-Britannique

Ce traité pourrait finir par ouvrir la porte au commerce d'OGM



Molécules anti-Alzheimer : l'espoir fait surtout vivre les laboratoires

Aberrant. Voilà le mot qui vient à l'esprit lorsque l'on se penche sur l'imbroglio autour des quatre médicaments (Aricept, Ebixa, Exelon et Reminy) prescrits en France à plus de 30 000 malades d'Alzheimer. Leur utilité est remise en cause depuis des années par de nombreux médecins : trop d'effets indésirables (troubles gastriques, cardiovasculaires, neuropsychiatriques...) et aucun bénéfice pour la santé. Après bien des atermoiements, la Haute Autorité de santé (HAS) a publié un rapport cinglant en octobre dernier : leur efficacité y est jugée "au mieux, modeste" alors que "les données accumulées [...] confirment le risque de survenue d'effets indésirables potentiellement graves". La HAS finit par reconnaître qu'ils n'ont "plus leur place dans la stratégie thérapeutique" et qu'ils ne doivent donc plus être remboursés.

L'histoire aurait dû s'arrêter là... mais coup de théâtre ! Marisol Touraine, la ministre de la Santé, annonce que leur remboursement sera maintenu. Pourquoi ? Parce que quelques neurologues et associations de patients l'ont convaincue que ces médicaments permettent de maintenir "un lien thérapeutique avec les malades". Autrement dit, il faudrait prescrire des traitements inutiles et dangereux sous prétexte qu'ils donnent de l'espoir aux patients et les poussent à consulter ?

Cerise sur le gâteau, la collectivité va continuer à déboursier pour leur remboursement près de 180 millions d'euros par an, alors que cet argent manque pour renforcer l'accompagnement des malades (le fameux lien thérapeutique) et de leurs aidants... Aberrant, on vous dit ! **Caroline Tourbe**

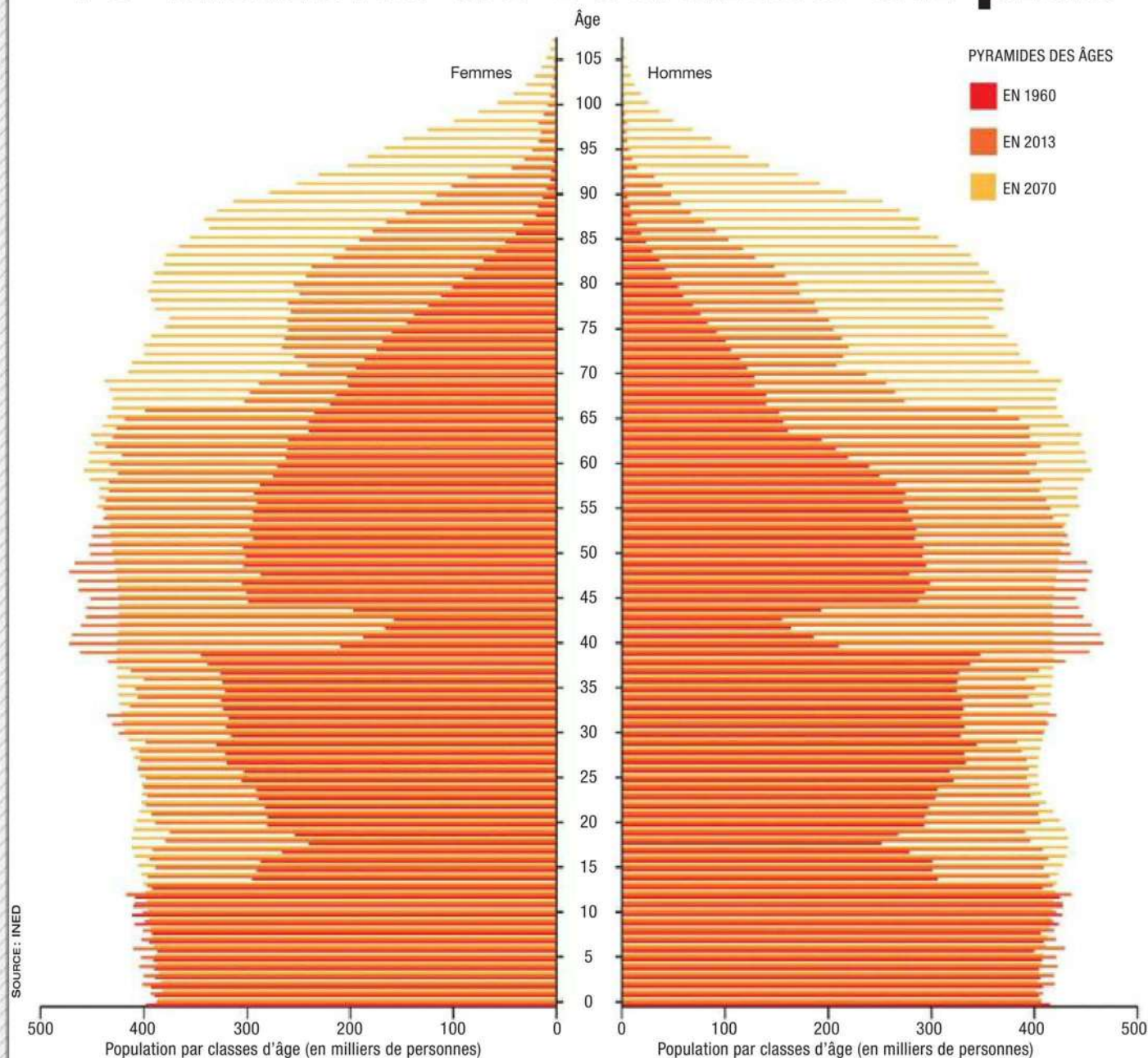
127



C'est le nombre de robots multifonctionnels pour 10 000 employés dans l'industrie française, selon l'International Federation of Robotics. Soit beaucoup moins qu'en Corée du Sud (531 pour 10 000 employés), mais plus qu'au Royaume-Uni (71).

Démographie

En 2070, la France comptera 10 millions de retraités en plus



L'accroissement de la population ne concernera que les âges élevés

D'après l'Ined, si la fécondité (1,95 enfant/femme), et l'immigration (70 000 personnes par an) restent stables, en 2070, la France comptera 76,5 millions de personnes, soit 10,7 millions de plus qu'en 2013, dont la quasi-totalité (10,4 millions) aura plus de 65 ans.

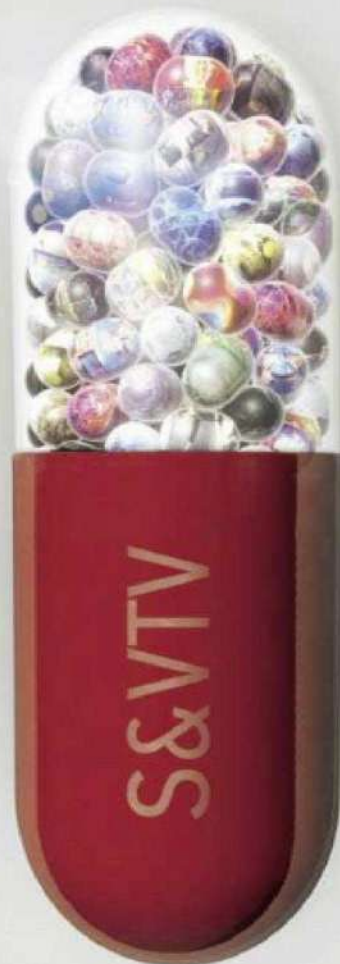
21,3% 28,7%

C'est ce que représenteront les moins de 19 ans en 2070 (ils étaient 24,6 % en 2013).

C'est le pourcentage des personnes de plus de 65 ans en 2070, contre 17,5 % en 2013.

B.BELLANGER

Votre dose quotidienne de savoir



SCIENCE&VIE TV

la chaîne pour comprendre



DISPONIBLE SUR :

CANAL

CANAL 90



CANAL 129

free

CANAL 297

SFR

CANAL 206

numericable

CANAL 146



CANAL 212



CANAL 35

www.science-et-vie.tv

@ScienceetvieTV



L'ÉCRAN SALE DU PORTABLE TRAHIT NOS HABITUDES

Toutes les molécules qui étaient restées collées sur l'écran du mobile de 39 volontaires ont été analysées par des chercheurs américains. Ainsi, ils ont pu dire si le propriétaire était un homme ou une femme, connaître sa boisson favorite et savoir s'il prenait certains médicaments. "PNAS", oct. 2016



POMME, LAITUE ET MENTHE ANNULENT L'HALEINE D'AIL

Une chercheuse de l'université de l'Ohio a testé les effets de divers aliments sur l'haleine d'ail : mâcher une pomme, de la laitue ou de la menthe est plus efficace que de les boire en jus ou décoction, ou de les cuire. Le thé vert n'a aucun effet. "J. Food Sci.", sept. 2016

LA KINÉ N'EST PAS ADAPTÉE À L'ENTORSE

Un essai clinique mené sur 500 patients canadiens souffrant d'une entorse à la cheville, dont la moitié ont suivi sept séances de 30 minutes de kinésithérapie, suggère que ces dernières sont... inutiles : la récupération, durant les six mois suivants, était la même avec ou sans kiné. "BMJ", nov. 2016

L'USAGE DE CANNABIS TRIPLE LE RISQUE DE PSYCHOSE

La consommation de cannabis augmente bien le risque d'épisode psychotique de type schizophrénie. C'est ce que montrent des chercheurs norvégiens qui ont interrogé 2793 paires de vrais ou faux jumeaux de 28 ans en moyenne. Sachant que le risque d'essayer le cannabis est corrélé à des facteurs génétiques et environnementaux, tout comme les troubles psychotiques, les auteurs tenaient à évaluer l'association entre cannabis et psychose chez des individus ainsi apparentés. Or, au sein d'une même paire de jumeaux, celui qui fume s'expose à un risque de schizophrénie multiplié par 3,5 par rapport à celui qui ne fume pas. "Schizophrenia Bulletin", juil. 2016

NAÎTRE À TERME EST BON POUR LA COGNITION

Une naissance trop précoce ou trop tardive est associée à de moins bonnes performances scolaires ! C'est ce qui ressort d'une étude menée sur plus de 2 millions de jeunes Suédois. Après avoir comparé le moment de la naissance et leurs évaluations à 16 ans, les auteurs ont constaté que les enfants nés très prématurément, après 24 semaines de grossesse, avaient des résultats en moyenne 10 % inférieurs à ceux nés à terme ; mais que ceux nés très tardivement, après 45 semaines, avaient aussi des résultats moins bons, d'environ 4 %. Ces différences s'atténuent mais persistent, en comparant avec les frères et sœurs, ce qui suggère qu'indépendamment de l'environnement social, le stade de développement fœtal a un impact sur les capacités cognitives. Il fait bon naître à 40 semaines ! "Int. Journal of Epidemiol.", nov. 2016



SHUTTERSTOCK - C.80



S'ENFERRER DANS LE MENSonge ANESTHÉSIE LE CERVEAU

Plus on ment, plus mentir devient facile. En cause, une sorte d'anesthésie progressive du cerveau, où les émotions négatives suscitées par le fait de mentir sont petit à petit inhibées, conduisant à le faire toujours plus. C'est ce qui émerge d'un test mené sur 80 personnes qui devaient coopérer avec un volontaire afin d'estimer la valeur d'un bocal rempli de pièces de monnaie. Comme leur rémunération augmentait si leur partenaire se trompait dans l'estimation, les sujets avaient tendance à leur mentir. Et les chercheurs ont remarqué, après 60 essais, que cette tendance à tromper l'autre se renforçait au cours du temps. L'imagerie cérébrale a montré que cela allait de pair avec une inhibition progressive de l'amygdale, siège clé des émotions négatives (anxiété...). Ce n'est pas une raison pour se dédouaner! "Nature Neuro.", oct. 2016

À CUISSON PLUS LONGUE, HARICOT MOINS BÉNÉFIQUE

Blancs, rouges ou verts, les haricots secs sont bons pour la santé... surtout si leur cuisson est courte. Car ils conservent ainsi fer, zinc et protéines. Mieux vaut donc ne pas les garder trop longtemps dans le placard. "J. Agric. Food Chem.", oct. 2016

ÊTRE HYPOCONDRIQUE REND BIEN MALADE

Des chercheurs norvégiens ont suivi, pendant dix ans, l'état de santé de 7052 adultes initialement bien portants. Ceux qui s'angoissaient à l'idée de tomber malades avaient un risque 73% plus élevé de développer un trouble cardiaque. "BMJ Open", nov. 2016

LES DIABÉTIQUES DEVRAIENT MARCHER APRÈS LES REPAS

Des chercheurs néo-zélandais ont montré que si 30 minutes de marche quotidiennes permettent de limiter l'élévation du taux de sucre dans le sang, cet effet est amplifié si la marche s'effectue en 3 fois 10 minutes, juste après les repas. "Diabetologia", oct. 2016

MANGER DES ŒUFS PROTÉGÉRAIT DES AVC

La consommation d'œufs n'est pas dangereuse pour la santé, bien au contraire! Une synthèse américaine de multiples études comparant des régimes riches (1 par jour) et pauvres (moins de 2 par semaine) en œufs confirme ce que nombre de scientifiques soutenaient déjà. D'une part, il n'existe aucun lien entre les œufs et le risque de maladies cardio-vasculaires en général. D'autre part, manger un œuf par jour réduit le risque d'accident vasculaire cérébral de 12%! Ainsi, l'ingestion de cholestérol est sans danger au regard des bénéfices fournis par les autres nutriments: protéines, acides gras essentiels, antioxydants, vitamines, minéraux... "J. Am. Coll. Nutr.", oct. 2016



Une vigie pour consommer moins d'énergie

Le Luminion de la start-up française Ubiant peut vous informer en temps réel de la consommation énergétique (gaz, électricité) de votre logement. Pour cela, il s'illumine en vert, bleu ou rose-rouge selon que vous dépassez ou non l'objectif que vous vous êtes fixé (100 € par mois, par exemple). En cas de surconsommation, vous pouvez ainsi réagir. Toute l'intelligence du système se situe dans le cloud d'Ubiant. Le Luminion collecte les données grâce à un module radio branché sur le compteur électrique Linky (ou un compteur

électronique classique) et les transmet via un second module radio à votre box. A tout moment, vous pouvez consulter votre consommation sur votre smartphone et être alerté en cas de pic inhabituel. L'économie réalisée serait, selon le fabricant, de 25 à 50 %. Il est aussi possible de coupler au système des ampoules, thermostat... capables de communiquer par radio, et de les programmer pour qu'ils appliquent toutes les bonnes pratiques telles qu'éteindre la lumière... **L.B.**

Prix : env. 200 € (avec modules radio)
Rens. : www.ubiant.com



^ Connecté à votre compteur et à internet, le Luminion permet de surveiller votre consommation sur votre smartphone.





Le joystick pour pieds

Se déplacer avec les mains n'est pas vraiment naturel. Et pourtant, c'est ce que nous imposent les ordinateurs, notamment avec l'émergence des univers 3D. Une start-up marseillaise y remédie grâce au 3D Rudder, un plateau pour contrôler ses déplacements à l'écran avec les pieds. Tranquillement assis, les gamers ou designers 3D n'ont qu'à incliner ce plateau pour visiter un monde virtuel ou contrôler une caméra 3D. Selon ses concepteurs, gérer les déplacements avec la

balance corporelle serait moins fatigant qu'avec les mains. Il est également possible d'attribuer les fonctions d'une souris au plateau. Le disque devient alors une alternative aux pédaliers ou aux systèmes à détection optique pour les utilisateurs souffrant de handicap. Le 3D Rudder ne fonctionne aujourd'hui que sur PC, mais des versions compatibles pour Mac et consoles de jeux sont en cours de développement. **A.V.**

Prix : env. 180 €
Rens. : www.3drudder.com

LE COIN DES PROTOTYPES

Des runnings qui veillent à l'équilibre du corps

Voici des baskets qui se déforment et, surtout, se réforment toutes seules ! L'intérêt ? Elles détectent la fatigue du coureur qui sollicite un côté plus que l'autre, et modifient en temps réel l'amorti de la semelle pour améliorer l'équilibre du corps. "Des stimulateurs électriques situés en cinq points peuvent diffuser un courant pour faire varier la densité de la semelle en polymère lorsque les capteurs détectent une foulée instable", explique l'entreprise française Digitsole qui les a imaginées. Les premiers prototypes de ces Active Cushioning Run Profiler intègrent un accéléromètre dont les données sont croisées avec des profils de course pour informer le coureur sur son activité (vitesse, distance, calories brûlées, posture, fatigue...) via une application vocale. Chaque chaussure pèse 290 g, batterie incluse, et se recharge à toutes les six courses en moyenne. **G.S.**

Rens. : www.digitsole.com/smart-shoe



Enfin un lave-linge vraiment silencieux

Le bruit émis par ce modèle ES-GFD814QI3 de la société japonaise Sharp ne dépasse pas 39 dB durant les phases de lavage et 58 dB pendant l'essorage (contre plus de 60 dB pour un lave-linge classique). Pour ce faire, l'appareil a été équipé d'un moteur dont une partie des frottements a été éliminée. Les tôles qui l'enveloppent sont de surcroît pourvues de stries, ce qui les rigidifie et leur évite de vibrer et de faire du bruit. A noter que l'essorage peut aussi être différé de dix heures, afin de lancer son déclenchement lorsque l'on n'est pas chez soi. Encore du bruit en moins dans les oreilles ! **S.F.**

Prix : env. 900 €. Rens. : www.sharphomeappliances.com/fr



△ Moins de frottements dans le moteur et de vibrations des tôles ont réduit le bruit.

Ce VTT élec qu'il faut absolument

Voici Tomyfat, un vélo à assistance électrique aux pneus larges (4 pouces), capable d'affronter tous les terrains: neige, sable, boue... Conçu par Tomybike, ce deux-roues offre des performances inégalées grâce à un nouveau moteur situé dans le pédalier: le Max Drive, du spécialiste chinois Bafang. *"Cette technologie offre un meilleur rendement énergétique que les moteurs situés dans le moyeu"*, explique Tom Dumoulin, le concepteur du Tomyfat. Le principe: plus on appuie fort sur les pédales, plus on a d'assistance. A la clé, un

couple (la force délivrée par le moteur) de 80 newtons-mètres (contre 70 Nm sur ce type de vélo). Autre atout du Max Drive: *"une assistance très linéaire, sans à-coups"*, poursuit Tom Dumoulin. Grâce à sa batterie 612 Wh, le Tomyfat permettra de réaliser des randonnées pouvant aller de 90 à 180 km selon le dénivelé et le niveau d'assistance.

E.T.-A.

Prix: env. 3 000 €
Rens.: www.tomybike.fr



Une photo en guise de clé de ses souvenirs

Une photo imprimée comme carte d'accès à vos souvenirs numériques, voilà l'idée de l'entreprise française TapCards. Dans l'album – 30 photos maximum – créé à partir de l'application gratuite (Android) en ligne, vous choisissez une photo qui incarne au mieux vos souvenirs correspondant à un événement particulier (vacances, fêtes...). Vous la comman-

dez pour vous ou pour vos proches. Et, à réception, il suffit d'approcher la Tapcard, dotée d'une puce électronique, d'un téléphone, d'une tablette ou d'un ordinateur compatible NFC, pour accéder, grâce à un code d'activation facultatif, à l'album correspondant stocké sur le cloud. **Pratique!**

A.P.

Prix: 7 € l'unité
Rens.: www.tapcards.fr



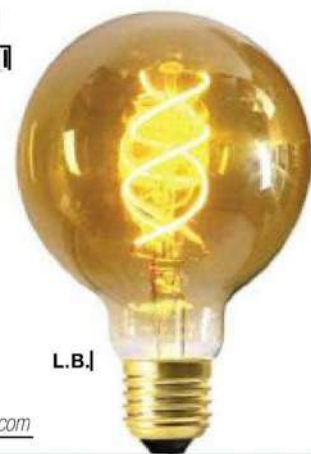
^ C'est une photo de votre album qui fait office de carte d'accès au cloud.



< Ce nouveau type de moteur, situé dans le pédalier, permet de randonner jusqu'à 180 km.

L'ampoule qui marie les LED au filament pour un design rétro

Si les LED savent déjà restituer la teinte chaude des anciennes ampoules à incandescence, elles sont loin d'être aussi jolies. Dans le meilleur des cas, elles ressemblent, à des globes blancs translucides... Pour y remédier, le fabricant français Girard Sudron a conçu un filament de nano-LED, non plus rigide comme sur certains modèles, mais souple. Il peut ainsi être torsadé à l'intérieur des ampoules en verre Twisted pour un rendu vintage. Seul regret: ces LED, certes économes en énergie (2 à 5 W), n'éclairent que faiblement (90 à 260 lumens).



L.B.

Prix: de 9,50 € à 27,50 €. Rens.: www.girard-sudron.com

Des lunettes d'entraînement interactives

Plus besoin d'un coach pour s'entraîner à vélo ou en course à pied, grâce à ces lunettes connectées. Oakley s'est en effet associé à Intel pour concevoir ces Radar Pace, qui intègrent des capteurs (accéléromètre, gyroscope...), des écouteurs, et la technologie vocale mains-libres Real Speech d'Intel. D'abord, elles annoncent le programme du jour adapté à l'utilisateur (âge, entraînements précédents...) ou à son objectif. Pendant la séance,

elles répondent à ses questions ("quelle est ma vitesse?", "combien de kilomètres Teste-t-il?") et même l'encouragent. Grâce au Bluetooth, toutes les données d'entraînement peuvent ensuite être retrouvées dans une application sur smartphone (iOS ou Android).

Prix: env. 440 €
Rens.: www.oakley.com



L.B.

^ Au lieu de discuter avec un coach, le sportif échange avec ses lunettes!

Pourquoi a-t-on une chanson dans la tête ?

Question d'Antoine Bocquier, Plabennec (29)

Si l'agaçante persistance de ces petits airs dans nos têtes n'est pas encore rigoureusement expliquée, les nombreuses recherches sur le sujet ont permis de mettre en avant deux causes principales, affirme le neuropsychologue Bernard Lechevalier, qui a travaillé sur la psychologie cognitive de la perception musicale.

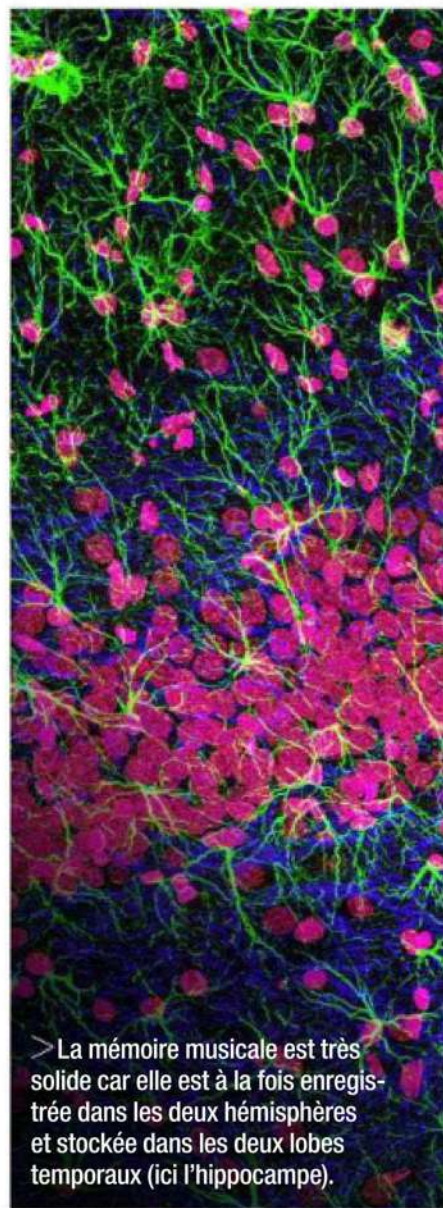
D'abord, *"notre mémoire musicale est très solide"*, explique-t-il. Alors que la mémoire verbale est seulement encodée par l'hémisphère gauche du cerveau, la musique est, elle, enregistrée par les deux hémisphères et stockée dans les deux lobes temporaux. Elle persiste donc plus longtemps. A ceci s'ajoute ensuite le

pouvoir évocateur de l'environnement : si une situation fut, par le passé, associée à une chanson par notre cerveau, la "démangeaison musicale" (appelée aussi "ver d'oreille") a de grandes chances de réapparaître dans une situation analogue.

UN AIR SIMPLE ET RÉPÉTITIF

"Un paysage, une odeur peuvent s'imposer à nous, rappelant de façon irrésistible un souvenir et, inconsciemment, être mis en relation avec une chanson pour reconstituer un souvenir plus complet", explique Francis Eustache, directeur en neuropsychologie et neuro-anatomie de la mémoire humaine à l'Inserm. Des souvenirs qui ampli-

fient encore la mémorisation de la musique. Et nous voilà à fredonner... D'autant plus facilement que la chanson est simple et répétitive, comme le conclut une étude de l'université de Londres. Après avoir analysé les airs présents dans la tête de nombreux volontaires, les chercheurs ont dressé un top 10 des chansons les plus accrocheuses : des titres comme *We are the Champions* de Queen, *Y.M.C.A.* des Village People ou *The Final Countdown* d'Europe arrivaient en tête. Rien d'étonnant à ce que les tubes de l'été, faciles à mémoriser et souvent diffusés – donc associés à de nombreuses situations – parasitent nos pensées. **FC.**



> La mémoire musicale est très solide car elle est à la fois enregistrée dans les deux hémisphères et stockée dans les deux lobes temporaux (ici l'hippocampe).

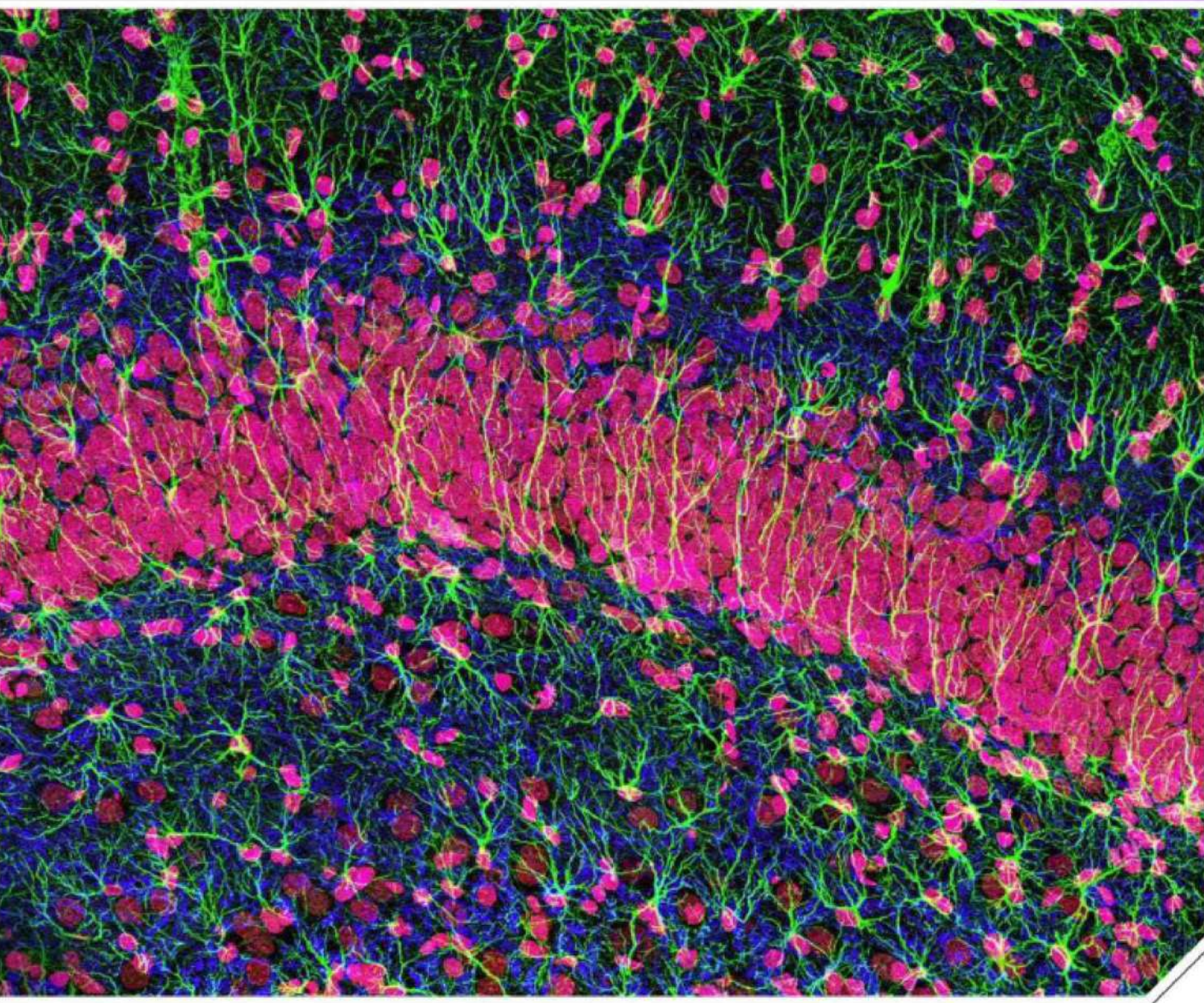
Quand un chat ronronne, ça veut dire quoi ?

Question de Romaric Gérardy, Vielsalm (Belgique)

Difficile de trancher. L'hypothèse la plus courante est tout simplement que ce bourdonnement sourd et continu, émis dès l'âge de deux jours par les chats, permet à ces animaux d'exprimer leur satisfaction. En effet, un chat ronronne essentiellement lors de moments agréables : quand on lui donne à manger, qu'on le caresse, etc. Mais le félin peut aussi émettre ce son quand il est stressé, effrayé, malade ou mourant.

D'où cette autre thèse selon laquelle le ronronnement servirait plutôt à apaiser l'animal en stimulant la libération d'hormones du bien-être. Et il existe même une troisième théorie qui postule, elle, que cette vocalisation constituée de basses fréquences (25 à 30 Hz) vise en fait à renforcer ses os, ses muscles et ses tendons. Plusieurs études ont en effet montré que ces basses fréquences ont bien ce type d'effets bénéfiques. **K.B.**



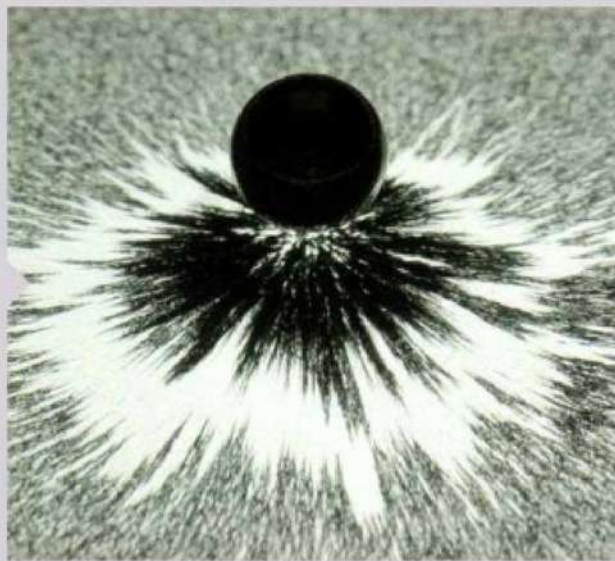


THOMAS DEERINCK, NCMIR/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS - A. DAGAN - LAWRENCE LAWRY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS

Le pouvoir d'un aimant s'épuise-t-il avec le temps ?

Question de C. Penning, Marcinelle (Belgique)

Cela dépend des aimants. L'aimantation d'un matériau résulte de l'alignement des micro-aimants portés par les atomes qui le constituent : ils s'organisent spontanément pour minimiser l'énergie. Certains, comme les aimants en néodyme-fer-bore, s'alignent de manière homogène et l'aimantation est permanente. D'autres s'alignent par zones : les zones aimantées, dont l'orientation varie, changent au fil du temps jusqu'à ce que l'aimantation globale soit nulle. Approcher un aimant puissant permettra de réaligner l'ensemble des micro-aimants, mais pour un moment seulement. **M.G.**



Comment les cellules de chenille se transforment-elles en cellules de papillon ?

Question de Gérard Villain, Internet

Elles ne se transforment pas ! Si certaines cellules musculaires de la chenille restent intactes – se désolidarisant les unes des autres pour former de nouveaux muscles chez le papillon –, toutes les autres sont détruites ! Quant aux cellules qui constitueront les organes du papillon, elles se développent spécialement lors de la mue. *“Elles sont issues de petits sacs situés sous l'épiderme de la chenille :*

les disques imaginaux”, indique Pascal Dupont, chef de projet sur les insectes au Muséum national d'histoire naturelle.

UNE MÉTAMORPHOSE TOTALE

Au premier stade larvaire, alors que la chenille sort juste de l'œuf, les disques imaginaux ne renferment que quelques cellules embryonnaires non différenciées, mais déjà prédéterminées : certaines formeront les ailes,

d'autres les yeux ou les antennes de l'insecte adulte (voir infographie). Lorsque, sous l'effet de l'hormone juvénile, la chenille grandit et se trouve à l'étroit dans son squelette externe, la première mue larvaire se déclenche. Ses cellules embryonnaires se multiplient alors sous l'effet de l'ecdysone, l'hormone de la mue. Ses disques imaginaux vont ainsi grossir au fil des mues larvaires jusqu'à ce que la fabrication d'hormone juvénile s'arrête, et que la mue nymphale voit la chenille

devenir chrysalide. *“C'est à ce stade que tous les changements s'opèrent”*, précise Pascal Dupont. Dans son cocon, la chrysalide vit un chamboulement complet : les cellules de ses disques imaginaux se différencient pour donner naissance aux organes du futur papillon. Ceux de la chenille (cœur, tube digestif...) sont détruits et fragmentés en éléments primordiaux (acides gras, aminés...) qui seront réutilisés pour fabriquer les tissus adultes. De cette métamorphose naît le papillon. **N.P.**

Quel est le secret pour rendre une encre indélébile ?

Question de Laure Ducros, Cesson-Sévigné (35)

La réponse tient en un paradoxe : une encre dite indélébile résiste au solvant... qui a permis de la solubiliser. Rappelons qu'une encre est, essentiellement, composée de pigments micrométriques solubilisés dans un liquide. Une fois l'encre déposée, le solvant s'évapore et les pigments prennent la forme d'un film solide dont l'adhérence est le fait des forces de contact, dite forces de van der Waals. Qui peuvent être rompues en passant



un chiffon imbibé du même solvant.

Mais les encres indélébiles contiennent, en plus, des additifs qui, dégagés du solvant, engendrent des réactions chimiques. Celles-ci modifient les molécules constituant l'encre jusqu'à ce que le solvant ne puisse plus les dissoudre : l'encre est rendue ineffaçable. Cela dit, *“un produit suffisamment agressif pourra toujours en venir à bout”*, précise Philippe Giguët, responsable technique chez Siegwerk, une entreprise de peintures. *En ce sens, aucune encre n'est totalement indélébile”*.

M.G.

Est-ce

Question de M. Saumet,

Certains épidémiologistes se posent la même question que vous. Ou plus exactement, ils se demandent si le surpoids et l'obésité sont toujours associés à une espérance de vie plus courte. Certes, de très nombreuses maladies (dépression, problèmes articulaires, maladies cardio-vasculaires, cancers...) touchent plus souvent les individus en surpoids. Mais ces derniers ne souffriraient pas pour autant d'un taux de mortalité plus élevé, si l'on en croit plusieurs études épidémiologiques récentes. Selon une analyse publiée en 2013,

Des cellules de papillon dorment déjà dans la chenille



forcément mauvais d'être gros ?

Montrouge (92)

un surpoids léger pourrait même être associé à un taux de mortalité diminué !

IL N'Y A PAS UN POIDS IDÉAL

Ces études font l'objet d'importantes controverses, à la hauteur de cet enjeu de santé publique. Nombre de chercheurs attribuent ainsi ces résultats à des erreurs méthodologiques. Ils pointent par exemple le fait que des individus mal nourris ou malades peuvent être comptés parmi les personnes minces, ou le fait que les personnes en surpoids bénéficient en moyenne d'un meilleur suivi médical.

Pour d'autres, ces résultats confirment une hypothèse croissante selon laquelle un poids élevé n'est pas, pour tout le monde, synonyme de risque élevé de mortalité. Cette hypothèse s'appuie notamment sur des analyses biologiques qui, chez un tiers des obèses, ne font pas apparaître les signes de trouble métabolique habituels tels qu'hypertension artérielle, diabète... Même si, chez ces individus, parfois qualifiés d'"obèses métaboliquement sains", l'absence de surrisque de maladie cardio-vasculaire, tout au long de la vie, reste à démontrer.

Par ailleurs, des études suggèrent qu'un surplus

de gras, par rapport aux normes fixées par les autorités de santé, protégerait de certaines causes de mortalité. En particulier, la graisse servirait de réserve d'énergie en cas de maladie chronique affaiblissante, car une meilleure survie des personnes en surpoids a été constatée par plusieurs études en cas d'insuffisance rénale, cardiaque, etc., mais aussi, simplement, de vieillesse. D'autres travaux indiquent également une meilleure résistance à certaines blessures, comme celles subies lors d'un accident de la route.

Quoi qu'il en soit, il est aujourd'hui largement

reconnu que le poids optimal n'est pas le même pour tous. Le rapport poids/taille idéal des femmes, des personnes âgées et des populations noires, par exemple, semble être plus élevé que celui d'hommes blancs dans la fleur de l'âge. Et le risque n'est pas le même selon la manière dont est répartie la graisse sur le corps (il est plus élevé quand elle s'accumule autour du ventre).

Le surpoids ne raccourcit donc pas toujours en lui-même l'espérance de vie... même si le fait de rester inactif et d'avoir une alimentation déséquilibrée présente, lui, des risques clairement démontrés. **E.A.**

Est-il vrai qu'un sac plastique ne se dégrade qu'au bout de 500 ans ?

Question de A. Conflant Ramambaoa, Châtenay-Malabry (92)

En fait, ceci n'est qu'une estimation approximative. Car les sacs plastique ne sont commercialisés que depuis environ soixante ans. Les chercheurs ne peuvent qu'extrapoler à partir des études de laboratoires qui évaluent le pourcentage de décomposition d'un matériau donné, lors d'un temps donné. D'où des estimations très différentes: si certaines équipes ont bien conclu qu'un sac plastique se décompose complètement en 500 ans, d'autres calculent qu'il lui faudrait plus de 100 ans... et d'autres encore,

jusqu'à 1 000 ans ! Une chose est sûre: dans des conditions normales, les sacs plastique se dégradent très lentement. Leur matériau — souvent du polyéthylène basse densité — est en effet formé de longues molécules que les micro-organismes qui dégradent habituellement les déchets ont du mal à casser. Récemment, il a même été montré que le plastique est rejeté jusqu'ici dans la nature ne s'est pas vraiment dégradé (voir *Se V* n° 1188, p. 68). Il se fragmente seulement, donnant naissance

à de minuscules résidus, des "microplastiques" qui s'insinuent en profondeur dans le sol, les fonds marins... partout sur Terre. K.B.



Pourquoi est-on si peu courbaturé après avoir fait de la natation ?

Question de Camille Loy, Equeurdreville (50)

C'est une question de contractions musculaires: celles qui provoquent les courbatures sont peu utilisées dans ce sport. Les courbatures apparaissent en effet lorsqu'une inflammation répond aux lésions provoquées au niveau des muscles. Des lésions qui se forment en particulier quand les muscles qui freinent un mouvement se contractent. "Quand on

court, le quadriceps fémoral se contracte: le muscle se raccourcit, pour créer une extension de genou. En réponse, les ischio-jambiers jouent le rôle de muscle antagoniste: ils limitent cette extension en s'étirant en fin de mouvement. C'est cette contraction excentrique qui favorise les lésions musculaires", éclaire Simon Nunge, kinésithérapeute du sport. Elle engendre en

effet une tension contradictoire: les fibres musculaires se contractent alors que le membre est en pleine extension. Aux points d'insertion des muscles, les protéines de liaison peuvent alors céder. D'où les micro-lésions. Or, l'activité des muscles antagonistes est très réduite lorsqu'on nage, car les mouvements sont ralentis par l'eau, et la gravité annulée par la poussée d'Archimède. "La contraction excentrique est inutile, les courbatures sont donc moindres", assure Simon Nunge. Et plus le nageur sera confirmé, mieux il saura exploiter l'inertie de l'élément liquide. 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.gr@mondadori.fr ou bien par courrier à:

SCIENCE & VIE
QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Orly
92543 MONTROUGE CEDEX

et recevez la tablette tactile multimédia 7"



WIFI
Intégré

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.

Système Android 4.4, mémoire interne 4 Go. RAM 512 MB, extension de la mémoire par carte 2 Go à 32 Go. 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.

A compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

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

Code Postal : [][][][] Ville : _____

Tél : [][][][][][] Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E-mail : _____

Avec votre tablette
votre magazine
vous suit partout !



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.kiosquemag.com

☐ **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.**

Numéro d'identification international du compte bancaire - IBAN

◀ 8 ou 11 caractères
selon votre banque

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

En signant ce formulaire de mandat, vous autorisez Mondadori Magazines France à envoyer des instructions à votre banque pour débitez votre compte, et votre banque à débitez votre compte conformément aux instructions de Mondadori Magazines France. Vous bénéficiez du droit d'être remboursé par votre banque selon les conditions décrites dans la convention que vous avez passée avec elle. Toute demande de remboursement doit être présentée dans les 8 semaines suivant la date de débit de votre compte. Vos droits concernant ce mandat sont expliqués dans un document que vous pouvez obtenir auprès de votre banque.

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

Date et signature obligatoires

Code Crypto | | | Les 3 chiffres au dos de votre CB

*Prix public et prix de vente en kiosque. Vous pouvez acquiescer 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 au prix de 6,99 € par mois propose la tablette tactile 7" au prix promotionnel de 25,30 € au lieu de 79,90 €. Offre valable pour un premier abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 28/02/2017 et dans la limite des stocks disponibles. La tablette et votre abonnement vous seront adressés dans les 4 semaines après l'acceptation de votre règlement. En achetant votre première tablette, vous acceptez de vous désister d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception de la tablette en fournissant votre adresse postale et votre numéro de téléphone. Vous pouvez également décider à tout moment de résilier votre abonnement ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CGV sur le site www.kiosquemaparc.com. Le coût de renvoi des produits 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 ☐

Lascaux 4 ouvre ses portes

La magie pariétale reconstituée grandeur nature

On pénètre dans la grotte par un couloir en pente douce, tel un sas pour remonter le temps. Peu à peu, l'humidité et le froid s'installent, et puis, c'est le choc visuel : sur la voûte d'une salle en rotonde, quatre énormes aurochs encerclent le visiteur. L'un d'eux est tout bonnement le plus grand animal peint de toute la préhistoire : 5,60 m du bout des cornes à celle de sa queue. A ses côtés, huit petits chevaux noirs galopent en file indienne. Ainsi que cinq petits cervidés, une belle vache rouge, un ours gravé et une étrange licorne...

LUMIÈRE VACILLANTE

Pour éclairer la scène, les scénographes ont poussé le détail jusqu'à faire vaciller la lumière, comme celle que produisait la graisse que les artistes brûlaient pour s'éclairer, il y a 18 000 ans...

Cette réplique intégrale et grandeur nature de la grotte de Lascaux vient d'ouvrir ses portes à Montignac, au cœur du Périgord Noir, à quelques jets de pierre de la vraie grotte, découverte le 12 septembre 1940.

A l'origine, Lascaux était ouverte au public : un



million de personnes l'ont visitée... et, hélas, dégradée. Pour protéger ce patrimoine inestimable, Lascaux a donc fermé ses portes en 1963 et une réplique (Lascaux 2) a été construite en 1983, suivie d'une exposition itinérante (Lascaux 3). Mais Lascaux 2 ne reproduisant qu'une partie de la grotte et commençant à vieillir, la décision a été prise de construire Lascaux 4, un fac-similé de 550 m² de fresques et de gravures, situé au cœur du Centre international de l'art pariétal de Montignac.

Sa réalisation par l'Atelier des fac-similés du Périgord (AFSP) a pris trois ans et fait appel au talent d'une trentaine de sculpteurs-résineurs, métallurgistes, peintres-plasticiens issus des Beaux-Arts, restaurateurs d'art et spécialistes

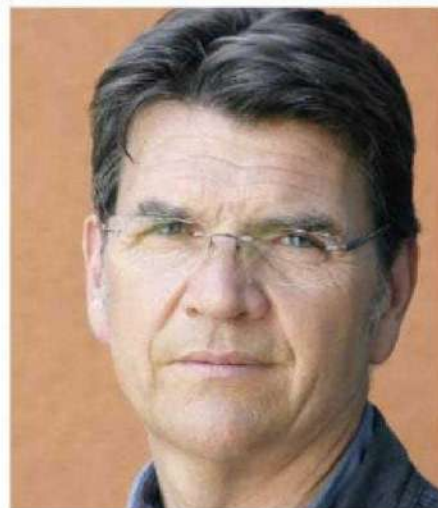
► Centre international de l'art pariétal Montignac-Lascaux

- à Montignac (Dordogne)
- ouverture : 15 décembre 2016
- rens. : www.projet-lascaux.com

en décors de cinéma. Ils ont d'abord scanné l'intégralité de la grotte. Puis, grâce à ce modèle numérique en 3D, ont fabriqué des panneaux en résine reproduisant les moindres circonvolutions du sous-sol. La résine a été recouverte d'un voile de pierre imitant la texture de la roche. Enfin, grâce à des images des fresques projetées sur la paroi comme un calque, les peintres ont reproduit, au millimètre près, chevaux, vaches et aurochs, avec les mêmes pigments naturels à base d'ocre ou de manganèse que leurs prédécesseurs du paléolithique.

Un travail de fourmis dont l'ambition était de restituer la magie de la grotte origi-

◀ Le recours aux modélisations 3D et à la résine ont permis de reproduire les fresques (ici, le diverticule axial) avec une infinie précision.



nelle. Pari réussi ? Plutôt, si l'on en croit ce commentaire recueilli devant le fac-similé quelques mois avant son ouverture au public : *"C'est un chef-d'œuvre, je me croirais dans la vraie grotte !"* L'auteur n'est autre que Simon Coencas, l'un des quatre adolescents qui ont découvert la grotte par hasard, il y a tout juste 76 ans.

Adeline Colonat

DÉPARTEMENT 24 D NIDOS - AFSP



LIVRE

► **Le pays qu'habitait Albert Einstein**

► par Etienne Klein
 ► éd. Actes Sud
 ► 256 p., 20 €



Encore une biographie d'Einstein ? Encore, oui. Mais à vrai dire, on a du mal à se lasser de plonger dans la vie du plus emblématique des scientifiques. Le physicien et philosophe des sciences Etienne Klein s'est mis dans les pas d'Einstein pour mieux entrer dans sa tête. Aarau, Berne, Bruxelles... il a méthodiquement visité les lieux où le physicien a vécu jusqu'à son exil aux Etats-Unis. Une astuce pour mieux enchevêtrer les anecdotes historiques et les digressions scientifiques sans lourdeur. De la dentelle ! Et un portrait tendre, nostalgique. Car visiblement, Einstein manque à Etienne Klein... **M.F.**

LIVRE

► **Les Curieuses Cartes de Vargic Un Atlas du monde moderne**

► par Martin Vargic
 ► éd. du Sous-sol
 ► 122 p., 29 €



Cet atlas propose de vous perdre dans les reliefs d'un monde que vous n'avez jamais vu. De la carte des activités paranormales aux Etats-Unis à celle des catastrophes (accidents nucléaires, inondations...), en passant par la carte des stéréotypes (où pays et régions sont remplacés par les clichés sur leur population) ou celle d'internet (où la taille de chaque Etat correspond à un nombre de visiteurs de site web), certaines de ces représentations ont des contours directement nés de l'imagination de l'artiste cartographe slovaque Martin Vargic. Dépassant. **V.G.**



FRANCIS RIGENBACH

Directeur artistique de l'Atelier des fac-similés du Périgord

"Chacun des 53 panneaux a nécessité huit mois de travail"

S&V : Réaliser une copie conforme de la "Sixtine de la préhistoire" représentait un travail de titan ?

F.R. : Chaque panneau a nécessité le travail de trois personnes à temps plein pendant huit mois et nous avons 53 panneaux à réaliser ! Pour rendre aux fresques de Lascaux toute leur force, il fallait, avant même de peindre les motifs, restituer le grain de la roche, ses anfractuosités, ses affleurements, et même les traces de calcite qui se

sont déposées sur la paroi depuis 18 000 ans !

S&V : Qu'est-ce qu'une copie peut apporter à une grotte comme Lascaux ?

F.R. : Par exemple, dans l'une des salles appelée l'abside, plus d'un millier de gravures ornent les parois, mais il est impossible de les voir car elles se trouvent entre 3 et 5 m de hauteur. A Lascaux 4, les visiteurs pourront découvrir une reproduction intégrale, à hauteur d'homme.

S&V : Vous avez visité la vraie grotte ; qu'est-ce qui, selon vous, pourrait manquer à Lascaux 4 ?

F.R. : Elle est presque trop belle ! Je m'explique. La visite de la grotte originelle se fait en conditions de spéléologie, à la lumière des lampes frontales. On balaye les fresques mais on n'en perçoit que des fragments. Lascaux 4 est plus "touristique" au sens où l'éclairage met les fresques en valeur. On les voit toutes, dans leur intégralité. Le visiteur peut ainsi embrasser l'ensemble de la salle des taureaux. Même si aucune copie ne saurait égaler l'original, Lascaux 4 offre un moment contemplatif qui peut, lui aussi, procurer de belles émotions.

Propos recueillis par Adeline Colonat

27 janvier 1967

Le traité qui promettait de ne pas militariser l'espace

Les Soviétiques, ce vendredi 27 janvier 1967, ont choisi une cérémonie discrète. A 10 heures, le ministre des Affaires étrangères Andreï Gromyko gagne le salon blanc de la Spiridonovka, l'hôtel particulier du ministère des Affaires étrangères, situé rue Tolstoï. Ce même salon où fut signé, quatre ans plus tôt, le traité de Moscou qui mit fin aux expériences nucléaires dans l'atmosphère. Mais le texte qu'Andreï Gromyko s'apprête à signer ce jour-là est plus important encore: il s'agit, cette fois, d'interdire l'utilisation de l'espace à des fins destructrices.

Par ce traité, adopté en décembre dernier par l'Assemblée générale des Nations Unies, et que la Grande-Bretagne

et les Etats-Unis signeront chacun de leur côté dans quelques heures, les pays adhérents renoncent à toute souveraineté sur la Lune ou tout autre corps céleste. Ils s'interdisent d'y installer des bases militaires, mais aussi de mettre en orbite terrestre des missiles nucléaires et autres armes de destruction massive. Le texte *"place la force de la loi dans l'espace"*, proclame avec emphase George Brown, secrétaire au Foreign Office britannique.

La guerre du Vietnam rendant impossible tout dialogue direct entre les Etats-Unis et l'URSS engagés dans la guerre froide, c'est par l'intermédiaire de l'ONU qu'a pu être négocié le traité. Ses enjeux sont immenses: le ministre américain de la Défense, Robert McNamara,

ne vient-il pas de rappeler la veille qu'une guerre entre les deux superpuissances ferait, au minimum, 240 millions de victimes?

L'ESPACE, UN BIEN COMMUN

Dix ans plus tôt, en 1957, le président américain Eisenhower proposait déjà de soumettre le développement des fusées spatiales et des satellites à un contrôle des deux grands. Ce à quoi l'URSS, non seulement, objecta qu'il s'agissait moins de contrôler les engins spatiaux que d'interdire leurs charges nucléaires, mais demanda l'année suivante que l'ONU étudie la possibilité d'interdire l'espace aux militaires. Les Etats-Unis formulèrent la même demande, tant la crainte d'une escalade nucléaire était alors grande.

En 1959, l'ONU créait ainsi le Comité sur l'utilisation pacifique de l'espace, chargé d'élaborer les grands principes qui régiraient son exploration et son utilisation. Un premier compromis fut trouvé en novembre 1963, dans lequel les deux pays convenaient que les vols spatiaux devaient être régis par le droit international, à l'image des bateaux en haute mer. Mais il fallut trois ans de plus pour qu'ils acceptent, comme ils l'avaient fait en 1959 pour l'Antarctique, de faire de l'espace un bien commun de l'humanité.

Fallait-il déjà, en 1967, alors que l'homme n'a encore posé le pied sur aucun corps céleste, réfléchir à qui ils appartiennent? Oui, et la question est même d'une actualité brûlante vu

SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

1958 MAIS QUE VONT FAIRE LES AMÉRICAINS SUR LA LUNE?

S&V s'interroge: "Armée, savants, civils, personne aux Etats-Unis ne sait exactement les raisons qui dictent l'Opération Lune", qui vise, à l'époque, à lancer un satellite en orbite lunaire. "Notre sentiment demeure pourtant: ce ne sont pas des projets militaires. [...] 'Vous voulez savoir ce que nous allons y trouver? [...] Les Russes!' lance pourtant l'atomiste Edward Teller." S&V n° 491



1972 ON NE PEUT PAS DÉCOUPER L'ESPACE

Comment légiférer dans l'espace? "On avait d'abord pensé à appliquer les règles du droit aérien [mais] le système aurait abouti à créer fictivement des cônes d'espace contigus, chacun placé sous la souveraineté d'un Etat." Au final, le Traité s'applique à toute activité spatiale... reste à s'accorder sur sa définition! S&V n° 662





▲ C'est à Washington, avec l'ambassadeur soviétique Anatoly Dobrynin, que le président américain Lyndon Johnson signe le "traité sur l'espace extra-atmosphérique".

la course à la Lune que se livrent les deux superpuissances. Comme pour rappeler que ce n'est pas un jeu, trois astronautes du programme *Apollo* périssent précisément ce 27 janvier 1967, pendant un exercice, dans l'incendie de leur

capsule. L'espace compte ses premiers morts.

Après tant d'efforts, le premier qui plantera son drapeau dans la poussière lunaire ne manquera pas d'en revendiquer la propriété, comme il est d'usage lorsqu'un navire aborde

pour la première fois un nouvel îlot marin. Les états-majors fantasment sur l'utilité que pourrait présenter la Lune dans la compétition stratégique entre l'Est et l'Ouest. Pour certains, elle pourrait abriter l'arme nucléaire, capable d'engager

des représailles en restant inaccessible. Et nul ne doute alors qu'elle n'est qu'une étape vers Mars et la colonisation de tout le système solaire. D'où le soin particulier que met ce traité à définir les modalités d'inspection des futures bases ➔



1985 ILS S'Y CROIENT DÉJÀ!

Les enjeux de l'espace font rêver. "Dans six ans, la première station orbitale sera une réalité. Dès le siècle prochain, l'installation permanente sur la Lune en sera une autre. On préparera alors les vols vers Mars, puis d'autres planètes, avant d'organiser des expéditions sans retour vers le reste de la galaxie. En quelques siècles, nous aurons investi tout le système solaire et ses richesses seront nôtres. [Les hommes] seront alors mûrs pour les voyages interstellaires." **S&V n° 818**

→ spatiales qui devraient bientôt voir le jour.

Mais la diplomatie est ainsi faite que l'intérêt majeur du texte se révèle, surtout, dans ce qu'il ne dit pas. Car s'il interdit explicitement la mise en orbite de toute arme de destruction massive, il laisse, par omission, la liberté d'y installer tout autre type d'engin militaire. En particulier les satellites d'observation que les puissances spatiales lancent depuis 1965 à un rythme soutenu, en toute discrétion, pour surveiller les capacités militaires du bloc adverse.

UN DROIT D'EXPLOITATION

Le traité, que la France signera de son côté le 5 août 1970, n'interdit pas non plus le simple transit d'armes nucléaires dans l'espace, comme lors du lancement d'un missile balistique intercontinental. Il ne définit pas, enfin, ce qu'est précisément une arme de destruction massive. Et se garde bien d'interdire les recherches sur des systèmes d'armement nouveaux. Sous



Il y avait urgence à sanctuariser l'espace alors qu'Est et Ouest (ici, en 1965, le lancement de *Gemini 4*) multipliaient les lancements de satellites.

couvert d'une démantèlement totale de la Lune, il s'agit donc au contraire d'avaliser, sans le dire, une militarisation "raisonnable" de la proche banlieue terrestre, plus utile aux militaires.

Le principe même d'utiliser l'espace "à des fins pacifiques" est ambigu. Pour les Américains, une activité est dite pacifique dès qu'elle n'est pas offensive. Un argument qui permettra sous la présidence Reagan de concevoir un système défensif protégeant, depuis l'espace, les États-Unis de toute frappe nucléaire soviétique. Un

projet pharaonique, baptisé "Guerre des étoiles" par la presse, techniquement irréalisable à l'époque.

Aujourd'hui, ce traité représente pour les États-Unis un carcan de plus en plus contraignant à mesure que leur supériorité spatiale s'affirme. Et associer plus étroitement les entrepreneurs privés à des programmes devenus trop coûteux pour la Nasa s'accommode mal d'une propriété collective et inaliénable de l'espace extra-atmosphérique. En novembre 2015, ils ont donc décidé, unilatéralement,

d'en assouplir les règles : le Space Act, approuvé par le Congrès, autorise ainsi les entreprises américaines à exploiter commercialement les ressources découvertes dans tout corps céleste. De la même manière que Truman, en 1945, s'était déjà affranchi du droit de la mer, en accordant aux entreprises américaines celui d'exploiter les ressources marines sur tout le plateau continental, et jusque dans les eaux internationales.

Droit d'exploitation ne vaut pas souveraineté, ratiocinent les juristes américains. Et il est fort probable que le droit international de l'espace les rejoigne et avalise cette subtilité sémantique. Le Luxembourg ne s'y est pas trompé : le 3 février 2016, il s'est lui aussi inscrit dans cette "ruée vers l'or" spatial avec une série de dispositions juridiques favorisant le développement de l'extraction minière extraterrestre. Si l'espace n'appartient juridiquement à personne, ses richesses suscitent déjà les convoitises.

E.Monnier

RUE DES ARCHIVES

SCIENCE & VIE en parlait encore

2010 UN NOUVEL ELDORADO...

"Le président américain Barack Obama [a pris] date : en 2025, l'homme aura accompli un nouveau 'grand pas' en touchant... un astéroïde géocroiseur. Plus lointains que la Lune et vierges de toute exploration, [ils] constituent aujourd'hui la nouvelle frontière de l'exploration spatiale. Et pour cause : les sols des astéroïdes recèleraient richesses et ressources et [ouvriraient] la folle perspective d'une exploitation minière" pour les planétologues et les businessmen ! **S&V n° 1118**



2012 ... ET UN CHAMP DE BATAILLE

"L'aventure spatiale militaire est un domaine ultra-secret" où règnent opacité, bluff et spéculations. "Mais une chose apparaît à peu près certaine : jusqu'à présent, le milieu spatial a été épargné par les combats." Sauf que, depuis que la Chine a envoyé un missile sur l'un de ses satellites, "ce bel équilibre semble rompu : l'Europe, le Japon, la Chine, Israël, l'Inde, le Brésil sont entrés dans le jeu orbital". **S&V n° 1133**



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

RTL

#RTLBOUGE

PHOTO : ROMAIN BOÉ / ABACAPRESS



LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT

SIDONIE BONNET ET THOMAS HUGUES LUNDI-JEUDI 20H-22H

MARDI 3 JANVIER

À QUOI PENSENT LES ANIMAUX ?

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

SCIENCE & VIE

RTL.fr

L'OR

LE PUR PLAISIR
ESPRESSO

MAINTENANT DANS UNE
CAPSULE ALUMINIUM



L'OR, sans doute le meilleur café du monde