

SCIENCE&VIE N°1194 - Mars 2017 Campagne électorale L'atlas secret de l'Univers ADN Mésentère Contes de fées EmDrive Moorea 2.0 Produits allégés Manuscrits

LOUP SUPERVOLCAN ADN EN 3D MÉSENTÈRE MOTEUR EMDRIVE MOOREA 2.0
ROBOT GÉANT RAMANUJAN MANUSCRITS DE LA MER MORTE LED FRITES

SCIENCE&VIE

SCIENCE & VIE

MARS 2017 N°1194 MONDADORI FRANCE

CONTES DE FÉES

LA GÉNÉTIQUE
RÉVÈLE
LEUR ORIGINE

L'ATLAS SECRET DE L'UNIVERS

CAP SUR LES 7 LIEUX
LES PLUS MYSTÉRIEUX

PRÉSIDENTIELLE 2017

SOUS L'INFLUENCE DES BIG DATA

D: 6,90 € - BEL: 4,80 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 € - DOM S: 4,90 € - DOM A: 6,90 €
ITA: 4,90 € - LUX: 4,80 € - PORT CONT: 4,80 € - CAN: 6,75 \$ CAN - MAR: 50 DH
TOM S: 7,50 CFP - TOM A: 14,00 CFP - CH: 6,50 F\$ - TUN: 9 DTU

M 02578 - 1194 - F: 4,50 € - RD



n t e n d

Nouvelle Audi Q5

Découvrez ses nouvelles lignes affûtées pour plus sportif. Avec son caractère et ses technologies de pointe, l'Audi Q5 reste une référence.



Audi Vorsprung durch Technik

Volkswagen Group France S.A. au capital de 7 750 000 € - 11 avenue de Boursonne Villers-Cotterêts - RCS Soissons B
Audi recommande **Castrol EDGE Professional**. Vorsprung durch Technik = L'avance par la technologie.

Gamme nouvelle Audi Q5 : consommation en cycle mixte (l/100km) : 4,5 - 7,1. Rejets de CO₂ (g/km) : 117 - 162.

l' a p p e



Imaginez le confort

Imaginez un espace de bien-être vous offrant toute la liberté et la détente dont vous rêvez, où le temps n'a plus de prise sur vous. Passez du rêve à la réalité : venez faire l'expérience dans la zone de confort de votre revendeur Stressless®. Vous y découvrirez toutes les options de confort que seul Stressless® peut vous offrir.

Sélectionner

la taille de votre fauteuil selon votre morphologie, et les coloris de cuirs ou de tissus parmi plus de 160 références.



Fabriqué en Norvège
Depuis 1934



suivez-nous sur
StresslessFrance

Revendeurs et catalogue sur
www.stressless.fr

Choisir

vos options de confort qui répondra au mieux à vos attentes. Les piétements : Classic, Signature, Etoile, ou repose-pied intégré, vous apporteront des sensations de confort différentes et un design varié.



PIÉMENT CLASSIC

Le grand confort
Stressless®



THE INNOVATORS OF COMFORT™(s)

S'offrir

un fauteuil ou un canapé qui suit naturellement chacun de vos mouvements en douceur, en toute liberté et en silence.

Bénéficier

d'un confort unique : votre corps tout entier est idéalement soutenu dans toutes les positions grâce au soutien synchronisé de la nuque et des lombaires.



PIÉTEMENT SIGNATURE

La sensation de flotter dans les airs



PIÉTEMENT ÉTOILE

L'alliance du confort et du design



NOUVEAU

Repose-pied intégré

EKORNES®

Avant-propos

SCIENCE & VIE

Vincent
Nouyrigat
v.nouyrigat@
mondadori.fr

Campagnes électorales 2.0

Depuis quelques années déjà, nous entendons parler de l'intervention d'algorithmes dans la stratégie électorale de certains hommes politiques. L'innovation nous semblait davantage relever du marketing que d'autre chose: l'élection présidentielle n'est-elle pas censée être "la rencontre d'un homme et d'un peuple"? Le charisme d'un candidat, sa force, sa ténacité, l'élan qu'il suscite: ces facteurs humains entreront forcément en ligne de compte dans le résultat final. Mais force est de le reconnaître après enquête, la puissance des big data pourrait aussi participer à la conquête du pouvoir... avant qu'ils ne le gardent pour eux seuls un jour?

DR



Mathilde
Fontez
m.fontez@
mondadori.fr

Vos lieux mystérieux?

Quels sont pour vous les trois lieux les plus mystérieux de l'Univers? C'est la question que nous avons posée à une trentaine d'astronomes pour préparer notre voyage dans le cosmos obscur. Théoriciens, spécialistes des exoplanètes, de l'Univers primordial, des étoiles, des galaxies... Ils ont joué le jeu. Et, plus surprenant, ils ont souvent pointé les mêmes endroits. Nous qui craignons que chaque communauté voie de l'étrange et de l'inexpliqué là où elle regarde en priorité... Nous n'avions pas fixé de nombre limite, mais au final sept lieux se sont imposés. Chiffre mystère par excellence.

Sommaire

mars 2017 n° 1194



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

E-mail: svsmens@mondadori.fr

Recevez Science & Vie chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 113. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart Mékong est jeté sur la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Groenland est jeté sur la diff. abonnés France Métro. Un encart La Croix "Offre découverte 3 semaines" est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un encart La Croix "Offre d'abonnement de 17 €" est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un "tout-en-un" Société française des monnaies est jeté sur la diff. abonnés France Métro. Un catalogue 12 p. Février Science & Vie n°1194 est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un catalogue 16 p. Février Science & Vie n°1194 est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro.

10 **Forum**

Actus

16 **Labos**

La naissance d'un nuage a été reproduite en laboratoire; les bilingues ont un cerveau plus efficace; les fourmis testent leurs outils avant de choisir le bon...

26 **Environnement**

Les réseaux routiers fragmentent sévèrement les espaces naturels...

30 **Médecine**

Le stress passe bien du cerveau dans les artères; des nanotubes en chimiothérapie...

32 **Technos**

Test réussi pour le réacteur West: il a produit du plasma; le premier avion en graphène...

Événement

36 **Elections**

Le prochain président élu par les big data?

A la Une

44 **L'ATLAS SECRET DE L'UNIVERS**

48 Cap sur les 7 lieux les plus mystérieux du cosmos

Science & découvertes

62 **Génétique**

ADN: voici à quoi il ressemble vraiment

65 **Paléoécologie**

Il y a 20000 ans, l'homme dégradait déjà la nature

68 **Anatomie**

Découverte du mésentère: mais combien d'organes avons-nous finalement?

74 **Mythologie**

Contes de fées: leur origine révélée par la génétique

Science & techniques

82 **Voyage dans l'espace**

EmDrive: le moteur spatial qui rend fou

88 **Simulation**

Moorea 2.0: bienvenue sur la première île virtuelle

92 **Aliments light**

Saucisses, frites, mayonnaise...: la science réinvente les produits allégés

Science & futur

98 Un robot géant rend réelle la fiction; un bus sans chauffeur se dote de la parole; un parc sur pilotis sort de l'eau à Manhattan; les piles vont voir leur vie se prolonger; ouverture du tunnel qui met l'Europe à 15 minutes de l'Asie; démarrage de la plus grande centrale photovoltaïque du monde; des images satellites pour gérer les pénuries; une tour en forme d'hélice pour dépolluer la ville...

La science & la vie

Science & société

106 Record du monde à vélo à 105 ans: on n'a pas forcément l'âge de ses artères

110 Ampoules LED: elles nuiraient aux yeux!

112 Greffes: la loi santé à l'assaut du déficit de dons d'organes

Science & vie pratique

114 Bon à savoir

116 Technofolies

Science & culture

120 Questions/Réponses

126 A voir / à lire

128 Il y a... 70 ans: l'incroyable découverte des manuscrits de la mer Morte

Forum

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

Un anthropomorphisme abusif ?

Dans votre dossier "À quoi pensent les bêtes", vous prêtez aux animaux des émotions très humaines. Je comprends bien qu'il est difficile de parler de leurs ressentis sans faire appel à ce que nous ressentons, nous, en notre for intérieur. Mais ne peut-on pas imaginer que ces animaux ont développé de leur côté d'autres types

d'émotions, totalement différentes des nôtres ?

Daniel Robert, Nantes (44)

SV "Pas les animaux proches de nous, car leur système nerveux a une structure très proche du nôtre et donc un fonctionnement semblable", répond sans hésiter Georges Chapouthier, neurobiologiste et philosophe. De fait, tout indique que les mammi-



fères et les oiseaux, pour le moins, ressentent les émotions que nous connaissons bien : joie, peur ou encore dégoût... "D'ailleurs, un médicament pour l'anxiété,

par exemple, marchera pour tous ces animaux", complète le chercheur.

La question se pose par contre pour les bêtes dont le cerveau n'a pas grand-chose en commun avec le nôtre. "Une abeille qui découvre un champ de fleurs ressent-elle de la joie ? se demande Georges Chapouthier. Et quand bien même ça en serait, le ressenti de l'abeille doit être complètement différent du nôtre."

Au final, ce qui semble différer entre les espèces n'est pas tant le type d'émotions que la façon dont elles sont intégrées, et donc la réponse de l'organisme. C'est aussi ce qui diffère entre individus d'une même espèce.

A votre très bon article sur les pensées des bêtes, il manque un volet concernant la souffrance animale, surtout celle provoquée par l'humain. J'espère que vous aurez le courage de produire un article sur le sujet.

Jean-Paul Boisbault, Internet



Cerveau sous hypnose: pas si neuf

Dans votre article consacré à l'étude du cerveau sous hypnose par IRM (S&V n° 1191, p. 67), vous sous-entendez une sorte de première. Or, dans les années 1990, Marie-Elisabeth Faymonville et Pierre Rainville avaient mené des études similaires.

Jérôme Vermeulen, Belgique

SV Vous avez raison. Les travaux évoqués ne sont pas les premiers à passer des sujets à l'IRMf sous état hypnotique. Et ils pointent des réseaux qui avaient déjà été globalement identifiés. Les auteurs de ces recherches annoncent être les premiers à avoir étudié l'état

d'hypnose en tant que tel, les travaux précédents se concentrant sur ses effets sur la douleur, la vision ou d'autres formes de perception. Et les premiers aussi à avoir comparé directement l'activité cérébrale de sujets hautement hypnotisables avec celle de sujets qui le sont peu.

Les oiseaux chantent... même sous la torture

A la lecture de votre article "A quoi pense un oiseau quand il chante?", on comprend que l'oiseau exprime son plaisir par le chant ou que son chant résulte de son plaisir. Je voudrais vous rappeler que les amateurs les plus avertis de tenderie (capture des oiseaux au filet) brûlaient au fer rouge les yeux des chardonnerets appelants (oiseaux placés dans une cage à proximité du filet pour attirer par leurs cris des oiseaux de la même espèce) afin de les faire chanter plus. Et je ne crois pas que les oiseaux exprimaient plus de joie dans ce cas.

William Finck, Saint-Resitut (26)

La kiné, pas adaptée à l'entorse ?

Je réagis à un court article sur la kinésithérapie lors d'une entorse de cheville (S&V n° 1192, p. 114). Dire qu'elle est inutile est faux. Il est prouvé qu'une rééducation adaptée à la suite de ce traumatisme (travail proprioceptif, entre autres) est indispensable afin d'éviter des entorses récidivantes. Il serait intéressant de savoir combien des patients traités et non-traités ont refait ou vont se refaire une entorse de la cheville. La récupération à court ou moyen terme du patient n'est pas le seul point sur lequel s'appuie un kinésithéra-

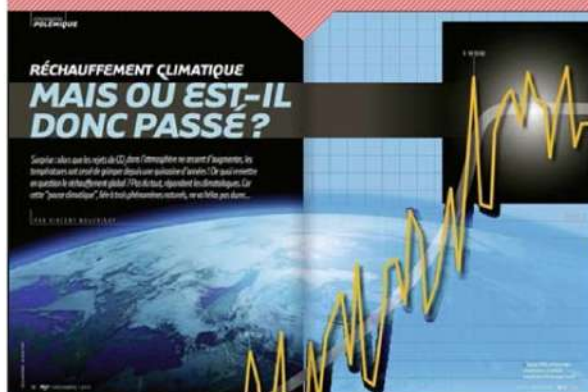
peute pour être satisfait de son traitement...

Damien Jacquin-Wallez
(Haute-Savoie)

SV "Si la kinésithérapie après une entorse de cheville avait des bénéfices à long terme, les premiers signes se-raient probablement apparus avant six mois, répond Robert Brison, chercheur à la Queen's University et coauteur de la publication. Certes, quelques études ont suggéré des bénéfices sur un petit nombre d'athlètes, mais le bénéfice sur le reste de la population, à long terme, n'est pas prouvé."

Forum

On en reparle



ON A RETROUVÉ LE RÉCHAUFFEMENT

"Réchauffement climatique : mais où est-il donc passé ?" En décembre 2013, S&V s'aventurait sur un sujet polémique : c'est que, au vu des relevés de température de l'air ambiant et des eaux de surface, le réchauffement climatique mondial semblait marquer une pause depuis environ quinze ans. Un constat troublant qui, il fallait s'y attendre, a été largement exploité par les climatosceptiques... Mais ce constat déclencha aussi une série de travaux scientifiques tout à fait sérieux pour saisir les causes du phénomène (volcanisme, activité solaire, absorption par les couches profondes de l'océan), en sachant que ce ralentissement ne pouvait être que temporaire.

Or une étude de l'université de Berkeley vient de démontrer que cette pause n'a en fait jamais eu lieu ! Les tendances récemment observées avaient été faussées par un artefact tout bête, lié à un changement des méthodes de mesure des températures océaniques : elles sont aujourd'hui évaluées grâce à des bouées automatiques posées sur l'eau, alors que les relevés étaient autrefois effectués au sein même de la salle des machines des bateaux, dans une ambiance qui avait tendance à échauffer légèrement l'échantillon. L'hiatus constaté depuis 1998 était donc artificiel. Tous calculs refaits, le rythme de réchauffement global s'est maintenu (à raison de 0,12 °C par décennie), en accord avec tous les modèles climatiques. Et ce n'est pas une bonne nouvelle.

V.N.

On en reparle

MATIÈRE NOIRE

C'EST MAINTENANT OU JAMAIS !

Les physiciens ont enfin, grâce au télescope spatial européen, réussi à mesurer la quantité de matière noire dans l'univers. C'est un résultat important, car cela permet de mieux comprendre la composition de l'univers et de tester les théories de la physique fondamentale.

LA MATIÈRE NOIRE S'OBSCURCIT ENCORE

Année après année, nous nous faisons l'écho des résultats négatifs des expériences visant à donner corps à la matière noire, cette hypothétique composante matérielle dont aucun physicien n'a jamais aperçu le moindre grain mais qui, au dire des astrophysiciens, constituerait 85 % de la masse de l'Univers. Une fois de plus, les espoirs viennent d'être rincés : ni l'expérience LUX, aux Etats-Unis, ni son alter ego chinoise, PandaX, ne sont parvenues à mettre en évidence la moindre particule de matière noire lors de leur récente campagne de mesure.

Certes, dans les prochains mois, l'expérience italienne XENON1T ratifiera encore plus large. Mais au regard de la manière dont il faut d'ores et déjà tordre les modèles pour expliquer l'absence de signal, nous sommes bien en train d'assister à l'agonie de l'hypothèse reine depuis trente ans, selon laquelle la matière noire serait constituée de particules appelées WIMPs. *"Il ne leur reste plus beaucoup d'espace"*, admet Marco Cirelli, au Laboratoire de physique théorique et hautes énergies, à Paris. *"Elles ne sont probablement pas la solution"*, renchérit Gabriel Chardin, président du Comité des très grandes infrastructures de recherche du CNRS.

Axions, neutrinos stériles... d'autres candidats sont possibles. Mais ils seront probablement plus difficiles encore à mettre en évidence. A moins que la matière noire n'existe tout simplement pas. Ce dont seule une révolution en physique pourrait s'accommoder. **M.G.**

Moteur à compression variable: il y a d'autres options

Dans votre article sur le moteur thermique à taux de compression variable (S&V n° 1192, p. 93), vous expliquez que les différents taux de compression sont obtenus en faisant varier la course du piston. Quelles raisons ont poussé les constructeurs à choisir un tel dispositif, qui semble complexe à mettre en œuvre ? Pourquoi ne pas provoquer l'augmentation du volume de la chambre de combustion par ouverture commandée d'une cavité supplémentaire dans la culasse ? Ou par un écartement commandé de la culasse par rapport au bloc-moteur ? Pourquoi de tels systèmes n'ont-ils pas été retenus ?

Christophe Gautier, Argenton (47)

S&V De telles solutions ont en effet été brevetées et longuement étudiées par certains constructeurs. Difficile cependant d'expliquer pourquoi elles n'ont pas atteint le stade de l'industrialisation. c'est là que nous entrons dans des choix d'ingénierie extrêmement

complexes (on parle de vingt ans d'optimisation continue chez Nissan !). Ces choix résultent de compromis très serrés entre le coût des pièces, la solidité du moteur, la compacité du système et sa faculté à varier le taux de compression rapidement.

Les systèmes misant sur l'ouverture d'une cavité supplémentaire dans la culasse, très étudiés par Ford, Volkswagen ou Volvo, présentent par exemple l'inconvénient de modifier la géométrie de la culasse, et donc d'affaiblir la maîtrise sur le processus de combustion.

Les systèmes misant sur un écartement commandé d'une partie haute du bloc-moteur par rapport à une partie basse, notamment développé par Saab, posent le problème d'une plus grande fragilité ainsi que d'un raccordement plus complexe des accessoires, comme le pot d'échappement, au bloc mobile.

Cela dit, comme tout est affaire d'optimisation, il n'est pas impossible qu'un de ces systèmes franchisse le stade de l'industrialisation.

SCIENCE & VIE
LA BOUTIQUE
Livres & cadeaux scientifiques et insolites

Nouvelle boutique en ligne !

+ de
600

Livres
Objets scientifiques
Idées cadeaux

Rendez-vous vite sur : boutique.science-et-vie.com

CRÉDIT IMMOBILIER • ASSURANCE DE PRÊT •

meilleurtaux.com

C'EST AUSSI



1 000 experts



en agence



sur le web



au téléphone

meilleurtaux.com

Aucun versement, de quelque nature que ce soit, ne peut être exigé d'un particulier avant l'obtention d'un ou plusieurs prêts.
délai de réflexion de 10 jours ; l'achat est subordonné à l'obtention du prêt, s'il n'est pas obtenu, le vendeur doit lui rembourser
75008 Paris, société par actions simplifiée au capital de 1 000 000 €, RCS Paris n°424 264 281, courtier en opérations de banque
n°07 022 955 (www.orient.fr). Liste de nos partenaires consultable sur meilleurtaux.com. Sous le contrôle de l'ACPR, 61 rue Taitbout

Dans les kiosques

SPÉCIAL ÉDUCATION

Les sciences du cerveau et de l'éducation pourraient-elles éclairer les chemins de la réussite scolaire ? Elles commencent à comprendre comment le cerveau apprend, comment motiver les élèves et quelles sont les erreurs pédagogiques à éviter. Des enseignements qui tombent à pic alors que les enquêtes internationales nous alertent sur la baisse de niveau des élèves en France.

A partir du 3 mars,
Hors-série de Science & Vie, 4,95 €



NOS ANCÊTRES & NOUS

D'où venons-nous ? D'un papa et d'une maman, bien sûr. Qui eux-mêmes – et ainsi de suite... Jusqu'où ? Jusqu'aux Gaulois ? Jusqu'au premier *Sapiens* ? S'interroger sur ses ancêtres, c'est défier le passé et ses origines au terme d'un fantastique jeu du piste qui nous conduit au plus profond de nous-mêmes.

Science & Vie Questions Réponses, 4,50 €



À L'ASSAUT DU GRAND LARGE

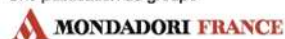
Navires fracassés, équipages fantômes, exsangues et décharnés... L'histoire de l'exploration maritime regorge d'épopées funestes. Mais c'est bien dans le sillage des grands navigateurs qu'a émergé un nouvel inventaire du monde et la mise en scène cartographique de notre planète.

Les Cahiers 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

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT

Grégoire Bouillier (chef d'édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffoz (rédactrice en chef déléguée du site internet), Vincent Nouyrigat, Caroline Tourbe (médecine)

CHEFS DE RUBRIQUE

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

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavallé-Fol, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-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. Aquilino, S. Aubin, K. Bettayeb, L. Blancard, S. Brunier, F. Cadu, L. Cavicchioli, G. Cirade, H. Coliau, A. Dagan, A. Debroise, S. Devos, O. Donnars, S. Fay, F. Gracci, M. Grousson, C. Hancock, R. Ikonicoff, M. Kontente, T. Le Héret, C. Martin, E. Monnier, B. Perrin, A. Pihen, A. Rambaud, B. Rey, M. Saemann, Y. Sciana, G. Siméon, M. Spée, L. Tanneau, E. Thierry-Aymé

DIRECTION-ÉDITION

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

ABONNEMENTS ET DIFFUSION

DIRECTEUR MARKETING CLIENTS/DIFFUSION

Christophe Ruet

ABONNEMENTS

Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Juliette Mesnil (responsable marketing direct)

VENTES AU NUMÉRO

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

BOUTIQUE ET VPC

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

MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon, Michèle Guillet

PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF

Valérie Camy

CONTACTS PUBLICITÉ

Virginie Commun (53 28),
Lionel Dufour (53 19)

PLANNING

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

TRAFIC

Stéphane Durand (53 12)

OPÉRATIONS SPÉCIALES

Jean-Jacques Benezech (19 83)
Grande-Bretagne : Publieurope LTD
(infodolord@publieurope.com –
44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich

(informunich@publieurope.com

0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne

(infolausanne@publieurope.com

0041 21 323 3110);

Espagne : Publimedia Madrid

(infomadrid@publim-gestion.es

0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Daniel Rougier, Agnès Châtelet

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Orly

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF – ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 44,80 €

1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €

Dépôt légal : mars 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

mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES

ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@aboutiquescienceetvie.com



Une autre façon de voir la vie.



FORD ECOSPORT
TREND 1.0 ECOBOOST 125 CH

169€
/MOIS*

LOA 48 MOIS, 1^{ER} LOYER DE 1565 €,
SUIVI DE 47 LOYERS DE 169 €/MOIS.
COÛT TOTAL SI ACHAT : 15730,12 €.

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

*Exemple de location avec option d'achat 48 mois d'un EcoSport Trend 1.0 EcoBoost 125 ch Type 01-16. Prix maximum au 14/12/16 : 19 450 €. Prix remis : 14 950 €. Kilométrage 10 000 km/an. Option d'achat : 6 224 €. Assurances facultatives. Décès-Incapacité dès 11,21 €/mois en sus du loyer. Coût total de l'assurance : 538,08 €. Délai légal de rétractation. Si acceptation par Ford Credit, 34 rue de la Croix de Fer, CS 90036, 78174 St-Germain-en-Laye Cedex. RCS Versailles 392 315 776, Intermédiaire Inscrit à l'ORIAS, N° 07 009 071. Produit « Assurance Emprunteur » assuré par les succursales françaises de FACI, SIREN 479 311 979 (RCS Nanterre), et FICL, SIREN 479 428 039 (RCS Nanterre), Groupe Axa, Terrasse 8, 51 rue des Trois Fontanot, 92000 Nanterre. Offre non cumulable réservée aux particuliers pour toute commande de cet EcoSport neuf, du 01/02/17 au 28/02/17, dans la limite des stocks disponibles, dans le réseau Ford participant. **Modèle présenté : EcoSport Titanium S 1.0 EcoBoost 125 ch avec Peinture métallisée Bleu Kinetic au prix remis de 18 150 €, 1^{er} loyer de 1 565 €, option d'achat de 7 753 €, coût total si achat : 19 719,07 €, 47 loyers de 221,31 €/mois. Consommation mixte (l/100 km) : 5,4. Rejets de CO₂ (g/km) : 125** (données homologuées conformément à la Directive 80/1268/EEC amendée).

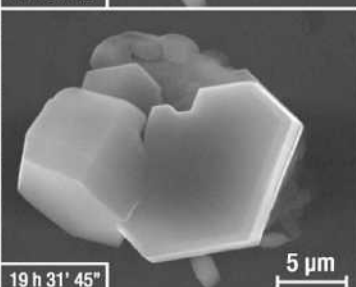
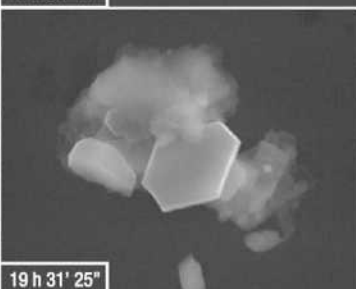
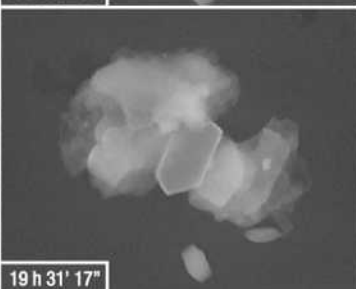
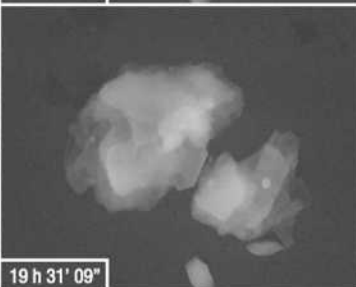
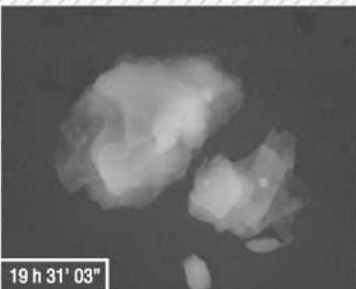
Ford France, 34, rue de la Croix de Fer - 78122 St-Germain-en-Laye Cedex. SIREN 425 127 362 RCS Versailles.

ford.fr



Go Further

actus



< Le microscope électronique révèle les grains de glace à l'origine des cirrus qui se développent, micromètre par micromètre, autour d'une poussière.

CHIMIE

LA NAISSANCE D'UN NUAGE A ÉTÉ REPRODUITE EN LABORATOIRE

Ils sont entrés au plus profond de l'intimité des nuages et ont levé une partie du voile qui entoure leur mystérieuse formation... Sous l'œil de leur microscope électronique, les membres du Pacific Northwest National Laboratory (Etat de Washington) ont vu grossir, micromètre par micromètre, les grains de glace qui composent les cirrus,

ces nuages qui zèbrent le ciel de leurs écharpes effilochées à plus de 6 000 m d'altitude. Pour réussir cet exploit, les scientifiques ont reproduit, dans une cellule expérimentale, les conditions atmosphériques (température, pression et humidité) qui président à la formation de ces nuages, et y ont introduit des poussières, éléments indispensables

à la formation de cristaux. Les images exceptionnelles qu'ils viennent de publier ne sont pas seulement belles, elles sont aussi très instructives. En effet, jusqu'ici, les chercheurs étaient incapables de prédire le nombre, la taille et la forme des cristaux de glace des cirrus. Or, ces nuages, en réfléchissant les rayons infrarouges vers la Terre, contribuent à l'effet

de serre. Comme l'atteste Guillaume Mioche, du Laboratoire de météorologie physique, à Clermont-Ferrand, *"dans la prévision du climat, l'une des grandes incertitudes vient du fait que la modélisation de ces nuages manque encore de réalisme"*. Un réalisme désormais à portée de microscope. **A.D.**

BINGBING WANG; DANIEL A. KNOPF; SWARUP CHINA; BRUCE W. AREY; TRISTAN H. HARDER; MARY K. GILLES; ALEXANDER LASKIN



PLANÉTOLOGIE

CÉRÈS VIENT DES CONFINES DU SYSTÈME SOLAIRE

C'est le plus gros et le plus célèbre corps de la ceinture d'astéroïdes. Pourtant, Cérès n'est pas né là. Il se serait formé beaucoup plus loin, près d'Uranus et de Neptune, situés alors à quelque 10 unités astronomiques de la Terre! "On s'en doutait depuis l'analyse des données de Dawn, il y a deux ans, raconte Pierre Vernazza, du Laboratoire d'astrophysique

de Marseille. La sonde avait montré que Cérès contient des silicates enrichis en ammoniac, or le front de condensation de l'ammoniac se situe beaucoup plus loin du Soleil. Mais il nous manquait des observations dans l'infrarouge moyen pour aller plus loin." En effet, regardé dans les longueurs d'onde visibles, Cérès ressemble à l'un de ces banals astéroïdes

carbonés parmi lesquels on l'a classé. Mais grâce à *Sofia* et aux archives d'*ISO*, deux télescopes infrarouges, le chercheur vient de révéler qu'en fait de carbone, Cérès est seulement recouvert d'une fine couche de poussière, déposée à sa surface au gré des collisions, qui dissimulait sa vraie nature... Car il vient en fait des confins de notre système solaire. **M.F.**



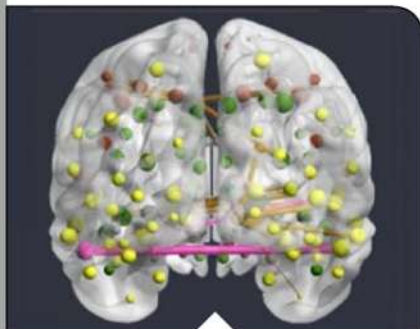
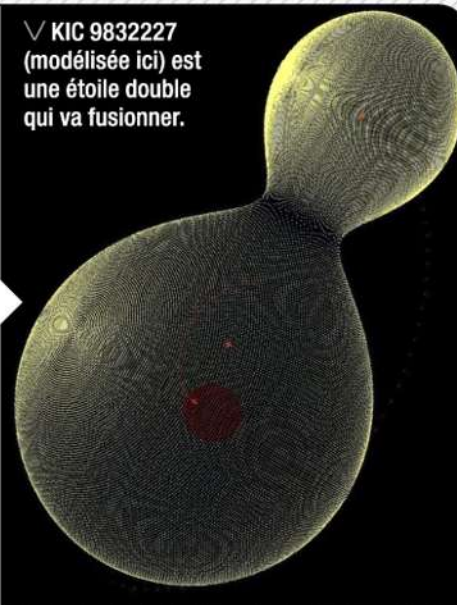
◀ La planète naine n'est pas née dans la ceinture d'astéroïdes, mais près d'Uranus et de Neptune.

ASTROPHYSIQUE

En 2022, une étoile naîtra sous nos yeux

"C'est la première fois que l'on prédit l'explosion d'une étoile et que nous pourrons l'observer en direct!", se réjouit Eric Lagarde, de l'Observatoire de Nice. A l'origine de cette prédiction? Larry Molnar, du Calvin College (Etats-Unis) qui, en 2013, cherchant à identifier l'origine des variations de luminosité de KIC 9832227, dans la constellation du Cygne, découvre deux étoiles tournant l'une autour de l'autre à une vitesse de plus en plus rapide. Une accélération fatale qui annonce leur fusion, visible à l'œil nu, en une supernova 10 000 fois plus brillante dans seulement cinq ans! **A.D.**

✓ KIC 9832227 (modélisée ici) est une étoile double qui va fusionner.



COGNITION

Les bilingues ont un cerveau plus efficace

Pour une même tâche et à succès équivalent, le cerveau d'un bilingue est mieux organisé que celui d'un monolingue. Des volontaires, bilingues ou non, âgés de 63 à 84 ans, ont été soumis à l'université de Montréal à des tests de reconnaissance visuelle. Chez les premiers, l'IRM fonctionnelle a révélé qu'une seule zone cérébrale était fortement connectée (ici en rose), là où les seconds en sollicitaient cinq! Jongler avec les langues améliorerait donc la concentration et aiderait à mieux gérer plusieurs tâches. Un entraînement à l'économie cérébrale qui pourrait repousser la sénilité... **T.C.-F.**

ÉTHOLOGIE

Cet oiseau drague à 3 000 km à la ronde

Rituels de séduction, combats, manque de sommeil... Pour le bécasseau tacheté mâle, la saison des amours est épuisante. D'autant que s'il parcourt près de la moitié du globe pour rejoindre son aire de reproduction en Arctique, il n'hésite pas à couvrir encore 3 000 km de plus pour courtiser un maximum de femelles. Une stratégie nomade inconnue jusqu'ici, mais qui, selon l'équipe allemande qui l'a étudiée, a permis à un des spécimens observés d'engendrer 22 petits avec 6 femelles différentes. Si ce rituel est pénalisant d'un point de vue évolutionniste (moins de diversité...), il lui permettra de faire face au réchauffement en changeant de site de reproduction. **M.S.**



Pour séduire le plus grand nombre de femelles, le bécasseau tacheté couvre des milliers de kilomètres.

NASA/JPL-CALTECH/UCLA/MPS/DLR/IDA - CRUGM - UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL - L. MOLNAR ET AL. - (C) MARKUS VARESVUO / BIOSPHOTO



PALÉONTOLOGIE

UN DINOSAURE À BEC PERDAIT SES DENTS EN GRANDISSANT

Si le *Limusaurus* adulte avait un bec, petit, il avait des dents! C'est en analysant 19 fossiles de ce théropode (dont sont issus les oiseaux), qu'une équipe chinoise a mis au jour ce processus complet d'édentition encore jamais observé chez un reptile. *"Il est extrêmement rare de pouvoir étudier tous les stades de développement d'une espèce"*, atteste Josef Stiegler (université George

Washington). D'où l'importance de ces fossiles découverts en Chine. Datés du jurassique supérieur (il y a 160 à 145 millions d'années), leur âge varie de moins d'un an à près de dix. Des 42 dents tranchantes qui garnissaient les mâchoires des petits, il n'en reste aucune chez les adultes. *"Cette découverte permet de mieux comprendre l'évolution du bec des oiseaux et révèle*

un changement radical de régime alimentaire", détaille le chercheur. En effet, les jeunes *Limusaurus* étaient sûrement omnivores avant de devenir herbivores en grandissant. Une hypothèse renforcée par l'analyse isotopique des fossiles. *"N'entrant pas en compétition avec les adultes de leur espèce, ils avaient de meilleures chances de survie"*, conclut Josef Stiegler. T.C.-F.

PHYSIQUE

On a enfin compris ce qui fait glisser la glace

Grâce au spectrographe SFG, une équipe internationale vient de découvrir ce qui rend la glace si glissante. Ce n'est pas seulement, comme on l'a longtemps pensé, grâce à une mince pellicule d'eau qui agit comme un tapis de billes, mais bien à cause de deux couches de quelques millièmes de millimètre, dans lesquelles l'eau est dans un état intermédiaire entre solide et liquide. Une explication qui permettra, face au réchauffement climatique, d'anticiper le glissement des glaciers puisque c'est le même mécanisme qui est à l'œuvre entre la glace et le sol. R.I.

Deux couches d'eau de quelques millièmes de millimètre recouvrent la glace.



étérite. Elle contient un gène impliqué dans la différenciation de la graisse brune (une graisse qui produit de la chaleur). Denisova l'aurait transmis à *Sapiens* lors de leur rencontre en Asie, voilà 50 000 ans, et celui-ci l'aurait disséminé au gré de ses migrations. Ce gène aurait ensuite connu une sélection naturelle plus forte chez les Inuits. C.H.

Nouvelle Suzuki **IGNIS**

CHANGEZ DE POINT DE VUE



Way of Life!



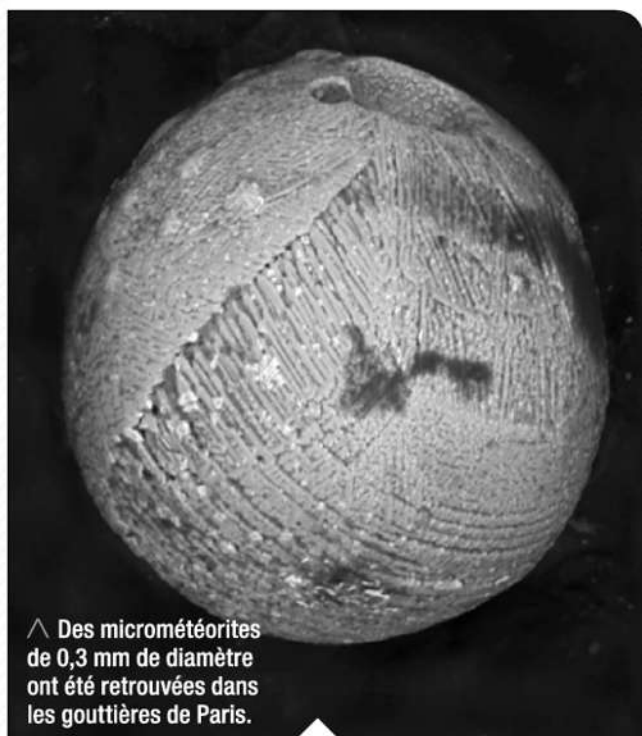
NOUVELLE SUZUKI IGNIS, le SUV ultra compact.

A partir de 10 690 €⁽¹⁾, Si vous avez envie de voir les choses autrement, venez essayer le premier SUV ultra compact de Suzuki. Système Hybrid SHVS⁽²⁾, technologie exclusive 4 roues motrices AllGrip, position de conduite surélevée, freinage actif d'urgence avec double caméra, dans seulement 3m70.... jamais une citadine ne s'est sentie aussi à l'aise partout.

Et vous, êtes-vous prêt à changer de point de vue ?

SUV (Sport Utility Vehicle) : concept urbain tout chemin. Equipements selon version. (1) Prix TTC de la nouvelle Suzuki Ignis 1.2 Dualjet Advantage, hors peinture métallisée, après déduction d'une remise de 2 100 € offerte par votre concessionnaire. Offre réservée aux particuliers valable pour tout achat d'une nouvelle Suzuki Ignis neuve du 12/12/2016 au 31/03/2017, en France métropolitaine dans la limite des stocks disponibles, chez les concessionnaires participants. **Modèle présenté : Nouvelle Suzuki Ignis 1.2 Dualjet Pack : 13 590 €, remise de 1 800 € déduite + peinture métallisée : 470 €.** Tarifs TTC clés en main au 12/12/2016. Consommations mixtes CEE gamme nouvelle Suzuki Ignis (l/100 km) : 4,3 - 5,0. Émissions CO₂ (g/km) : 97 - 114. (2) Smart Hybrid Vehicle by Suzuki. *Un style de vie !

Garantie 3 ans ou 100 000 km au 1^{er} terme échu. www.suzuki.fr



^ Des micrométéorites de 0,3 mm de diamètre ont été retrouvées dans les gouttières de Paris.

GÉOSCIENCES

DES PETITS BOLIDES COSMIQUES SONT TOMBÉS SUR LES TOITS DE PARIS

Si la poussière cosmique peut tomber n'importe où sur notre planète, les scientifiques préfèrent d'ordinaire la collecter dans les glaces de l'Antarctique. Cette fois, pourtant, ils ont eu l'idée de ratisser les toits de grandes villes européennes. Résultat : 500 micrométéorites, des minuscules billes cosmiques de 0,3 mm de diamètre, ont été récoltées dans les gouttières de Paris, Oslo et Berlin. Des petits bolides qui ont pénétré l'atmosphère au cours de ces six

dernières années à la vitesse jamais vue de 12 km/s, soit 43 000 km/h ! C'est en analysant leur structure, modifiée par leur pénétration dans l'atmosphère, que des géologues britanniques et norvégiens ont pu calculer cette vitesse, bien supérieure à celle des poussières cosmiques habituellement récoltées. Des perturbations gravitationnelles créées par de légères modifications de l'orbite de la Terre pourraient être à l'origine de cette pénétration particulière. **O.D.**

en
bref

NOTRE BAL AIÉ VOIE DES ÉTOILES
Des chercheurs du Centre d'astrophysique de Harvard ont découvert qu'il y a

péré 5 étoiles en périphérie de notre galaxie qui n'ont rien à faire là ! La force de gravitation de notre Voie lactée les aurait littéralement arrachées à la galaxie naine du Sagittaire. **T. L.-H.**

LE "POP" DU MAÏS QUI POUSSE...

Le bruit de la tige de maïs qui pousse serait semblable à celui du pop-corn qui éclate, selon des chercheurs de l'université du Nebraska. Ce qui laisse penser qu'une plante grandit en réparant d'infimes zones de sa tige... qui craquent ponctuellement. **T. L.-H.**

IMMACULÉE CONCEPTION CHEZ LE REQUIN-ZEBRE

Une femelle a mis au monde trois petits alors qu'elle vit seule dans un aquarium australien depuis trois ans : elle a elle-même fécondé son ovule avec l'une de ses cellules. **F.G.**

PHYSIQUE

Les trois infinis percent le secret de l'or

L'or ? Un casse-tête ! Jusqu'ici, les physiciens étaient incapables de calculer les propriétés de ce gros atome, dont les 79 électrons forment des interactions d'une complexité inouïe, atteignent des vitesses relativistes et sont influencés par les effets quantiques du vide. Peter Schwerdtfeger (université Massey d'Auckland) est tout de même parvenu à déduire de ses équations l'énergie nécessaire pour lui arracher un électron. Et cette valeur, essentielle pour toute sa chimie, est conforme à l'expérience. Florent Calvo (Laboratoire interdisciplinaire de physique, Grenoble) est admiratif : "C'est la première fois que l'on parvient à prendre en compte toutes ces contraintes avec ce niveau de raffinement." Le secret de l'or réside donc dans la conjugaison des théories de l'infiniment petit, de l'infiniment grand et de l'infiniment complexe. Fascinant ! **M.G.**



MÉDICAMENT GÉNÉRIQUE : IL A MÉRITÉ DE VOUS SOIGNER

Le médicament générique
est contrôlé à chaque étape de sa fabrication.
Il est prescrit et dispensé par des milliers
de médecins et de pharmaciens.
Chaque jour, il fait ses preuves en soignant
des millions de Français.



Rendez-vous sur medicaments.gouv.fr

DEVENIR GÉNÉRIQUE ÇA SE MÉRITE



✓ Pour transporter du miel, les fourmis sont capables de choisir les matériaux les plus absorbants (ici l'éponge).

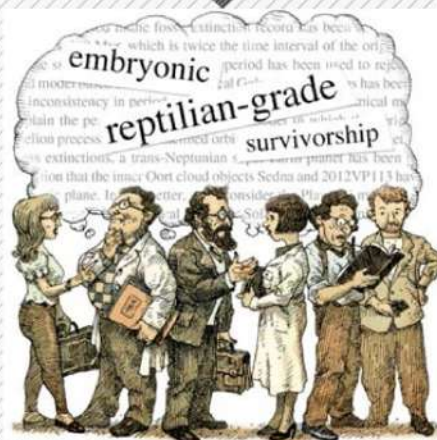
COGNITION ANIMALE

LES FOURMIS TESTENT LEURS OUTILS AVANT DE CHOISIR LE BON

On savait déjà que certaines fourmis utilisaient des outils. Mais deux équipes de chercheurs, l'une hongroise, l'autre française, viennent de montrer qu'elles les choisissent. Dans des séries d'expériences impliquant deux espèces de fourmis, l'une vivant dans les forêts de pins d'Europe centrale, l'autre sur les plages du sud de la France, les chercheurs ont proposé aux insectes du miel, dilué ou non, des fragments de feuilles, des grains de terre, des brindilles, des épines de pin, des morceaux de papier et d'éponge. Trem-pés dans le miel et imbibés,

ceux-ci peuvent être transportés jusqu'à leur nid. Tandis que les fourmis hongroises préféraient utiliser des grains de terre et des morceaux d'éponge pour transporter le miel dilué, les fourmis françaises se sont montrées encore plus sélectives: *"Elles ont d'abord essayé tous les outils avant de choisir, au bout de dix essais, le papier et l'éponge. Or, ce sont justement les outils ayant la meilleure capacité d'absorption. Elles sont donc douées d'apprentissage"*, explique Patrizia d'Ettore, coordonnatrice de l'expérience française. **C.H.**

Ça reste à prouver



Et si la disparition des dinosaures était due à leur longue période d'incubation ?

Il y a 65 millions d'années, les dinosaures disparaissaient de la surface de la Terre. En cause, l'impact d'un astéroïde géant et des éruptions volcaniques. Selon une étude américaine, un autre élément pourrait bien avoir participé à leur extinction: leur longue période d'incubation. A l'aide d'un microscope à haute définition, les scientifiques ont analysé les lignes de croissance présentes sur les dents d'embryons fossilisés d'un *Protoceratops* et d'un *Hypacrosaurus*. *"Elles représentent le remplissage quotidien de la cavité pulpaire de la dent avec la dentine"*, explique Gregory Erickson, premier auteur de l'étude. Autrement dit, comme les cernes d'un arbre, elles sont un indice du temps qui passe. Résultat: les œufs mettaient entre trois et six mois pour éclore. C'est long! Et synonyme de vulnérabilité pour eux comme pour les parents, davantage exposés aux prédateurs ou aux aléas climatiques. Sans compter qu'après l'éclosion, le développement des petits restait très lent. *"Un handicap pour coloniser les niches écologiques vacantes et s'adapter après un cataclysme"*, note le chercheur. Qui précise qu'il faut maintenant tester plusieurs sortes d'embryons de dinosaures pour confirmer la solidité de cette hypothèse. **M.S.**

MÉDICAMENT GÉNÉRIQUE : IL EST PRÉSENT DANS TOUS LES HÔPITAUX



Le médicament générique est aussi prescrit à l'hôpital
pour traiter des maladies graves comme le cancer.

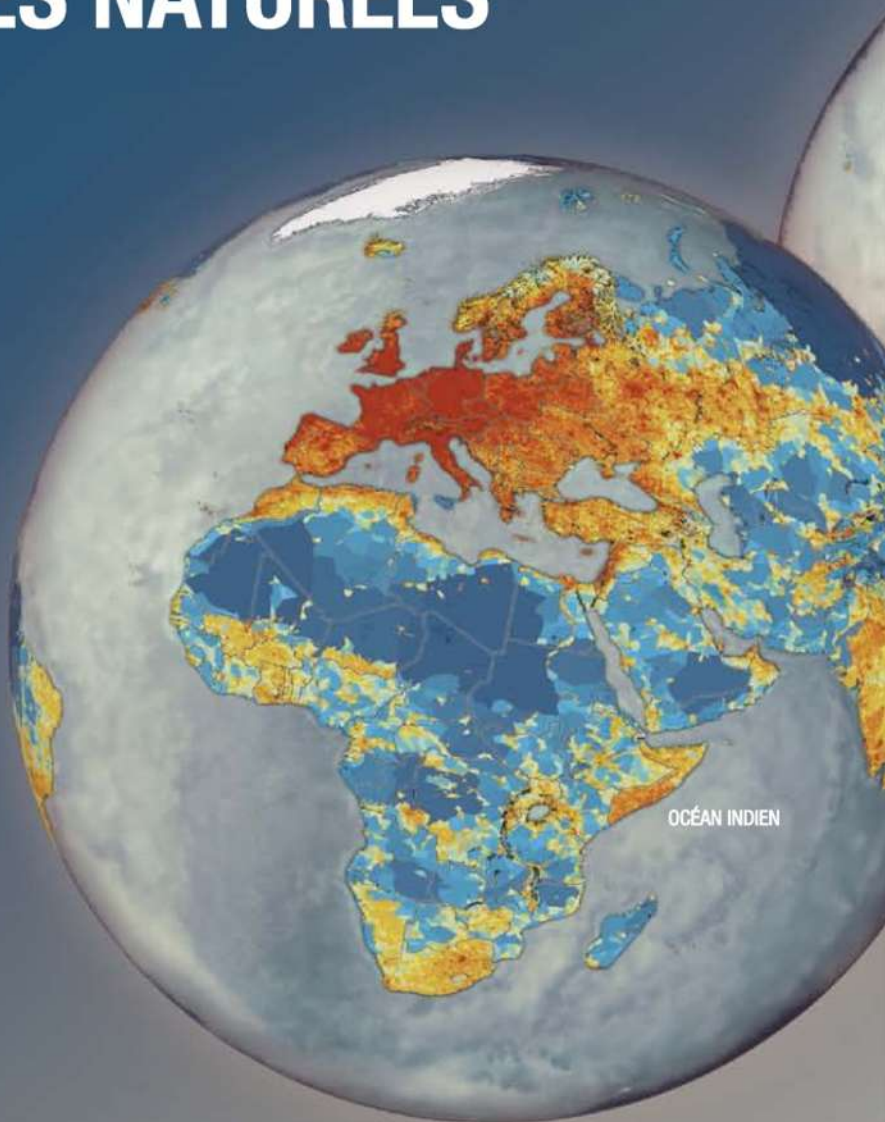
Rendez-vous sur medicaments.gouv.fr

DEVENIR GÉNÉRIQUE ÇA SE MÉRITE

ÉCOSYSTÈMES

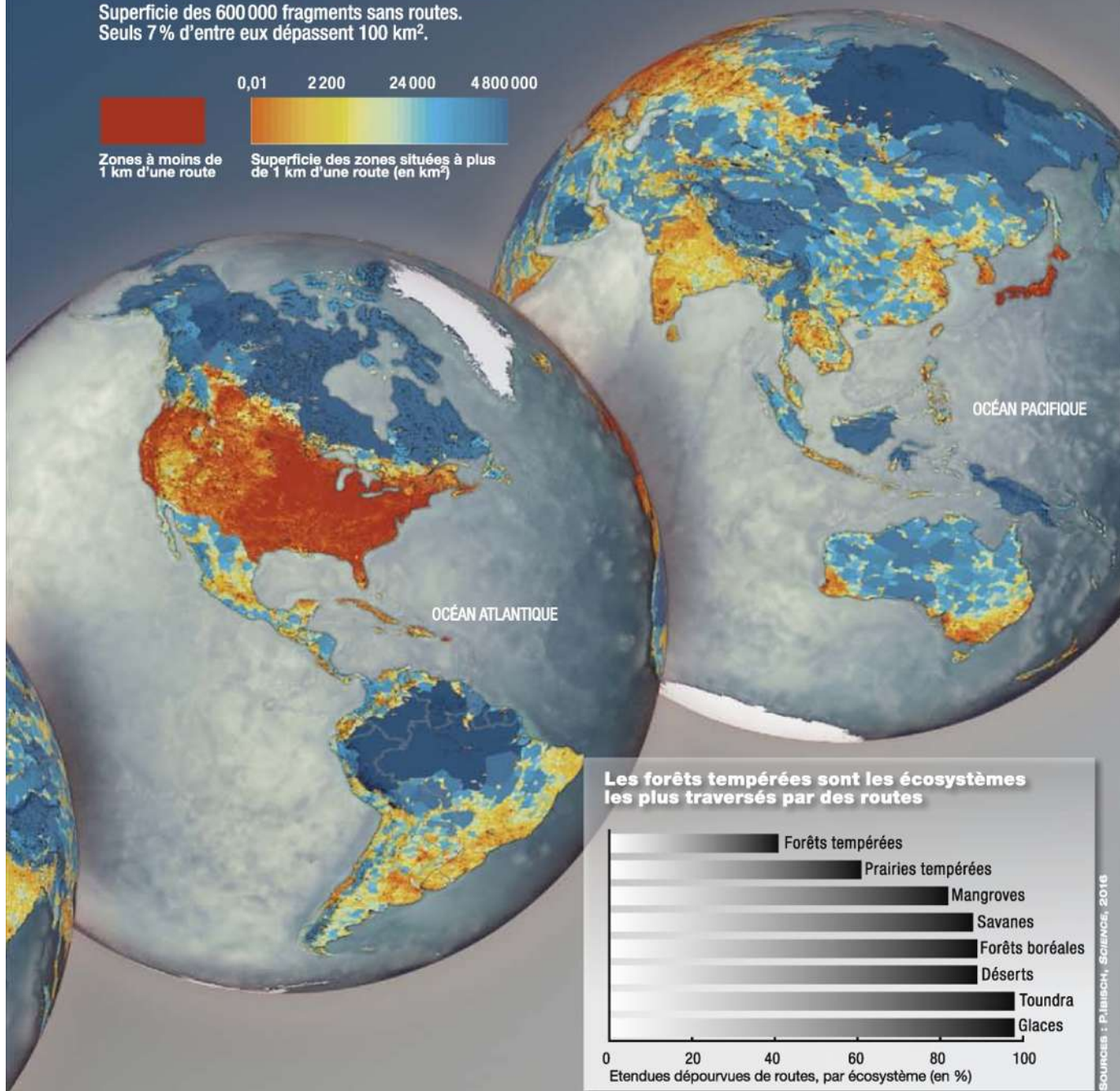
LES RÉSEAUX ROUTIERS FRAGMENTENT SEVEREMENT LES ESPACES NATURELS

Plusieurs centaines d'articles scientifiques documentent désormais les dégâts environnementaux imputables aux routes : écrasement de nombreux animaux, réduction du brassage génétique, facilitation des invasions biologiques, déforestation et prélèvements accrus, pollutions diverses, etc. Mais il n'existait jusqu'à présent pas d'estimation planétaire de l'ampleur du phénomène routier. Une lacune que vient de combler une équipe internationale qui a cartographié la surface moyenne, à travers le globe, des zones situées à plus de 1 km d'une route. Ce qui revient à représenter la densité des routes, puisque plus elles sont rares, plus ces zones sont étendues. *"Notre travail montre que le réseau routier a découpé les continents en environ 600 000 fragments, dont la moitié mesure moins de 1 km², indique Pierre Ibisch, l'un des auteurs de l'étude. Il est donc urgent, à nos yeux, de mettre en place une stratégie de préservation des zones sans routes qui subsistent encore."* Des zones, souligne-t-il, qui ne se valent pas toutes écologiquement : certaines se situent dans des déserts arides ou glacés, tandis que d'autres hébergent une biodiversité foisonnante. **Y.S.**

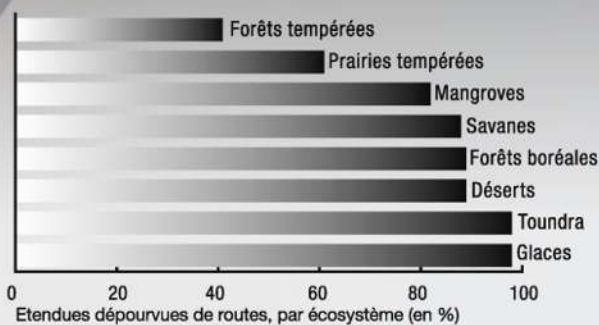


Les routes et leurs abords couvrent environ 20 % de la surface continentale

Superficie des 600 000 fragments sans routes.
Seuls 7 % d'entre eux dépassent 100 km².



Les forêts tempérées sont les écosystèmes les plus traversés par des routes



SOURCES : P. J. BISHOP, SCIENCE, 2016

36 millions

de kilomètres de routes sillonnent la Terre. Et 25 millions sont à venir d'ici à 2050.

80 %

de la surface continentale se situe encore à plus de 1 km d'une route.

9,3 %

seulement des zones sans routes sont des aires protégées.

G. CIRADE - B. BELLANGER

GÉOPHYSIQUE

SOUS L'OCÉAN INDIEN, UNE PLAQUE TECTONIQUE EST EN TRAIN DE SE BRISER

Mais que se passe-t-il au large de l'île indonésienne de Sumatra, dans le bassin de Wharton ? Cette région éloignée de toute limite de plaque tectonique a été secouée par quatre puissants séismes ces dernières années, dont deux, en avril 2012, ont atteint 8,6 sur l'échelle de Richter. Des libérations colossales d'énergie qui ne

s'observent habituellement qu'en bordure de plaque. Au terme de deux missions océanographiques, l'équipe de Satish Singh, de l'Institut de physique du globe de Paris, croit avoir trouvé l'explication : *"Nous pensons que la plaque tectonique indo-australienne est en train de se briser en deux, et qu'une nouvelle frontière de plaque est en cours de*

formation le long d'une ligne de 1000 km", ligne grossièrement orientée nord/sud. Un tel phénomène, que nous avions évoqué dès 2013 (S&V n°1145), n'avait encore jamais été observé par des scientifiques. A l'appui de leur théorie, les chercheurs invoquent leurs données sismiques et des failles découvertes sur le fond marin à l'aide d'un sonar haute

fréquence multifaisceau. L'idée est plausible : *"La plaque indo-australienne est très allongée, et elle avance plus vite du côté australien que du côté indien, où elle bute contre l'Eurasie. Des déformations importantes s'y exercent donc",* explique Satish Singh, qui va retourner dans la région dès cet été pour tenter de confirmer son hypothèse. **Y.S.**

ÉCOLOGIE

Les parasites souffrent aussi du réchauffement

Tiques, poux, puces et autres vers ne sont pas épargnés par le changement climatique : au contraire, ils y sont jusqu'à dix fois plus sensibles que leurs hôtes. *"Ils sont exposés à la fois aux migrations du ou des organismes qui les hébergent et à la désynchronisation de leurs cycles de vie",* précise Carrie Cizauskas, à l'université de Berkeley. Or, avertit la chercheuse, *"les parasites contrôlent les écosystèmes bien plus qu'on ne le croit. Ils ont une biomasse très importante, souvent supérieure à celle des grands prédateurs, et limitent les populations de certains animaux au profit d'autres".* Leur extinction pourrait donc induire dans certains écosystèmes des effets *"imprévisibles, voire désastreux"*. **Y.S.**

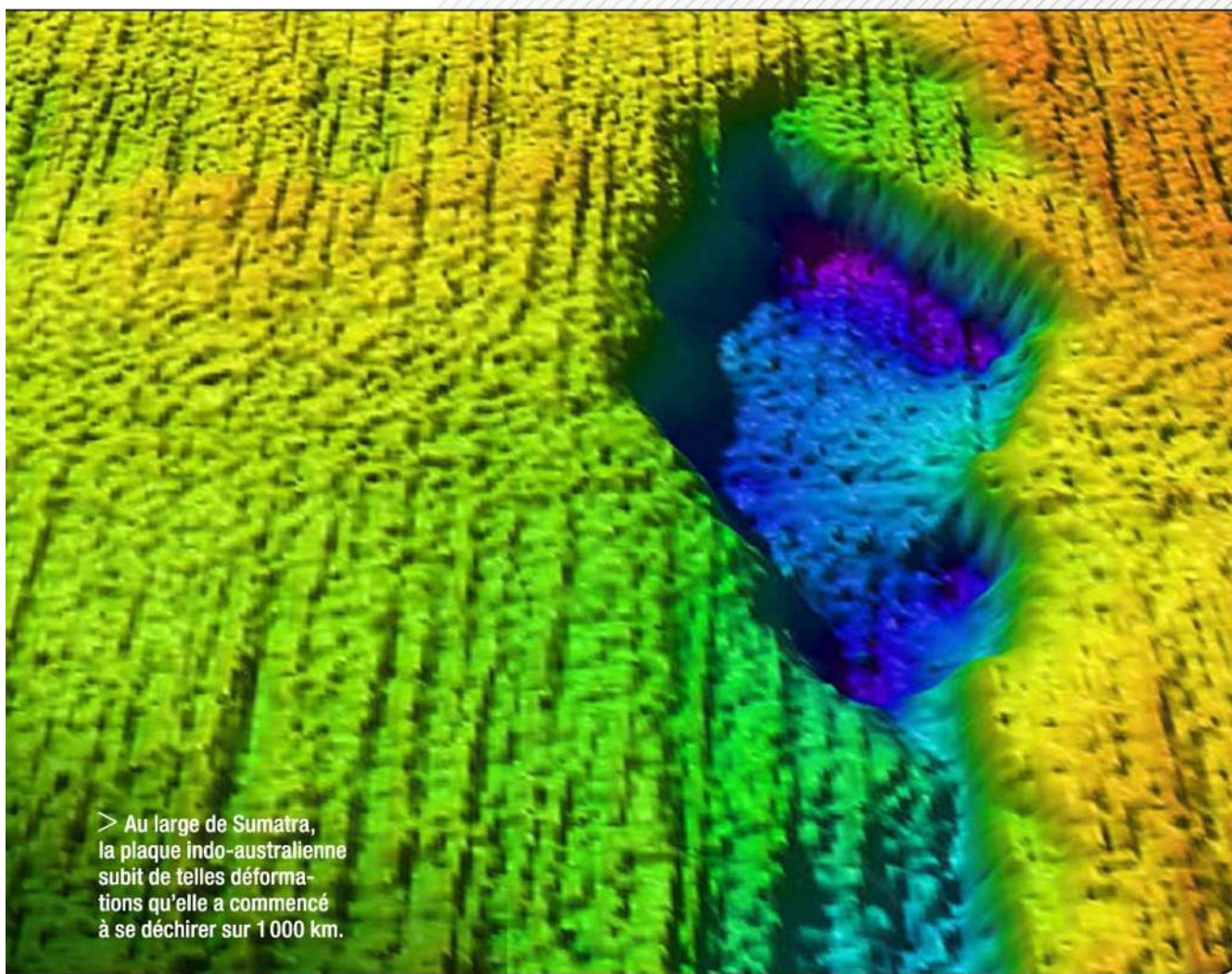
VOLCANOLOGIE

Un "supervolcan" menace Naples

Plus que le Vésuve, c'est une vaste dépression à l'ouest de Naples, nommée champs Phlégréens, qui met en péril la ville et son million d'habitants. Si d'abondantes fumerolles y témoignent d'une activité volcanique constante depuis 1950, *"la situation a évolué dangereusement"* ces douze dernières années, estime Giovanni Chiodini (Institut de géophysique italien). En effet, son équipe a noté des changements dans la composition des fumerolles, l'activité microsismique et le rythme du soulèvement du sol. En modélisant les magmas, elle a révélé l'existence d'une *"pression critique"* dont le système pourrait s'approcher. **Y.S.**



▼ A l'ouest de la ville, les fumerolles qui émanent des champs Phlégréens témoignent d'une intense activité volcanique.



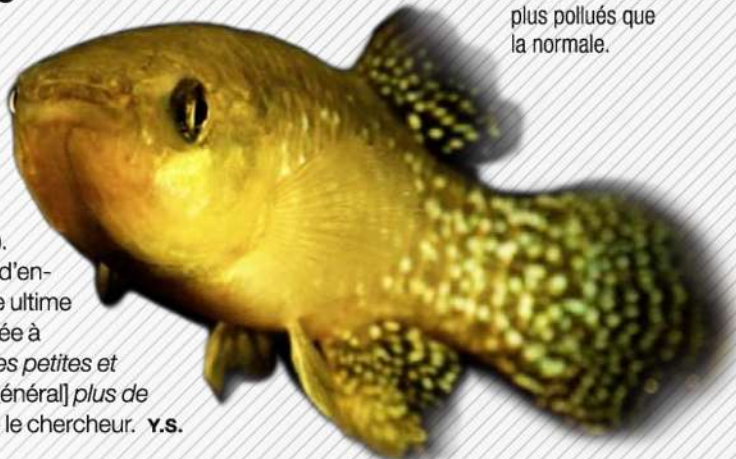
> Au large de Sumatra, la plaque indo-australienne subit de telles déformations qu'elle a commencé à se déchirer sur 1 000 km.

BIOLOGIE

Grâce à son génome, le choquemort résiste à une pollution extrême

LEOLUMIX - SOI / MEGATERA EXPEDITION - ANDREW WHITEHEAD

Fundulus heteroclitus, un petit poisson qui peuple les estuaires d'Amérique du Nord, possède un incroyable talent : celui de survivre dans des environnements ultrapollués. Y compris là "où les taux de polluants hautement toxiques (dioxines, PCB, hydrocarbures ou métaux lourds) sont 80 fois plus élevés que la normale", s'émerveille Andrew Whitehead (université de Californie). Après avoir séquencé des centaines de poissons issus d'environnements différents, son équipe a conclu que l'arme ultime de cette espèce est sa diversité génétique, elle-même liée à son abondance. "Cela semble confirmer que les espèces petites et nombreuses, à cycle de vie relativement court, ont [en général] plus de ressources adaptatives que les gros animaux", souligne le chercheur. **Y.S.**



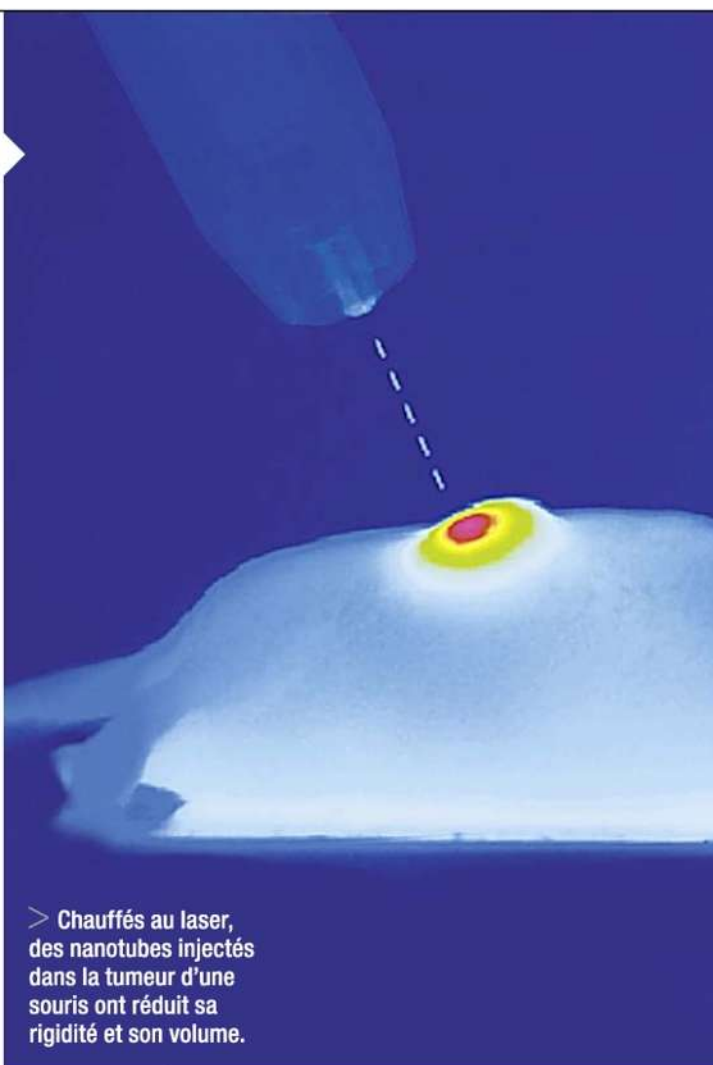
✓ Ce poisson survit dans des estuaires 80 fois plus pollués que la normale.

CANCÉROLOGIE

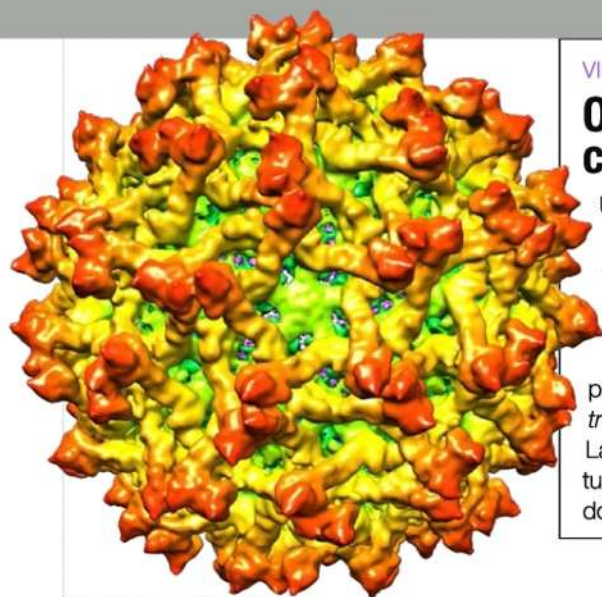
LES NANOTUBES OUVRENT UNE PISTE POUR AMÉLIORER LA CHIMIOTHÉRAPIE

Plus une tumeur est dure, plus elle a tendance non seulement à être maligne et à proliférer, mais aussi à faire barrage aux cellules immunitaires et aux chimiothérapies. Florence Gazeau et son équipe du Laboratoire matière et systèmes complexes, à l'université Paris-Diderot, ont donc imaginé un système alliant laser et nanotechnologies qui permet d'assouplir la masse cancéreuse de l'intérieur. Le principe : injectés dans une tumeur, des nanotubes chauffent sous l'effet d'un rayon laser. Les premiers résultats montrent que, sur les tumeurs sous-cutanées de souris, deux sessions

de "nanohyperthermie" (chauffage à 52°C durant trois minutes ou à 42°C durant vingt minutes, deux jours de suite) ont permis de réduire dans les dix jours la rigidité et le volume de ces tumeurs. *"Ce traitement modifie physiquement le micro-environnement cellulaire, explique Florence Gazeau, car la chaleur tue certaines cellules et dénature les fibres de collagène qui les lient."* Une vraie piste pour préparer le terrain à une chimiothérapie quand il est impossible d'opérer, comme c'est souvent le cas, par exemple, pour les tumeurs du pancréas. **F.G.**



> Chauffés au laser, des nanotubes injectés dans la tumeur d'une souris ont réduit sa rigidité et son volume.



VIROLOGIE

On commence à comprendre comment Zika entre dans le cerveau

Une équipe française menée par Ali Amara (Inserm) a découvert comment le virus Zika, responsable de malformations cérébrales chez les fœtus des femmes enceintes infectées, pénètre dans le cerveau. Il diminue la réponse immunitaire en utilisant les molécules Gas 6 pour se lier à la protéine Axl, exprimée par les cellules gliales qui entourent les neurones. Peut-on y voir une première piste thérapeutique ? C'est ce que va vérifier Ali Amara, mais *"d'autres molécules importantes pourraient être impliquées"*, prévient-il. La publication simultanée, par une équipe américaine, de la structure du virus sous sa forme immature pourrait apporter de nouvelles données sur la façon dont il contourne le système immunitaire. **A.R.**

SURVIVANTS D'EBOLA MAIS PAS GUÉRIS

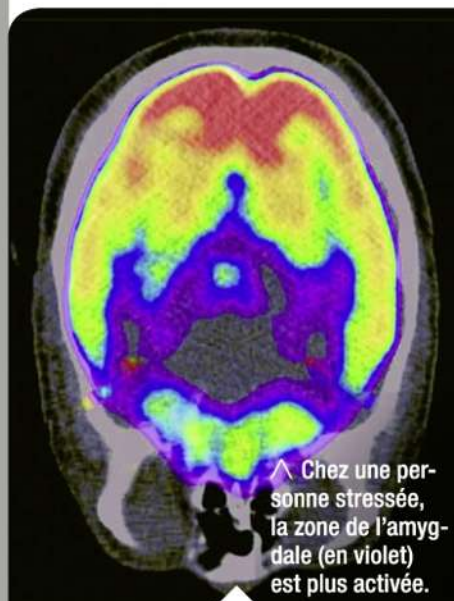
Selon une étude de l'Inserm, un an après leur hospitalisation, trois survivants du virus Ebola sur quatre déclarent encore des problèmes de santé: fièvre ou fatigue pour 40%, douleurs musculaires pour 38% et troubles visuels pouvant conduire à la cécité pour 18%. C.T.

LA PISTE DU REQUIN CONTRE PARKINSON

Une étude menée *in vitro* par une équipe internationale montre que la squalamine, une molécule présente naturellement chez certains requins, limite l'accumulation anormale de protéines liées à la maladie de Parkinson. C.T.

LE MICROBIOTE DE L'ILÉON

Il n'y a pas que le colon! Les fibres que nous mangeons seraient aussi dégradées dans la partie terminale de l'intestin: l'iléon. Une étude menée par l'Inra vient de révéler que son microbiote jouerait aussi un rôle dans notre métabolisme. C.T.



^ Chez une personne stressée, la zone de l'amygdale (en violet) est plus activée.

CARDIOLOGIE

Le stress passe bien du cerveau dans les artères

"Le stress n'est pas bon pour le cœur." Un vieil adage... enfin fondé scientifiquement! Tout est parti de travaux menés chez la souris, montrant que l'activation d'une zone du cerveau impliquée dans le stress (l'amygdale) entraînait non seulement la prolifération et la différenciation de cellules souches sanguines dans la moelle osseuse, mais aussi la production de molécules inflammatoires. Or, ces dernières favorisent la formation de plaques d'athérome qui obstruent les artères. Pour vérifier la présence de ce mécanisme chez l'homme, des chercheurs américains ont suivi 293 personnes pendant quatre ans. Parmi elles, les 22 qui furent victimes d'un accident cardio-vasculaire pendant cette période présentaient à la fois l'activité la plus forte au niveau de l'amygdale et de la moelle osseuse, et le plus fort taux d'inflammation des artères — indépendamment des facteurs de risque connus. Or, l'hyperactivité de l'amygdale était, chez ces personnes, bien associée à un stress chronique. A.R.

IRIS MARANGON/CHRS - COURTESY OF KUHN AND ROSSMANN RESEARCH GROUPS - TAWAKOL ET AL., 2017, THE LANCET

10%

C'est, selon la plus vaste étude mondiale jamais menée, le pourcentage de femmes qui consomment de l'alcool pendant leur grossesse. Le Centre pour la santé mentale et les addictions de Toronto (Canada) estime que, dans le monde, près de 15 nouveau-nés sur 10 000 souffrent d'un syndrome d'alcoolisation fœtale, soit 119 000 enfants par an. C.T.



NUCLÉAIRE

TEST RÉUSSI POUR LE RÉACTEUR WEST: IL A PRODUIT DU PLASMA

Dans la quête de la maîtrise de la fusion nucléaire, les ingénieurs du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) ont réussi à fabriquer un plasma chauffé à près de 100 millions de degrés à l'aide de leur réacteur expérimental West. Cette étape est cruciale pour pouvoir tester dans les prochains mois le divertor, un composant essentiel du futur Iter – le plus grand tokamak jamais conçu prévu pour 2025-2035. *“Nous avons déjà obtenu des résultats avec Tore Supra, la première ‘configuration’ de la machine. Nous l'avons modifié en profondeur,*

ce qui a été un véritable défi technologique, et les perspectives de recherche qu'ouvre West aujourd'hui sont passionnantes”, se réjouit Jérôme Bucalossi, chef de projet au CEA-IRFM. De fait, le divertor aura pour fonction de recevoir l'essentiel des flux de chaleur et de particules provenant du plasma central. Il sera chargé d'extraire les “cendres” (l'hélium) et une partie de la chaleur produite par la réaction de fusion, tout en minimisant la contamination du plasma par les autres impuretés. Début des campagnes expérimentales au printemps. **E.T.-A.**



AÉRONAUTIQUE

Ultraléger et hyperrésistant, le premier avion en

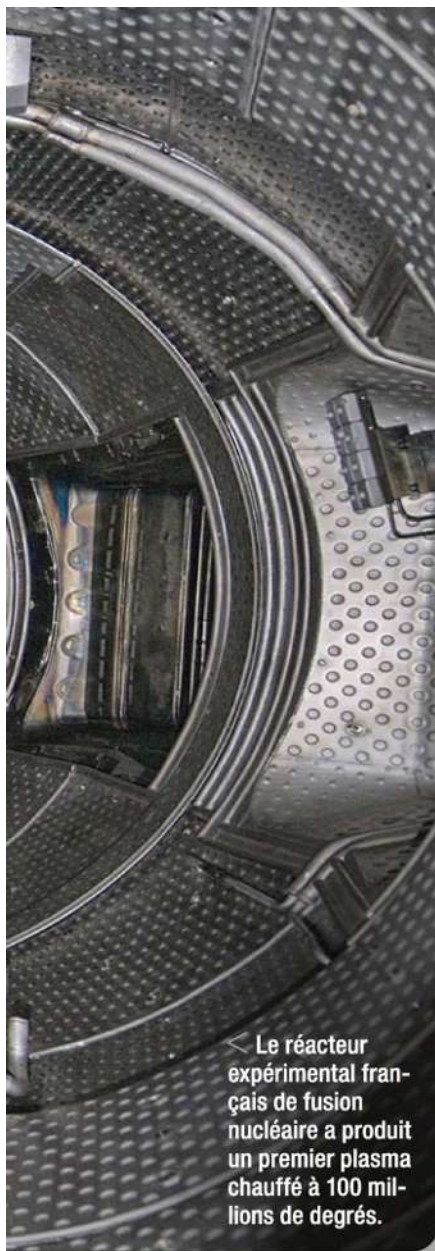
✓ Le Prospero mesure 3 m d'envergure et se pilote depuis le sol.

Résistant, léger, flexible: le graphène, ce feuillet ultra-fin d'atomes de carbone, a tout du matériau miracle. La preuve avec le Prospero.

Conçu par les universités de Manchester et du Lancashire Central avec l'entreprise Haydale Composite Solutions (Royaume-Uni), ce petit avion sans pilote de 3 m d'envergure

possède des ailes en fibre de carbone couvertes de graphène. Et il vole déjà plutôt bien! Ses premiers essais, fin 2016, ont montré qu'il est même, selon son pilote au sol, *“plus léger, plus aérodynamique, et qu'il flotte sans trop de traînée comparé aux modèles*





> Le réacteur expérimental français de fusion nucléaire a produit un premier plasma chauffé à 100 millions de degrés.

graphène a décollé

conventionnels". Sans compter qu'il est aussi 60 % plus résistant aux chocs et mieux protégé contre la foudre – le graphène est en effet un excellent conducteur d'électricité. De grands noms de l'aviation ont déjà fait savoir qu'ils souhaitent s'allier au projet. **L.B.**

en
bref

RECORD

Sur 25 °C, les chercheurs du Centre de recherche sur les matériaux de l'Université de Montréal ont réussi à créer un plasma à très basse température.

mes ! Pour cela, ils se sont servis de diamantoides (à la structure semblable à celle du diamant). A la clé ? On pourrait créer plus facilement des tissus conducteurs pour les futurs textiles intelligents. **M.V.**

TOUT PRÈS DU ZÉRO ABSOLU

–273,1496 °C, c'est la température à laquelle un tambour microscopique a pu être refroidi par des chercheurs américains. Au-delà de la performance, ce résultat, voisin du zéro absolu, permettra d'étudier la réaction des matériaux à très basse température. **M.V.**

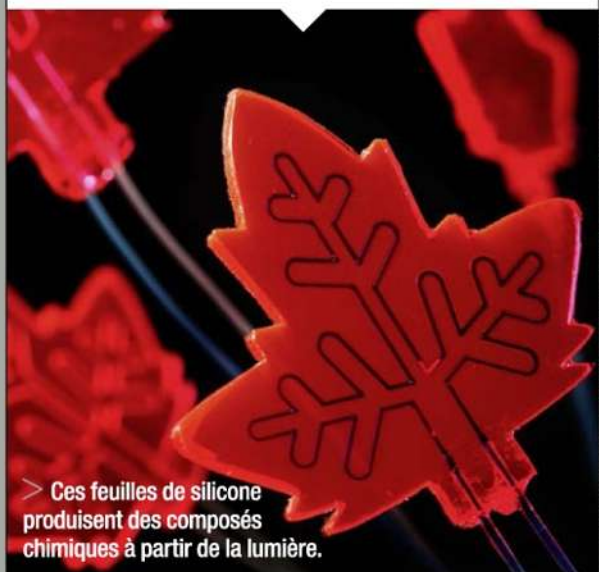
UN EXTINCTEUR INTÉGRÉ À SON SMARTPHONE

Contre les risques d'incendie et d'explosion des batteries lithium-ion, des chercheurs ont intégré, directement dans le composant, un retardateur de flamme : il se libère passé 150 °C et, en 0,4 s, éteint tout départ de feu. **M.V.**

MATÉRIAU

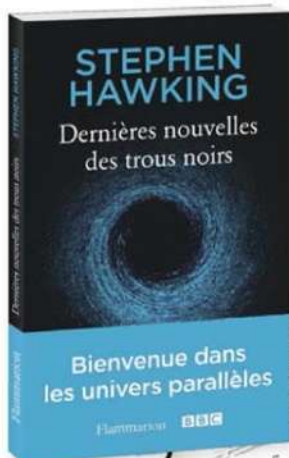
Non breveté, un superprocédé met la chimie à portée de tous

S'inspirant de la nature, des chercheurs de l'université technique d'Eindhoven (Pays-Bas) ont inventé une feuille artificielle qui produit des composés chimiques grâce à la lumière du soleil. Une véritable prouesse ! En effet, cette source d'énergie n'est normalement pas suffisante pour enclencher de manière efficace les réactions nécessaires à une telle production. Pour y parvenir, l'équipe menée par Timothy Noël s'est servie d'un matériau à base de silicone (taillé en forme de feuille), dans lequel ont été enchâssées des molécules de colorant fluorescent. Lorsque la lumière frappe ces molécules, elles l'absorbent avant de la réémettre selon une longueur d'onde précise qui permet de la concentrer. Cette lumière est ensuite guidée à travers le matériau jusqu'à des microcanaux dans lesquels baigne un liquide contenant des réactifs. Une réaction chimique s'opère alors, qui produit de nouvelles molécules avec une efficacité au moins 40 % supérieure à celle d'autres procédés. *"Cette invention est une réelle avancée, et nous avons choisi de ne pas la breveter, explique Timothy Noël. J'espère qu'elle pourra ainsi servir aux pays les plus pauvres, y compris dans les endroits où l'accès à l'électricité fait défaut."* De quoi imaginer aussi fabriquer un jour... du paracétamol sur Mars ! **S.F.**



> Ces feuilles de silicone produisent des composés chimiques à partir de la lumière.

CEA - UNIVERSITY OF MANCHESTER / UNIVERSITY OF LANCASTER CENTRAL - EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Bienvenue dans les univers parallèles

NOUVEAU

Vu dans Science & Vie n°1191 page 33

Bienvenue dans les univers parallèles

Pourquoi ces objets du cosmos ne sont-ils pas si noirs ? Que deviennent les astres qui ont le malheur de s'en approcher de trop près ? Se pourrait-il que les trous noirs soient la porte d'entrée vers un autre univers ? *Stephen Hawking* vous expose le fruit de ses recherches sur la « singularité spatio-temporelle » au cœur d'un trou noir, où le temps et l'espace disparaissent.

Dernières nouvelles des trous noirs - 10€

AUTEUR : STEPHEN HAWKING. 112 PAGES. DIMENSIONS : 12 x 19 cm. ÉDITIONS FLAMMARION.

La montre élégante et résistante

- Verre minéral dur et résistant aux rayures
- Boîtier en acier fin massif
- Bracelet en acier inoxydable solide, durable et élégant
- Fermeture de sûreté spécifique
- Étanche jusqu'à 5 bars (env. 50 mètres)
- Revêtement Neobrite fluorescent qui brille dans l'obscurité
- Affichage de la date sur le cadran
- Environ 3 ans d'autonomie de la pile.



Montre Casio bleue nuit

NEOBRITE : UN REVÊTEMENT LUMINEUX QUI PROCURE UN ÉCLAIRAGE À LONG TERME DANS L'OBSCURITÉ, SEULEMENT APRÈS UNE COURTE EXPOSITION À LA LUMIÈRE. VERRE MINÉRAL DUR RÉSISTANT AUX RAYURES. FOND DE BOÎTIER VISSÉ. BRACELET EN ACIER INOXYDABLE. FERMETURE À TOUCHER À 3 PLIS. AFFICHAGE DE LA DATE DU JOUR. NIVEAU D'ÉTANCHÉITÉ DE 5 BARS : LA MONTRE EST CAPABLE DE RÉSISTER À LA PRESSION DE L'EAU ET PEUT AINSI ÊTRE UTILISÉE SOUS LA DOUCHE. DURÉE DE VIE APPROXIMATIVE DE LA PILE POUR UNE UTILISATION NORMALE : 3 ANS. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

60€
seulement!

FRAIS D'ENVOI OFFERTS

CASIO

LA TECHNOFOLIE DU MOIS

Roulez grâce à la pile à combustible à eau salée !

Avec un mélange d'eau salée, la réaction chimique génère de l'électricité en utilisant du sel, tout simplement. L'eau agit comme électrolyte et alimente le moteur. Découvrez la magie de cette nouvelle forme d'énergie écologique !



ÉNERGIE
EAU
SALÉE
PROPRE

NOUVEAU

Kit de construction voiture à eau salée

29 PIÈCES DE MONTAGE. DIMENSIONS : 12 x 9 x 6 cm. MOTEUR FONCTIONNANT À L'EAU SALÉE ET AU MAGNÉSIMUM (3 FEUILLES FOURNIES, 1 FEUILLE = 5-7 HEURES). À PARTIR DE 8 ANS.

LE KIT VOITURE À EAU
19€⁹⁰
seulement



PENSEZ-Y !

Recharge pour voiture à eau salée - 7,90€

4 FEUILLES MAGNÉSIMUM BOBCAR.



NOUVEAU

Vu dans Science & Vie n°1187 page 31

Vous allez enfin avoir les réponses à vos questions !

Quel est le passé de l'Univers ? Quand Google va-t-il nous rendre immortels ? Est-on en train de découvrir la théorie du « Tout » ? *Arnaud De Senilhes* lève le voile sur les perspectives hallucinantes ouvertes par la science d'aujourd'hui et les découvertes de demain.

Il était temps - 22€

AUTEUR : ARNAUD DE SENILHES. 548 PAGES. DIMENSIONS : 15 x 23,5 x 4,2 cm. ÉDITIONS TÉLEMAQUE.

SCIENCE & VIE

LA BOUTIQUE

Livres & cadeaux scientifiques et insolites

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

Connaître le ciel étoilé devient un jeu d'enfant!

NOUVEAU

Innovant, unique et facile d'utilisation, le planétarium *Universe2go* vous offre bien plus qu'une simple carte des étoiles, il vous permet d'observer le vrai ciel étoilé en y superposant une image digitale. Regardez les étoiles à l'aide d'une application pour smartphone et placez le dans la visionneuse pour observer le vrai ciel nocturne en temps réel. Contemplez ainsi les planètes, avec de nombreuses informations vocales complémentaires. Plusieurs modes (débutant, découverte, mythologie, quiz, expert, etc.) permettent à tous les membres de la famille de s'amuser et d'apprendre.

99€
seulement!
ou
3x33€

LIVRAISON RAPIDE COLISSIMO OFFERTE

Planétarium personnel Universe2go

CONTENU : 1 VISIONNEUSE UNIVERSE2GO AVEC ÉCRAN AMOVIBLE, 1 PASSE PARTOUT ADAPTÉ AUX DIFFÉRENTES TAILLES DE SMARTPHONE, 1 SACOCHE DE PROTECTION, 1 SANGLE, 1 CODE D'ACTIVATION POUR L'APPLICATION ET 1 NOTICE D'UTILISATION.

FONCTIONNE AVEC L'APPLE IPHONE 4, 5, 6 ET 7 SAMSUNG GALAXY S3, S4, S5, S6 ET S7 ET DE NOMBREUX SMARTPHONES AVEC LA VERSION iOS 7.0 ET ASCENDANTE AINSI QUE LA VERSION ANDROID 4.2 ET ASCENDANTE.

Vidéo explicative sur
boutique.science-et-vie.com

Une représentation des
88 constellations du ciel

Des plans rapprochés des planètes,
des galaxies, des amas stellaires
et des nébuleuses

Trois heures d'explications audio
sur le ciel étoilé et ses mystères

La relation entre les mythes
grecques et les constellations

universe2go

POUR COMMANDER ET S'INFORMER

boutique.science-et-vie.com

Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®, PayPal®

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

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

EN CADEAU avec votre commande dès 49€

Le DVD de Science & Vie
« **La fin des astronautes ?** »

UN FILM DE SERGE BRUNIER ET FRÉDÉRIC COMPAIN



BON DE COMMANDE

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

CODE COMMANDE : **398.388**

| Articles | Réf. | Quantité | Prix | Sous-total |
|--|---------|----------|--------|----------------|
| Livre « Dernières nouvelles des trous noirs » | 404.913 | x | 10€ | = € |
| Montre CASIO bleue nuit | 398.156 | x | 60€ | = € |
| Livre « Il était temps » | 402.990 | x | 22€ | = € |
| Kit de construction voiture à eau salée | 405.035 | x | 19,90€ | = € |
| Recharge 4 feuilles pour voiture à eau salée | 405.696 | x | 7,90€ | = € |
| Planétarium personnel Universe2go | 404.475 | x | 99€ | = € |
| SOUS-TOTAL | | | | € |
| Avec ma commande dès 49€, je reçois en CADEAU le DVD La fin des astronautes ? | | | | OFFERT |
| FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix) | | | | 6,90€ |
| <input type="checkbox"/> Envoi normal | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 49€ Envoi Coliéco | | | | GRATUIT |
| <input type="checkbox"/> Livraison rapide Colissimo | | | | 7,90€ |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 75€ Livraison rapide Colissimo | | | | GRATUIT |
| TOTAL | | | | € |

Offre valable uniquement en France métropolitaine pendant deux mois dans la limite des stocks disponibles. Délai de livraison des produits : maximum 2 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo déseillés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

> **Mes coordonnées** ☐ M. ☐ M^{me} ☐ M^{lle}

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

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

CP _____ Ville _____

Tél. _____

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

E-mail _____

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

> **Mode de paiement**

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

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

☐ Je règle par carte bancaire

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

PAIEMENT 3x SANS FRAIS

Carte bancaire N° _____

Expire fin : ____ / ____ / ____

Date et signature obligatoires

Cryptogramme _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

ÉLECTIONS LE PROCHAIN PRÉSIDENT ÉLU PAR LES BIG DATA ?

Pour mener campagne, tous les candidats misent aujourd'hui sur... l'intelligence artificielle. Soit des algorithmes surpuissants moulinant d'énormes quantités de données (électorales, sociales...) afin d'élaborer la meilleure stratégie possible. **Vincent Nouyrgat** a enquêté sur ces nouveaux faiseurs de roi déclarés.

Les coulisses des campagnes électorales ne semblent plus avoir de secret pour personne. On ne compte plus les reportages, documentaires ou séries TV sur le sujet; ces images de bains de foule plus ou moins improvisés, ces interminables meetings dans des gymnases mal chauffés, ces nuits blanches au cours desquelles de jeunes loups façonnent discours

et formules chocs, ces *spin doctors* aux allures de fins stratèges politiques – et souvent experts en coups bas – qui distillent petites notes et sondages d'opinion au candidat en lice.

Depuis quelques années pourtant, ces scènes familières sont bousculées par l'arrivée de conseillers vraiment spéciaux, au profil inattendu. Leur CV? Ils sont spécialistes en statistiques,

en codage informatique ou en intelligence artificielle. Que font-ils ici? Ils brassent et analysent des millions de données sur l'état du pays, et promettent de remporter n'importe quelle élection locale ou nationale.

Forts de leurs algorithmes, ces *geeks* se targuent en effet de pouvoir orienter les militants dans un porte-à-porte plus

HOWARD DEAN

2004

Candidat à l'investiture démocrate, Howard Dean commence à accumuler et à classer les adresses mails des militants. Les premiers comités de soutien en ligne sont créés.





ÉLECTION PRÉSIDENTIELLE
EN FRANCE

2017

Presque tous les candidats à la présidentielle française, mais aussi aux législatives, sont assistés par des systèmes d'analyse de données.

DONALD TRUMP

2016

Hillary Clinton et Donald Trump ont employé des centaines d'informaticiens de haut niveau et dépensé des millions de dollars en logiciels et systèmes informatiques.

ÉLECTIONS RÉGIONALES
EN FRANCE

2010

Les logiciels électoraux font leur apparition en France à l'occasion des régionales. Le Parti socialiste est le premier à les employer.

BARACK OBAMA

2008

L'équipe de Barack Obama lance une grande campagne de mails ciblés et de porte-à-porte orientés par les données. Il parvient ainsi à mobiliser les minorités.

500

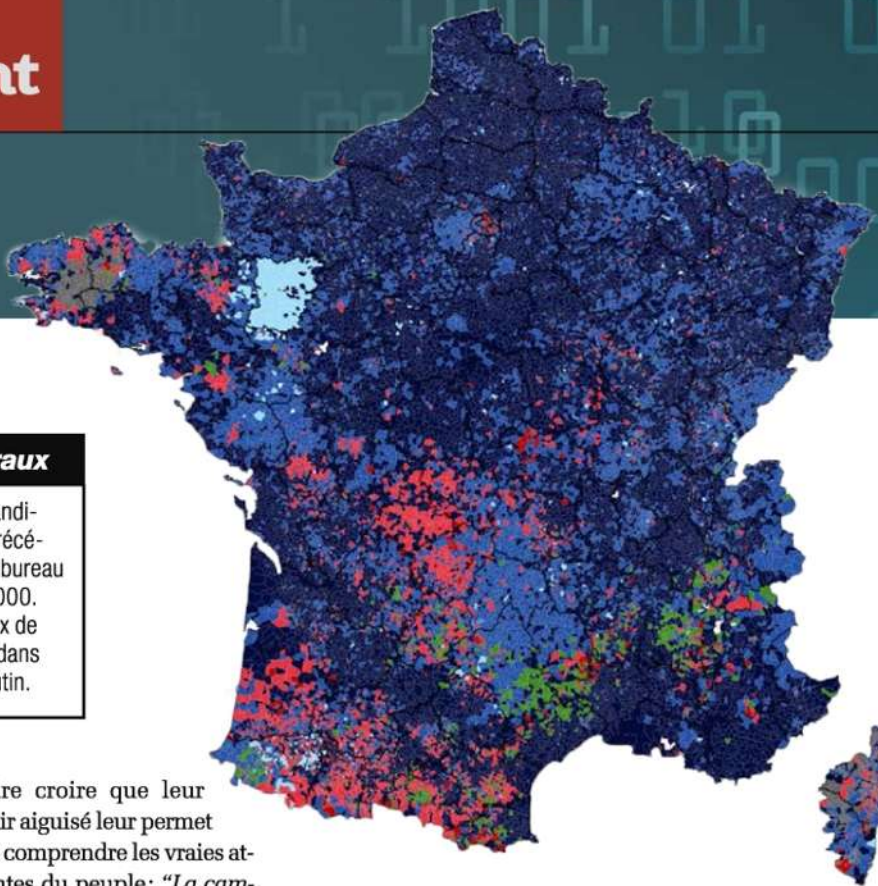
C'est le nombre d'informations dont disposent les candidats américains sur chacun des électeurs.

Les logiciels électoraux se généralisent depuis 10 ans

Des big data qui viennent...

... des résultats électoraux

Les équipes de statisticiens des candidats disposent des résultats des précédents scrutins, bureau de vote par bureau de vote – la France en compte 85 000. La loi permet aussi aux plus curieux de consulter les listes d'émargement dans les quinze jours qui suivent un scrutin.



→ efficace pour mobiliser en masse les électeurs, optimiser les déplacements et les interventions des candidats à la fonction suprême, voire préparer les meilleurs arguments des discours de meeting. Bref: la conquête du pouvoir assistée par ordinateur!

Les big data, nouveaux faiseurs de roi... La proposition paraît irrésistible pour n'importe quel candidat. Y compris ceux qui voudraient

faire croire que leur flair aiguisé leur permet de comprendre les vraies attentes du peuple: *"La campagne de Donald Trump a été presque entièrement gouvernée par l'analyse des données"*, nous confie Matt Oczkowski, chef de projet à Cambridge Analytica, qui assista le candidat républicain. En France, les candidats aux prochaines présidentielles et législatives ne se cachent plus. *"Environ 30 à*

40 bénévoles issus des métiers de l'informatique ou des statistiques assistent la campagne de Jean-Luc Mélenchon", signale Manuel Bompard, son directeur de campagne. Tandis que pour Jean Chiche, statisticien au Centre de recherches politiques de Sciences Po Paris, *"la candidature*

d'Emmanuel Macron est l'émanation même du big data". Rien que ça.

L'IRRUPTION DES I.A.

"L'idée de réduire l'incertitude électorale par l'encodage et le profilage des électeurs n'est pas nouvelle, fait remarquer Anaïs Théviot, chercheuse à Sciences Po Bordeaux. Dès 1820, une circulaire confidentielle du ministère de l'Intérieur recommandait aux préfets de classer chaque électeur d'après ses opinions ('royalisme pur', 'royalisme constitutionnel', 'ultraroyalisme') pour évaluer les probabilités du vote à venir. Les moyens utilisés aujourd'hui sont simplement différents." Différents, et autrement plus puissants.

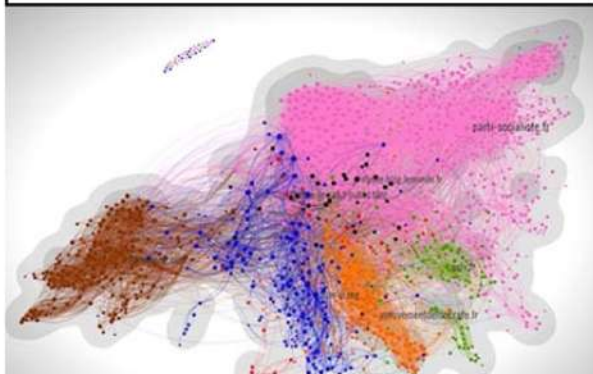
Car les équipes de campagne de 2017 sont abreuvées de chiffres. Le ministère

Twitter, Facebook: plus forts que les sondages?

Vote du Brexit, élection de Donald Trump ou triomphe de François Fillon à la primaire: les sondages traditionnels ont clairement montré leurs limites. D'où l'idée de mesurer l'opinion publique à travers le contenu des réseaux sociaux. Pour ce faire, plusieurs laboratoires ont développé des algorithmes susceptibles de détecter la teneur des sentiments exprimés dans les tweets à caractère politique... Avec, à la clé, des résultats tout aussi erronés que les enquêtes classiques! *"Les utilisateurs des réseaux sociaux, jeunes et urbains, représentent mal la démographie des électeurs, reconnaît Alexandre Bovet, spécialiste des réseaux complexes au City College de New York. Nos travaux sur la dernière campagne américaine montrent cependant un très bon accord entre les variations d'opinion sur Twitter et la moyenne des sondages nationaux... Mais nous ne prétendons pas prédire le résultat d'une élection."* Seuls quelques experts ou journalistes affirment après coup avoir vu les signes du Brexit sur Facebook ou Instagram. Mais rien de très convaincant.

... des réseaux sociaux

Twitter, Facebook, Instagram sont des mines d'or informationnelles : on peut analyser à l'aide de logiciels spécialisés la teneur des propos qui y sont tenus ainsi que la structure du réseau d'amis de chaque utilisateur. Une pratique très répandue aux Etats-Unis mais fermement limitée en France par la loi.



... des données commerciales

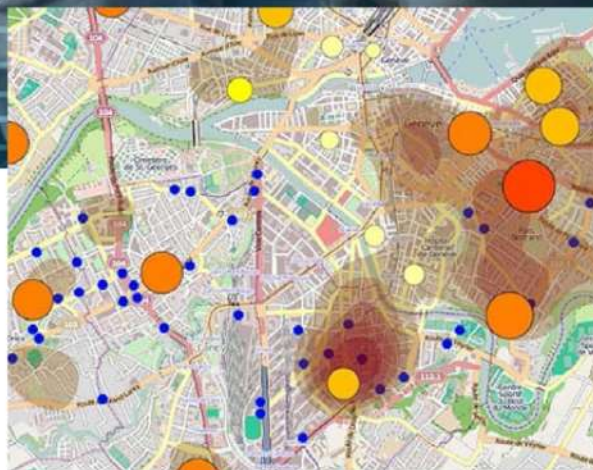
Les fichiers clients des grandes enseignes, mais aussi ceux des organismes de crédit ou des abonnements TV-internet permettent de mieux cerner les comportements d'un électeur potentiel. Très limité en France, ce profilage invasif est devenu banal aux Etats-Unis.

de l'Intérieur publie désormais, à chaque échéance, les résultats complets et détaillés des 85 000 bureaux de vote du territoire (voir ci-dessus). *"Cela nous fournit un historique du vote et de l'abstention à l'échelle de quelques pâtés de maisons"*, s'enthousiasme Vincent Pons, chercheur à Harvard et cofondateur du logiciel de stratégie électorale 50+1, largement utilisé par le Parti socialiste. *"Encore faut-il signaler que ces données brutes sont loin d'être propres et demandent un travail de retraitement herculéen"*, fait remarquer Jean Chiche.

Autre source juteuse, les statistiques sociodémogra-

phiques de l'Insee, établies à des échelles de plus en plus fines, parfois sur un carré de 100 m sur 100. Niveau et évolution des revenus, taux d'accès à la propriété, taux de chômage, densité des commerces ou des structures éducatives, distance à un centre de soins... La liste est longue. *"Notre entreprise dispose de 5 millions de données sur différents thèmes"*, affiche Renaud Prouveur chez Spallian, à l'origine du logiciel de cartographie de données massives Corto, utilisé aussi bien par des candidats en campagne que par les services de renseignement.

Mais ce magma de chiffres disparates serait totalement



... des statistiques sociodémographiques

Les candidats peuvent quadriller le territoire grâce aux statistiques de l'Insee (niveau de revenus de la zone, taux de propriétaires, niveau de chômage...). Autre source disponible : la plateforme officielle data.gouv.fr, ouverte en 2011, met en ligne plus de 21 000 jeux de données publiques.

inexploitable sans les progrès algorithmiques de ces cinq dernières années. Pour structurer ces informations, les candidats peuvent aujourd'hui compter sur les performances des programmes d'apprentissage statistique, le fameux *machine learning* à l'origine des intelligences artificielles qui pilotent des voitures autonomes, établissent le diagnostic de maladies rarissimes et humilient tous les champions humains au jeu de go (voir *S&V* n° 1184 d'avril 2016).

UN CIBLAGE MINUTIEUX

Pour ce qui est des élections, il s'agit plus modestement de dénicher les meilleurs réservoirs de voix. Les plus évidents étant les secteurs présentant une forte abstention ou des résultats historiquement indécis...

"Nos codes permettent de reconstituer la trajectoire politique d'une zone en déterminant, par exemple, quelle part de l'électorat ayant voté à gauche à la présidentielle de 2012 a pu voter à droite aux régionales de 2015, affirme Vincent Pons. Nous sommes ainsi capables d'évaluer à combien de voix devrait se jouer la prochaine élection."

Ce ciblage minutieux des territoires permet d'optimiser le porte-à-porte des militants et leurs appels téléphoniques. La technique a été largement exploitée par l'équipe de campagne de Barack Obama lors de son élection, en 2008. Et son importation en France a été d'autant plus rapide que les ressources humaines et financières des batailles électorales sont assez maigres : *"Il faut opérer des* ➔

Des big data pour...

→ *frappes chirurgicales ! lance Renaud Prouveur. Les déplacements prioritaires du candidat sont eux-mêmes orientés finement par l'analyse des données : durant les quelques semaines de la campagne présidentielle, il est impossible de sillonner nos 101 départements. D'où la nécessité d'identifier les territoires pivots.*

UN PROFILAGE INVASIF

Ce n'est pas tout. Car les algorithmes livrent aussi sur un plateau les moindres atouts ou problématiques des régions visitées avec un niveau de détail et d'actualité inédit. De quoi orienter et alimenter de puissants discours au plus près des préoccupations des populations locales ; par exemple sur le thème de la France des oubliés exploité dans un désert médical. Un exercice à la portée de n'importe quel élu local ayant labouré le terrain depuis des décennies, serait-on tenté de dire. *"En*

réalité, ces bases de données sans cesse mises à jour font émerger des phénomènes dont les élus n'avaient pas forcément conscience, comme le fort taux de rotation des habitants dans une ville", défend Renaud Prouveur. "Même les élus très implantés sont demandeurs, argumente également Vincent Pons. Il est difficile d'avoir une vision précise de l'ensemble d'un territoire, et l'analyse des données montre qu'il existe des disparités très fortes au sein d'une même circonscription législative. Il n'est pas possible de faire un discours capable de toucher tout le monde en même temps..." Même si on peut aussi voir ce microciblage comme une forme de clientélisme.

Les programmes informatiques pourraient aussi décider des grandes thématiques d'une élection, celles qui feront la une des journaux. Exemple : les 25 000 réponses au questionnaire de la

... cibler finement l'électorat

Les données massives permettent de cibler les réserves de suffrages les plus abondantes d'un territoire : les militants pourront ainsi plus facilement rallier à leur cause des électeurs de régions présentant un fort taux d'abstention ou des résultats historiquement indécis.

Grande Marche d'Emmanuel Macron ont été dépouillées par des algorithmes d'analyse sémantique véritablement entraînés à comprendre des régimes de langage très variés (sous-titres de films, avis de consommateurs, messages de réseaux sociaux). *"Parmi les 1,5 million de mots enregistrés – l'équivalent de trois fois Guerre et Paix – la machine a décelé des groupes de mots, des régularités qu'un humain n'aurait pas forcément pu repérer, révèle Eglantine Schmitt, du cabinet Proxem. En l'occurrence ici le thème*

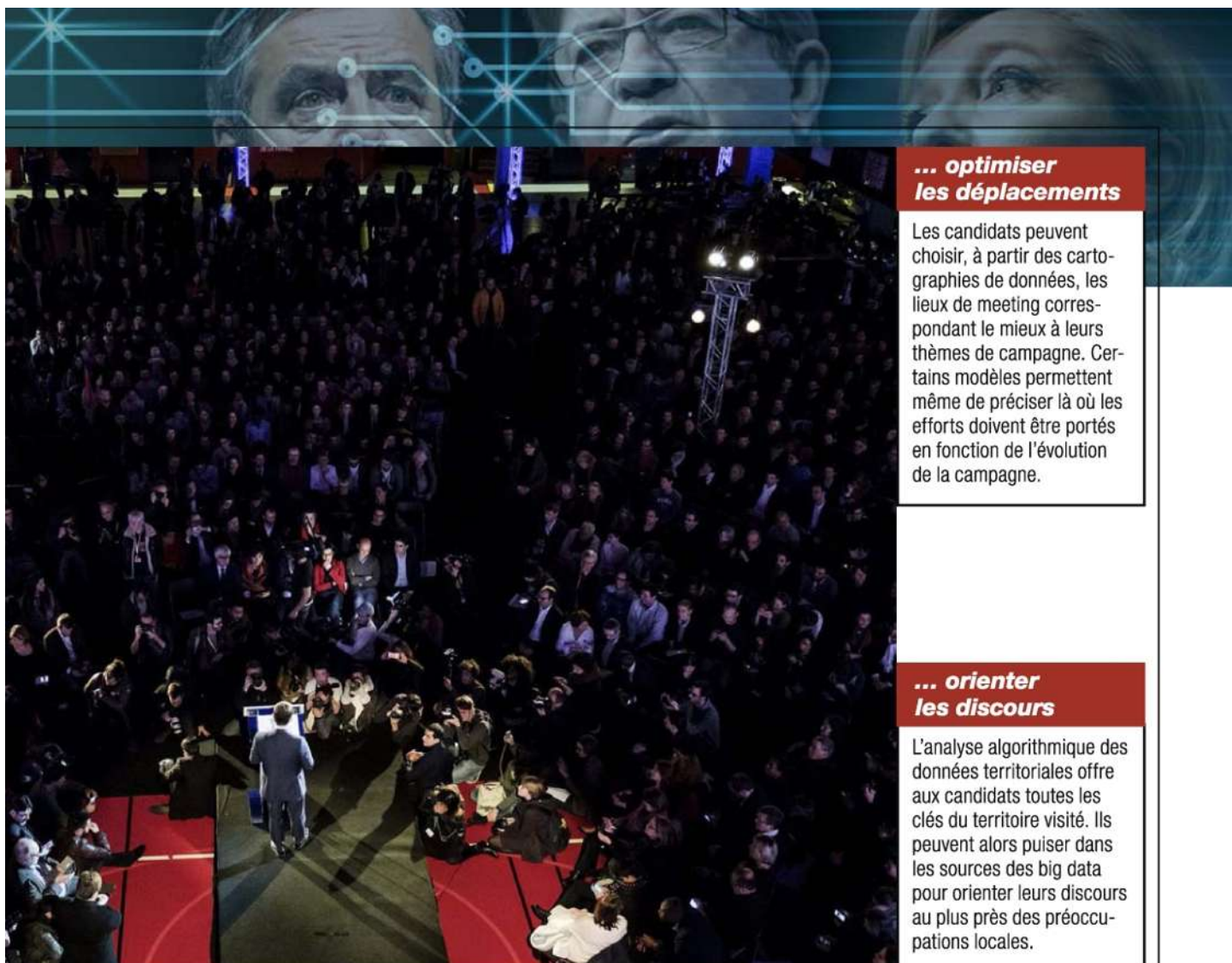


de la famille a émergé un peu contre toute attente."

Seulement voilà : à l'ère de Facebook et Twitter, il sera de plus en plus tentant de sortir de ces quelques généralités pour sonder en profondeur chacun des électeurs et solliciter leur vote. Certes, en France, il n'est pas possible de collecter les données personnelles issues des réseaux sociaux en l'absence d'information et du consentement des personnes visées. La loi informatique et libertés considère les données relatives aux opinions politiques comme sensibles, au même titre que

Des élections intoxiquées par les robots

Ils sont nombreux, sournois, indétectables. Et ils pourraient jouer un rôle insoupçonné dans la campagne présidentielle... Les "robots sociaux" sont des programmes informatiques capables de rédiger des messages sur les réseaux Twitter, Facebook et autres. Ces codes autonomes peuvent ainsi donner un écho phénoménal à de fausses informations ou à des rumeurs malveillantes en les relayant massivement, en produisant de nouveaux messages, en intervenant directement dans les conversations entre humains et même en prenant le contrôle de certaines identités. Selon les analyses menées par Clayton Davis, à l'université d'Indiana, un tweet sur cinq était le fait d'un robot dans la dernière ligne droite de la campagne américaine. *"Ces algorithmes de conversation sont si sophistiqués qu'un humain peut être facilement trompé sur Twitter, avertit le chercheur en informatique. Peuvent-ils influencer le résultat final d'une élection ? Possible..."*



... optimiser les déplacements

Les candidats peuvent choisir, à partir des cartographies de données, les lieux de meeting correspondant le mieux à leurs thèmes de campagne. Certains modèles permettent même de préciser là où les efforts doivent être portés en fonction de l'évolution de la campagne.

... orienter les discours

L'analyse algorithmique des données territoriales offre aux candidats toutes les clés du territoire visité. Ils peuvent alors puiser dans les sources des big data pour orienter leurs discours au plus près des préoccupations locales.

les informations de santé. Mais la pression des partis et des militants devient intense : lors de la primaire de la droite, l'équipe de Nicolas Sarkozy n'avait pas hésité à utiliser une application capable de croiser les données des réseaux sociaux des sympathisants UMP pour orienter les militants dans leur porte-à-porte.

"En 2012, nous avons déjà reçu 500 plaintes pour des e-mails de campagne vécus comme très intrusifs, témoigne Emile Gabrié, responsable des affaires régaliennes à la Commission nationale de

l'informatique et des libertés (Cnil). Cette fois, nous nous attendons à un pic de plaintes de démarchage sur les réseaux. Il suffit parfois d'un contact occasionnel, comme un commentaire ou un retweet, pour que les algorithmes vous ciblent."

DES MODÈLES DE PRÉDICTION

Inquiétant ? Perturbant ? Vous n'avez encore rien vu : aux Etats-Unis, l'usage des données personnelles à des fins électorales est encore plus sophistiqué et indiscret, à la limite de l'espionnage. Les supporters d'Hillary Clinton qui toquaient à

la porte d'un électeur potentiel disposaient à son sujet de plus de 500 éléments d'information tirés de ses données de cartes bancaires, cartes de fidélité, lignes de crédits, de son abonnement TV, des détails de sa navigation internet, du contenu de ses posts sur les réseaux sociaux, de la structure de son réseau d'amis sur Facebook, de son origine ethnique, de son permis de port d'arme...

"A partir de ces données, nous avons construit un ensemble de modèles capables de prédire la probabilité que l'électeur aille voter, sa propension à militer

pour nous, sa position sur certains thèmes de campagne... en générant des scores pour chaque électeur du pays, révèle Andrew Theriault, ancien responsable des données au Parti démocrate américain. Même s'il existe une marge d'erreur, nous pouvons évaluer la probabilité de vote d'un électeur pour notre candidat." Les militants se concentrent alors sur les personnes affichant une certaine gamme de probabilité, ni trop basse ni trop haute.

"En général, ceux qui dépassent les 75 % sont

SIMON LAMBERT/HAYHAM-REA

→ *considérés comme notre base de supporters, confie Dan Castleman, du Clarity Campaign Labs, qui a travaillé à la réélection de Barack Obama en 2012. Plus nous en savons sur un électeur, plus les probabilités s'affinent. Même si nous n'avons évidemment pas les budgets de recherche de Google ou d'Apple, nous uti-*

Avec quel résultat? Force est de constater que la campagne la plus sophistiquée de tous les temps s'est soldée par une douloureuse défaite. Hillary Clinton aura perdu son temps et son énergie dans des Etats qui se sont révélés au final peu stratégiques. "Ils n'ont pas réussi à évaluer correctement le niveau d'abstention des

Une option payante au final. L'échec d'Hillary Clinton n'indique donc pas forcément celui des big data, mais suggère plutôt que la victoire appartient dorénavant aux meilleurs spin doctors informatiques.

"TOUT SAUF DE LA SCIENCE!"

Les experts français en logiciels électoraux avancent fièrement leurs performances. La start-up Spallian se félicite ainsi d'avoir remporté 65 victoires en 68 campagnes officielles. Vincent Pons s'enorgueillit également: "D'après mes calculs, notre logiciel 50+1 a contribué à un cinquième de l'écart entre Hollande et Sarkozy au second tour de la présidentielle de 2012."

"Le problème, c'est que la seule évaluation de l'impact de ce logiciel vient de ses propriétaires, regrette Joël Gombin, chercheur en sociologie quantitative. On aimerait en savoir plus." "Ces entreprises entretiennent le goût du secret et de la boîte noire, leurs résultats ne sont pas réfutables... C'est tout sauf de la science!" tance Jean Chiche.

D'ailleurs, ces nouveaux stratèges reconnaissent volontiers les limites de leurs systèmes. A ce jour, aucun logiciel ne semble capable d'inverser la tendance dans des élections au rapport de forces trop déséquilibré (60/40). Autre limite: "Nous devons faire des compromis entre la complexité d'un algorithme et la vitesse d'exécution, la rapidité étant, dans une

campagne, un paramètre prioritaire pour réagir aux événements et aux faits divers du moment", reconnaît David Wilkinson. "Les algorithmes se trouvent démunis face à des événements aussi imprévisibles qu'une petite phrase lâchée à un moment donné [comme celle lancée par Lionel Jospin sur Jacques Chirac en 2002, le qualifiant de "fatigué, vieilli, usé"] ou l'ascension fulgurante d'un François Fillon après une prestation télévisée, soulève Renaud Prouveur. Comment anticiper la mentalité de l'électeur dans l'isolement? Il n'y a là aucune loi physique, juste des sentiments humains et peut-être de la colère..." Les 45 millions d'électeurs français, avec leurs problèmes, leurs désirs, leur vision du monde, ne se laisseront pas facilement modéliser; nul doute que les spécialistes en intelligence artificielle tenteront de relever le défi.

Les perspectives offertes par les algorithmes actuels sont déjà intrigantes... Equipés seulement de logiciels et de serveurs, des hommes politiques sans parti et presque sans troupe seraient ainsi capables de partir à la conquête d'un pays. "L'analyse de données devrait aussi servir à évaluer de manière enfin précise et objective l'impact des politiques publiques", soutient Renaud Prouveur.

Comme tous les secteurs envahis par les big data, la vie politique, et peut-être même la démocratie, pourrait basculer dans une nouvelle ère.

Une intelligence artificielle à l'Elysée?

"Watson président!" L'artiste Aaron Siegel proposait en 2016 la candidature du robot Watson à la Maison Blanche... Une provocation, bien sûr. Mais ce colossal ordinateur d'IBM, vainqueur du Jeopardy! en 2011, qui excelle dans le traitement des données, pourrait avantageusement se pencher sur les questions géopolitiques, le chômage, les problèmes de santé publique ou de délinquance. Encore très frustes, de tels algorithmes dits de *deep learning* pourraient-ils exercer le pouvoir? "C'est une hypothèse à prendre au sérieux, estime Stéphane Grumbach, à l'Institut national de recherche en informatique et automatique. Une société hongkongaise a d'ailleurs nommé une intelligence artificielle à son conseil d'administration en 2014." Et le fonds de pension américain Bridgewater projette même d'utiliser une I.A. comme manager pour recruter, licencier ou prendre des orientations stratégiques. De là à leur confier la responsabilité du feu nucléaire...

lisons les plus récents algorithmes d'apprentissage automatique et nous suivons les derniers travaux universitaires." L'équipe Clinton avait débauché une soixantaine de développeurs venus de Google, Facebook, Twitter, Paypal, Amazon... Et la candidate démocrate était même assistée dans ses décisions stratégiques par une intelligence artificielle – dont on sait peu de chose sinon qu'elle s'appelle Ada.

électeurs", analyse Andrew Theriault.

De leur côté, les républicains américains ne manquent pas de célébrer leur système informatique: selon David Wilkinson, analyste chez Cambridge Analytica, "nos modèles ont permis d'identifier plusieurs Etats délaissés de la 'ceinture de la rouille', tels que la Pennsylvanie et le Michigan, auxquels le candidat Trump devait se consacrer".

SCIENCE&VIE

vous présente

CROISIÈRE D'EXCEPTION

LA CROISIÈRE GROENLAND & ISLANDE

DU 14 AU 27 AOÛT 2017

14 JOURS / 13 NUITS



Le M/S Astoria
250 cabines seulement !

ILULISSAT REYKJAVIK ÎLES FÉROÉ ÎLES SHETLAND

Si vous ne devez faire qu'une seule croisière Grand Nord dans votre vie, C'EST CELLE-CI !

- **UN ITINÉRAIRE EXCLUSIF ET DE TOUTE BEAUTÉ** Les espaces immaculés du Groenland, les fjords majestueux et les glaciers du Grand Nord, les volcans et sources chaudes islandaises et les fameuses îles Shetland... Des moments exceptionnels en perspective !
- **LA CULTURE À L'HONNEUR** Afin d'éclairer vos découvertes durant les escales, de passionnantes conférences vous seront proposées à bord. L'histoire, l'art et la culture des contrées abordées n'auront plus de secrets pour vous !

Et la présence de la rédaction de Science&Vie*

= UN PROGRAMME RICHE DE MOMENTS EXCEPTIONNELS ET DE TOUTE BEAUTÉ !

À PARTIR DE

2 955€

Prix par personne
en cabine double (Cat. 1)
forfait séjour inclus

* Sauf en cas de force majeure.

Téléchargez la brochure complète sur

www.croisieres-lecteurs.com/sv

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

INFORMATIONS & RÉSERVATIONS

01 41 33 59 59 EN PRÉCISANT SCIENCE&VIE

Du lundi au vendredi

SCIENCE&VIE

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE&VIE CROISIÈRE GROENLAND ET ISLANDE - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

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

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Tél. : _____ Email : _____

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

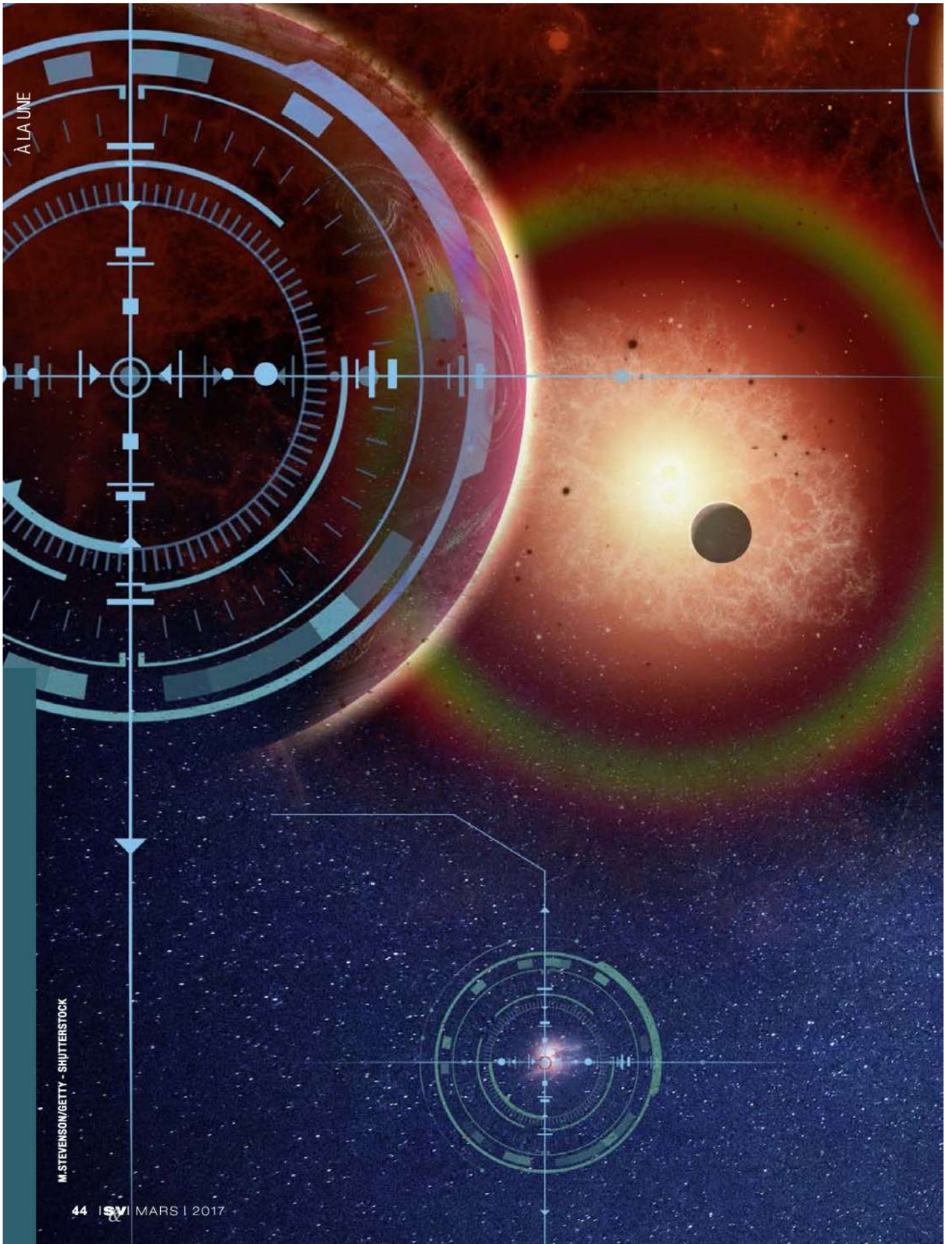
Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de ces données par simple courrier. Crédits photos : Rivages du Monde, IStock. Cette croisière est organisée en partenariat avec Rivages du Monde. Science & Vie est une publication du groupe Mondadori France, siège social : 8 rue François Dry - 92543 Montrouge Cedex.

Rivages du Monde

CH176R0P

À LA UNE

M. STEVENSON/GETTY - SHUTTERSTOCK



L'ATLAS SECRET DE L'UNIVERS

CAP SUR LES 7 LIEUX LES PLUS MYSTÉRIEUX DU COSMOS

De véritables *terra incognita* cosmiques ! Des endroits où il se passe des choses étranges, uniques, inexplicables. Où des galaxies s'avèrent noires, où des nuées d'étoiles clignotent dans la nuit, où la température chute brutalement sans raison... Au total, sept lieux ont, pour l'instant, été identifiés sur l'atlas secret de l'Univers. Un atlas rendu possible par les incroyables avancées en astronomie. A la clé ? Une cartographie 3D de l'Univers, qui dévoile précisément ses mystères les plus singuliers. Et fait aujourd'hui des astronomes les nouveaux Magellan du cosmos.

PAR MATHILDE FONTEZ ET BENOÎT REY

À LA
UNE

Les cosmographes ont bien travaillé.

Partis d'un Univers étriqué en cercles concentriques autour du Soleil, ils ont peu à peu repoussé la limite du visible jusqu'aux confins de l'Univers. Comme au glorieux temps de Magellan, lorsque les premiers géographes posaient les contours des continents terrestres. Sauf qu'il s'agit ici du cosmos, depuis la spirale scintillante de la Voie lactée, sa voisine Andromède, les amas vaporeux, les superamas... jusqu'aux gigantesques filaments de cette toile d'araignée cosmique qui, il y a 25 ans, n'avaient même pas été pensés.

Car les chiffres sont là. En 1995, le premier des grands sondages profonds de l'Univers comptait 600 galaxies pour une profondeur maximale de 8 milliards d'années-lumière. Quand, aujourd'hui, le Survey 2MASS relève 300 millions d'étoiles, de galaxies et d'amas... et *Hubble* capte la lumière de galaxies éloignées de plus de 30 milliards d'années-lumière.

Mais il n'y a pas que l'observation : tout bancals qu'ils soient à cause des fameuses énergie et matière noires qui restent invisibles, les modèles remplissent avec une précision fascinante les zones de la carte encore vierges de toute exploration. Les simulations ne se contentent plus de faire tourner des galaxies, des amas, des univers modèles, mais reproduisent l'évolution de notre Univers particulier avec ses singularités, preuve que les grandes lois ont été comprises.

La carte du cosmos en entier est aujourd'hui dressée. Nous l'avons représenté, en volume, en tenant compte des distances des galaxies voisines de notre Voie lactée, des principaux amas et superamas. En nous appuyant sur les observations et les modèles, nous avons pu détailler sa structure à grande échelle. Et ce, jusqu'à la limite de l'Univers visible, à 45 milliards d'années-lumière de nous.

Est-ce la fin de l'astronomie ? Justement non ! Car c'est seulement lorsque

l'on commence à avoir une carte détaillée du monde que ses contrées les plus étranges se révèlent.

"Forcément, dès que l'on franchit un cap en termes d'observation, l'Univers apparaît plus complexe que prévu. La nature nous oblige à revoir notre conception", remarque sagement Françoise Combes, astronome à l'Observatoire de Paris. Sans lumière, point d'ombre !

Après avoir interrogé des spécialistes du monde entier, nous avons dressé la liste des contrées les plus mystérieuses, ces endroits qui les laissent perplexes et interdits. Rien d'étonnant à ce qu'elle se confonde avec celle des plus grands progrès de l'astronomie des quinze dernières années. Ni qu'en mesurant avec une précision ultime la température du gaz de particules qui peuplaient le cosmos il y a 380 000 ans, *Planck* ait trouvé une zone trop froide là où il ne devrait pas y en avoir. Ou qu'en captant pour la première fois les infimes vagues d'espace-temps provoquées par deux trous noirs en fusion, les astronomes de la collaboration Ligo soient tombés en arrêt devant leur masse hors norme.

Bienvenue dans l'âge d'or de l'astronomie. Un âge où l'homme a conquis les moyens de se lancer à l'aventure vers de nouvelles *terra incognita*. A la recherche des triangles des Bermudes cosmiques. Les lieux les plus obscurs de notre monde.

M.F.

L'étrange nuée d'étoiles
p. 54

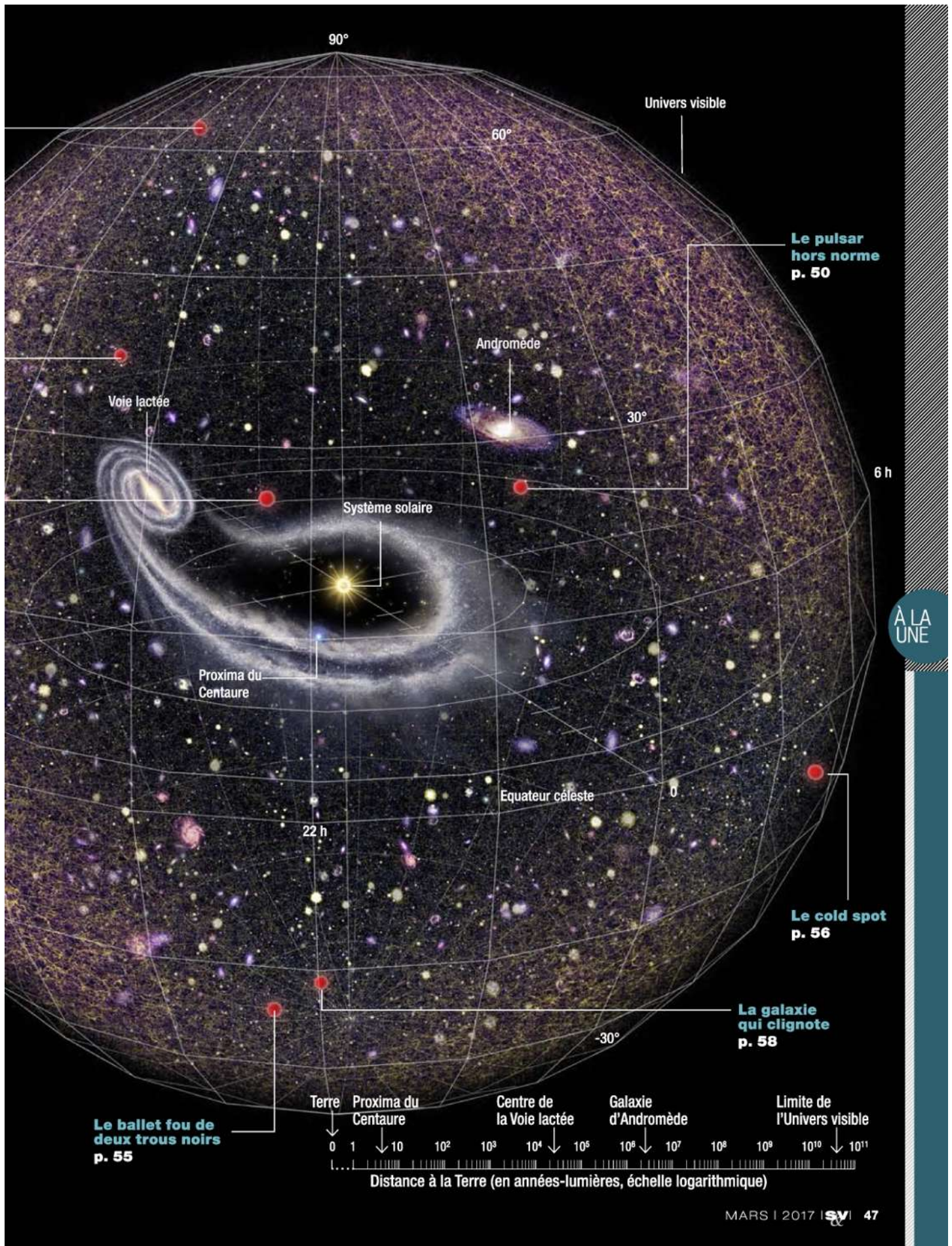
La galaxie noire
p. 48

L'astre qui fait n'importe quoi
p. 52

18 h

Les 7 lieux les plus mystérieux de l'Univers

Cette sphère représente l'Univers visible centré sur la Terre. Les distances sont figurées sur une échelle logarithmique. La taille des objets astronomiques (galaxies, amas...) a été adaptée à cette échelle. Dans ce dossier, les 7 lieux sont repérés à partir de trois coordonnées : leur distance à la Terre, leur ascension droite et leur déclinaison. L'ascension droite se lit sur le plan de l'équateur céleste, de 0 à 24 h dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, à partir d'un point de référence (l'intersection entre l'équateur céleste et le plan de l'écliptique). La déclinaison se lit de -90° à $+90^\circ$ du pôle Sud au pôle Nord céleste, à la manière des latitudes terrestres.



Le halo d'une galaxie noire...

Direction l'amas de Coma, dans la constellation de la Chevelure de Bérénice, à 329 millions d'années-lumière de nous. L'endroit est peuplé de galaxies: il y en a 1 000 fois plus qu'autour de notre Voie lactée. C'est dire la densité! Et c'est au milieu de ce feu d'artifice de brillants amas stellaires que se niche un continent... tout noir.

Son bulbe central et le mouvement de rotation de petits groupes d'étoiles à sa périphérie n'ont laissé aucun doute à Pieter van Dokkum et son équipe de l'université Yale lorsqu'ils l'ont découvert en 2015: il s'agit bien d'une galaxie. Et pas d'une petite, puisqu'elle s'étend sur près de 100 000 années-lumière. Mais au lieu de dérouler d'impressionnantes spirales scintillantes, Dragonfly 44 – c'est son nom – apparaît sous la forme d'un faible halo. Elle n'est peuplée que de quelques milliards d'étoiles, soit cent fois moins que la Voie lactée. Comment est-ce possible?

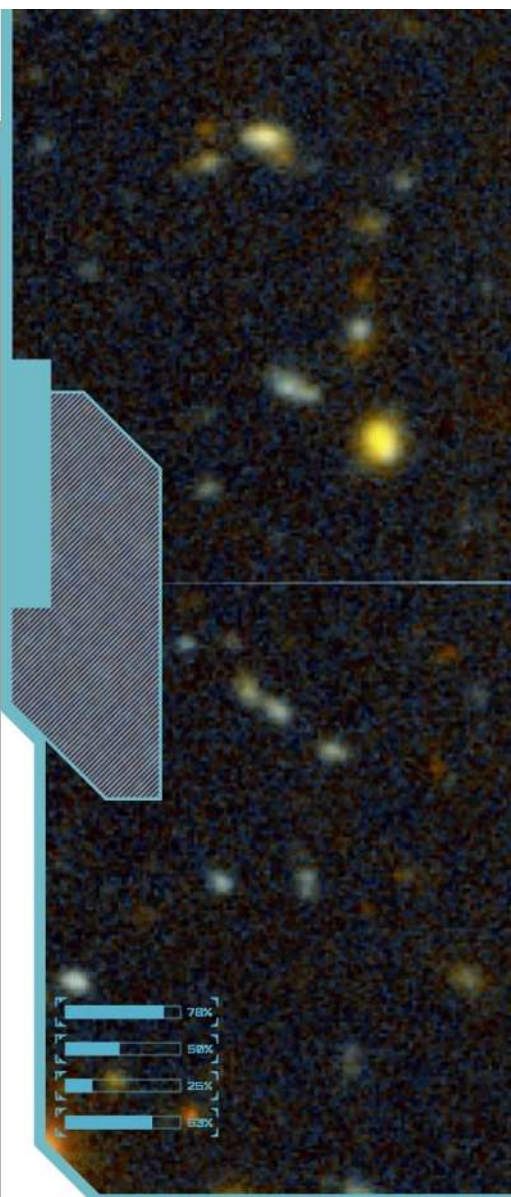
Sans étoiles, sans matière, et qui plus est située au cœur de cet amas

ultradense, elle aurait dû être déchiquetée par les effets gravitationnels de ses nombreuses voisines, et sa petite réserve d'étoiles éparpillée dans l'espace intergalactique depuis longtemps! Et pourtant, elle tient bon...

L'endroit est d'autant plus bizarre qu'au printemps 2016, braquant le télescope Keck d'Hawaï vers 94 amas d'étoiles en périphérie de Dragonfly 44, Pieter van Dokkum a pu mesurer leur vitesse et en déduire la masse globale de la galaxie. Conclusion: elle est en fait aussi lourde que la Voie lactée, et ses étoiles ne représentent que 0,01 % de sa masse (contre 1 % pour la nôtre). *"Nous n'aurions jamais pensé tomber sur une telle galaxie, si grande et si peu peuplée," réagit l'astronome. C'est une surprise complète!"*

99,99 % DE MATIÈRE NOIRE !

Mais alors, si Dragonfly 44 ne contient que 0,01 % de matière, que peuvent bien être les 99,99 autres pour-cent? Eh bien, il s'agirait de la matière noire, cette énigmatique substance dont le



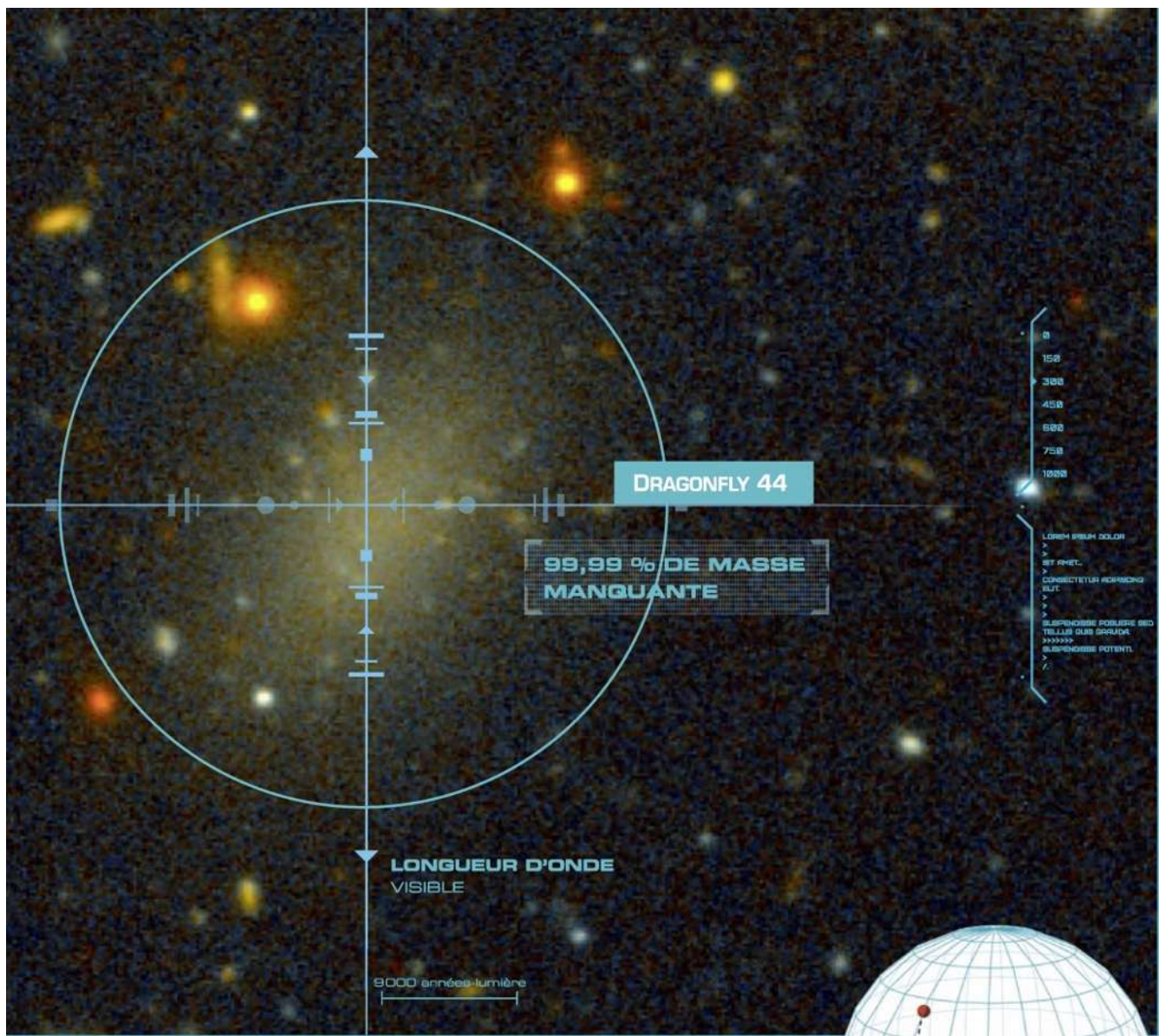
modèle cosmologique standard ne prévoit pas l'existence et qu'aucun détecteur ne parvient à débusquer. Mais sans laquelle on ne peut expliquer le mouvement des galaxies et des amas.

Dragonfly 44 serait donc une galaxie presque sans étoiles. Une galaxie noire! *"Et c'est bien là le problème,"* insiste Roberto Abraham, membre de l'équipe à l'université de Toronto. *"Pour une galaxie de cette taille, la quantité de matière noire n'est pas excessive. Ce sont les étoiles qui font défaut."* C'est leur absence qui fait grimper son taux de matière noire. Un taux vertigineux, que l'on n'avait mesuré jusqu'ici que dans des galaxies naines, *"trop petites pour conserver le gaz interstellaire qui sert de matière*



PIETER VAN DOKKUM
Astronome à l'université Yale (Etats-Unis), découvreur de Dragonfly 44

Jamais nous n'aurions pensé tomber sur une galaxie si grande et si peu peuplée !



À LA UNE

première à la production d'étoiles", précise Benoît Famaey, de l'Observatoire astronomique de Strasbourg.

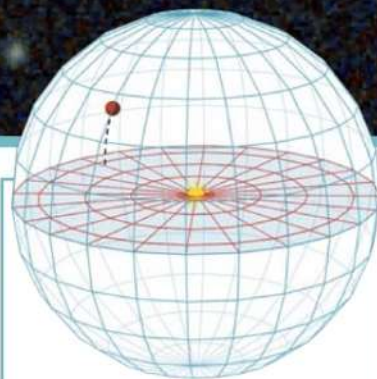
Dragonfly 44, elle, est en théorie assez massive pour retenir son gaz. Lequel est lui aussi aux abonnés absents. "S'il s'était échappé, cela aurait créé une flambée de créations de nouvelles étoiles, fait remarquer Roberto Abraham. Il semble donc plutôt qu'il n'y ait jamais eu de gaz." Pourquoi? Autre mystère...

Faut-il revoir les mécanismes qui régissent la naissance et l'évolution des galaxies pour expliquer cette exception? Les astrophysiciens se trompent-ils sur le peu qu'ils pensent savoir de la matière noire? L'une des alternatives les plus prometteuses à l'existence de

cette matière invisible, une extension de la gravitation universelle nommée MOND, semble en tout cas elle aussi contredite par Dragonfly 44.

Cette galaxie ne ressemble décidément à aucun autre lieu. De tels continents sombres se cachent-ils ailleurs dans l'Univers? Celui-ci a été trouvé dans un échantillon de 850 galaxies ultradiffuses et, aujourd'hui, Pieter van Dokkum et son équipe s'attellent à mesurer la teneur en matière noire de toutes les autres... en même temps qu'ils traquent avec les télescopes Keck et Hubble d'autres galaxies noires plus proches de la Voie lactée. Et le chercheur d'espérer: "Si l'on en trouve, on pourra même peut-être détecter la particule de matière noire!"

B.R.



COORDONNÉES

13h 00m 58s / +26° 58' 35"

CONSTELLATION

La Chevelure de Bérénice

DISTANCE

329 millions d'années-lumière

TAILLE

100 000 années-lumière

DÉCOUVERTE

2015 (télescope Dragonfly, Nouveau-Mexique, Etats-Unis)

2 Au cœur de la nébuleuse du Crabe

Les pulsations d'un monstre hors norme

L'endroit est considéré comme l'un des plus beaux du ciel... Il cache pourtant un monstre! Un monstre impossible à voir tant il est lointain et petit, mais qui déclenche des vents de particules s'allumant de mille feux lorsqu'ils se fracassent contre la nébuleuse de gaz alentour.

Ce cœur flamboyant de la nébuleuse du Crabe a été découvert en 1968. Cinquante ans plus tard, il reste l'un des lieux les plus énigmatiques du cosmos.

Son point central est un pulsar, une étoile à neutrons en rotation issue de l'explosion en supernova d'une étoile géante. Le cadavre de celle-ci s'est contracté et mis à tourner au rythme infernal de 30 tours par seconde. Depuis, il arrose l'espace d'un faisceau de lumière qui, à chaque tour, balaie la Terre, d'où il paraît clignoter comme un phare dans la nuit... ou pulser.

Ce pulsar du Crabe est totalement hors norme. *"Les pulsars sont à*

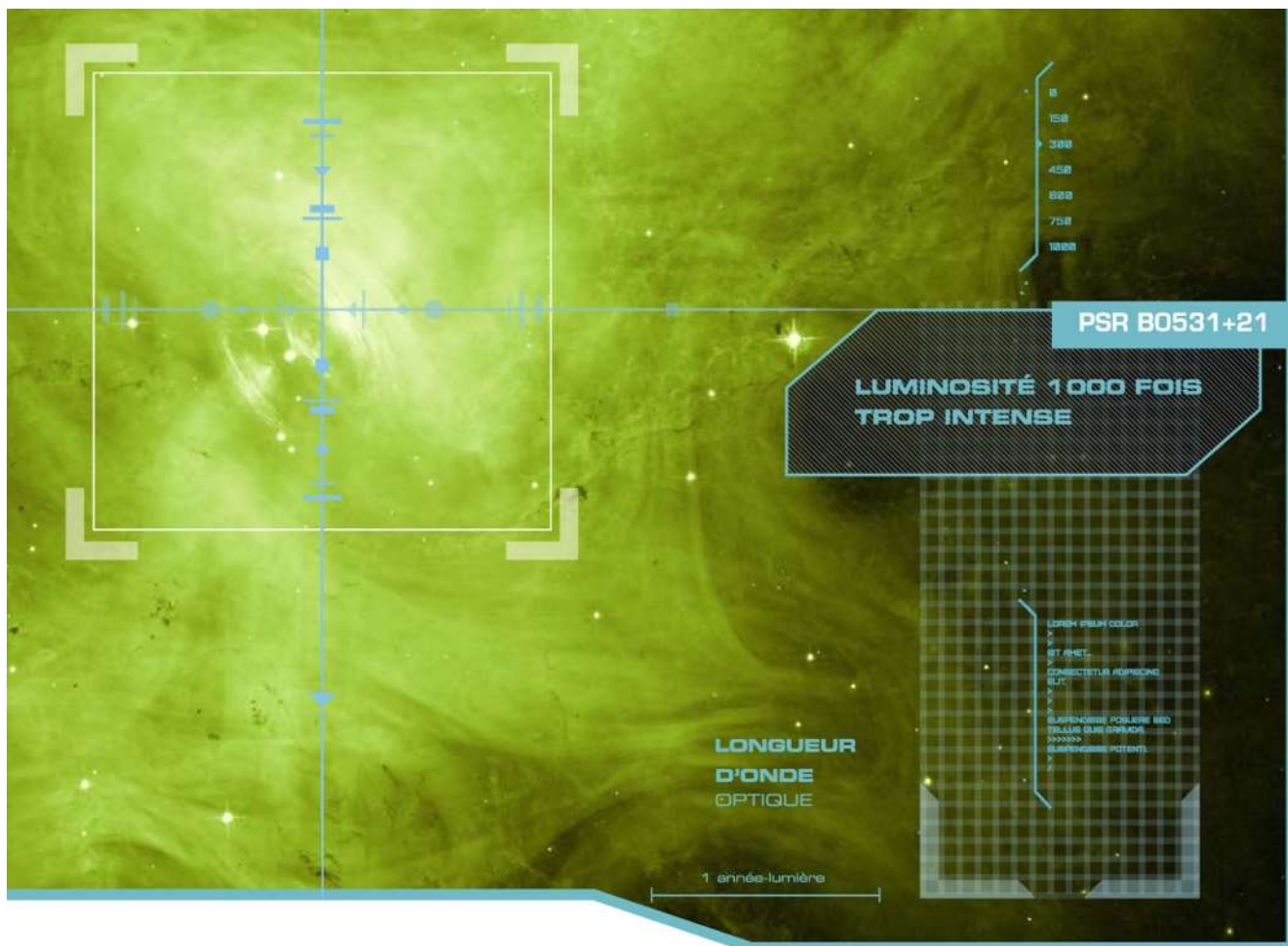
plusieurs égards bien plus extrêmes qu'un trou noir, s'enflamme Alain Riazuelo, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Leur intérieur est à la fois superfluide et supraconducteur; le champ magnétique du pulsar du Crabe est si intense qu'il pèse à lui seul plus que les matériaux les plus denses connus sur Terre. Et on pourrait encore allonger cette liste de bizarreries!"

Surtout, ce pulsar ne se comporte pas comme les 2000 autres découverts à ce jour. *"On s'est peu à peu rendu compte qu'il émet sur une plage énorme de longueurs d'onde, ajoute le chercheur. C'est vraiment unique au pulsar du Crabe."* Et à mesure qu'ils l'étudiaient entre 2001 et 2008, les astronomes se sont aperçus que ses pulsations dans les différentes longueurs d'onde – principalement des ondes radio et des rayons gamma – sont parfaitement synchronisées. *"Et sans que l'on sache pourquoi, c'est l'un des seuls à pulser surtout en rayons X",* précise Jérôme Pétri, de l'Observatoire astronomique de Strasbourg.



ALAIN RIAZUELO
Chercheur à l'Institut d'astrophysique de Paris

Ce pulsar est à bien des égards beaucoup plus extrême qu'un trou noir



Et il y a aussi ces hoquets ultrabrefs et imprévisibles. Durant quelques microsecondes, son intensité lumineuse est des centaines... voire des milliers de fois plus forte que la normale! C'est d'ailleurs grâce à cela qu'on l'a repéré, en 1968. *“Ça, c'est complètement dingue, réagit Fabrice Mottez, de l'Observatoire de Paris. On connaît une poignée de pulsars qui présentent cette bizarrerie. Mais celui du Crabe est le champion.”*

Un champion dont l'extrême jeunesse et la formidable vitesse de rotation en font l'un des plus énergétiques connus, et donc l'un des plus faciles à étudier.

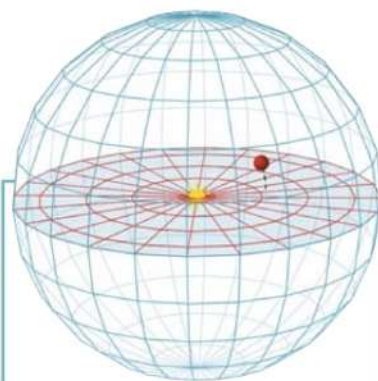
LE SECRET DES ÉTOILES À NEUTRONS

Tant mieux, car cela pourrait déjà permettre de comprendre ce qui se passe au sein d'une étoile à neutrons. *“On n'est même pas certain qu'elle soit seulement constituée de neutrons!”,* remarque Fabrice Mottez. Les modèles montrent bien que, lors d'une supernova, les électrons des

atomes fusionnent avec les protons pour former des neutrons, lesquels se précipitent les uns sur les autres, transformant l'étoile en une sorte de gigantesque noyau d'atome neutre. Mais lorsqu'on s'enfonce vers le cœur de l'étoile, mystère... Peut-être que les quarks qui composent les neutrons changent de nature et s'assemblent pour former de nouvelles particules exotiques. *“Les théoriciens ont imaginé une bonne vingtaine de modèles qui sont difficiles à départager tant que l'on ne connaît pas mieux la masse et le rayon des étoiles à neutrons”,* explique Fabrice Mottez.

Le cœur de la nébuleuse du Crabe est surtout l'un des rares endroits du cosmos régi à la fois par la relativité générale (la théorie de l'Univers aux grandes énergies) et la théorie quantique de l'infiniment petit. Un condensé de toutes les lois de la physique, ce qui est absolument unique.

B.R.



COORDONNÉES
05h 34m 31s / +22° 00' 52"

CONSTITUTION

Le Taureau

DISTANCE

Entre 5 000 et 7 000 années-lumière

TAILLE

20 km de diamètre

DÉCOUVERTE

1968 (Observatoire Green Bank, États-Unis)

À LA UNE

Un astre qui fait n'importe quoi

Dans notre bras de la Voie lactée, à quelque 1200 années-lumière de la Terre, gravite une star dans les deux sens du terme. On ne présente plus KIC 8462852. Voilà un an et demi qu'elle est partout, y compris dans nos pages (voir *S&V* n° 1187, p. 68). La raison : sa lumière connaît des soubresauts qui semblent totalement aléatoires, et que personne ne parvient à expliquer.

C'est en fouillant dans les données du télescope chasseur d'exoplanètes *Kepler* que des internautes participant au projet Planet Hunters, sous la houlette des astrophysiciens de Yale, ont remarqué l'étrange phénomène. Le flux lumineux de l'étoile a chuté brutalement à plusieurs reprises : de 15 % le 5 mars 2011, de 22 % le 28 février 2013... Des fluctuations erratiques, mais surtout énormes. Pour comparaison, une exoplanète n'éclipse que 1 % de la lumière de son soleil.

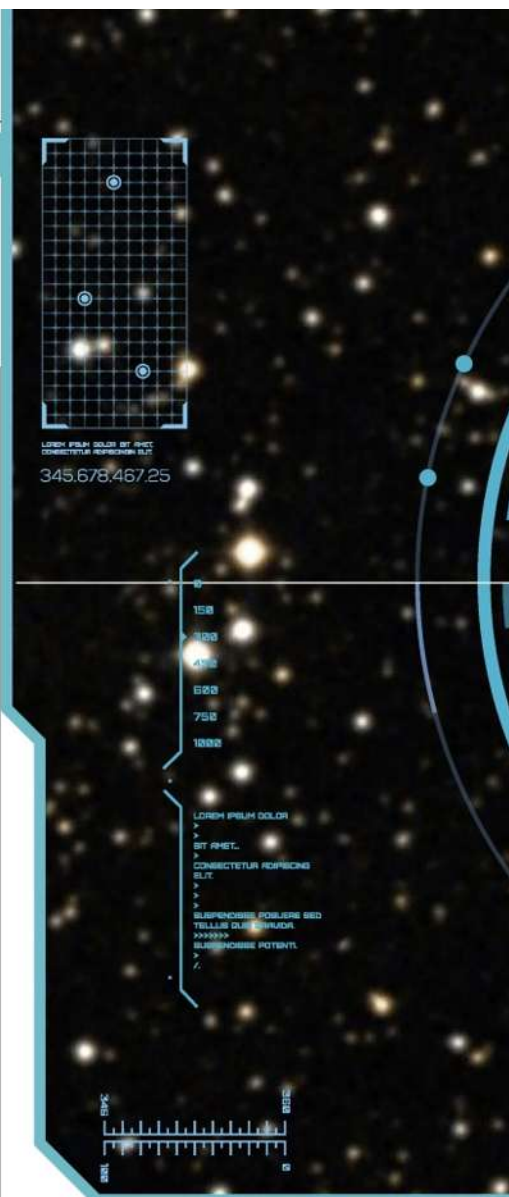
KIC semble pourtant être un astre de type F des plus banal, légèrement plus

massif et plus chaud que notre Soleil. Et on ne détecte aucun rayonnement infrarouge qui signerait la présence d'un anneau de poussières ou d'une collision en cours autour de l'étoile.

"On ne comprend pas du tout ce qu'on voit, admet Jérémy Leconte, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. C'est un objet simple en apparence, mais pour lequel on ne possède aucune explication cohérente." *"On n'a tout simplement jamais vu ça !"*, renchérit Tabetha Boyajian, qui mène l'investigation à l'université Yale.

ET LE MYSTÈRE S'ÉPAISSIT ENCORE

Ce n'est pourtant pas faute d'essayer de comprendre. Des dizaines de publications ont été consacrées à l'étoile mystérieuse, avançant – puis excluant – des pistes. Ce n'est pas une erreur de mesure – Tabetha Boyajian et son équipe ont vérifié. Ni une grosse ceinture d'astéroïdes – elle éclipserait son étoile en continu. Pas plus que d'énormes planètes



entourées d'anneaux gigantesques. Certains ont pensé à une nuée de comètes dont l'orbite très elliptique expliquerait l'absence de lumière infrarouge (elles seraient trop loin de l'étoile pour chauffer) et l'absence de périodicité des fluctuations (elles éclipsaient KIC avec leur queue, donc seulement lorsqu'elles passent au plus près). Sauf que l'hypothèse est jugée très peu probable : d'après les calculs des astronomes de l'université de Rochester, il en faudrait des centaines, en rangs serrés...

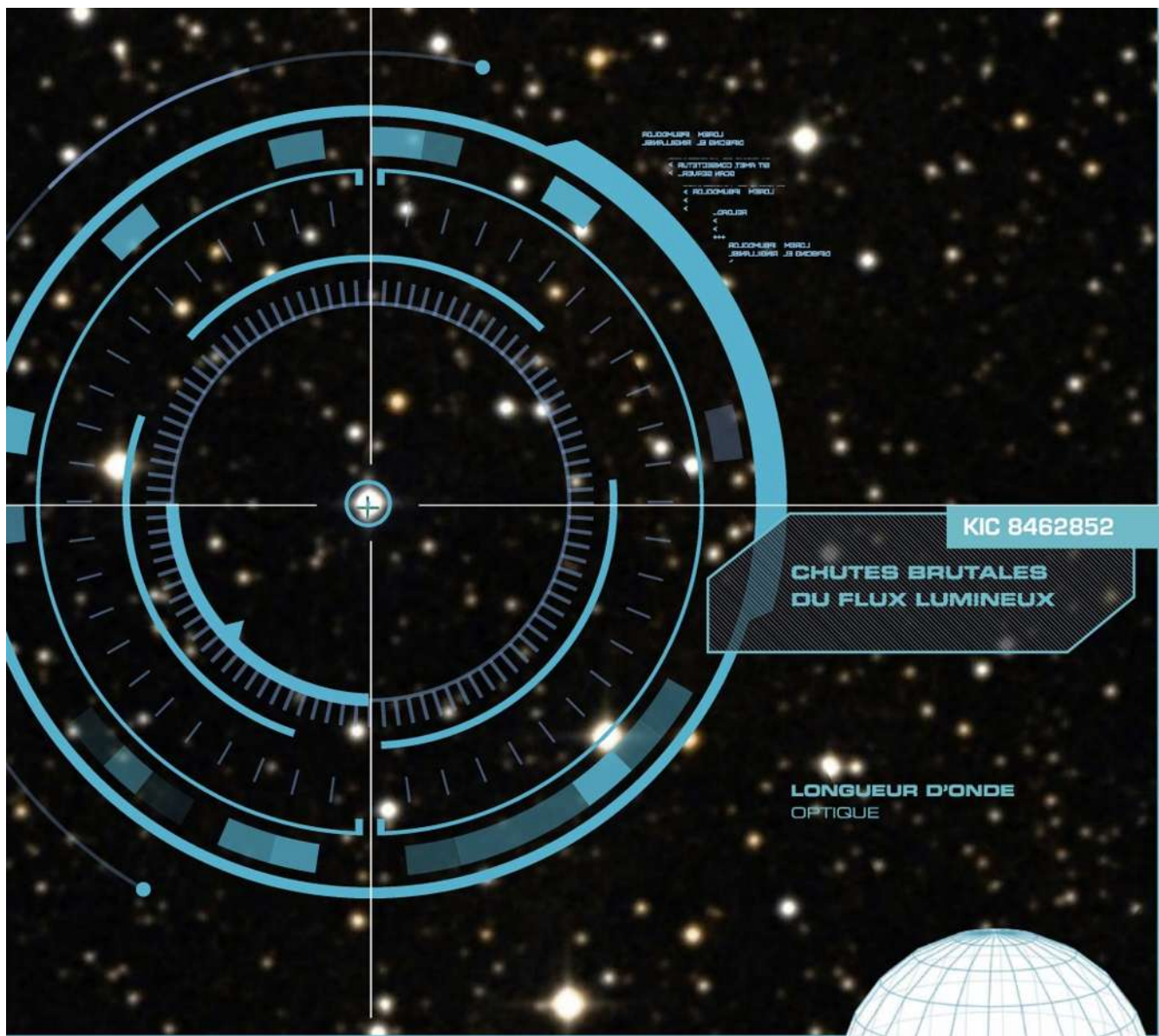
Et le mystère vient encore de s'épaissir. Replongeant dans les données de *Kepler*, Benjamin Montet (Caltech) s'est aperçu qu'en plus de ses chutes brutales de luminosité, KIC a connu



TABETHA BOYAJIAN

Astronome à l'université Yale, responsable des recherches sur KIC 8462852

On n'a tout simplement jamais vu une chose pareille !



une baisse de 0,34 % par an en 2009 et 2010, puis de 3,4 % en 2011. "Nous avons examiné si cela pouvait s'expliquer par la présence d'un nuage de poussières, mais cela ne colle pas, raconte le chercheur. Et aucun phénomène stellaire connu n'explique une telle courbe de lumière."

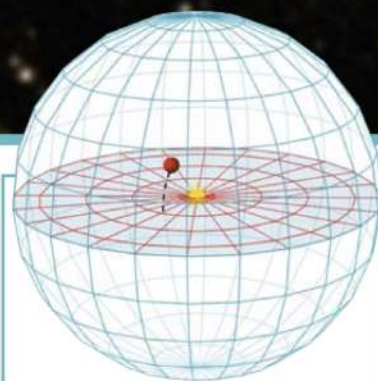
De nouvelles hypothèses ont également été avancées ces derniers mois. Une équipe slovaque a ainsi modélisé que quatre nuages de poussières pourraient finalement expliquer la courbe lumineuse de KIC, pour peu qu'ils gravitent sur une orbite elliptique. "Mais cela devrait se voir dans l'infrarouge", commente Tabettha Boyajian.

Des physiciens spécialistes de la matière condensée à l'université

de l'Illinois ont quant à eux analysé la statistique des fluctuations de l'étoile et découvert qu'elle est similaire à celle... de phénomènes d'avalanches magnétiques observés dans les aimants. "Ce pourrait être le signe qu'un phénomène magnétique est en train de se produire au sein de l'étoile, une sorte de transition de phase", propose Karin Dahmen, qui a mené l'étude.

Mais le modèle n'intègre pas les plus grosses variations mesurées par Kepler... "ni l'affaiblissement de l'étoile à long terme", ajoute Tabettha Boyajian avant de trancher, non sans une certaine excitation: "Aucune explication ne parvient à contenter toutes les données!"

M.F.



| COORDONNÉES |
|----------------------------|
| 20h 06m 15s / +44° 27' 24" |
| CONSTELLATION |
| Entre le Cygne et la Lyre |
| DISTANCE |
| 1 276,6 années-lumière |
| TAILLE |
| 1 100 km de diamètre |
| DÉCOUVERTE |
| 1890 |

À LA UNE

Une très étrange nuée d'étoiles

C'est une toute petite galaxie aux contours mal définis, bourrée de grosses étoiles bleues, que le télescope *Hubble* a découverte dans un recoin lointain, au-dessus de la queue de la Grande Ourse. Lointain, c'est peu dire: sa lumière a mis 13,4 milliards d'années pour arriver jusqu'à nous – et, entre-temps, elle s'est tellement éloignée avec l'expansion de l'Univers qu'elle se trouve aujourd'hui à 32 milliards d'années-lumière de la Terre! GN-z11 est tout simplement la plus lointaine galaxie jamais observée...

"Cela n'a été possible que parce qu'elle est particulièrement grosse et brillante par rapport aux autres galaxies qui existaient à cette époque, explique Simon Mutch, de l'université de Melbourne. D'où cette question: comment a-t-elle pu croître si vite?"

GN-z11 a beau être 25 fois plus petite que la Voie lactée, elle fait office de bébé obèse pour l'époque, seulement 400 millions d'années après le big bang. Les galaxies sont censées

grossir par fusions successives: difficile d'imaginer que celle-ci ait pu atteindre cette taille en si peu de temps...

Les simulations suggèrent pourtant que ce n'est pas impossible. Simon Mutch a modélisé un cube d'espace de 326 millions d'années-lumière de côté et l'a fait évoluer: *"En se déversant en grandes quantités dans la galaxie, le gaz aurait pu faire naître de nombreuses étoiles. Et si GN-z11 se trouvait dans un environnement dense, ce processus a pu être rapide et efficace."*

UN SACRÉ COUP DE CHANCE

Reste que la naissance de GN-z11 est très improbable. Dans sa simulation, le chercheur a vu naître un million de galaxies... dont seulement deux avaient la brillance de GN-z11! Sa découverte aurait été un sacré coup de chance. *"On ne s'attendait pas à la trouver dans le petit échantillon de ciel observé avec Hubble"*, confirme Pascal Oesch (Observatoire de Genève), à qui l'on doit la mesure de sa distance.



SIMON MUTCH

Spécialiste de la formation des galaxies à l'université de Melbourne

La question, c'est comment cette galaxie lointaine a-t-elle pu croître aussi vite ?

GN-z11

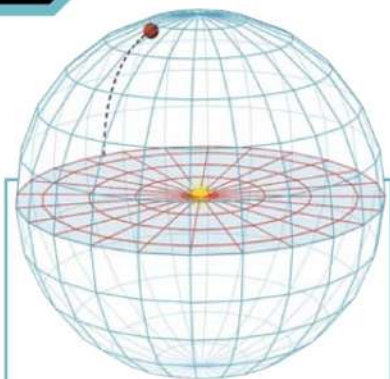
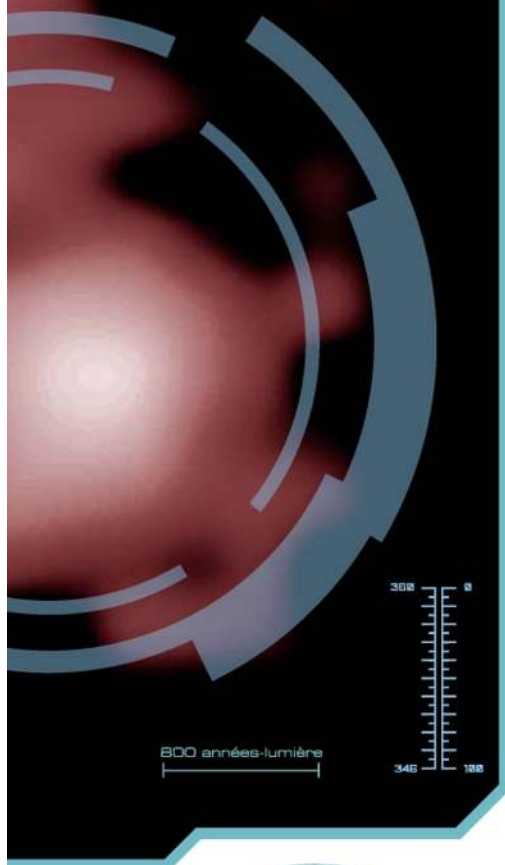
TROP LUMINEUSE
VU SON ÉLOIGNEMENT

Alors? Cet endroit est-il un lieu hors norme, une singularité statistique fruit d'un hasard facétieux? Ou bien faut-il revoir les modèles d'évolution de l'Univers primordial?

Il est trop tôt pour trancher. GN-z11 n'est que la première petite lueur d'un monde encore inexploré, la première représentante d'une époque où l'Univers, étoile après étoile, commençait seulement à s'allumer. Bien que Pascal Oesch s'affaire à chercher ses contemporaines, il sait qu'avec elle, les limites des instruments actuels ont été atteintes.

Il sait aussi que dans deux ans, cette *terra incognita* pourra enfin être explorée en détail grâce au lancement du successeur de *Hubble*, le *James Webb Space Telescope*. Lui pourra voir les plus petites des galaxies primordiales. On saura alors que penser de cette nuée d'étoiles si lointaine... **B.R.**

LONGUEUR D'ONDE
INFRAROUGE



COORDONNÉES

12h 36m 25s / +62° 14' 31"

CONSTELLATION

La Grande Ourse

DISTANCE

32 milliards d'années-lumière

TAILLE

4 000 années-lumière de diamètre

DÉCOUVERTE

2016 (télescope spatial *Hubble*)

5 Derrière les Nuages de Magellan

Le ballet fou de deux trous noirs

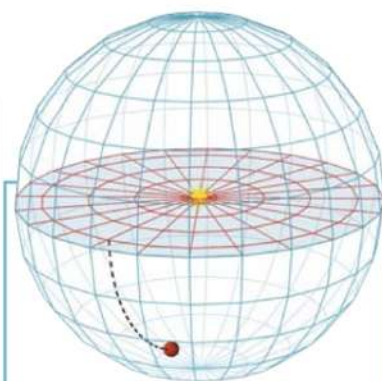
C'est le lieu le plus scruté du cosmos. Situé à quelque 1,4 milliard d'années-lumière de la Terre, dans l'hémisphère Sud céleste, juste derrière les Nuages de Magellan qui nimbent les constellations de la Dorade, de la Table et du Toucan, il est devenu célèbre le 14 septembre 2015, lorsque les ondes gravitationnelles qu'il a émises ont été enregistrées par l'interféromètre Ligo.

Un signal caractéristique de la collision de deux trous noirs ayant déformé la structure locale de l'espace-temps, avant de se propager, telle une onde à la surface de l'eau, jusqu'à nous. Un signal jusqu'ici seulement prévu par la théorie d'Einstein... et qui devrait, sauf surprise, être récompensé par un prix Nobel cette année.

Mais une découverte peut cacher un mystère. Car d'après l'interprétation du signal gravitationnel, baptisé GW150914, les deux trous noirs qui ont fusionné étaient énormes : ils devaient avoir respectivement la masse de 36 et 29 Soleil. *"On ne s'attendait pas à de si gros objets, témoigne Eric Chassande-Mottin, de l'équipe de Ligo. Les candidats trous noirs qu'on connaissait jusqu'ici dans des systèmes binaires ne dépassaient pas les 20 masses solaires."*

UNE GRAVITATION QUANTIQUE ?

Ces deux trous noirs devaient être au départ espacés au maximum de la distance Terre-Mercure – sinon le temps qu'ils auraient mis à fusionner serait supérieur à l'âge de l'Univers. Il faut imaginer que deux étoiles tournaient l'une autour de l'autre, et que la première qui s'est effondrée en trou noir, faute de



COORDONNÉES

Autour de 8h / autour de -75°

CONSTELLATIONS

La Dorade, la Table et le Toucan

DISTANCE

1,43 milliard d'années-lumière

TAILLE

300 km de diamètre

DÉCOUVERTE

2015 (interféromètre Ligo, Louisiane, Etats-Unis)

carburant, s'est mise à orbiter dans les entrailles de son compagnon resté étoile. *"Pas impossible... mais inattendu"*, conclut le chercheur.

Et les surprises se multiplient : il y a aussi ce flash lumineux détecté par le satellite *Fermi* de la Nasa, 0,4 s après la fusion des trous noirs... alors que le phénomène n'est pas censé produire de lumière ! Et cet écho qui semble apparaître dans le signal gravitationnel recueilli par Ligo 0,1, 0,2 et 0,3 s après la fusion et qui pourrait signer la présence d'un étrange mur quantique à la frontière du trou noir sur lequel les ondes gravitationnelles se répercuteraient... soit la première manifestation d'une gravitation quantique ! Le Graal des astrophysiciens se trouve-il juste derrière les Nuages de Magellan ? Plus de 1000 articles ont déjà été consacrés à GW150914. Et ce n'est qu'un début.

B.R.

À LA UNE

Un "cold spot" au milieu d'un océan brûlant

Dans les coins les plus reculés du cosmos, au bord de l'Univers visible, il n'y a pas de galaxie, pas de planète, pas même d'étoile... Seulement un gaz diffus de particules, uniformément chauffé à 3 000 degrés. Partout, sauf dans la constellation d'Eridan, au sud de notre ciel. Là s'étend une zone de quelque 2,7 millions d'années-lumière (20 fois notre Voie lactée!) mystérieusement plus froide. Une différence infime – 70 microkelvins – et pourtant significative. Que s'est-il passé là-bas pour qu'un flot froid (*cold spot*) ait surgi au milieu d'un océan brûlant ?

Normalement, la température des particules qui s'agitent à 43 milliards d'années-lumière de nous devrait être homogène. Rappelons qu'en astronomie, qui regarde loin remonte le temps : à cette distance, l'Univers est né depuis seulement 380 000 ans, et vient tout juste de subir sa phase

d'expansion exponentielle... Le modèle standard de la cosmologie prédit qu'il doit alors être une soupe de particules parfaitement lisse, moyennant quelques fluctuations quantiques.

LE MODÈLE STANDARD A-T-IL TORT ?

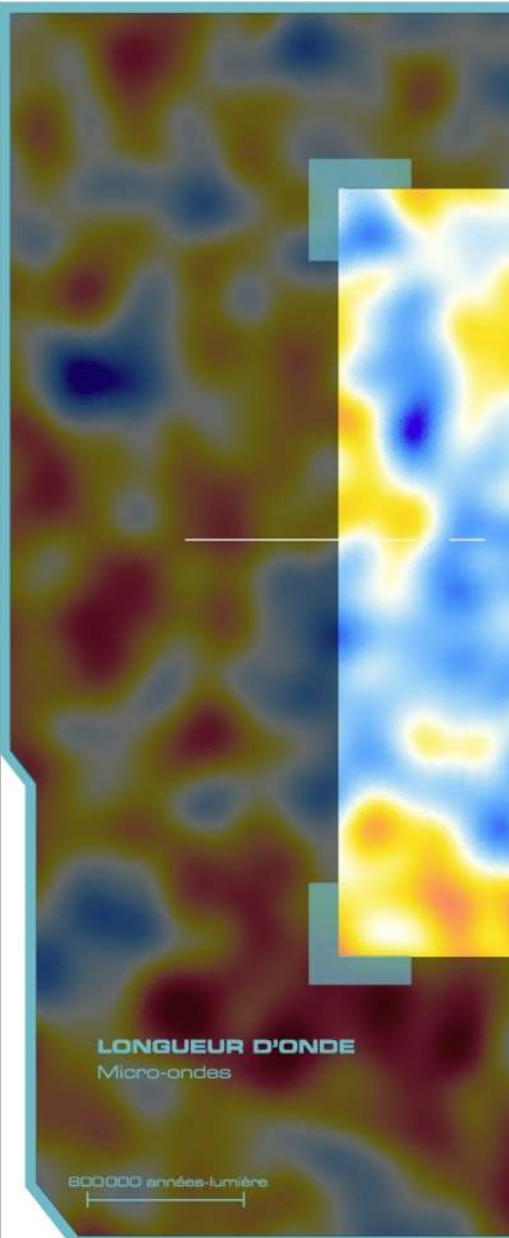
C'est d'ailleurs ce qu'ont mesuré les télescopes *Cobe* en 1990, *WMAP* en 2004 puis *Planck* en 2013 : regardant le ciel dans les longueurs des micro-ondes, ils ont pu capter les particules de lumière émises par cette "soupe", le fameux rayonnement de fond cosmologique (CMB). "*La température du CMB fluctue d'environ 18 microkelvins, elle est donc remarquablement homogène*", décrit Istvan Szapudi, qui travaille sur les données de *Planck* et de *WMAP* à l'université d'Hawaï.

Sauf dans le *cold spot*. La première fois que celui-ci a été détecté, en 2004, les astronomes sont restés prudents.



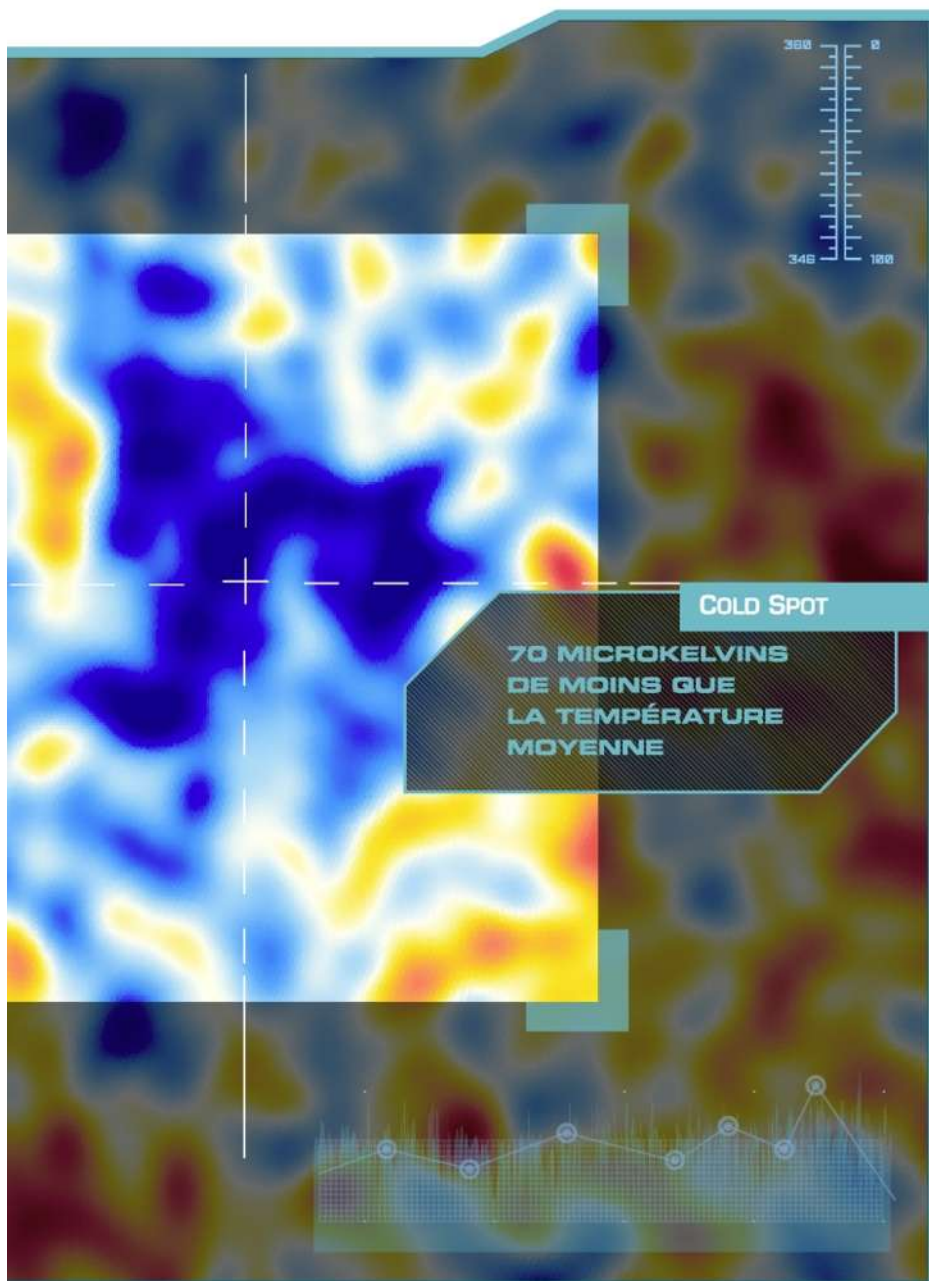
ISTVAN SZAPUDI
Astronome à l'université d'Hawaï

Aucune théorie, même la plus exotique, ne colle parfaitement avec les données



Mais les mesures de *Planck* ont confirmé le mystère. "*Il ne s'agissait ni d'un résidu mal estimé de la poussière, ni d'une erreur instrumentale, tranche François Bouchet, membre de l'équipe Planck à l'Institut d'astrophysique de Paris. Donc la question se pose : qu'est-ce que ça veut dire ?*"

Pour expliquer ce qui est devenu, aux yeux des astrophysiciens, le lieu mystérieux par excellence dans l'Univers, toutes sortes d'hypothèses sont envisagées. La zone froide pourrait vouloir dire que le modèle standard, qui



décrit comment l'Univers s'est refroidi, se trompe. Qu'il existerait par exemple des sortes de transitions de phase au cours de son refroidissement, qui formeraient ce que les cosmologistes appellent des "textures", et dont le *cold spot* serait la conséquence. *"Il faut peut-être considérer d'autres modèles d'inflation"*, ajoute François Bouchet.

Plus fou encore: ce pourrait être la marque de l'existence d'un autre Univers au-delà du nôtre, défend la cosmologiste Laura Mersini-Houghton, à l'université de Caroline du Nord...

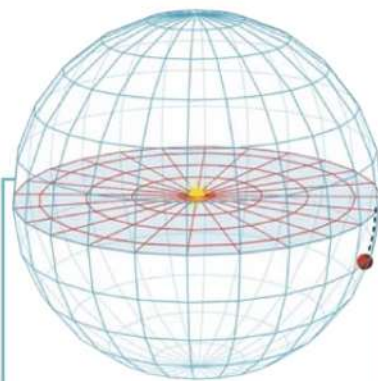
Autre piste: le *cold spot* pourrait n'être qu'une illusion, due à une immense région vide, dans la ligne de visée, qui aurait décalé la longueur d'onde des photons du CMB. Cet effet, nommé effet Sachs-Wolfe, est connu.

Et justement, en épluchant les catalogues de galaxies, Istvan Szapudi et son équipe ont bien découvert un vide au bon endroit, dans la direction du *cold spot*. Un supervide même, dont le diamètre est estimé à 1,8 milliard d'années-lumière. Oui, mais cela ne suffit pas. *"Il faudrait que cette zone vide soit*

1,25 à 1,6 fois plus grande", précise le chercheur. Et cela ne ferait que déplacer le lieu du mystère: l'existence d'un tel vide est-elle possible sans remettre en question l'homogénéité de l'Univers et revenir au point de départ? *"Ce serait une fluctuation rare dans la distribution de la matière dans l'Univers, mais pas impossible"*, avance Andras Kovacs, de l'Institut des hautes énergies de Barcelone.

Grand vide, alternatives au modèle standard... *"Pour le moment, rien de convaincant n'est sorti"*, résume François Bouchet. *"Aucune des théories avancées, certaines plus exotiques que d'autres, ne colle parfaitement avec les données"*, renchérit Istvan Szapudi.

Reste une possibilité. En refroidissant, l'Univers aurait donné naissance à cette zone froide par hasard, sans raison – un simple aléa. Statistiquement, il y a 2 chances sur 100 pour qu'une telle anomalie apparaisse. Le *cold spot* ne serait plus un lieu défiant l'imagination, juste un lieu bizarre. Mais en attendant, ce petit point aux confins du cosmos garde tout son mystère. **M.F.**



COORDONNÉES

03h 15m 05s / -19° 35' 02"

CONSTITUTION

Eridan

DISTANCE

43 milliards d'années-lumière

TAILLE

2,7 millions d'années-lumière de diamètre

DÉCOUVERTE

2004 (télescope spatial WMAP)

À LA UNE

Une galaxie ne cesse de clignoter

Au premier abord, c'est un lieu parmi les plus banals de l'Univers. Sur les images des télescopes, cette petite galaxie, comme il en existe des milliards de milliards de milliards dans le cosmos, ressemble à une petite tache anodine. Ni particulièrement riche en étoiles, ni particulièrement obscure.

C'est quand on l'observe avec une antenne capable de capter les ondes radio qu'elle devient... bizarre: voici qu'elle s'allume de flashes de lumière fulgurants, avant de s'éteindre pour de longues minutes, semaines, mois... puis de se rallumer, sans raison apparente, pour un nouvel éclair de quelques microsecondes. Cette galaxie clignote! Et ce de manière totalement aléatoire, sans la moindre périodicité!

Ce phénomène avait déjà été repéré dans d'autres endroits du ciel. Il a même été couronné d'une expression consacrée, "sursaut radio rapide", et de l'acronyme associé, FRB (pour *fast radio burst*, en anglais). Dix-huit de ces FRB ont été détectés depuis 2007

et les hypothèses vont bon train pour les expliquer: explosions violentes d'étoiles, fusions d'étoiles à neutrons, astres moribonds ultradenses...

Mais aucun ne s'était jamais répété. Or, depuis sa découverte par le radiotélescope d'Arecibo, en 2012, FRB121102 a pulsé des ondes radio 17 fois! Voilà qui élimine d'office les embryons d'explications avancés jusqu'ici – une étoile pouvant difficilement exploser 17 fois! Voilà surtout qui assombrit encore l'affaire...

UN MILLION DE FOIS TROP INTENSE

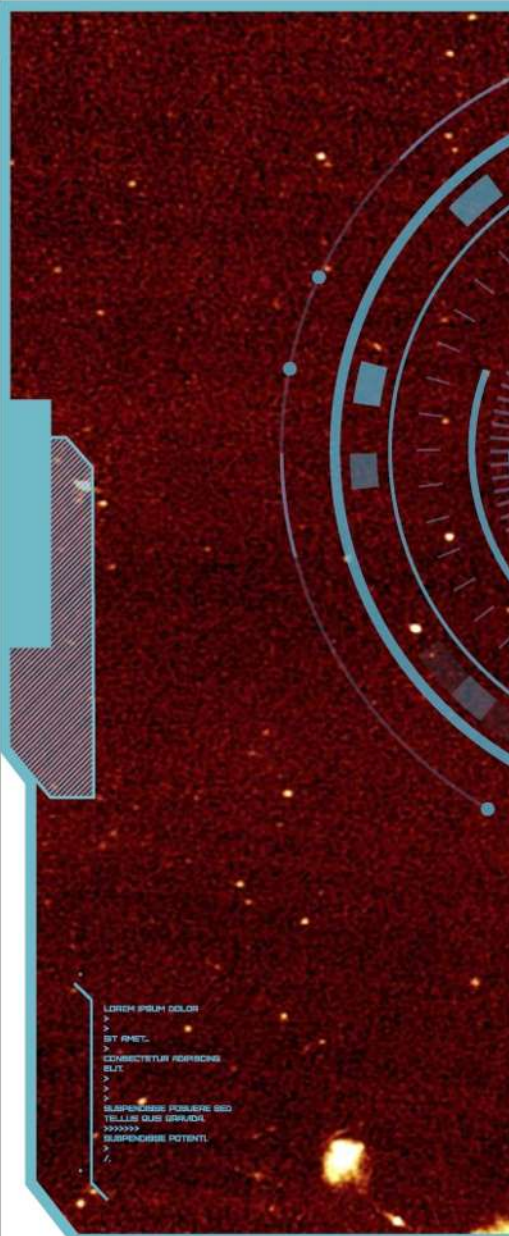
Lorsque Shami Chatterjee et son équipe à l'université Cornell (New York) ont découvert cette petite région qui flashe, ils sont restés interdits. "Si, comme on le soupçonne, les FRB sont émis par des étoiles à neutrons, on s'attend à ce qu'ils proviennent en majorité de grosses galaxies, parce qu'elles en contiennent des dizaines de milliers de fois plus qu'une galaxie naine", explique Shriharsh Tendulkar,



“
SHAMI
CHATTERJEE

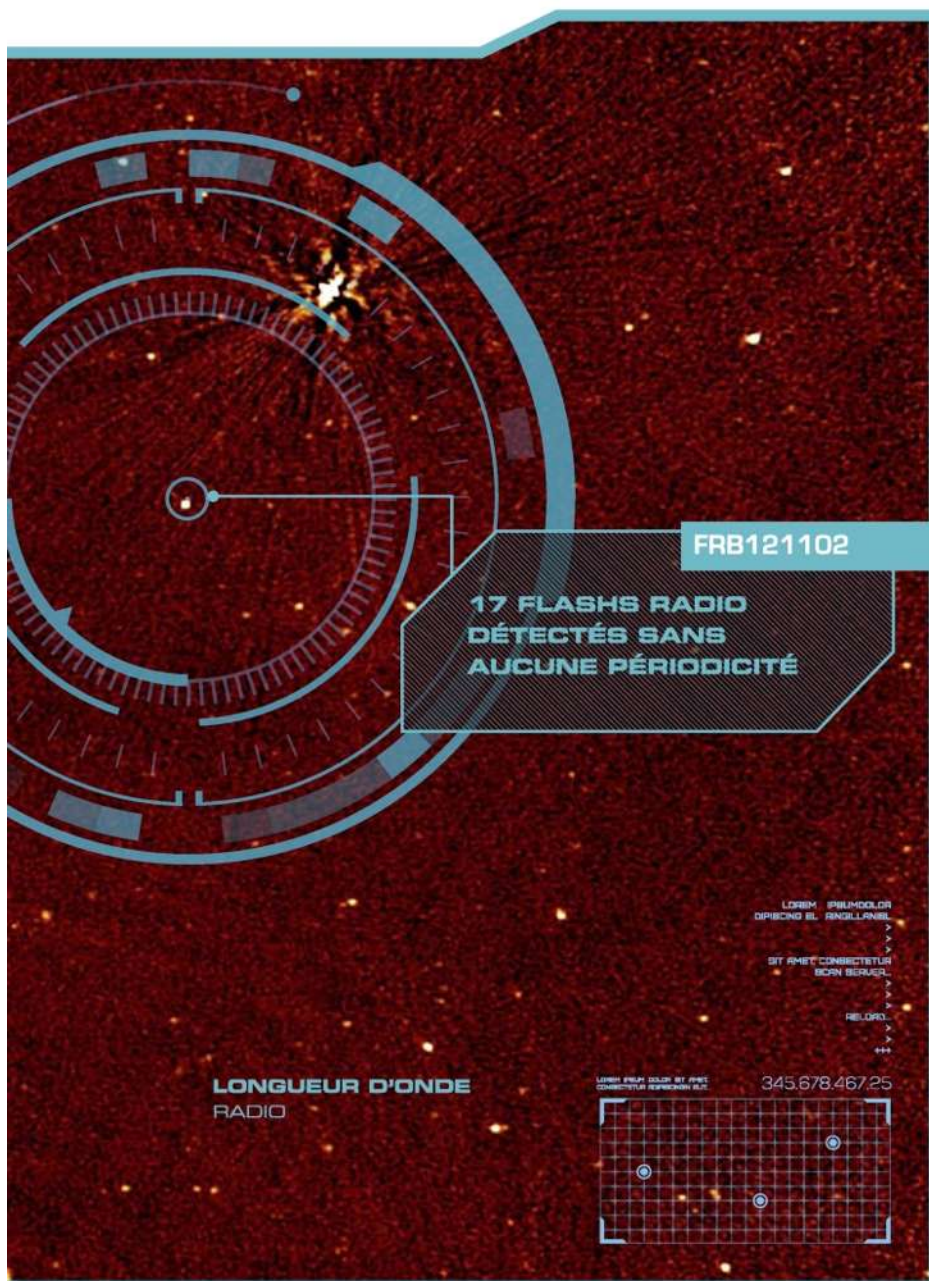
Astronome à l'université Cornell (Etats-Unis), découvreur du signal

Ces flashes sont impossibles à expliquer sans faire appel à de la physique exotique



qui a dirigé l'observation consistant à filmer le ciel à 200 images par seconde durant des dizaines d'heures.

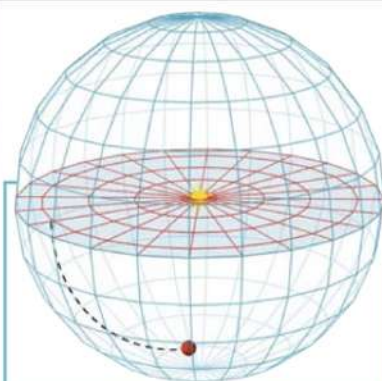
L'endroit est d'autant plus mystérieux que la petite galaxie émet, en plus de ces flashes, un faible signal radio constant, dont les astronomes ne s'expliquent pas la source. Simple coïncidence? "C'est peu probable, estime Shami Chatterjee. Tout indique que les deux phénomènes ont la même origine." Sauf qu'en poussant l'observation avec le VLBI, un réseau mondial de radiotélescopes qui fournit



FRB121102

17 FLASHS RADIO
DÉTECTÉS SANS
AUCUNE PÉRIODICITÉ

LONGUEUR D'ONDE
RADIO



COORDONNÉES

18h 14m / -85° 11'

CONSTELLATION

Le Cocher

DISTANCE

3,17 milliards d'années-lumière

TAILLE

10 000 années-lumière (10 fois moins que la Voie lactée) pour la galaxie ; moins de 300 km pour la source

DÉCOUVERTE

2012 (radiotélescope d'Arecibo, Porto Rico)

À LA UNE

une résolution spatiale équivalente à celle d'une antenne de 7 500 km de diamètre, le chercheur et son équipe ont montré que la distance entre les lieux d'origine des deux signaux est de 100 années-lumière. Autrement dit, ça ne vient pas du même endroit...

Les astronomes ont bien tenté une explication : la matière surchauffée spiralant autour d'un trou noir supermassif pourrait émettre ce faible rayonnement. Et de temps en temps, des effets magnétiques cracheraient des jets ultraénergétiques, qui se heurteraient

à du plasma à 100 années-lumière de là, le vaporisant et produisant les hoquets radio de FRB121102.

Problème : l'intensité du signal est bien trop gigantesque pour une galaxie située à 3,2 milliards d'années-lumière de nous. "C'est ça, en fait, le plus surprenant, réagit Shami Chatterjee. Le signal est un million de fois plus intense que ce à quoi on s'attendait !"

D'où l'idée qu'au lieu d'une explosion sphérique, il pourrait s'agir d'un rayon beaucoup plus concentré qui pointe par hasard en direction de la

Terre. "Oui mais, si l'on ne détecte que ceux qui pointent vers nous, cela signifie qu'il y en a en réalité 100 fois plus qu'on ne voit pas !" s'exclame le chercheur. A partir des 18 FRB recensés, les astronomes ont extrapolé qu'il devrait alors y en avoir de 5 000 à 10 000 par jour sur toute la sphère céleste...

Ce qui rend les 17 flashes enregistrés pour notre FRB121102 encore plus sidérants. "Cela signifierait que cette galaxie en émettrait jusqu'à un million chaque jour !, calcule Shami Chatterjee. C'est impossible à expliquer sans faire appel à de la physique exotique."

Et les spécialistes s'interrogent : s'il y a autant de FRB... où sont ceux de la Voie lactée ? Ils doivent être si intenses qu'on ne devrait pas pouvoir les rater ! Pourtant, ils sont aux abonnés absents.

A moins que par une sorte d'illusion d'optique, les rayons en provenance de la galaxie naine soient concentrés sur leur chemin vers nous par du plasma faisant un effet de loupe. Peu probable... Non, décidément, il y a quelque chose qui cloche là-bas. **B.R.**

et aussi...

CR7 : là où seraient nés les premiers trous noirs ?

Dans cette région située à 12,9 milliards d'années-lumière de la Terre, où gravite une galaxie, les astronomes ont d'abord cru voir les premières étoiles de l'Univers... Les derniers modèles montrent que ce seraient en fait des trous noirs incroyablement massifs. De quoi obliger les scientifiques à repenser les processus à l'origine des premières galaxies.
AD : 10h 00m 58s
Dec : +01° 48' 15"

Big bang : percer l'origine de l'Univers ?

C'est la frontière de notre monde. Le début de l'Univers tel que nous le connaissons, présent partout au fond du ciel, à une distance de 45 milliards d'années-lumière... Mais ce lieu nous est invisible, caché par un brouillard de particules chaudes totalement opaque. Les cosmologistes en sont réduits à dérouler leurs modèles en espérant pouvoir les tester dans l'Univers visible. Ciel entier.

Sagittarius A* : pourquoi un tel trou noir au cœur de la Voie lactée ?

Ce trou noir supermassif pèse 4 millions de masses solaires. Toute la question est de savoir pourquoi il était bien plus actif par le passé, comme en témoignent les gigantesques bulles de rayons gamma qui l'entourent.
AD : 17h 45m 40s / Dec : -29° 00' 28"

J0100+2802 : mais quelle étoile a pu engendrer ce trou noir ?

Au fond de l'Univers niche un monstre de 12 milliards de masses solaires, formé seulement 900 millions d'années après le big bang. Comment une étoile a-t-elle pu grossir, briller, puis exploser en un tel trou noir en si peu de temps ? AD : 01h 00m 13s / Dec : +28° 02' 25.8"

Crater 2 : comment cette galaxie peut-elle être si petite ?

Juste à côté de la Voie lactée gravite un petit amas d'étoiles naines qui ne devrait pas exister : il ne contient pas assez de matière noire (indispensable au modèle cosmologique), et n'aurait pas dû peser assez pour retenir des étoiles...
AD : 11h 49m 14s
Dec : -18° 24' 47"

Europe : un autre lieu de naissance de la vie ?

C'est sous la croûte de glace de dizaines de kilomètres d'épaisseur d'Europe, lune de Jupiter, que se cache sans doute le lieu le plus fantasmagique du système solaire. Contact de l'eau avec les roches du noyau, tectonique des glaces... Ici, comme sur Terre, les conditions sont réunies pour que la vie ait pu se former.
AD : 20h 53m / Dec : -48° 59' (au 1/03/17)

Occator : que cache ce cratère taché de blanc ?

Depuis qu'il a été observé de près par la sonde Dawn, le cratère de Cérès, cette planète naine qui gravite entre Mars et Jupiter, n'en finit plus de faire parler. Quelle est donc cette matière qui forme en son centre des taches brillantes ? Des extraterrestres ? Des carbonates, en fait... mais qui suggèrent l'existence de systèmes hydrothermaux. Et dire que l'on croyait que Cérès n'était qu'un gros astéroïde ! AD : 2h 25 m / Dec : +10° 18' (au 1/03/17)

Proxima b : enfin une voisine habitable ?

Ce pourrait être une rocheuse, ou bien une planète-océan. En tout cas, elle est dans la zone habitable de son étoile. Découverte en août dernier, cette planète qui gravite autour de Proxima du Centaure concentre tous les regards. Sera-t-elle la première exoplanète que nous visiterons ?
AD : 14h 29m 42s / Dec : -62° 40' 46"

Bullet Cluster : comment ces amas peuvent-ils être nés ensemble ?

Coup de chance : à 3,7 milliards d'années-lumière de la Terre, deux amas d'étoiles sont entrés en collision sous l'objectif des télescopes. Sauf que leur vitesse et leur âge suggèrent qu'ils sont nés l'un près de l'autre, alors que ce devrait être impossible vu leur masse...
AD : 06h 58m 37.9s / Dec : -55° 57' 0"



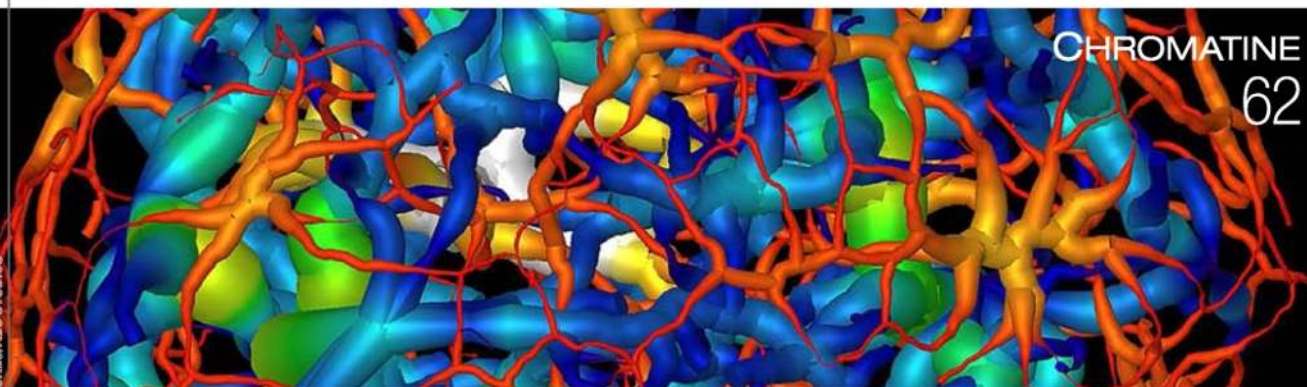
A lire : les nombreuses études qui nous ont servi à construire ce dossier. A voir : les vidéos, souvent somptueuses des dernières simulations de la structure et de l'évolution de l'Univers.

EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

AD : ascension droite. Dec : déclinaison.

& Science découvertes



CHROMATINE
62



DÉFORESTATION
65

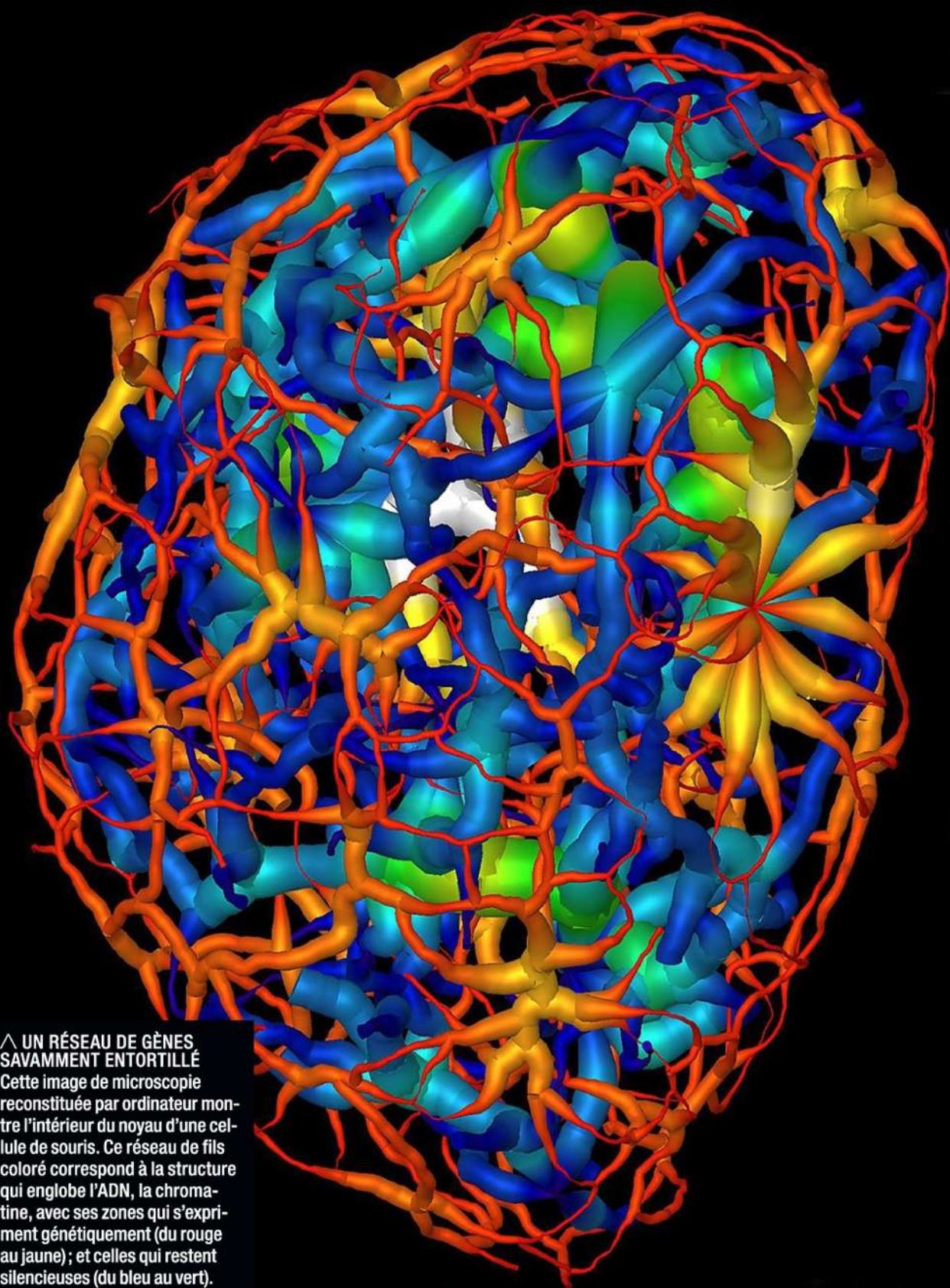


MÉSENTÈRE
68



ORIGINE DES CONTES
74

THE LIFE IMAGES COLLECTION/GETTY IMAGES - BERKELEY LAB, UCSF - M. SAEMANN - S. COMPOINT/ONLYFRANCE COLLECTION - CHRISTOPHE L. © WALT DISNEY PICTURES/MASC STUDIOS



**^ UN RÉSEAU DE GÈNES
SAVAMMENT ENTORTILLÉ**
Cette image de microscopie
reconstituée par ordinateur mon-
tre l'intérieur du noyau d'une cel-
lule de souris. Ce réseau de fils
coloré correspond à la structure
qui englobe l'ADN, la chroma-
tine, avec ses zones qui s'expri-
ment génétiquement (du rouge
au jaune) ; et celles qui restent
silencieuses (du bleu au vert).

ADN

Voici à quoi il ressemble vraiment

Un nouveau type de microscope permet de détailler, en 3D, l'intérieur du noyau des cellules. **Lionel Cavicchioli** nous explique pourquoi ces images sont essentielles pour comprendre les secrets de la génétique.

En 1959, dans un discours resté célèbre, l'éminent physicien Richard Feynman affirmait qu'*"en biologie, la réponse à de nombreuses questions fondamentales est facile à trouver : il suffit de regarder ! Construisez un microscope 100 fois plus puissant, et les problèmes deviennent plus simples"...*

A l'université de Californie, Carolyn Larabell et ses collègues du Laboratoire national Lawrence-Berkeley ont suivi à la lettre ce conseil. Regardez l'image qu'ils viennent de produire (ci-contre). Elle révèle pour la première fois la forme que prend l'ADN à l'intérieur du noyau des cellules. Ou plutôt la forme que prend la chromatine, cette structure

qui résulte de l'association du long filament d'ADN avec de nombreuses protéines (lire Repères, ci-dessous).

Le conseil de Feynman est ici d'autant plus pertinent que l'expression de l'ADN dépend justement de la façon dont il est rangé. Seules les parties les moins embobinées de la chromatine (en rouge et jaune sur l'image) sont traduites en protéines, les autres (les parties vertes et bleues), plus compactes, restant "silencieuses".

GÉOMÉTRIE DE LA GÉNÉTIQUE

Prise grâce au microscope à rayons X qu'ils ont mis au point – *"le premier au monde dédié à la production d'images biologiques"*, souligne fièrement la chercheuse –, cette image en 3D d'une incroyable précision donne donc à voir une dimension essentielle de la génétique, sa dimension géométrique.

Première constatation : la chromatine est ancrée sur la face interne du noyau, ce que l'on soupçonnait déjà mais qui n'avait encore jamais été clairement prouvé. ➔

Repères

Dans le noyau des cellules, les molécules d'ADN s'associent aux protéines pour former la chromatine. Cette structure s'entortille sur elle-même à la manière des agaçants cordons torsadés des vieux téléphones, afin de faire tenir les 2 m d'ADN à l'intérieur d'un noyau 20 000 fois plus petit. Sachant que les gènes des régions les plus embobinées sont peu accessibles, et donc inactifs, tandis que ceux des régions les moins compactes sont exprimés.

BERKELEY LAB, UCSF

→ Plus impressionnant, ces images montrent qu'il est possible de reconnaître le type de cellule auquel on a affaire juste en regardant la forme de son ADN. Carolyn Larabell et ses collaborateurs ont en effet braqué le faisceau de leur microscope sur trois sortes de cellules nerveuses extraites du bulbe olfactif de souris : des cellules souches multipotentes (capables de se différencier en un grand nombre de cellules spécialisées), des cellules neuronales progénitrices

Et ce, jusque dans les moindres détails. Regardez les neurones olfactifs adultes. Chacun possède environ 1 500 gènes impliqués dans la détection des senteurs, mais un seul de ces gènes, spécifique d'un groupe d'odeurs données, y est actif. Grâce à leur microscope, l'équipe de Carolyn Larabell a découvert il y a quelques années pourquoi : les autres gènes inutilisés liés à l'olfaction sont systématiquement regroupés dans les mêmes régions du noyau,

Les îlots de chromatine compacte et les îlots de chromatine desserrée ne sont pas isolés comme nous le pensions, et cela, les images 2D ne pouvaient pas le révéler", détaille Carolyn Larabell.

EN CANCÉROLOGIE AUSSI

"Une autre trouvaille étonnante est que plus la quantité de chromatine décondensée est importante, plus la taille du noyau augmente. Or, l'une des caractéristiques des cellules tumorales est leur très gros noyaux. Cette technique pourrait être utilisée pour étudier les changements qui surviennent dans la chromatine au cours de maladies comme le cancer."

Une des prochaines étapes consistera à associer ces rayons X à de la fluorescence, afin de localiser dans le noyau les molécules régulant l'expression des gènes. Et ainsi saisir d'un coup d'œil l'ADN en train d'être traduit.

La chromatine est encore loin d'avoir livré tous ses secrets. En particulier, la façon dont son organisation spatiale se met en place demeure encore obscure – d'autant qu'une mystérieuse gaine autour de cette chromatine a été tout récemment détectée, dont la fonction reste encore inconnue (lire encadré ci-contre).

Une chose est certaine, cependant : le conseil de Richard Feynman était le bon.

Les chromosomes sont bien plus que de la chromatine

Grâce à une autre technique de microscopie 3D produisant des images extrêmement détaillées, une équipe de l'université d'Edimbourg (Ecosse) vient de montrer que les chromosomes ne sont composés de chromatine (comprenant ADN et protéines) qu'à hauteur de 53 % à 70 % de leur structure. Une gaine, dont la composition et la fonction demeurent inconnues, occupe le reste... Une subtilité que les microscopes utilisés jusqu'à aujourd'hui n'avaient pas permis de détecter.

(capables de se différencier en n'importe quel neurone) et des neurones olfactifs matures, totalement différenciés.

Si ces cellules ont toutes le même bagage génétique, les rayons X révèlent que leur chromatine s'organise totalement différemment. Alors que dans les cellules souches, les régions silencieuses se situent à la périphérie du noyau, elles se déplacent progressivement durant la maturation, pour finir par se retrouver en plein centre dans les neurones olfactifs adultes. Le destin des cellules s'inscrit donc bel et bien dans l'organisation spatiale de leur chromatine.

à sa périphérie, où ils ne s'expriment pas. Autrement dit, c'est en tordant leur chromatine que les neurones olfactifs se spécialisent dans un type d'odeur précis.

Ces images montrent que rien n'est laissé au hasard dans le noyau. Les régions peu condensées, où les gènes s'expriment, sont toutes contiguës, de même que les régions silencieuses. Tout y est très bien rangé, loin de la figure du plat de spaghettis entremêlés longtemps présentée.

"Ce qui nous a le plus surpris, c'est de nous apercevoir que toute la chromatine est entièrement connectée."

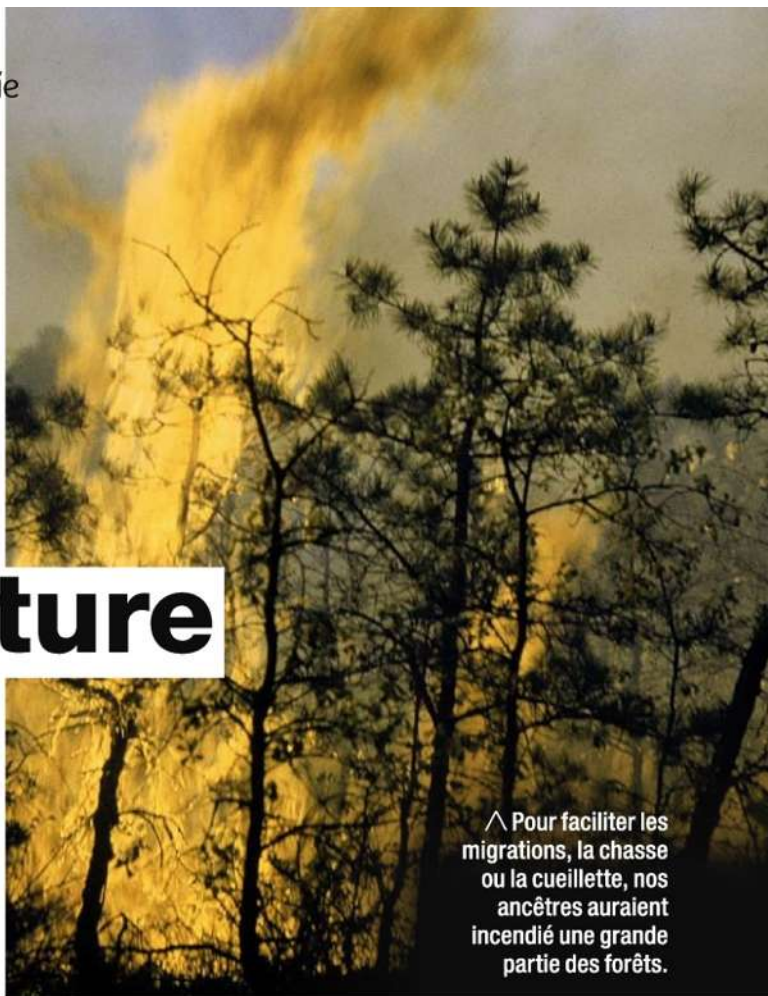


A lire : les publications liées aux recherches mentionnées dans l'article.

science-et-vie.com

Il y a 20 000 ans, l'homme dégradait déjà la nature

Et si *Sapiens* avait déboisé massivement l'Europe dès la préhistoire ? **Thomas Cavallé-Fol** a examiné cette hypothèse, qui éclaire d'un jour nouveau l'impact de notre espèce sur l'environnement.



^ Pour faciliter les migrations, la chasse ou la cueillette, nos ancêtres auraient incendié une grande partie des forêts.

A quoi ressemblait la France préhistorique d'il y a 20 000 ans ? Quels paysages admiraient nos lointains ancêtres, arrivés deux cents siècles plus tôt sur ce territoire en proie à une interminable ère glaciaire qui atteignait alors son maximum (voir "Contexte") ?

Tout le monde a en tête des images de vastes étendues herbeuses parsemées de buissons et d'arbustes, avec çà et

là quelques forêts de conifères. Un paysage naturel aux allures de toundra où se déplaçaient mammoths, lions des cavernes, bisons des steppes et autres représentants d'une mégafaune aujourd'hui disparue.

Naturel, vraiment ? Et si, au contraire, *Homo sapiens* avait lui-même façonné ces paysages ? Adaptant, dès la préhistoire, son environnement à ses propres besoins ?

C'est l'hypothèse qu'avance Jed Kaplan, spécialiste de la réponse environnementale face aux changements climatiques à l'université de Lausanne. Selon lui, dès son installation sur notre continent, l'homme moderne l'aurait lentement, mais massivement, déforesté à grand renfort d'incendies. "Ce serait l'un des premiers

impacts à grande échelle de l'homme sur l'environnement", lâche le chercheur.

30 % DES FORÊTS MANQUENT !

Il y a en effet quelque chose qui cloche dans ce décor européen préhistorique. "Les analyses des pollens et de la faune de l'époque, qui sont des preuves tangibles, témoignent qu'au dernier maximum glaciaire l'Europe était majoritairement un milieu ouvert, à la façon d'une steppe, souligne Gustav Strandberg, expert en paléoclimatologie à l'université de Stockholm. Pourtant, les conditions climatiques permettaient tout à fait la pousse et la survie des espèces d'arbres qui existaient alors." D'où cette question : où sont passées les forêts ?

Contexte

Il y a environ 45 000 ans, *Homo sapiens* arrive dans une Europe peuplée par l'homme de Neanderthal. En une dizaine de milliers d'années seulement, ce dernier disparaît et notre espèce se retrouve seule sur ce territoire en proie à une ère glaciaire, la dernière en date (voir aussi "Jargon").

Une vieille énigme enfin résolue ?

Au dernier maximum glaciaire, il y a 21 000 ans, les paysages européens étaient très différents de ceux qu'on connaît aujourd'hui. Des scientifiques tentent de les reconstituer... mais leurs modèles butent sur un problème : l'Europe aurait dû être beaucoup plus boisée.

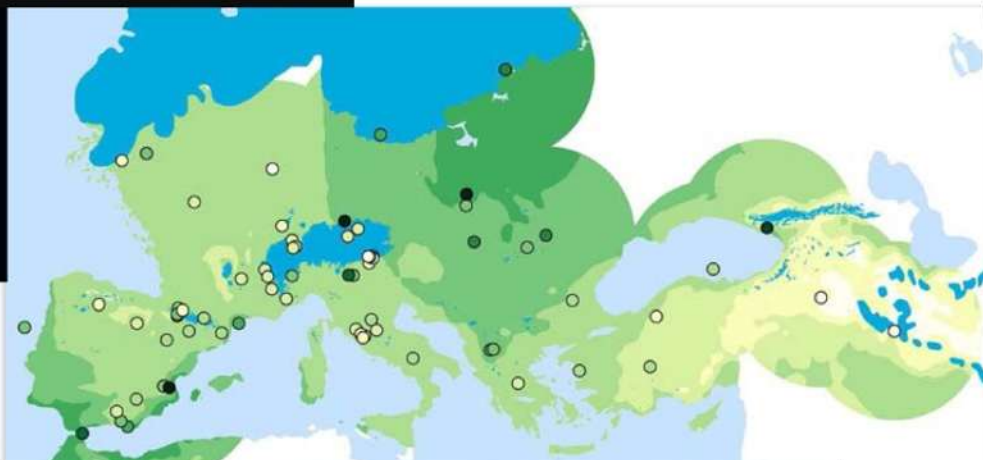
→ Le problème n'est pas nouveau. "Cela fait vingt-cinq ans que les experts tentent de simuler la végétation en se basant sur le climat, et les forêts d'Europe au dernier maximum glaciaire sont restées une énigme, reprend Jed Kaplan. Les modèles ont beau gagner en précision, ils indiquent toujours une Europe bien plus forestière qu'elle ne l'était réellement."

Sur tout le continent, ce sont 30 % de la couverture forestière qui manquent à l'appel. Une différence qui atteint même 50 à 60 % dans certaines régions... comme celle que nous appelons aujourd'hui la France.

"Cet écart est tel qu'il ne peut être le fruit d'une petite erreur, insiste le chercheur. Soit les modèles entiers sont inefficaces, et cela ne présage rien de bon pour notre capacité à simuler le climat du futur, soit nous avons complètement oublié une dynamique."

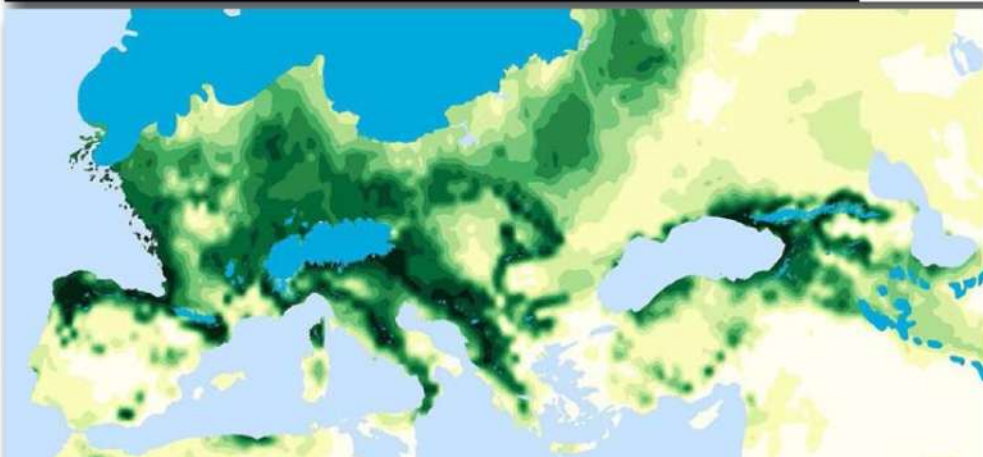
UNE PRATIQUE COURANTE

Le régime alimentaire de la mégafaune, par exemple ? Jed Kaplan balaie l'argument : "Ces animaux ne mangeaient pas spécialement des jeunes arbres, et n'étaient de toute façon pas présents en quantité suffisante pour avoir un tel impact". Des incendies provoqués par la foudre, alors ?



1. L'analyse des pollens prouve que l'Europe était peu boisée...

En examinant des échantillons de pollens issus de 71 sites, les chercheurs ont pu établir cette carte des forêts sur le continent il y a 21 000 ans. Hormis dans le Sud-Ouest et le Nord-Est, l'Europe était majoritairement couverte de steppes.

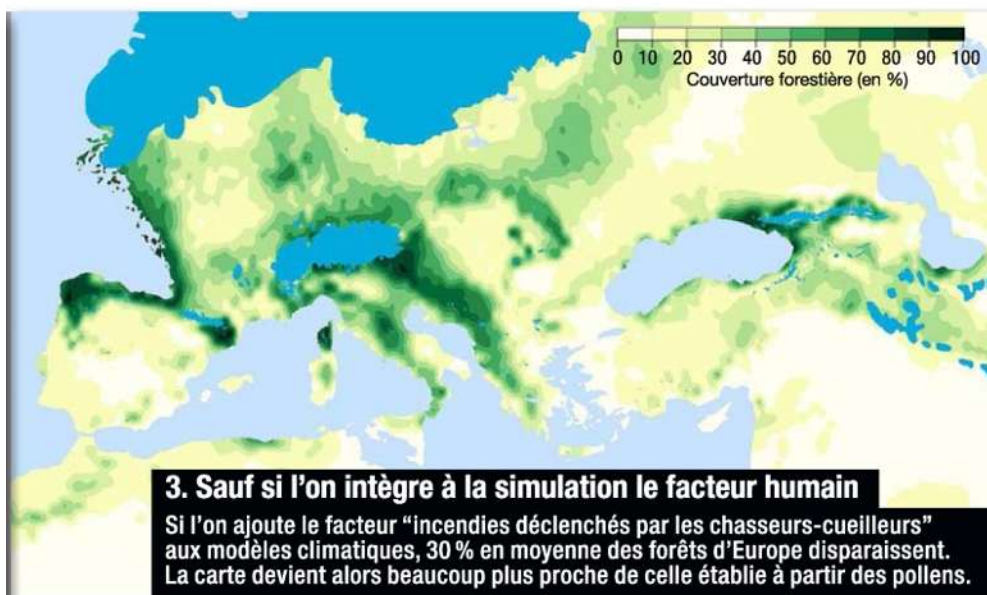


2. ... ce qui ne colle pas avec les modélisations climatiques

Basées sur de nombreux facteurs (température, relief, humidité, type de végétation...), ces simulations concluent au contraire que l'Europe devait être couverte de forêts ! En particulier la France, qui aurait dû être près de 50 % plus boisée.

"Nous en tenons compte dans nos modèles, mais il n'y a aucune raison pour que leur fréquence ait été plus importante à l'époque qu'aujourd'hui", poursuit le climatologue. Qui assène : "Pour moi, le seul facteur qui aurait pu avoir un impact si global et si puissant sur les paysages d'Europe était l'homme, avec le feu".

Mais pourquoi diable incendier la forêt intentionnellement ? Une telle pratique semble en fait assez courante chez notre espèce. "Certaines populations plus récentes provoquaient des incendies contrôlés pour modifier leur environnement, atteste Laurent Marquer, anthropologue à l'université de Toulouse. Et



ce comportement serait même apparu tôt dans l'histoire, comme lors de la colonisation de l'Australie, il y a près de 45 000 ans."

Car le feu ne sert pas qu'à cuire des aliments, se chauffer ou se prémunir du danger. Il détruit, renouvelle, fait de la place, ce qui facilite les migrations, la sécurité et la chasse – la biodiversité animale augmente dans ces zones où de nouvelles plaines côtoient les forêts. Et les plantes repoussent vite: deux à quatre ans suffisent pour que des espèces herbacées, bonnes pour la cueillette, remplacent les arbres brûlés.

En 2008, une étude poussée de cette pratique chez les Aborigènes a permis de relever un autre effet bénéfique. "En allumant des feux de quelques hectares seulement, il est prouvé que les Aborigènes réduisaient le risque d'incendies accidentels et incontrôlables", assure

JED O. KAPLAN ET AL.

Jed Kaplan.

Jargon

Les ères glaciaires sont des périodes géologiques caractérisées par un refroidissement global et une extension des glaciers. Quatre glaciations ont eu lieu ces 600 000 dernières années, la dernière il y a 110 000 à 10 000 ans environ, avec un maximum atteint il y a 21 000 ans.

Pour étayer son intuition, le chercheur et son équipe ont ajouté à leur simulation un facteur anthropique, en se basant sur la répartition d'*Homo sapiens* en Europe. Leur nouveau modèle montre un continent qui se clairsème peu à peu et qui finit, 20 000 ans après l'arrivée de l'homme, par être proche de celui dessiné grâce aux relevés de pollens (voir cartes).

"Nous parlons ici d'un risque faible d'incendie contrôlé, qui dépend bien sûr des conditions climatiques et qui se réduit au fil des années, à mesure que l'environnement change. Mais même si la surface brûlée n'augmentait que de 2 à 4 % en moyenne par an, les répercussions sur la couverture forestière auraient été très importantes car les conditions climatiques, et notamment la faible concentration en CO_2 , rendaient la repousse des arbres difficiles", commente le scientifique. Avec le temps,

Homo sapiens aurait donc fini par modifier considérablement le visage du Vieux Continent. "Cela n'aurait d'ailleurs finalement eu qu'un effet très limité à la sortie de l'ère glaciaire, avec l'amélioration des conditions climatiques."

LE PROPRE DE NOTRE ESPÈCE ?

Notre espèce serait-elle ainsi responsable de transformations écologiques majeures dès la préhistoire? L'hypothèse, toute nouvelle, reste débattue. "Les preuves tangibles manquent pour l'instant, prévient Laurent Marquer. De plus, en ces conditions difficiles, le bois pouvait manquer: quel aurait alors été l'intérêt de brûler un combustible rare?"

Gustav Strandberg est plus séduit. "Ils ont de bons arguments, estime-t-il, et il me semble de plus très sensé de rajouter un facteur humain dans les simulations de climat et d'environnement."

Jed Kaplan, lui, cherche déjà ailleurs: "Je suis convaincu que cette pratique est née encore plus tôt, et des traces sont peut-être encore visibles au Moyen-Orient ou en Afrique". Avec, en point de mire, la réponse à une grande question: quand l'homme a-t-il vraiment commencé à modeler la nature selon ses souhaits?

Et si c'était cela, en fait, le véritable propre de notre espèce?



A consulter: les publications et les sites des chercheurs. A voir: des vidéos sur ces travaux de modélisation.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Découverte du mésentère

Mais combien d'organes

avons-nous finalement ?

Nous avons un cœur, un foie et... un mésentère. Soit une immense membrane intestinale, qui fait aujourd'hui polémique : s'agit-il d'un organe – ou pas ? **Alexandra Pihen** a plongé dans nos entrailles.

Difficile d'échapper à la découverte du mésentère en ce début d'année 2017. Le mésentère ? Un fossile géant de dinosaure ? Une nouvelle maladie ? Un médicament miracle ? Non, rien de moins qu'un nouvel organe du corps humain, au même titre que le poumon, l'œil ou le cœur.

Un nouvel organe ? A la première stupéfaction face à cette annonce se substituent de nombreuses interrogations. Comment, à l'heure de la chirurgie cellulaire, et plus de cinq cents ans après la naissance de l'anatomie humaine moderne, est-il encore possible de découvrir des organes cachés dans notre corps ?

Ce mésentère doit être microscopique pour être passé inaperçu pendant toutes ces années... Même pas : c'est un géant, au regard de nombreuses parties du corps. Logé au cœur de l'appareil digestif, cet éventail de tissus innervés et vascularisés soutient sans relâche notre intestin grêle sur plus de 6 m de longueur.

Et loin d'être inconnu au bataillon, c'est même une structure familière des anatomistes. *"Nous savons que le mésentère existe depuis que le médecin de Charles Quint, Vésale, a réalisé les premières dissections à la Renaissance !"*, souligne Jean-Marc Chevalier, professeur d'anatomie et chirurgien digestif à l'hôpital Georges-Pompidou (Paris).

Mais alors, pourquoi tant de bruit ? C'est que le mésentère aspire à une promotion : jusqu'alors simple structure, au même titre que le péricarde – la membrane qui entoure le cœur –, il brigue le statut d'organe. Et la nouvelle déclenche une petite foire d'empoigne dans le petit monde des anatomistes.

Car qu'est-ce qu'un organe ? Une définition semble faire consensus : un organe est une structure anatomiquement limitée – qui a un début et une fin –, remplissant une ou plusieurs fonctions précises – par exemple, le pancréas participe, entre autres, à la digestion et à

Chronologie

Dès le II^e s., Gallien institue la première nomenclature d'anatomie humaine en imposant un nom à chaque structure. Elle s'étoffe au XVI^e s. grâce au Flamand André Vésale et aux premières dissections de cadavres humains. La *Terminologia Anatomica* de 1998 est aujourd'hui la référence internationale... mais ne donne aucun comptage précis des organes.

CEUX DÉJÀ RÉPERTORIÉS

A en croire la définition qui fait consensus auprès des anatomistes, ces 60 structures sont des organes à part entière.

- Système digestif
- 1. Appendice
- 2. Caecum
- 3. Canal anal
- 4. Cavité orale
- 5. Estomac
- 6. Foie
- 7. Glande parotïde
- 8. Glande sous-maxillaire
- 9. Glande sublinguale
- 10. Gros intestin (côlon)
- 11. Intestin grêle
- 12. Langue
- 13. Œsophage
- 14. Pancréas
- 15. Rectum
- 16. Vésicule biliaire
- Système cardio-vasculaire
- 17. Cœur
- Système endocrinien
- 18. Epiphyse
- 19. Hypophyse
- 20. Parathyroïde
- 21. Thyroïde
- Système immunitaire
- 22. Amygdales
- 23. Ganglions lymphatiques
- 24. Moëlle osseuse
- 25. Rate
- 26. Thymus
- Système nerveux
- 27. Cerveau
- 28. Cervelet
- 29. Cochlée (oreille interne)
- 30. Moëlle épinière
- 31. Tronc cérébral
- 32. Vestibule (oreille interne)
- 33. Yeux
- Système reproducteur féminin
- 34. Glandes mammaires
- 35. Ovaires
- 36. Placenta
- 37. Trompes
- 38. Utérus
- 39. Vagin
- Système reproducteur masculin
- 40. Glande bulbo-urétrale
- 41. Pénis
- 42. Prostate
- 43. Testicules
- 44. Vésicule séminale
- Système respiratoire
- 45. Bronches
- 46. Fosses nasales
- 47. Larynx
- 48. Poumons
- 49. Trachée
- Système respiratoire et digestif
- 50. Pharynx
- Système tégumentaire
- 51. Glandes sébacées
- 52. Glandes sudoripares apocriues
- 53. Glandes sudoripares ecclrines
- 54. Peau
- Système urinaire
- 55. Bassinet
- 56. Glandes surrénales
- 57. Reins
- 58. Urètres
- 59. Urètre
- 60. Vessie

CELUI QUI VEUT EN ÊTRE UN

LE MÉSENTÈRE

Ce vaste éventail de tissus innervés et vascularisés (en jaune) soutient l'intestin grêle sur plus de 6 m et permet les échanges avec tout l'appareil digestif. Suffisant pour en faire le 61^e organe ?

→ la régulation de la glycémie —, et qui peut être atteint d'une ou plusieurs pathologies qui lui sont propres.

La définition semble claire. Chacun d'entre nous peut d'ailleurs aisément citer les organes qui lui semblent les plus familiers: le cœur, le cerveau, les poumons ou encore les yeux... Et, pour le professeur irlandais Calvin Coffey, de l'université de Limerick, auteur de la publication parue dans la revue *The Lancet* de novembre 2016, cela ne fait pas de doute: le mésentère doit donc être ajouté à la liste de nos organes... Mais quelle liste, au fait?

C'est là que les choses se gâtent! Car si une définition semble mettre d'accord les spécialistes, la liste officielle, elle, reste introuvable... Et pour cause. "Personne, en

CELUI QUI EST TEMPORAIRE

LE PLACENTA

SYSTÈME: reproducteur.
PARTICULARITÉ: complexe, vital et pourtant transitoire! Le placenta est unique en son genre. Siège des échanges entre la mère et son fœtus pendant la grossesse, il sera expulsé du corps à l'accouchement. Jouant pour le fœtus le rôle de poumon, rein et intestin, il fournit l'ensemble des éléments nécessaires à sa croissance, tout en filtrant les déchets et les éléments nocifs. Une des machines biologiques les plus raffinées et les plus mystérieuses.

CELUI QUI POURRAIT EN ÊTRE UN OU PAS

LE GRAND ÉPIPLOON

SYSTÈME: digestif.
PARTICULARITÉ: c'est la première structure que les chirurgiens digestifs rencontrent lors d'une opération. Cet important repli péritonéal est suspendu à la grande courbure de l'estomac et au centre du duodénum. Selon certains spécialistes, il pourrait figurer sur la liste de nos organes, même si le débat n'est pas tranché. "Nous le surnommons la serpillère de l'abdomen car quand un foyer infectieux est présent dans l'abdomen, cette grande nappe de graisse vient se coller dessus pour éviter sa diffusion", précise Jean-Marc Chevallier.

anatomie, ne s'amuse à compter le nombre d'organes! Moi, je vous en propose 60, mais quelqu'un d'autre va vous en trouver 80", estime Vincent Delmas, professeur d'anatomie et chirurgien urologue aux Hôpitaux de Paris, à qui nous avons demandé cette fameuse liste. "Les trompes utérines peuvent par exemple être considérées comme annexes à l'utérus ou comme des organes à part entière."

On le comprend: de la spécialité du médecin dépend en grande partie la précision de la liste dans certaines zones du corps!

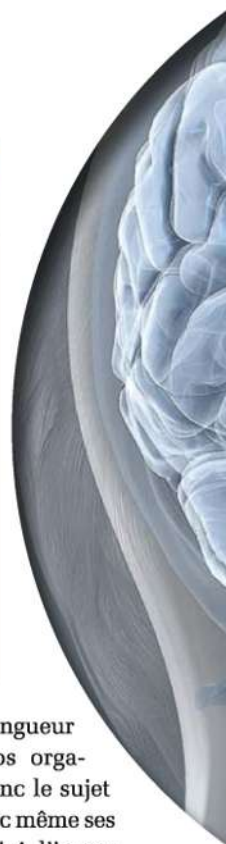
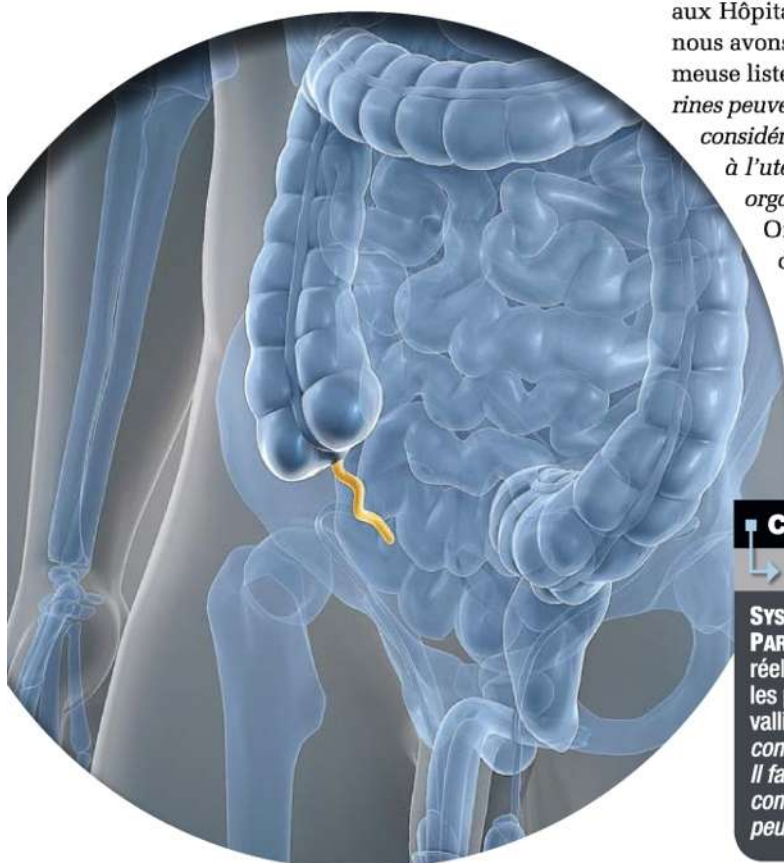
Par ricochet, la longueur de la liste de nos organes se retrouve donc le sujet d'âpres débats. Avec même ses jusqu'au-boutistes! A l'image de Nicolas Cheynel, professeur d'anatomie et praticien en chirurgie générale et digestive au CHU de Dijon, pour qui les "organes" ont tout bonnement disparu du jargon médical. "Aucune nomenclature anatomique de référence ne les liste précisément", argumente-t-il.

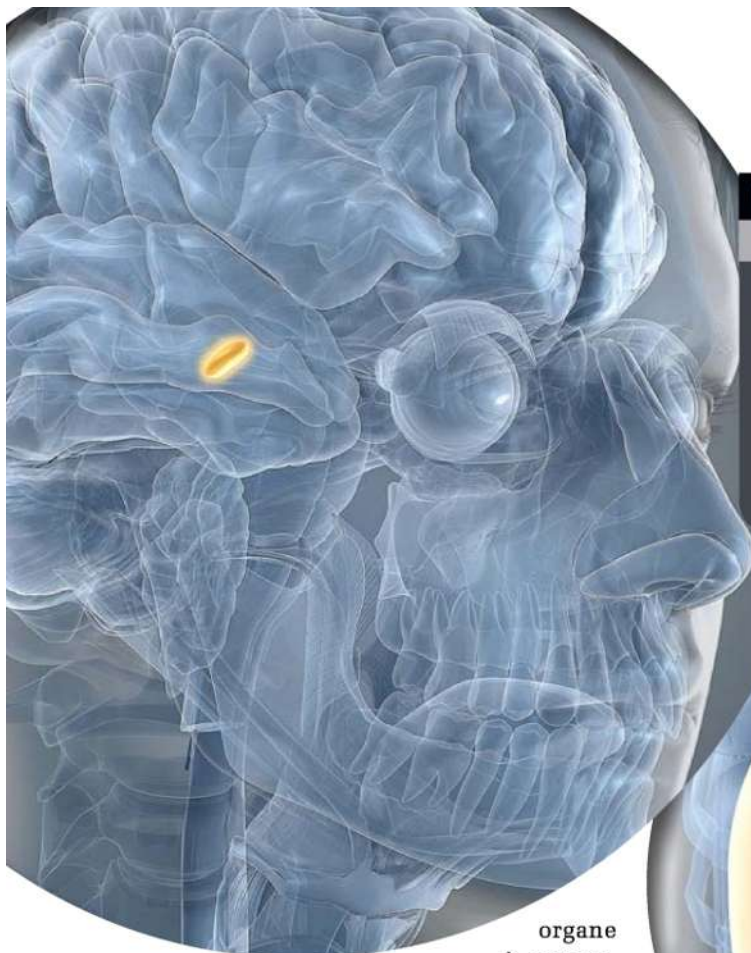
Pour Jean-Marc Chevallier, grand spécialiste de l'appareil digestif, il est plus logique de ne parler que de viscères: "Le tube digestif est formé successivement par des viscères: l'œsophage, l'estomac,

CELUI QUI EST FINALEMENT INUTILE

L'APPENDICE

SYSTÈME: digestif.
PARTICULARITÉ: l'appendice peine à trouver sa fonction réelle mais reste l'une des causes de consultation médicale les plus fréquentes. "C'est une bizarrerie, admet J.-M. Chevallier. Ce tissu lymphoïde est censé défendre l'intestin grêle contre l'infection qui vient du côlon, mais ça ne marche pas. Il faut certainement reprendre l'évolution de l'espèce pour comprendre son rôle: lorsqu'il mangeait à quatre pattes, peut-être l'être humain avait-il besoin de cet organe?"





CELUI QUI EST LE PLUS PETIT

L'ÉPIPHYSE

SYSTÈME : endocrinien.

PARTICULARITÉ : la glande pinéale, ou épiphyse, est le plus petit organe du corps humain – de 5 à 10 mm de longueur et de largeur, et de 1 à 4,5 mm d'épaisseur. Logée au centre du cerveau, elle sécrète la mélatonine, "hormone du sommeil", et joue un rôle crucial dans la régulation de nos rythmes biologiques. Connue depuis plus de dix-huit siècles, elle est surnommée le "*siège de l'âme*" par Descartes pour sa position solitaire comparée à la plupart des glandes.



CELUI QUI SE RÉGÈNÈRE

LE FOIE

SYSTÈME : digestif.

PARTICULARITÉ : production de bile, décomposition des globules rouges, synthèse des protéines plasmatiques, désintoxication... Plus de 500 fonctions essentielles sont associées au foie. Peut-être est-ce la raison pour laquelle il est le seul organe capable de se régénérer. "*On le sait depuis Prométhée, rappelle V. Delmas ; en revanche, lors d'une cirrhose, les cellules se régénèrent n'importe comment.*"

le duodénum, l'intestin grêle, les côlons, le rectum et l'anus. Même les glandes annexes, glandes salivaires, foie, pancréas, en sont."

ORGANE OU VISCÈRE ?

Sauf que si l'on regarde bien la définition d'un viscère, il s'agit en fait d'un organe un peu particulier ! Pour être appelé viscère, il doit en effet se situer dans une cavité du corps humain. Ainsi, la trachée, l'urètre ou l'œil, qui sont bien des organes, ne sont pas membres de ce sous-ensemble des viscères, alors que le cerveau, situé dans la boîte crânienne, ou l'estomac, dans la cavité abdominale, en font partie.

A noter que l'inventaire de Jean-Marc Chevallier n'inclut pas le péritoine. Pourtant, cette membrane séreuse qui recouvre l'ensemble de la cavité abdominale est bien un

organe à part entière pour Cyril Touboul, spécialiste du cancer de l'ovaire au Centre hospitalier intercommunal de Créteil, puisqu'elle est le vecteur de maladies... Un vrai casse-tête, on vous dit !

De fait, si les nerfs, les muscles – exceptés le cœur et l'utérus – les os sont écartés du statut d'organe par l'ensemble des anatomistes, d'autres structures soulèvent des questions, comme le péritoine, donc... ou la peau. "*La peau ? Je ne sais pas, hésite Jean-Marc Chevallier. Elle a une fonction spéciale de protection, donc oui, on peut peut-être la considérer comme un organe.*"

Dans le cas du mésentère, c'est bien en se référant à la définition stricte de l'organe que Calvin Coffey a fait sa

démonstration. A noter, d'ailleurs, que le mot, en français, ne désigne classiquement que le "més" de l'intestin grêle, alors que le *mesentary* anglo-saxon regroupe les trois "més" du tube digestif, rattachés respectivement au côlon, au rectum et à l'intestin grêle – chaque organe du tube diges-

→ tif bénéficie de sa propre lame de tissus nourricière.

En recensant l'ensemble des études scientifiques relatives à ce *mesentary*, le professeur est finalement parvenu à cette conclusion: "Le mésentère est une entité anatomique discrète et substantielle. Il n'est pas composé de plusieurs parties séparées, comme suggéré précédemment par l'enseignement. Il a un point de départ et un point d'arrivée, et entre ces derniers, il s'allonge pour atteindre une taille énorme, d'au moins 2 m de longueur à la zone où il croise l'intestin. Il exerce une fonction vitale en permettant

les échanges sanguins avec l'intestin, en maintenant sa position et sa conformation [forme générale] dans la cavité de l'abdomen et en permettant les contractions de l'intestin et l'avancée du bol alimentaire."

CELUI QU'IL NE FAUT JAMAIS TOUCHER

LE PANCRÉAS

SYSTÈME: digestif et endocrinien.

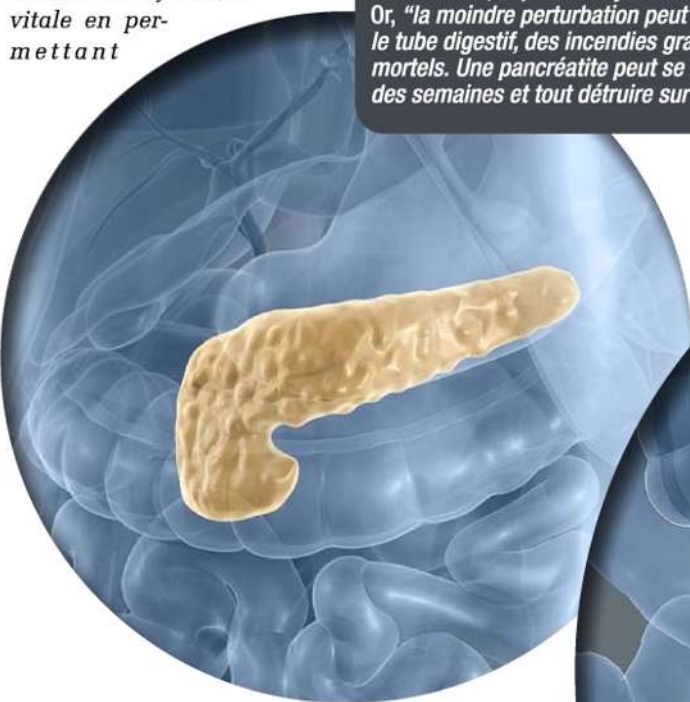
PARTICULARITÉ: attention, sensible! "C'est une glande qui doit être au calme pour fonctionner en toute sérénité. Lors des opérations, nous évitons avec soin de la toucher", explique J.-M. Chevallier. De la sécrétion de l'insuline qui régule le taux de sucre dans le sang aux enzymes qui fragmentent les aliments, le pancréas joue un rôle capital. Or, "la moindre perturbation peut déclencher, dans le tube digestif, des incendies gravissimes, voire mortels. Une pancréatite peut se réactiver pendant des semaines et tout détruire sur son passage".

CELUI QUI EST LE PLUS LOURD

LA PEAU

SYSTÈME: tégumentaire.

PARTICULARITÉ: eh oui, la peau est un organe. C'est de loin le plus grand et lourd du corps humain, avec près de 2 m² de surface et 4,5 à 5 kg de masse – soit environ 7 % de la masse corporelle! Outre ses nombreuses fonctions de protection, elle régule la température corporelle et synthétise la vitamine D ainsi que diverses hormones. La peau est aussi constamment exposée aux infections, lésions et autres maladies. "La peau dispose de pathologies propres, comme les mélanomes, ajoute V. Delmas. Mais si elle est capable de cicatriser, il ne s'agit pas d'une régénération à proprement parler."



CELUI QUI EST LE PLUS "ÉLASTIQUE"

L'UTÉRUS

SYSTÈME: reproducteur.

PARTICULARITÉ: les anatomistes sont unanimes, l'utérus est extraordinairement "élastique". Bien plus que l'estomac! Long de 3 à 6 cm en temps normal, il est capable de mesurer jusqu'à 30 cm pour remonter jusqu'au diaphragme en fin de grossesse. "Les fibres musculaires peuvent s'allonger d'un facteur dix et se rétractent en quelques heures, précise V. Delmas. C'est un organe incroyable sur le plan technique."

M. SAEMANN



Mieux, le chercheur tente de démontrer la responsabilité du mésentère dans différentes pathologies, comme le drainage lymphatique du cancer du côlon. *“En effet, cette structure joue un rôle dans la dissémination des cancers. Lors des opérations, nous observons tous les jours des nodules posés sur le mésentère et des ganglions réactionnels”*, illustre Cyril Touboul.

PAS DE MALADIES PROPRES

Mais... pour faire partie du monde des organes, le mésentère doit prouver que ces pathologies lui sont propres. Or, *“le mésentère ne présente pas des pathologies d'origine, mais des pathologies de conséquences*, explique Vincent Delmas. *Quand on parle du cancer du côlon, le point de départ de la maladie est bien le côlon, que nous considérons comme un organe. Les pathologies du mésentère, elles, ne sont que des conséquences de ce cancer et non une maladie en elle-même... Le côlon est une structure primaire, mais le mésentère est une structure secondaire. Le classer comme organe me gêne beaucoup”*!

Le mésentère serait donc au service de l'intestin grêle. Et s'il constitue un élément topographique essentiel de l'appareil digestif

– l'intestin grêle ne pourrait maintenir son activité sans lui – il reste un simple lieu de passage. *“Un phénomène similaire a eu lieu il y a plus d'une dizaine d'années concernant les cancers du rectum. Selon certains médecins, pour guérir le cancer du rectum, il fallait supprimer le mésorectum. Or, au même titre que le mésentère, le mésorectum est la lame porte-vaisseaux du rectum. C'est amusant de redécouvrir une anatomie que tout le monde connaît”*!, ironise Jean-Marc Chevallier.

Pour les anatomistes et les chirurgiens digestifs, le mésentère ne semble donc pas encore avoir gagné son rang d'organe. Ce qui ne l'empêchera pas de rester au cœur des sujets de recherche. Car loin de la notion d'organe délimité, la médecine s'intéresse aujourd'hui davantage aux briques de construction des diverses parties du corps humain. Elle regarde les cellules plutôt que les éléments

CELUI QUI NE GRANDIT PRESQUE PAS AVEC NOUS

L'ŒIL

SYSTÈME : nerveux (organe sensoriel).
PARTICULARITÉ : à la naissance, les yeux sont les seuls organes à bénéficier d'une taille quasi définitive. Le volume du globe oculaire n'est multiplié que par trois quand le volume moyen du corps humain est multiplié par vingt. Voilà qui explique l'impression laissée par le “regard immense” des tout jeunes enfants ! De 16,5 à 18 mm de longueur axiale chez le nouveau-né, les globes oculaires atteindront leur taille définitive (23,5 mm en moyenne) dès 14-15 ans.

macroscopiques en tant que tels. *“Il est bien plus important d'observer les mécanismes cellulaires internes. Et c'est valable pour l'ensemble des structures de l'organisme, organe ou non”*, rappelle Cyril Touboul.

Quant aux manuels de biologie, pas besoin d'y ajouter le mésentère. Mais peut-être pourriez-vous tenter l'expérience de lister les organes qui vous constituent ? De mon côté, j'en dénombre déjà 60...



A lire : la publication de Calvin Coffrey dans *The Lancet* ; la *Terminologia Anatomica* de 1998.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com



Repères

Depuis quand raconte-t-on des histoires ? Les premières aires cérébrales du langage seraient apparues il y a 2 millions d'années chez *H. habilis*, et l'appareil phonatoire il y a 500 000 ans. Mais plusieurs thèses circulent sur l'émergence de mythes : prédisposition cognitive innée, quête de sens, besoin de souder les communautés... Il y a toujours débat.



Contes de fées

Leur origine révélée par la génétique

Cendrillon, Le Petit Chaperon rouge, Pygmalion... Tout ce qu'on sait sur ces contes est à revoir ! Car passés au crible des outils de la biologie évolutive, voici qu'ils dévoilent des origines insoupçonnées et, pour certaines, ancestrales. En filigrane, c'est l'imaginaire de *Sapiens* qui se dévoile... "Il était une fois", par **Vincent Nouyrigat**.

COLLECTION DAGLI ORTI / AURIMAGES - © WALT DISNEY PICTURES / ABC STUDIOS - S. COMPOINT/ONLYFRANCE

Il était une fois. Il était une fois une petite fille habillée en rouge qui se fait dévorer par un loup déguisé en grand-mère; un garçon pré-nommé Jacques qui échange sa précieuse vache contre une poignée de haricots magiques; une belle, courageuse et gentille jeune fille élevée par une odieuse marâtre qui subit les brimades de ses demi-sœurs – elles le regretteront un jour.

Des contes de fées tout juste bons à faire frissonner les enfants avant qu'ils fassent de beaux rêves? Des petites histoires anodines inventées de toutes pièces au coin du feu par Charles Perrault ou par les frères Grimm, avant d'être adaptées et surexploitées par Walt Disney?

Vous n'y êtes pas : des études innovantes, menées avec des outils issus de la biologie évolutive, révèlent aujourd'hui l'incroyable profondeur historique des récits qui peuplent les rêves de nos enfants. Certains remonteraient en effet au... paléolithique! Autrement dit, à la préhistoire de l'humanité, cette période avant l'invention de l'écriture dont on pensait justement qu'il ne restait que des vestiges muets et à tout jamais inaccessibles à notre compréhension d'Homme moderne.

La généalogie des contes populaires et des mythes est un champ de recherche déjà très exploré. Depuis plus d'un siècle, de grands érudits polyglottes sillonnent le monde, épluchant les récits de voya-

Une analyse phylogénétique en 3 temps

1. Collecter les contes

Les folkloristes sillonnent le monde et épluchent des manuscrits à la recherche des multiples versions d'un conte : on retrouve des histoires proches du *Petit Chaperon rouge* en Europe, mais aussi en Chine, au Japon, au Nigeria...

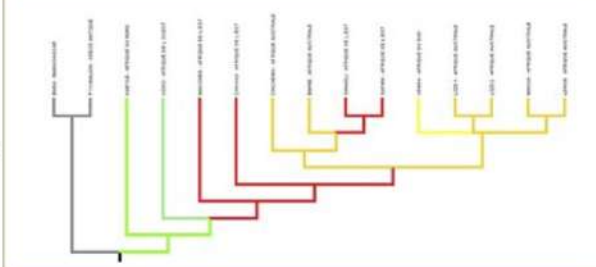


MYTHE DE PYGMALION

Son origine est totalement inattendue

Pour tout un chacun, Pygmalion représente le mythe grec par excellence. Ce sculpteur chypriote, qui s'est voué au célibat, travaille pendant des mois à sculpter une femme en ivoire jusqu'à en tomber amoureux; il prie alors Aphrodite de donner vie à sa création, qui deviendra Galatée. Seulement voilà : selon les calculs statistiques menés par Julien d'Huy sur plusieurs histoires de type "pygmalionnesque", la Grèce antique n'a rien à voir là-dedans. Si Ovide nous a laissé la première trace écrite du classique grec, les folkloristes ont glané au cours du XX^e s. des histoires étrangement similaires dans des lieux aussi inattendus que le Sahara ou Madagascar. Verdict des arbres phylogénétiques : le récit originel de Pygmalion serait né en Kabylie il y a plus de 3000 ans! Les Grecs l'ont simplement repris, sans doute par l'intermédiaire des Carthaginois.

L'analyse phylogénétique du mythe de Pygmalion révèle que, loin d'être grec, il serait né en Kabylie il y a 3000 ans.



geurs ou missionnaires à la recherche de toutes les versions écrites ou orales de ces contes. Car, aussi étrange que cela paraisse, certaines histoires se retrouvent, à quelques détails près, dans la culture de populations très éloignées; les frères Grimm eux-mêmes avaient conscience de la proximité de certains contes germaniques avec des histoires racontées en Inde ou en Perse. Ce qui ne peut être le fruit du hasard, signale Jean-Loïc Le Quellec, anthropologue à l'Institut des mondes africains (Imaf): "Nous raisonnons sur des récits complexes et non sur des idées simples que des personnes auraient pu développer spontanément de manière indépendante."

Les différentes versions d'un récit sont donc probablement liées entre elles. C'est pourquoi les chercheurs d'histoires – on parle de "folkloristes" – passent leur vie à échafauder

→ parable à une séquence génétique ou à un ensemble de traits morphologiques. "Nous divisons chaque histoire en unités minimales d'informations (une petite fille, elle est habillée en rouge, elle se rend chez sa grand-mère...) dont la présence est signalée par un 1 et l'absence par un 0, expose Julien d'Huy, l'un des pionniers de cette démarche. Si bien que chaque version d'un récit peut se résumer en une chaîne binaire, un code que peuvent ensuite analyser des algorithmes de phylogénétique." Ces logiciels établissent d'abord un degré de proximité entre les différentes versions, puis définissent l'arbre phylogénétique le plus probable parmi les millions de structures possibles. Un calcul gigantesque que seul un ordinateur peut effectuer.

Les premiers résultats sont d'ores et déjà fascinants. L'analyse phylogénétique du *Petit Chaperon rouge* menée par Jamie Tehrani (université de Durham) révélerait ainsi que le récit chinois de *La*

Grand-mère tigre ne serait pas l'histoire d'origine, mais un emprunt à plusieurs versions européennes. D'autres études viennent aussi de dévoiler le lieu de naissance inattendu du mythe de Pygmalion, ou encore l'étonnante persistance d'histoires comme *La Bonne et la Méchante Fille* ou du mythe africain du *Message pervers* (lire ci-contre)...

STRUCTURE NARRATIVE STABLE

"Le principal avantage de cette approche phylogénétique, c'est qu'elle nous permet de remonter de façon rigoureuse bien au-delà des premières traces écrites, s'enthousiasme Jamie Tehrani. Les traditions orales, par définition, sont rarement retranscrites à l'écrit et il nous reste peu d'enregistrements 'fossiles' de ces histoires. La phylogénie nous permet de combler ces lacunes en exploitant les informations ancestrales encore contenues dans les histoires descendantes." Tout comme l'information contenue dans l'ADN se transmet des parents

aux enfants, avec force brassages et mutations, les récits se propagent essentiellement de génération en génération en se modifiant au gré d'innovations ou d'emprunts.

"L'un des constats les plus frappants est l'incroyable stabilité de ces récits, poursuit l'anthropologue britannique. Certains universitaires prétendaient jusqu'ici que la survie à long terme des traditions orales dépendait nécessairement d'un support écrit, mais non !" Ces histoires présentent une résistance à toute épreuve, y compris face aux pires traductions : "Les liens de causalité qui unissent les différents éléments d'un récit sont difficiles à briser, si bien que la structure narrative persiste", avance Julien d'Huy.

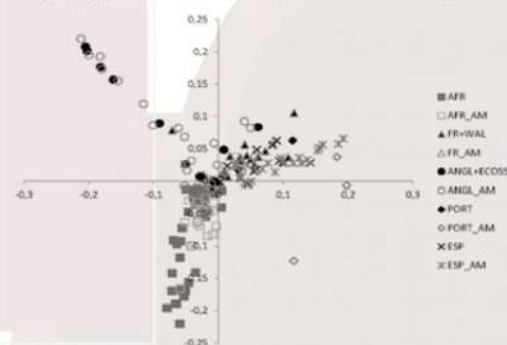
Selon les dernières études en date, *La Belle et la Bête* aurait au moins 3000 ans, *Le Forgeron et le Diable* remonterait aux origines des langues indo-européennes il y a plus de 5000 ans, dans les steppes situées au nord de la mer Noire. Mieux :

CENDRILLON

Un récit qui a résisté à l'esclavage

La Bonne et la Méchante Fille est un récit très répandu dans le monde, proche de celui de *Cendrillon*. Mais un mystère entourait la version racontée au sein de la communauté afro-américaine : est-elle le fruit des multiples versions importées par les immigrants européens ou la descendante directe de la tradition orale des Africains déportés pendant la traite négrière entre la fin du XV^e et le début du XIX^e s. ? "Pour en juger, nous avons appliqué à 173 versions une méthode d'estimation des proportions de métissage habituellement employée pour les populations", explique Isabelle Dupanloup-Duperret (université de Berne). Résultat, le récit afro-américain est constitué à plus de 70 % des versions africaines d'origine. Preuve qu'un récit peut résister à des déplacements forcés de population, à des changements imposés de langue et de religion...

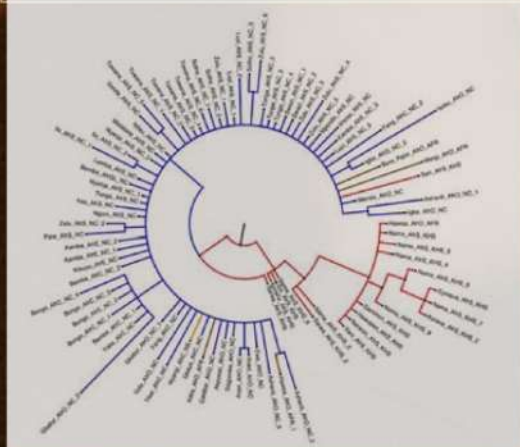
En superposant les versions afro-américaine et africaine de *La Bonne et la Méchante Fille*, il ressort que le récit a très peu changé malgré les pressions culturelles liées à l'esclavage.



Il est vieux d'au moins 30 000 ans !

Le Message perversi, récit très présent en Afrique, est censé expliquer l'origine de la mort. Il y est question de la mauvaise transmission d'une promesse de résurrection qui, pervertie par le messager, annonce l'introduction d'une vie brève sur Terre. Les récits actuels font intervenir un ou plusieurs messagers (lièvre, caméléon, chien...). L'étude de 148 versions connues, menée en 2015 par Jean-Loïc Le Quellec, montre que son origine se situe il y a plus de 30 000 ans en Afrique australe ! Plus émouvant, une reconstitution statistique a permis de dresser les grands traits du récit originel : *"La Lune mandate le Lièvre pour porter à l'humanité un message de vie [les hommes mourront et renaîtront comme la Lune]. Lièvre modifie le message, ce qui introduit la mort chez les humains, qui depuis lors le haïssent. En punition, Lièvre est frappé et en garde la lèvre fendue."*

En comparant phylogénétiquement les 148 versions du *Message perversi* répertoriées dans le monde, il est apparu qu'il est né à la fin du paléolithique, en Afrique australe.



certaines histoires auraient des dizaines de milliers d'années d'existence, et leur invention remonterait donc au paléolithique, voire aux premières sorties d'Afrique...

La nouvelle science statistique des contes offrirait ainsi une vision de l'humanité encore plus profonde que l'étude des premiers écrits ou des langues anciennes. Au point qu'elle permettrait de mieux comprendre les premières migrations de notre remuante espèce. *"En se répandant dans le monde, les groupes humains ont emporté avec eux leurs*

gènes, leur langue, leurs coutumes et... leurs histoires", expose Simon Greenhill, spécialiste de l'évolution culturelle à l'université nationale australienne.

L'IMAGINAIRE DE NOS ANCÊTRES

Selon les analyses de Jean-Loïc Le Quellec, la répartition mondiale de l'un des mythes de l'origine de l'humanité (selon lequel les premiers humains seraient sortis du sol) témoignerait de la première migration hors d'Afrique d'*Homo sapiens*, il y a environ 60 000 ans. Un autre mythe, affirmant que la Terre aurait été ramenée à la surface de l'océan primordial à la suite d'un grand plongeon, serait né en Eurasie il y a environ 35 000 ans et se serait diffusé au gré des migrations dans l'hémisphère Nord.

Certains déplacements humains passés inaperçus pourraient aussi se révéler à la faveur de l'étude d'un récit. *"Ces informations sur les traditions orales sont bonnes à prendre pour les généticiens des populations"*, approuve Isabelle Dupanloup-

Duperret, à l'Institut d'écologie et d'évolution de l'université de Berne. *"Pendant cinquante ans, la science comparative n'a juré que par l'ADN, toute transmission autre que celle des gènes était considérée comme sans intérêt"*, déplore Guillaume Lecoq, directeur du département Systématique et évolution au Muséum national d'histoire naturelle. *Ce n'est que depuis dix ans que le paradigme de l'héritabilité s'est étendu à d'autres champs; lorsque les données issues des gènes, des langues et des mythes montrent une cohérence, le scénario historique prend alors toute sa puissance..."*

Mais l'étude des récits va bien au-delà de l'évolution des traditions ou même de l'épopée humaine. Car ces nouveaux outils promettent de pénétrer enfin dans l'imaginaire de nos

→ lointains ancêtres. Quelles pouvaient bien être leurs pensées, leurs craintes, leurs croyances, leur vision du monde dans la nuit des temps ?

Les nouvelles méthodes statistiques permettent ainsi de reconstituer la forme originelle d'un récit – en tout cas son canevas narratif, sans les fioritures de l'époque. *"Cette mythologie comparée pourrait nous faire découvrir quelles étaient les principales préoccupations de nos lointains ancêtres et comment certaines de leurs idées continuent d'influencer notre pensée actuelle,"* soutient Michael Witzel, philologue à l'université Harvard. *L'archéologie et les peintures des grottes ornées ne sont pas assorties d'explications, alors que les mythes, eux, nous parlent directement.* Reconstituer ces mythes archaïques pourrait ainsi éclairer le sens de l'art préhistorique, sublime mais terriblement sibyllin.

REMONTER LE TEMPS

"Beaucoup de mots en 'isme', totémisme, chamanisme, ont été avancés pour expliquer l'art préhistorique, sans aucune preuve bien sûr, cingle Jean-Loïc Le Quellec. Avec ces nouvelles méthodes, nous pourrions tenter de découvrir le sens de certaines des œuvres de la préhistoire, en comptant sur le fait que les artistes préhistoriques devaient avoir en tête les mythes de leur époque, et que ceux-ci ont forcément dû les influencer."

Plusieurs rapprochements ont déjà été avancés : la généalogie reconstituée du mythe sur la constellation de la Grande Ourse (lire ci-dessus) pourrait expliquer la scène du puits de la grotte de Lascaux ; l'étude

MYTHE DE CALLISTO

Il élucide une scène de Lascaux

L'histoire est belle : un homme chasse un ongulé, la chasse se finit dans le ciel et l'animal encore vivant se transforme en constellation ; une constellation que nous appelons aujourd'hui la Grande Ourse. Selon les récents travaux phylogénétiques de Julien d'Huy, ce récit, connu sous le nom de "Chasse cosmique", serait vieux de plus de 15 000 ans – il aurait donné ainsi le mythe grec de Callisto. Mais le chercheur français va plus loin : selon lui, il pourrait expliquer l'un des dessins les plus énigmatiques de la grotte de Lascaux, la scène du puits, sur laquelle figure un bison éventré qui semble avoir chargé un homme à tête d'oiseau. Or, selon la nouvelle interprétation, la position de l'ongulé serait non pas menaçante mais ascendante, et un curieux point noir présent sous le garrot de l'animal pourrait figurer une étoile...

phylogénétique des légendes de dragon semble éclairer les traces de rituels sous la forme de serpents décapités dans les grottes ornées de Montespan (Haute-Garonne) et du Tuc d'Audoubert (Ariège)...

"Ultimement, nous pourrions discerner à travers ces récits certains aspects de la pensée des tout premiers Homo sapiens, et peut-être même l'influence potentielle de l'homme de Neandertal sur nos mythes et nos rites," ose Michael Witzel. L'hypothèse est hardie, mais elle ne choque pas tant que cela les autres chercheurs. *"Au vu de ce qui a déjà été accompli, on peut en effet se demander si l'on ne pourrait pas aller plus loin en recherchant des restes de folklore des néandertaliens, confie Jean-Loïc Le Quellec. Ils nous ont bien légué quelques gènes, alors pourquoi pas aussi quelques mythes ?"*

Une nouvelle discipline est en train de naître. Avec ses promesses vertigineuses, ses querelles de pionniers, ses résultats encore un peu artisanaux et balbutiants... *"Ces*

méthodes phylogénétiques exigent d'être alimentées par de grandes bases de données et les résultats doivent absolument être recoupés avec les données archéologiques, linguistiques et génétiques," reconnaît Julien d'Huy. Avant d'ajouter : *"Mais j'avoue être moi-même surpris par la puissance de cet outil qui pourrait, je pense, rivaliser avec la génétique des populations."*

Le Petit Chaperon rouge, La Belle et la Bête, Cendrillon, Pygmalion... Loin d'être anodins, ces contes ou ces mythes sont en fait de véritables machines à remonter le temps, porteurs de bribes de récits et de pensées venues des premiers âges. Des histoires que l'on croyait à tout jamais disparues.



A consulter : les études, très accessibles, sur la généalogie des contes de fée.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

& Science techniques



MOTEUR SPATIAL
82



ÎLE VIRTUELLE
88



LA SCIENCE DU LIGHT
92

ILLUSTRATION: YVES BERTRAND / MEMIS ET AL. / VILLEROT / DO. CERVITA

MARS 2017 | SVI | 81



EmDrive **Le moteur spatial qui rend fou**

Mars en 70 jours... et ce, sans une goutte de carburant ? C'est la promesse mirifique d'un nouveau propulseur qui baliaie sur son passage la 3^e loi de Newton. Son secret ? Les micro-ondes. Arnaque ou véritable coup de génie ? Alors que la Nasa annonce un premier résultat, **Muriel Valin** désosse pour nous l'EmDrive.

Contexte

Pour déplacer un objet dans l'espace dans une direction donnée, il faut brûler ou ioniser un carburant (oxygène ou xénon), et l'éjecter très vite vers la base extérieure de l'engin. Le problème, c'est que la taille des réservoirs limite la distance des missions spatiales. Sauf si on trouve le moyen de se passer de carburant...

ILLUSTRER.FR

Comparé aux moteurs spatiaux ultrasophistiqués que nous connaissons, celui-ci ne paie pas de mine. Depuis quelques années pourtant, cet engin qui ressemble à une vieille marmite cuivrée est au centre de débats passionnés sur les sites internet spécialisés dans les voyages dans l'espace. Et il est même, depuis quelques mois, en train de laisser toute la communauté scientifique perplexe.

Il faut dire que derrière son côté rustique – “steampunk” disent certains –, ce moteur, baptisé EmDrive, affiche une promesse mirifique: propulser des vaisseaux et des satellites à travers l'espace sans embarquer la moindre goutte de carburant... pour atteindre la Lune en quatre heures ou Mars en soixante-dix jours (au lieu de six mois avec les moteurs actuels). Du jamais vu.

“Foutaise”, arguent certains. “Prometteur et étonnant” ou “bizarre”, répliquent d'autres. A vrai dire, une fois le mot “EmDrive” prononcé, la plupart des chercheurs interrogés préfèrent rester laconiques. Pas étonnant pour Thomas Liénart, chef du service propulsion spatiale au Centre national d'études spatiales (Cnes):



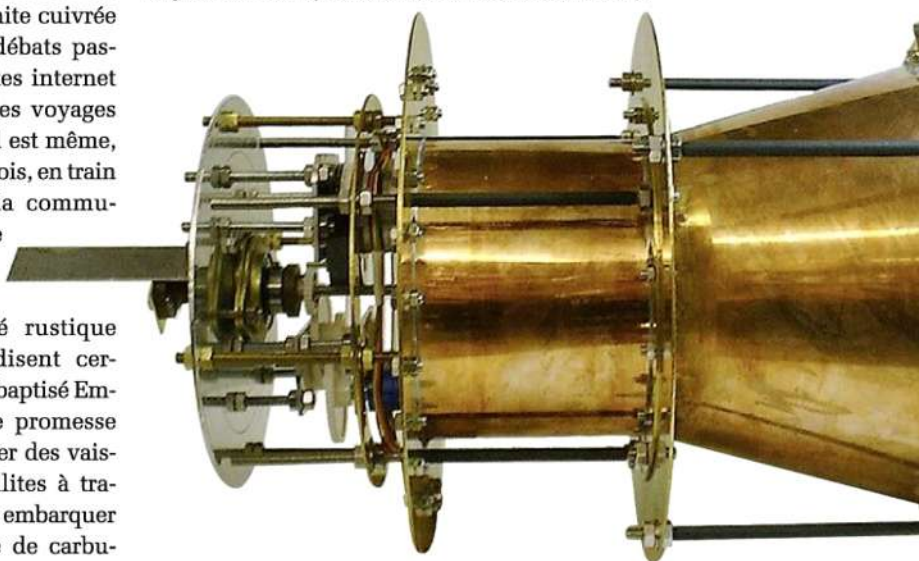
MARTIN TAJMAR

Chercheur à l'université de Dresde (Allemagne), un des premiers à avoir testé ce moteur

C'est une piste sérieuse à creuser vers des modes de propulsion révolutionnaires. C'est comme ça que la science avance !

La Nasa aurait reproduit l'expérience

Imaginé en 1999 par un ingénieur britannique, Roger Shawyer (photo), le moteur EmDrive (ci-dessous) vient d'être testé en laboratoire par la Nasa. Son principe ? Il fonctionne sans carburant. Les scientifiques se contentent d'injecter de simples micro-ondes dans une cavité asymétrique et de les faire rebondir sur les parois. De là, une poussée serait engendrée... comprise entre 30 et 128 micronewtons.



“Personne ne veut se positionner clairement sur ce projet parce que c'est un sujet potentiellement brûlant.”

AVEC DE SIMPLES MICRO-ONDES

En clair, personne n'a envie de rejeter violemment ce qui pourrait être une révolution technique sans précédent dans le voyage spatial... Et personne n'a non plus envie de cautionner scientifiquement une machine qui balaie l'une des lois les plus fonda-

mentales de la physique: la troisième loi de Newton, celle de l'action et de la réaction. Une loi sur laquelle tous les moteurs spatiaux imaginés jusqu'ici s'appuient. A savoir que pour déplacer dans une direction donnée de l'espace une fusée, un satellite ou n'importe quel autre objet, son moteur doit éjecter une quantité de matière dans la direction inverse. L'action du carburant relâché crée alors, par réaction, une poussée sur l'engin.

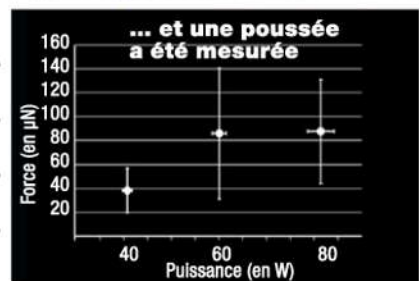
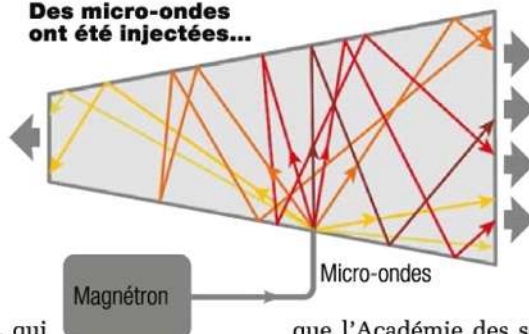
Et voilà bien le hic – ou le miracle: l'EmDrive s'affranchit de tout cela. Son secret ? A la place du carburant, il utilise comme source de déplacement des micro-ondes. D'où son nom, contraction de *electromagnetic drive* (en français: propulseur électromagnétique).

En pratique, un courant électrique produit par des panneaux solaires est utilisé pour

EMDRIVE - EMDRIVE - DR - M. KONTENTE



Des micro-ondes
ont été injectées...



générer des micro-ondes, qui sont envoyées à l'intérieur d'une cavité métallique fermée (la fameuse marmite cuivrée), où elles se mettent à rebondir contre les parois dissymétriques. Ce qui ferait, d'un seul coup, se mouvoir l'engin (voir l'infographie ci-dessus)...

La machine rappelle un peu le baron de Münchhausen qui prétendait s'élever dans les airs en tirant sur ses propres cheveux... Mais d'où pourrait donc venir cette poussée interne? Quelle est l'action qui provoquerait cette réaction? Mystère.

De quoi être franchement sceptique. Surtout qu'à la rédaction, nous recevons régulièrement les plans de machines fondées sur ce type de principe technologique "révolutionnaire", souvent conçues par des ingénieurs autodidactes passionnés, héritiers d'une longue tradition. Rappelons

Que dit la loi

En 1687, **Newton** établit **trois lois du mouvement** qui vont servir de fondement à la mécanique. La **troisième** d'entre elles se résume ainsi : tout corps soumis à une force exerce en retour une force de même intensité et de direction opposée.

que l'Académie des sciences annonça dès 1775 qu'elle n'étudierait plus les travaux concernant le mouvement perpétuel.

Oui, sauf que là, la machine fait preuve d'un élan singulier. C'est un ingénieur britannique, Roger Shawyer, qui a imaginé son principe en 1999. A l'époque, il en a lui-même bricolé un exemplaire et prétend avoir observé un mouvement.

Sur le moment, presque personne n'a pris son travail au sérieux. Personne... excepté deux équipes de chercheurs de l'université polytechnique Northwestern, en Chine, et de l'université technique de Dresde, en Allemagne, qui ont décidé de se livrer à leurs propres expériences. *"J'ai transmis aux Chinois et aux Allemands des éléments techniques pour qu'ils puissent reproduire eux-mêmes leur montage dans leur laboratoire",*

confie Roger Shawyer. Verdict? Elles ont toutes deux présenté les performances de leur moteur, respectivement en 2011 et 2015, annonçant avoir mesuré une toute petite poussée dans la direction prévue. Des résultats toutefois insuffisants pour sortir des marges d'erreur.

L'histoire commençant à devenir intrigante, nous l'avions évoquée en 2015 dans un dossier consacré aux moteurs spatiaux du futur (*S&V* n°1179, p. 67). Mais très peu d'informations circulaient alors sur le sujet.

L'affaire a rebondi le 17 novembre dernier, à la suite de nouveaux résultats, issus cette fois des travaux d'une équipe du Laboratoire Eagleworks, qui dépend de la Nasa, et d'un article paru dans le très sérieux *Journal of Propulsion and Power*, soumis à relecture par des chercheurs indépendants.

→ Depuis quelques mois, des chercheurs américains dirigés par Harold White, un ingénieur en propulsion féru de projets alternatifs, avaient en effet eux aussi mené des expériences. Avec succès, semble-t-il. En utilisant une cavité d'à peine une trentaine de centimètres de longueur et de largeur, construite schématiquement suivant le même principe que celle de Shawyer, ils ont également réussi à mesurer une poussée.

Certes, celle-ci est minuscule : jusqu'à 128 micronewtons. Cela correspond à un déplacement du moteur de l'ordre du millionième de millimètre ! Vu l'énergie électrique dépensée, c'est 50 fois moins efficace qu'un propulseur à effet Hall, l'un des plus avancés dans le domaine spatial. Mais ce n'est quand même pas rien.

Alors, qu'en penser ? D'où vient cette étrange poussée observée par la Nasa, mais aussi par des équipes allemande, chinoise et britannique ? Faut-il sérieusement envisager que nous puissions être face à une incroyable révolution technique qui nous oblige à revoir des lois fondamentales de la physique ? Avec cette publication, l'EmDrive est en tout cas entré dans une autre dimension. Il est devenu un objet scientifique. C'est-à-dire réfutable.

Deux questions surgissent

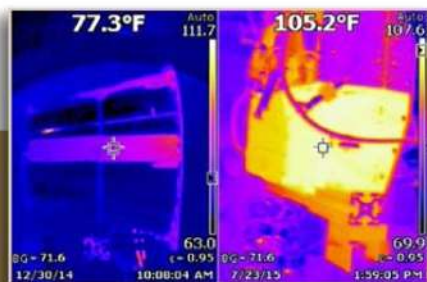
QUATRE SOURCES D'ERREUR POSSIBLES

L'équipe de la Nasa a mesuré de micro-déplacements... mais à quoi correspondent-ils ? Est-ce bien une poussée du moteur ou des erreurs de mesures ou d'interprétation ? Dans leur publication, les scientifiques pointent 9 biais possibles, regroupés ici en 4 pistes. Celle de la dérive thermique est sans doute la plus probable.

immédiatement. Primo : est-ce que le mouvement observé correspond à une poussée réelle ou à une erreur de mesure ? Secundo : si jamais ce déplacement n'est pas lié à une erreur, d'où vient cette poussée qu'aucune théorie scientifique n'explique ?

Sur ces deux points, la publication reste extrêmement floue. Les chercheurs américains évoquent bien neuf pistes d'erreur possibles, mais pour ajouter qu'il faudrait les creuser davantage (voir ci-dessus). Ils évoquent aussi des hypothèses théoriques pouvant expliquer leur poussée en s'appuyant notamment sur des effets quantiques du vide, mais cette physique du vide extrême, encore largement inexplorée, ne permet guère d'être plus précis...

Le souci, c'est que depuis la parution de ses travaux, l'équipe reste totalement fermée à toute demande d'explications sup-



UNE DÉRIVE THERMIQUE

Pendant l'expérience, moteur et appareils de mesure s'échauffent. Ces pièces auraient alors pu légèrement se dilater, engendrant un déplacement des pièces les unes par rapport aux autres. Le risque est que cette dilatation ait été prise pour une poussée. Afin d'écarter cette source d'erreur, il faudrait un moteur plus puissant pour que l'éventuelle poussée ne reste pas dans les mêmes ordres de grandeur que la dilatation.

plémentaires. La Nasa, par le biais de sa porte-parole Jennifer Knots, explique que *"les chercheurs sont trop occupés pour pouvoir s'exprimer sur le sujet"*. Cette même agence, d'habitude si disert sur ses résultats, n'a d'ailleurs publié aucun communiqué de presse. Et prétend même que leurs images ne sont pas assez photogéniques pour être diffusées ! Bref, *no comment*. La Nasa confirme juste avoir bel et bien accueilli et financé ces travaux.

EN AVOIR LE CŒUR NET...

Si l'on veut plus de détails, c'est donc vers d'autres interlocuteurs qu'il faut se tourner. Mais la plupart des chercheurs et des ingénieurs des universités chinoises, des instituts de recherche en astrophysique, ou des industriels, ne veulent pas se mouiller, même quand ils travaillent sur des sujets proches.

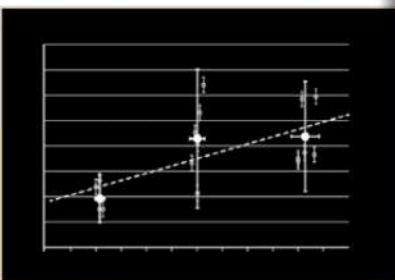
Certaines langues commencent pourtant à se délier. *"Cette publication est un excellent rapport d'étape qui montre*



STÉPHANE MAZOUFFRE

Spécialiste des moteurs spatiaux au CNRS

Personnellement, je n'y crois pas : ce type de propulsion remettrait en cause un grand principe de la physique



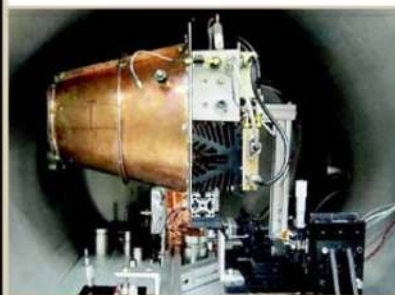
UNE EXTRAPOLATION DES MESURES

Au cours de ses expériences, la Nasa a procédé à des mesures en faisant varier la puissance en entrée entre 40, 60 et 80 watts. Les résultats montrent des poussées oscillant grandement entre 30 et 128 micronewtons (ligne en pointillés). De là, les chercheurs ont extrapolé un rapport poussée/puissance d'une valeur égale à 1,2 millinewton/kilowatt... mais dont la pertinence devra être vérifiée.



DES EFFETS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les poussées ont été mesurées à l'aide d'une balance de torsion reliée par des câbles et des tiges au moteur. Les scientifiques n'excluent pas que des interactions électriques ou magnétiques entre les uns et les autres aient pu parasiter les résultats.



UNE INTERACTION AVEC LE MILIEU

Pour réaliser les mesures, la cavité a été placée à l'air ambiant puis dans une chambre à vide. Les scientifiques se demandent s'il ne pourrait pas y avoir eu des interactions avec l'environnement (parois, courant d'air) qui auraient pu perturber les mesures. Des expériences avec des chambres à vide plus larges pourraient permettre de lever le doute.

qu'un gros travail est en cours sur le sujet, commente avec enthousiasme Martin Tajmar, de l'université de Dresde, qui fait partie des premiers à avoir tenté des expériences sur ce moteur. On ne peut pas encore en tirer de conclusions et il reste des sources possibles d'erreurs, mais je crois que l'EmDrive est une piste à creuser sérieusement pour trouver de nouveaux modes de propulsion spatiale révolutionnaires dans les prochaines années. C'est comme ça que la science avance !

Stéphane Mazouffre, qui travaille sur les moteurs spatiaux à plasma au CNRS, est beaucoup moins enthousiaste : *"Personnellement, je n'y crois pas car cela remettrait en cause un grand principe de la physique. Je reste persuadé que le déplacement mesuré est lié à une erreur de mesure. L'une des pistes à creuser est, selon moi, d'origine thermique. Dans ce type d'expérience, le moteur s'échauffe, les balances et les capteurs sont soumis à des dilatations et tout se met à bouger.*

Vu les ordres de grandeur en jeu, il est très compliqué d'annuler tous ces effets."

Roger Shawyer ne se laisse pas intimider : *"Avec ces travaux, la Nasa a enfin permis de rendre ce moteur plus acceptable pour tout le monde. Pour moi, cette poussée n'est pas mystérieuse, elle s'explique. En rebondissant sur les parois asymétriques de la cavité, les micro-ondes génèrent horizontalement plus de poussée sur le côté large, où elles sont plus nombreuses, que sur le côté étroit. Par réaction, une poussée se déclenche dans l'autre sens."*

"Peu crédible, répond Claude Boniface, spécialiste en propulsion au Cnes. C'est comme si vous imaginiez qu'une personne qui appuie sur le pare-brise à l'intérieur d'une voiture pouvait arriver à déplacer le véhicule. Cela ne tient pas. Si la poussée de ce moteur se confirme, il faudra trouver une autre explication, mais pas celle-là." Et d'ajouter : *"Bien que dubitatif, je pense qu'il faut garder un esprit ouvert et curieux en la matière."*

En tout cas, ces dernières semaines l'EmDrive fait son chemin... et des émules. De plus en plus de laboratoires et de scientifiques sont en train de se pencher sur le sujet ; des particuliers montent leurs propres projets et se filment pour mettre en ligne leurs vidéos ; et une campagne de financement participatif a même été lancée en Allemagne pour mener une expérience dans l'espace.

Le Centre national des études spatiales lui-même s'y met ! Thomas Liénart et Claude Boniface reconnaissent être en train de monter leur propre expérience... histoire d'en avoir le cœur net.

Nous suivrons bien sûr de près la suite des événements. Et nous vous donnerons évidemment son verdict dans les prochains mois ou les prochaines années. A défaut de devenir le grand moteur qui va révolutionner les missions spatiales des prochaines décennies, cette grosse marmite expérimentale nous aura en tout cas déjà un peu fait voyager...



A lire : la publication de la Nasa (en anglais).
A voir : une vidéo explicative par l'inventeur lui-même.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com



FACTEUR HUMAIN

La simulation devrait intégrer toutes les données possibles sur la population de Moorea, résidents et touristes : démographie, PIB, santé, déplacements...



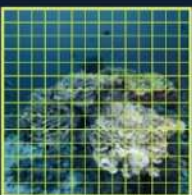
INFRASTRUCTURES

Développement du réseau routier, construction d'hôtels ou d'hôpitaux, modernisation d'un port... Les effets des constructions humaines sur la population, mais aussi sur les écosystèmes sont aussi au menu.



FAUNE ET FLORE

Toutes les espèces de plus d'un millimètre présentes sur ou autour de l'île sont en train d'être recensées. Leur ADN est aussi analysé de manière à pouvoir les suivre plus facilement par la suite.



TOPOGRAPHIE

Le relief de l'île et de ses fonds marins a été très précisément cartographié pour servir de base à un avatar tridimensionnel, sur lequel seront répertoriées toutes les données.

CLIMAT

Précipitations, cyclones, température... Le climat de l'île va être précisément décortiqué, pour que les météorologues soient en mesure de prédire de manière fiable l'impact du changement climatique sur l'île.



OCÉANS

Courants marins, acidité, température de surface, élévation du niveau des mers... Les chercheurs prendront évidemment en compte les océans dans leur modèle.



DRIFT DOWN MENU



ALGORITHM OPTIMIZATION UNIT: 100%
COMPUTATIONAL PERFORMANCE: 95%

345.678.467.25



Moorea 2.0

Bienvenue sur la première île virtuelle

V. ARTHUS-BERTRAND/HEMIS.FR - SHUTTERSTOCK

Reproduire sur ordinateur toute la complexité et la richesse d'une petite île du Pacifique pour en simuler les divers destins possibles. Cet ambitieux projet promet de troubler la frontière entre réel et virtuel. **Elsa Abdoun** nous invite à découvrir ce paradis artificiel d'un nouveau genre.

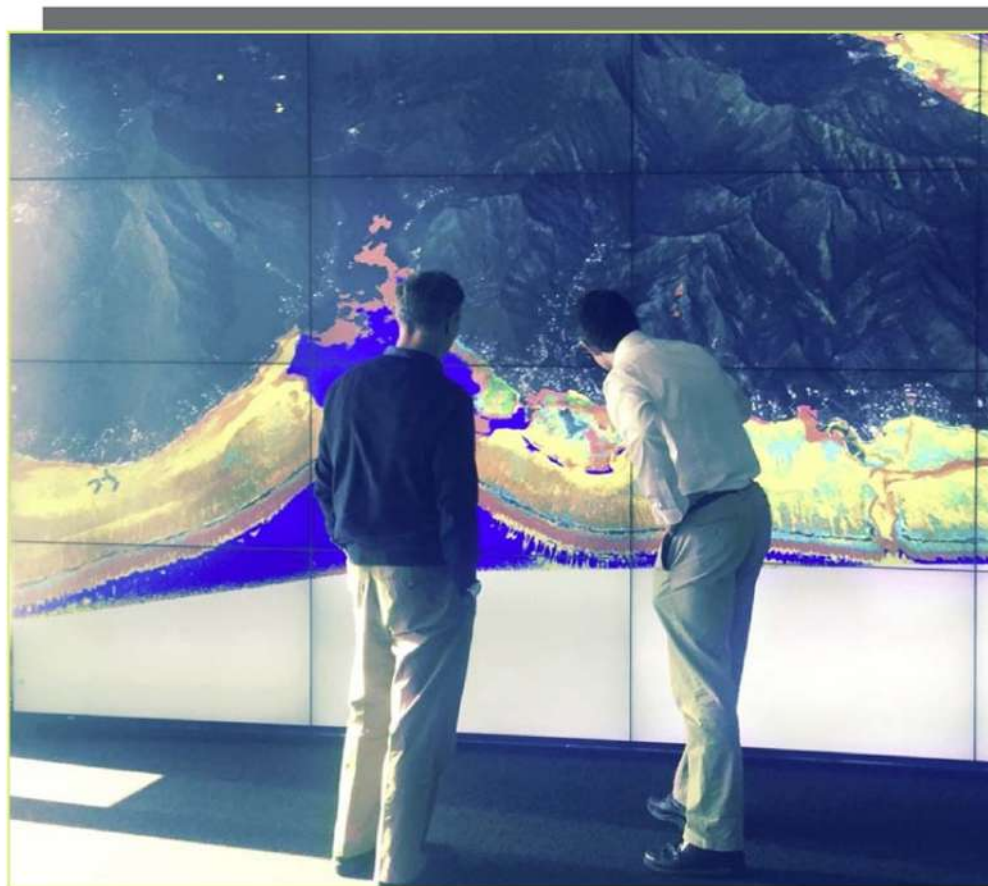
Palmiers, sable blanc et massifs coralliens grouillant d'une vie multicolore... La petite île de Moorea, voisine de Tahiti, représente un véritable paradis pour touristes. Mais elle est aussi, depuis peu, l'objet d'un projet scientifique totalement démesuré.

Développement urbain, démographie, climat, faune, flore, microbes et courants océaniques... L'île va être étudiée dans ses moindres détails pour renaître sur ordinateur et y vivre des destins parallèles à travers son avatar digital. De quoi reléguer les jeux *Sim City* ou *Second Life* à un stade embryonnaire dans l'histoire des univers virtuels.

Le projet est né dans la tête de quelques chercheurs, installés depuis plusieurs années sur Moorea pour en étudier la biodiversité. En 2013, ils révèlent leur colossale ambition : attirer sur ce point minuscule, perdu au milieu du Pacifique Sud, des experts de toutes les disciplines scientifiques, afin qu'ils y recensent et étudient tout ce qui peut l'être, sur la terre, dans les airs et sous la mer.

Simple boulimie de savoir ? Non. D'après les chercheurs, ce projet, par son ampleur inédite, pourrait devenir un outil irremplaçable pour comprendre le monde dans lequel nous vivons et en maîtriser le devenir.

L'agrégation de très nombreuses informations éparses change la donne. Elle permet de comparer l'évolution dans le temps et l'espace de paramètres biologiques, physiques et sociaux, et donc de préciser leurs relations, souvent complexes. Voire d'en révéler de

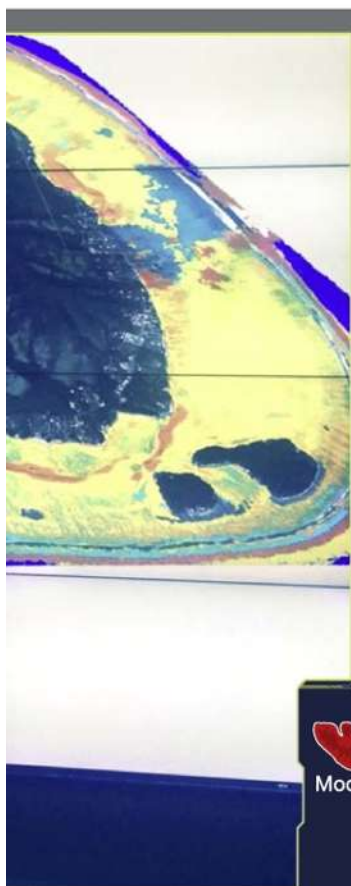


nouvelles, insoupçonnées. Un exemple, tiré des premières données d'ores et déjà rassemblées par les chercheurs : *"Nous avons découvert que s'est produite, en 2016, en même temps qu'une épidémie de Zika, une importante dété-*

Des corrélations inédites seront mises au jour par de puissants ordinateurs

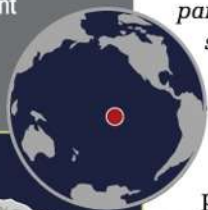
rioration des coraux, raconte Dawn Field, spécialiste de biodiversité marine à l'université de Göteborg (Suède), qui participe au projet. *Probablement parce que les pêcheurs ont dû travailler davantage pour payer les antimoustiques et les soins médicaux."*

Afin de faciliter ces observations, une représentation tridimensionnelle extrêmement précise et réaliste de l'île et de ses côtes vient d'être créée à partir d'images satellite et de sondages des fonds marins. De quoi repérer d'un seul coup d'œil un éventuel lien entre les plages au large desquelles les coraux souffrent le plus, et le nombre d'hôtels qui s'y sont implantés les années précédentes. Ou entre les changements d'habitat d'une espèce de lézard en danger, l'évolution des températures et le développement du réseau routier. Sachant qu'à l'avenir, de puissants ordinateurs seront chargés de repérer de telles corrélations au milieu de l'énorme masse de données collectées.



LES VIES MULTIPLES DE MOOREA

Un avatar tridimensionnel ultraréaliste permet dès à présent aux chercheurs (ici, Matthias Troyer et l'expert en océanographie Jim Hench) d'étudier la santé des coraux ou de zoomer pour compter les arbres abattus pour la construction d'un hôtel. A l'avenir, cet avatar pourrait "vivre", dans différents super-ordinateurs à travers le monde, plusieurs destins alternatifs à celui se jouant dans le Pacifique Sud.



Moorea



Tahiti

A terme, le but est que ce portrait ultraréaliste prenne vie. C'est-à-dire que l'évolution de ce paradis artificiel soit simulée sur ordinateur. De quoi, par exemple, anticiper les conséquences sur la faune de la construction d'une nouvelle route. Ou les effets de certaines restrictions de la pêche sur les coraux et la santé de la population.

UN MODÈLE IDÉAL

L'idée étant que Moorea 2.0 évite des erreurs à sa version de chair et de terre. Car elle seule pourra, d'un simple clic, effacer ses mésaventures et retrouver son état d'origine. *"Un état que l'on souhaite préserver"*, insiste Dawn Field.

IDEA - M. KONTENTE

Et le but de ces chercheurs n'est pas seulement de choyer

leur lieu de villégiature. *"Ce que nous voulons, c'est un modèle pour comprendre toute la planète"*, confirme Matthias Troyer, spécialiste de modélisation de problèmes physiques, également à l'origine du projet. Le monde étant trop complexe pour être étudié frontalement, l'île en servirait de modèle, à la manière des animaux utilisés pour la recherche biologique et médicale. *"Le ver Caenorhabditis elegans n'est constitué que de 1 000 cellules, et pourtant il parvient à nous renseigner sur le développement de notre propre organisme"*, rappelle Dawn Field.

Or, Moorea est justement un modèle idéal pour notre planète, comme l'est ce ver microscopique pour notre corps. D'un côté, l'île, entourée par l'immensité de l'océan Pacifique, ne s'étend que sur 134 km² : elle représente donc un milieu relativement simple, presque clos, facile à étudier. De l'autre, sa biodiversité et la présence d'activités humaines variées, telles que le tourisme, la pêche et l'agriculture, la rapprochent d'une *"version à taille réduite d'un pays"*, selon Matthias Troyer. Un avantage décisif par rapport aux précédents modèles des îles de Manhattan et Singapour, représentant seulement un aspect urbain, donc partiel, de notre monde.

Mettre en place ce modèle de planète à taille réduite nécessite un travail titanesque. Si des projets d'analyse très précise de la faune et de la flore terrestre et marine sont déjà en cours, de très nombreux scientifiques (démographes, microbiologistes, océanologues...)

devront encore se joindre au projet. Les convaincre ne devrait cependant pas être trop difficile – une centaine de chercheurs auraient déjà donné leur accord. *"Les yeux de nos interlocuteurs s'illuminent quand on évoque l'île"*, s'amuse Dawn Field.

20 MILLIONS D'EUROS

Une fois le travail de collecte effectué, restera alors à analyser ces données, développer des modèles et effectuer des simulations. *"Ce projet devrait coûter 20 millions d'euros, sur vingt ans"*, estime la chercheuse.

Ce qui n'empêche pas de nombreux pays d'envisager, déjà, de l'adapter à leurs propres territoires, parfois beaucoup plus étendus : *"La Suède y réfléchit pour certaines de ses îles côtières, et l'Australie a un projet similaire pour la Tasmanie"*, révèle Dawn Field.

Une très bonne chose, selon Matthias Troyer : *"L'idéal serait d'avoir de nombreux modèles différents, à différentes échelles"*, espère le chercheur.

Moorea 2.0 n'est que le premier avatar de ces mondes parallèles qui émergent lentement dans l'espace virtuel. Mais avec ses coraux, ses palmiers et son sable blanc, aucun autre ne sera sans doute jamais aussi beau.



A consulter : le site web du projet, donnant accès à l'avatar 3D, et des liens vers quelques articles descriptifs.

★
EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

Saucisses, frites, mayonnaise...

La science réinvente les produits allégés

Moins de sel, moins de gras et moins de sucre... mais autant de goût ! Dans les labos, chercheurs et industriels imaginent ensemble de nouvelles façons de manger *light*. Leur ingrédient "miracle" : la chimie. **Simon Devos** a sélectionné les recettes les plus surprenantes.

Au menu aujourd'hui : saucisson, frites mayo, fromage et muffin pour le dessert... Un peu lourd ? Pas nécessairement ! Ces dernières années, les industriels se sont associés à des chercheurs en chimie alimentaire pour mettre au point des produits allégés d'un nouveau genre... "Scientifiquement" allégés.

Car réduire les quantités de sel, de sucre ou de matières grasses dans un aliment est

avant tout un casse-tête d'ordre chimique. Le sel, par exemple, est à la fois un exhausteur de goût et un très bon conservateur, mais il intervient aussi dans certains processus de maturation. Les matières grasses, elles, fixent les arômes et en augmentent le goût, mais apportent également une texture plus agréable, plus onctueuse.

"C'est une science très empirique, commente Claire Rossi, responsable de la filiale Innovation Aliments

Agroressources à l'université de Compiègne. *Il est nécessaire de bien saisir le rôle de chaque molécule présente dans un produit et son intérêt pour la santé. Une fois le bilan nutritionnel réalisé, il faut regarder les ingrédients sur lesquels on peut jouer, et tenter de les remplacer par d'autres ayant de meilleures propriétés nutritives. Par exemple, nous avons montré qu'il est possible d'utiliser de l'amidon de tapioca dans certains mets pour mimer*

LAURENT VILLERET/DOLCE VITA



l'onctuosité apportée par le gras. Cela permet d'enlever 15 à 20 % de matières grasses dans un aliment transformé."

Tapioca ou protéines de chicorée pour remplacer la matière grasse; gomme de konjac, une plante originaire d'Asie, à la place des œufs... Les pistes sont nombreuses, mais il n'y a pas de recette miracle.

DÉJÀ DANS NOS RAYONS

"Nous nous sommes rendu compte que remplacer un ingrédient par un autre ne suffit pas toujours à améliorer les qualités nutritionnelles d'un produit. Dans certains cas, c'est

*tout le processus de fabrication qu'il a fallu modifier", souligne Christian Salles, directeur de recherche Inra à l'université de Bourgogne, à la tête du projet européen TeRiFiQ. Lancé en 2012, ce programme avait vocation à faire collaborer scientifiques et entreprises européennes sur la mise au point d'aliments *light*. Il a présenté ses résultats en 2015.*

Aujourd'hui, les premiers de ces aliments arrivent dans nos supermarchés. "A l'avenir, ce type de démarche devrait se généraliser, prédit Claire Rossi. Les produits industriels pourraient même assez facilement

renfermer des quantités plus faibles d'éléments mauvais pour la santé que certaines recettes maison!"

Pour s'en convaincre, voici un premier menu sélectionné par *Science & Vie*. Garanti 100 % allégé par la science.

Contexte

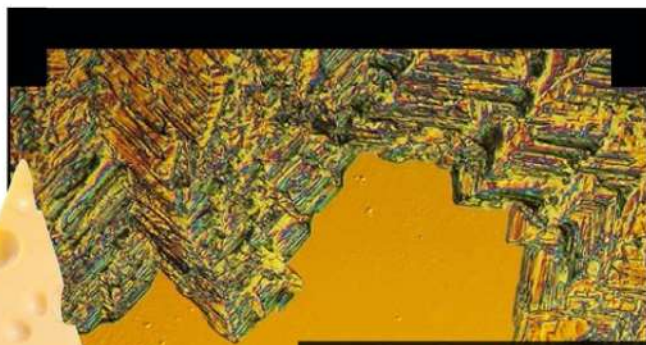
L'industrie des produits allégés naît avec la première synthèse de saccharine, en 1879, mais ne prend son essor qu'un siècle plus tard. Depuis, l'engouement pour les aliments *light* tend à s'essouffier. En 2015, leurs ventes ont baissé : - 13,5 % pour les fromages, - 13,2 % pour les yaourts et - 6,9 % pour les édulcorants (chiffres Xerfi). Seuls continuent à faire recette les sodas *light*.

DES SAUCISSES SÈCHES AU POTASSIUM

Comment diminuer la quantité de sel et de gras dans les saucissons, chorizos et autres rosettes? *"Nous avons commencé par remplacer le chlorure de sodium [le sel de table] par du chlorure de potassium extrait de levure, moins nocif pour la santé,* explique Christian Salles, du programme TeRiFiQ de l'Inra, qui a travaillé sur le cas de la saucisse sèche avec la société Boadas, spécialisée dans la charcuterie espagnole. *La graisse de porc normalement utilisée pour l'émulsion a par ailleurs été remplacée par de l'huile de tournesol."* Les huiles végétales seraient en effet plus efficaces pour réaliser l'émulsion

nécessaire à la préparation de ce type de charcuterie. Les chercheurs ont également utilisé des viandes plus maigres.

Au final, les saucisses avaient perdu 35 % de sodium et près de 70 % de matière grasse! Et leur goût? *"Nous avons réalisé une étude marketing à l'aveugle avec le nouveau et l'ancien produit. Résultat, les consommateurs ont montré une préférence pour le mets le moins gras, et se sont même dits prêts à payer un peu plus cher pour se le procurer!",* assure Christian Salles.



-36% DE SEL

DES FROMAGES À LA SAUMURE MOINS SALÉE

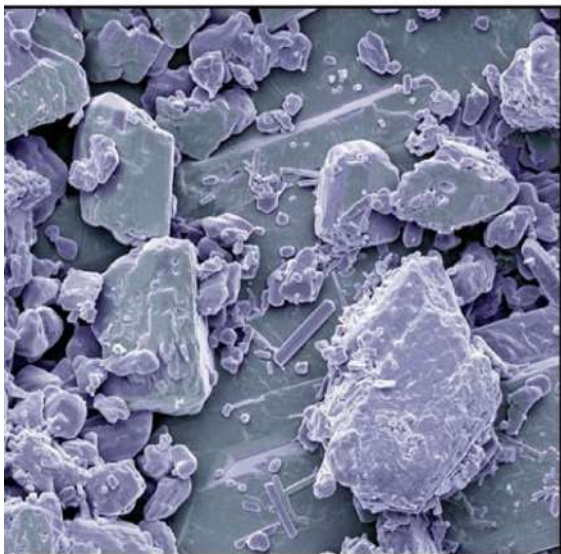
Sel et fromage sont souvent indissociables. *"Pour la plupart des fromages, la présence de sel tient au processus même de fabrication,* indique Christian Salles, qui a collaboré avec la fromagerie belge d'Orval. *Le saumurage, qui consiste à tremper le produit dans de l'eau salée, notamment pour favoriser la formation de la croûte, augmente la concentration de sel."* Pour les fromages à pâte dure, les temps de saumurage ont été réduits et la composition de la saumure modifiée, ce qui a permis de diminuer de 36 % la quantité de sodium. L'entreprise a décidé de commercialiser une version à -20 % de sel. Testé auprès des consommateurs, ce produit a suscité des réactions positives. En revanche, les recherches sur les fromages à pâte molle n'ont pas abouti.



DES MUFFINS À DOUBLE ÉMULSION

Réduire la quantité de gras et de sucre, tout en préservant le goût? Christian Salles a relevé le défi sur les produits de la marque norvégienne Millba. *"Nous avons diminué de 40 % le taux de matière grasse à l'aide d'une émulsion double",* soit le mélange de deux liquides non miscibles (comme l'eau et l'huile) dans un troisième fluide – un procédé qui accentue l'onctuosité. Un quart du sucre a par ailleurs été remplacé par des inulines, des fibres présentes dans de nombreux végétaux, qui apportent un goût sucré. Là aussi, le nouveau muffin a fait ses preuves lors d'un test à l'aveugle.





DES FRITES À L'INFRAROUGE

-50%
DE MATIÈRE GRASSE

Faire des frites avec moins d'huile... Le défi était de taille. "La friture repose sur la capacité de l'huile bouillante à assécher très rapidement un aliment, décrypte Kevin Keener (université d'Etat de l'Iowa). L'humidité migre vers l'extérieur pour former la structure croustillante, et l'huile pénètre à l'intérieur." Sa solution : un puissant rayonnement infrarouge, "qui permet de recréer le croustillant de la frite tout en réduisant d'environ 50 % sa teneur en huile". Le procédé est à l'étude.



UNE MAYONNAISE À LA SPIRULINE

-50%
DE MATIÈRE GRASSE

Avec l'huile comme ingrédient principal, une bonne mayonnaise se retrouve fatalement classée parmi les produits gras... Et s'il était possible de remplacer en partie cette huile par un autre élément beaucoup moins gras ? L'idée est née dans les locaux d'Algama, une start-up française spécialisée dans les microalgues. Ces algues microscopiques, qui prennent souvent la forme d'une vase verdâtre, présentent en effet de nombreux avantages pour la santé puisqu'elles sont

bourrées de vitamines, de minéraux et de protéines.

Parmi elles, la spiruline, une cyanobactérie présente dans les eaux chaudes peu profondes et saumâtres de la ceinture inter-tropicale, a été utilisée pour préparer une mayonnaise que la société s'apprête à commercialiser. "La réussite de la texture d'une mayonnaise repose essentiellement sur l'émulsion, ce mélange entre les microbulles d'huile et d'eau qui utilise les œufs comme catalyseur, explique

Mathieu Gonçalves, cofondateur du projet. En utilisant de la farine de spiruline, nous avons réussi à reproduire cette texture tout en réduisant de plus de 50 % le taux de matière grasse dans notre mayonnaise, et en nous passant complètement des œufs !"

Selon Algama, qui a réalisé plusieurs tests auprès de consommateurs avant de lancer son produit, les retours sont très satisfaisants. Au point que l'entreprise prévoit déjà de développer d'autres sauces sur le même modèle.

SHUTTERSTOCK SP/UCOSMOS

PUBLICITÉ

VOS ENFANTS PARTENT EN VACANCES...

AVEC **SCIENCE&VIE**
JUNIOR
by **Telligo**



Science&Vie Junior et Science&Vie s'associent avec Telligo, un des premiers organisateurs français de colonies de vacances et inventeur des séjours à thème, pour vous proposer des vacances à son image.

Votre enfant est...

- ... **plutôt scientifique** ? Il adorera objectif spationaute qui l'enverra en orbite ou presque !
- ... **un aventurier dans l'âme**, il part pour l'opération Robinson et construit son abri...

- ... **plutôt science-fiction** ? Que diriez-vous d'aller à la Jedi Academy ? Que la force soit avec lui !
- ... **un gamer** ? Il rejoint alors la **Video Game Academy** pour fabriquer son propre jeu ! *Let's play*...
- ... **un passionné des animaux** ? Le séjour entre chiens et loups est fait pour lui !

Telligo



L'ASSURANCE ANNULATION OFFERTE À NOS LECTEURS !



INFORMATIONS
ET RÉSERVATIONS AU

01 41 33 57 57

BASSE SAISON de 9h à 17h du lundi au vendredi
HAUTE SAISON (à partir du 27 février 2017) de 9h à 18h30
du lundi au vendredi et de 9h à 13h le samedi



POUR PLUS DE CHOIX
OU POUR EN SAVOIR PLUS,
RENDEZ-VOUS SUR
NOTRE SITE :

colos.science-et-vie.com



VOUS POUVEZ
ÉGALEMENT JOINDRE
NOS CONSEILLERS
PAR MAIL À :

colos.SVJ@mondadori.fr

Ne manquez pas la nouveauté 2017 pour cet été !

NOUVEAU !

Son séjour 100% SVJ!

avec les journalistes de la rédaction !



Robin Jamet



Fabrice Nicot



Carine Peyrières

• **ROBIN JAMET**, il apprend grâce aux mathématiques

• **FABRICE NICOT**, incollable sur la cosmologie, les vaisseaux

• **CARINE PEYRIÈRES**, ses passions : les animaux, l'environnement

+ Les **CHERCHEURS** et docteurs de **L'ÉCOLE DES MINES**.

LES + DU SÉJOUR

- Des ateliers ludiques et expérimentaux tous les jours, adaptés à son âge : 9/11 ans ou 12/16 ans.
- La rencontre avec des intervenants passionnés et passionnants.
- Un cadre d'exception : la fameuse École des Mines de Paris (Laboratoires de Fontainebleau).
- Une équipe d'encadrement attentionnée et dynamique (1 adulte pour 5 jeunes).
- Des copains curieux de tout et passionnés de sciences, comme lui !

Il partagera aussi d'autres activités comme :

- Une soirée
- Une soirée
- Une grande
- Un goûter

CE SÉJOUR dure 11 JOURS, avec 2 dates possibles à L'ÉCOLE DES MINES (Laboratoires de Fontainebleau) :

Du samedi 8 au mardi 18 juillet 2017

OU du mercredi 19 au samedi 29 juillet 2017



DEMANDE DE CATALOGUE

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à :
SCIENCE & VIE JUNIOR COLOS - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

☐ OUI, je souhaite recevoir GRATUITEMENT le catalogue "Séjours de vacances Science & Vie Junior by Telligo".

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Tél. :

Email :

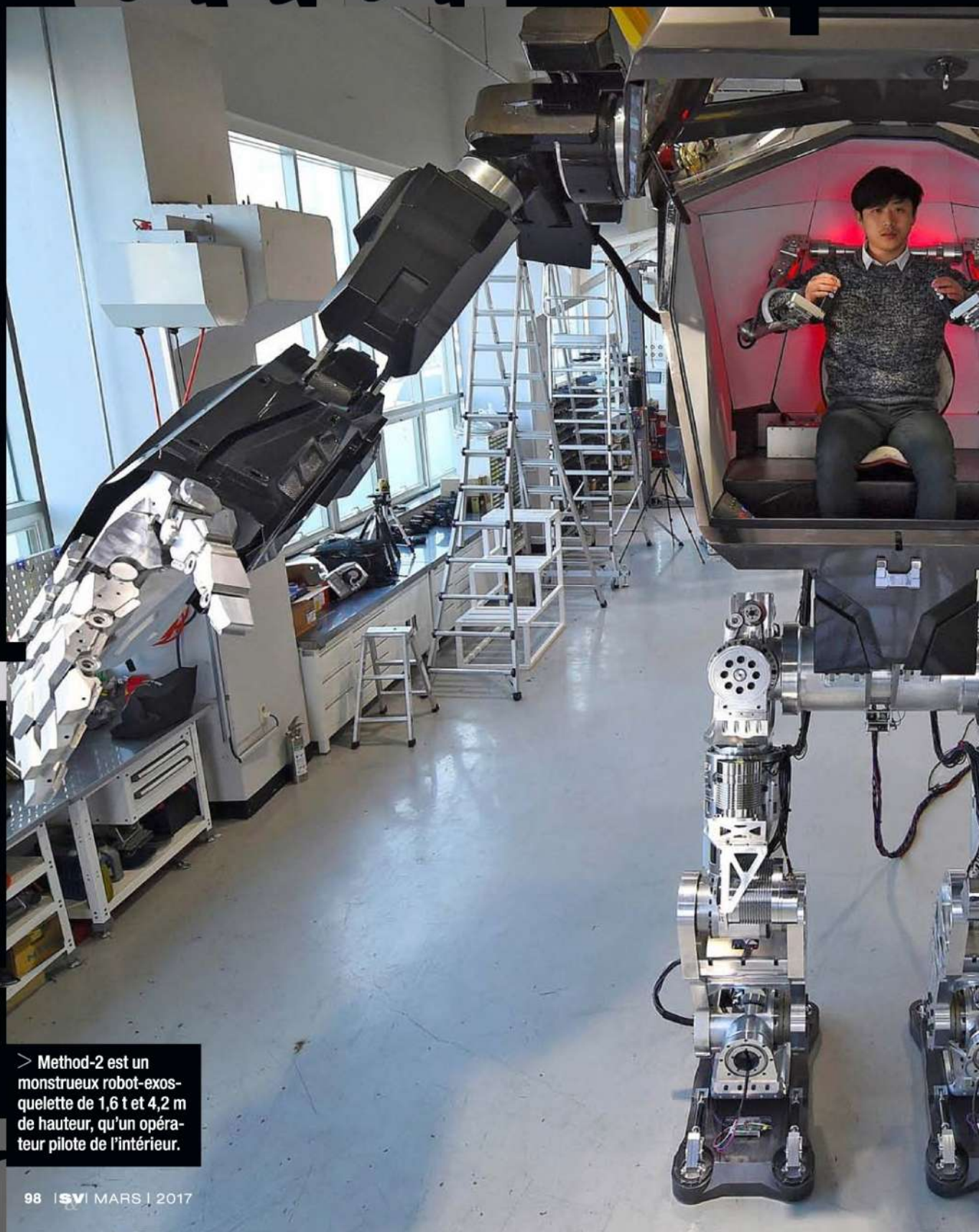
STYLIS



Et n'hésitez pas à demander le catalogue :

SÉJOURS DE VACANCES
SCIENCE & VIE JUNIOR BY TELLIGO

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de ces données par simple courrier. Crédits photos : Telligo, Shutterstock. Cette croisière est organisée en partenariat avec Telligo. Science & Vie Junior est une publication du groupe Mondadori France, siège social : 8 rue François Ory - 92543 Montrouge Cedex.



> Method-2 est un monstrueux robot-exosquelette de 1,6 t et 4,2 m de hauteur, qu'un opérateur pilote de l'intérieur.



GUNPO (CORÉE DU SUD)

Un robot géant rend réelle la fiction

Voici Method-2. Ce mastodonte de 1,6 t et 4,2 m de hauteur vient de faire ses tout premiers pas. Logé dans le torse de son squelette d'acier, un pilote le dirige de manière intuitive, à l'aide de bras articulés et de pédales qui restituent ses mouvements. Sa mission, selon ses concepteurs chez Hankook Mirae Technology: intervenir

après des catastrophes (séismes, explosions...) dans des opérations de sauvetage où l'homme ne peut se rendre sans protection. Apté à soulever de lourdes charges, par exemple pour dégager des victimes ensevelies sous des décombres, Method-2 peut également être autopiloté. Les connaisseurs reconnaîtront ici la main de son concep-

teur, Vitaly Bulgarov, à l'origine jusqu'ici de robots immatériels, évoluant dans des films de science-fiction: *RoboCop*, *Transformers*, *Ghost in the shell*... Bien réel, son dernier bambin s'inspire des "mechas", les robots des mangas, et devrait être commercialisé l'an prochain. Coût de son développement: 191 millions d'euros.

F.G.

AFP



BERLIN (ALLEMAGNE)

Un bus sans chauffeur se dote de la parole

Olli est une navette urbaine électrique sans chauffeur capable d'échanger avec ses passagers. Grâce à la plateforme Cloud Watson d'IBM, ces derniers peuvent demander un itinéraire ou des conseils sur leur destination. Testé à Berlin par la compagnie américaine Local Motors depuis décembre dernier, le bus se déplace grâce à une trentaine de capteurs (radars, lidars, caméras...). Les piétons ont juste à le commander grâce à une appli installée sur leur smartphone. **E.T.-A.**



NEW YORK (ÉTATS-UNIS)

Un parc sur pilotis sort de l'eau à Manhattan

À New York, la construction d'un écran de verdure sur pilotis a débuté entre deux anciens docks aujourd'hui détruits. D'une capacité d'environ 3500 personnes et doté d'un amphithéâtre de 800 places, le Pier 55 est unique en son genre. Carré vert de 1,1 ha, il reposera sur 300 poteaux de béton évasés et comblés de terre à leur extrémité supérieure. De hauteurs variables – de 4,5 à 20 m au-dessus de l'eau – ils permettront l'agencement topographique du terrain. Chaque angle du parc sera surélevé afin d'immerger les visiteurs au cœur de l'espace naturel et de proposer des zones ombragées et protégées du vent. Afin de favoriser la biodiversité, l'architecte anglais Thomas Heatherwick et le paysagiste américain Mathews Nielsen ont imaginé d'y planter pas moins de 30 espèces d'arbres, 70 d'arbustes et 200 de plantes et couvertures végétales. **A.P.**

PARIS

Les piles vont voir leur vie se prolonger

L'association Atelier21 est en train de mettre au point une boîte qui permettra de "régénérer" tous types de piles : jetables – soit 89 % des piles vendues en France en 2015, selon l'Ademe – mais aussi rechargeables. Cette Regen Box injectera des micro-impulsions électriques aux bornes de la pile, ce qui inversera la réaction d'oxydoréduction, renouvelant ainsi le stock de métaux réactifs. Avec ce dispositif, une pile non rechargeable considérée en fin de vie pourrait être réutilisée jusqu'à 10 fois ! De surcroît, un micro-contrôleur permettra d'évaluer le niveau de charge en temps réel. Des tests sont en cours pour déterminer les piles les plus propices à ce type de régénération et améliorer la Box, dont le schéma sera publié en *open source* au mieux fin 2017. **G.S.**



Idée neuve



"ON VA STOCKER L'ÉNERGIE SOLAIRE DANS DES TOUPIES EN BÉTON"

André Gennesseaux,
Fondateur d'Energistro
(Eure-et-Loir, France)

Les méthodes pour stocker l'énergie solaire existent, mais elles sont chères. La faute aux matériaux utilisés dans les batteries ou dans les "volants d'inertie" (en acier ou maté-

riaux composites), ces cylindres qui tournent et transforment l'énergie solaire en énergie cinétique. Pour faire baisser leur prix, André Gennesseaux a eu une idée originale : fabriquer un nouveau type de volant avec du béton compressé, qui résisterait à la force centrifuge. Un prototype d'une tonne (1 m³) va être testé cette année. Grâce à un nouveau procédé de lubrification, il permettrait de stocker une heure d'électricité à un prix défiant toute concurrence : "2 centimes du kWh, contre 10 pour une batterie." La commercialisation est prévue pour 2018, afin de lisser la production des centrales solaires et la consommation domestique. Un premier pas avant d'élargir l'utilisation de ce volant pour stocker six ou sept heures d'électricité – le temps d'inactivité des panneaux solaires. **L.T.**

LOCAL MOTORS - HEATHERWICK STUDIO - D.R.



KAMUTHI (INDE)

Démarrage de la plus grande centrale photovoltaïque

Après seulement huit mois de travaux, l'Inde vient de mettre en service, dans le sud-est du pays, la plus grande centrale photovoltaïque au monde. D'une puissance maximale de 648 mégawatts, sur une surface totale de 10 km², elle regroupe 2,5 millions de panneaux solaires et devrait être ainsi capable d'approvisionner 150 000 foyers en électricité. Cette centrale détrône de loin celle de Topaz, en Californie (550 MW). Le pays devant faire face, tout comme son voisin chinois, à un problème de santé publique lié à la mauvaise qualité de l'air, il espère, en recourant au solaire et à l'éolien, atteindre 40 % d'énergies non fossiles en 2030.

E.T.-A.

ÉTATS-UNIS

Des images satellites pour gérer les pénuries

Prédire les approvisionnements agricoles par satellites, c'est ce que propose la société américaine Descartes Labs. Sur les clichés, l'analyse des longueurs d'onde émises par les champs survolés permet d'identifier les cultures. Un algorithme calcule ensuite des projections de rendements à partir de divers paramètres (lumière absorbée par les plantes, surface des feuilles, données météo...). Ainsi, aux États-Unis, en 2015, la production de maïs a été estimée à 1,9 % près, cinq mois avant les données officielles. Le moyen d'anticiper aussi des pénuries.

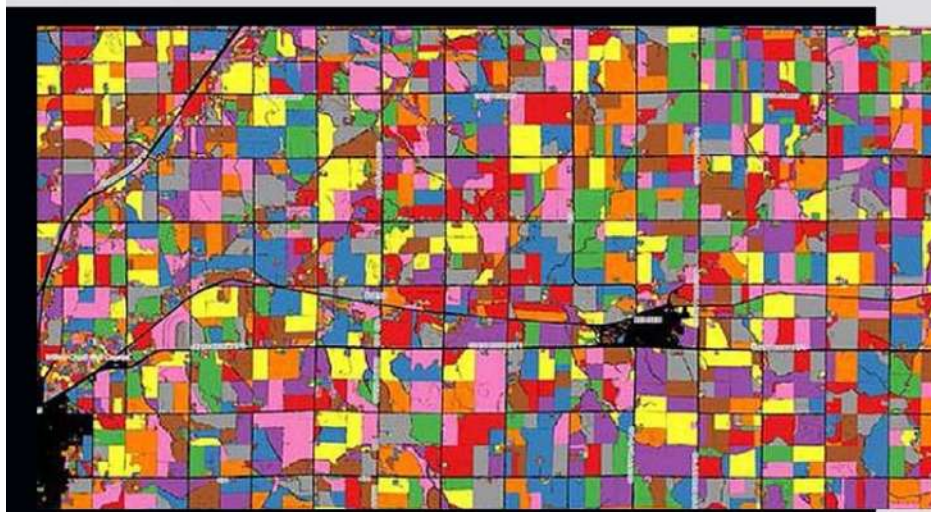
A.P.

ISTANBUL (TURQUIE)

Ouverture du **tunnel** qui met **l'Europe** à 15 min de **l'Asie**

Les premiers automobilistes qui l'ont étreint fin décembre ont divisé par six leur temps de parcours habituel : 15 minutes contre 100 minutes habituellement. S'étirant sur 5,4 km, dont 3,4 km sous le détroit du Bosphore, le tunnel Eurasia relie désormais les rives européenne et asiatique de la ville d'Istanbul à l'aide d'une autoroute à deux étages – un par sens de circulation. Un chantier de 800 millions d'euros pour désengorger le trafic routier tout en préservant la vie marine. Le tunnel, construit par un partenariat turco-coréen, est cependant réservé aux seules voitures et minibus, et ses tarifs restent peu accessibles à la population locale (4 € l'aller).

F.G.



Rendez-vous en...
2030

**ON SERA CAPABLE
DE GÉOLOCALISER
TOUS LES OBJETS
CONNECTÉS SUR TERRE
AU CENTIMÈTRE PRÈS**

Fin 2016, le système de géolocalisation par satellite européen Galileo a fait beaucoup parler de lui, à l'occasion de sa mise en service officielle. Principal avantage annoncé : une précision de positionnement au moins dix fois supérieure à celle du GPS, selon Jean-Yves Le Gall, président du Cnes et de l'Agence européenne chargée de Galileo (GSA). C'est-à-dire de l'ordre du mètre, voire du centimètre (dans sa version payante), là où le système américain propose une précision d'une dizaine de mètres. *"Galileo va être capable de savoir sur quel trottoir vous marchez ; ou de dater des événements au milliardième de seconde"*, annonce-t-il. Oui, sauf que, pour l'instant, seuls 18 satellites sur la trentaine prévue au total sont mis en orbite à 23 222 km. Il faudra donc attendre 2020 pour que la constellation complète encercle la Terre et délivre des signaux parfaitement exploitables en permanence. Et probablement une décennie supplémentaire pour que l'on puisse tirer pleinement profit des nouveaux services qui restent encore à inventer. Pour cela, il faudra alors embarquer une puce compatible avec Galileo dans tous nos objets connectés (smartphones, voitures autonomes...).

E.-T.A.

TAIPEI (TAÏWAN)

Une tour en forme d'hélice pour dépolluer la ville

Pour ramener un peu de nature dans Taipei, le Belge Vincent Callebaut a imaginé l'Agora Garden, une tour de logements de 20 étages en forme de spirale directement inspirée de la double hélice d'ADN. Cette structure particulière, où chaque étage est décalé de 4,5° par rapport au précédent, permet de créer une cascade de jardins à ciel ouvert ! Au total, 23000 arbres seront plantés sur ses terrasses pour absorber 130 tonnes de CO₂ par an. Cette tour se veut aussi "un concept pionnier d'éco-construction durable qui vise à limiter l'empreinte écologique de ses habitants", explique Vincent Callebaut. C'est pourquoi il l'a dotée de potagers, d'un système de récupération des eaux de pluie et d'une grande pergola photovoltaïque sur le toit. Livraison prévue en septembre 2017. **L.B.**



PROJET TAO ZHU YIN YUAN, TAIPEI, TAIWAN, PAR VINCENT CALLEBAUT ARCHITECTURES

LA SCIENCE & LA VIE

106
Record du monde à vélo à 105 ans

On n'a pas forcément l'âge de ses artères



116
Technofolies
**Une box
à traiter
ses déchets
dans sa cuisine**



122
Questions/Réponses
**Faut-il saler l'eau
des pâtes quand
elle bout ou avant ?**



**Science
& société**

106

Record mondial à vélo à 105 ans

On n'a pas forcément l'âge de ses artères

Ampoules LED

Elles nuiraient aux yeux !

Pesticides chimiques

Enfin bannis des lieux publics

Greffes

La loi santé à l'assaut du déficit de dons d'organes

**Science
& vie pratique**

114

Bon à savoir

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

Technofolies

Une box à traiter ses déchets dans sa cuisine; la roue qui peut rendre tous les vélos électriques; un interphone connecté pour recevoir chez soi à distance; une balise pour ne plus perdre ses skis...

**Science
& culture**

120

Questions/Réponses

Faut-il saler l'eau des pâtes quand elle bout ou avant ? Que restera-t-il à la fin dans l'Univers ?...

A voir/A lire

L'Homme qui défait l'infini, biopic du mathématicien Srinivasa Ramanujan

Il y a... 70 ans

L'incroyable découverte des manuscrits de la mer Morte

F. MORI/AP/SIPA - D.R. - SHUTTERSTOCK

Record du monde
à vélo à 105 ans

On n'a pas forcément l'âge de ses artères

Les images ont fait le tour du monde. Début janvier, le Français Robert Marchand inscrivait un nouveau record du monde de l'heure à vélo dans la catégorie des plus de 105 ans. Il faut dire que les concurrents ne se bouscuaient pas... Le cycliste était seul sur la ligne de départ. Dans une société où l'on vit globalement plus vieux qu'avant, mais pas forcément en meilleure santé, le cas de Robert Marchand fait en effet figure d'exception. Non, vraiment, ce plus-que-centenaire ne semble

pas avoir l'âge de ses artères !

Depuis longtemps, les médecins savent que nous ne sommes pas tous égaux face au vieillissement : deux individus du même âge peuvent présenter des conditions physiques radicalement différentes. *"Notre âge chronologique, celui qui correspond aux années écoulées depuis la naissance, représente assez mal l'âge réel du corps*, explique Paola Sebastiani, biostatisticienne à l'université de Boston. *Pour décrire plus concrètement la manière dont vieillit un individu, mieux vaut utiliser un autre paramètre, appelé âge physiologique, ou âge biologique."*

Cet âge physiologique pourrait être établi à partir des résultats d'un ensemble d'examens : test sur la rigidité des artères (qui augmente avec l'âge), mesure

de la densité minérale osseuse (quantité de calcium dans les os, en baisse chez les personnes âgées), évaluation de la masse musculaire (qui diminue également avec l'âge), etc.

Chaque examen a son importance, puisque le rythme de vieillissement de toutes les parties du corps n'est pas forcément identique. Une personne de 70 ans peut, par exemple, avoir une masse musculaire "normale" pour quelqu'un de son âge et un cœur dont l'état serait plus proche de celui d'une personne de 60 ans.

Réalisés depuis plusieurs années par des chercheurs du monde entier, ces tests ont révélé que cette dissociation entre l'âge chronologique d'une personne et son âge physiologique est fréquente.

MÊME CHEZ LES JEUNES !

Plus étonnant : le décalage peut se faire sentir très tôt ! *"On pourrait penser que ces différences ne deviennent perceptibles que chez les personnes d'ores et déjà avancées dans le processus de vieillissement*, souligne Dan Belsky, de l'université

LE RAPPEL DES FAITS

Le 4 janvier, au vélodrome de Saint-Quentin-en-Yvelines, le cycliste centenaire Robert Marchand a établi un record mondial en parcourant **22,547 km en une heure... dans la catégorie des plus de 105 ans**, spécialement créée pour lui.

Il y a de plus en plus de centenaires

En France, leur nombre ne cesse d'augmenter, en particulier depuis le début du XXI^e siècle. Surtout, grâce aux progrès de la médecine, souffler ses 100 bougies n'est plus forcément synonyme de mauvaise santé.



22,55 km/h

C'est le record de vitesse à vélo établi par le Français Robert Marchand chez les plus de 105 ans (record mondial : 54,53 km/h).

26,99 secondes

C'est le record de l'Américain Donald Pellmann sur le 100 mètres dans la catégorie des plus de 100 ans (record mondial : 9,58 s).

76,92 secondes

C'est le record établi en 2014, à 104 ans, par le Canadien Jaring Timmerman sur le 50 mètres nage libre (record mondial : 20,26 s).

SOURCE : INSEE

Duke (Etats-Unis). *Mais nous avons montré que cette dissociation concerne également les jeunes.*

Même chez des trente-naires, l'âge physiologique est parfois plus faible ou plus élevé que l'âge chronologique. Et une fois de plus, ces recherches mettent en évidence le fait que nous ne vieillissons pas tous à la même vitesse : certains semblent vieillir plus vite que d'autres, selon des marqueurs physiologiques.

Pour Paola Sebastiani, l'étude du vieillissement est plus intéressante et plus

précise encore lorsqu'elle est faite en amont dans le corps de l'individu : *"Les tout premiers signes du vieillissement n'apparaissent pas au niveau physiologique, mais biologique. En étudiant l'évolution de plusieurs marqueurs*

présents dans le sang [taux d'hémoglobine, de cholestérol, de globules blancs...], nous pouvons détecter plus précisément le vieillissement prématuré d'une personne ou, a contrario, un retard de celui-ci." Selon la chercheuse, ces marqueurs

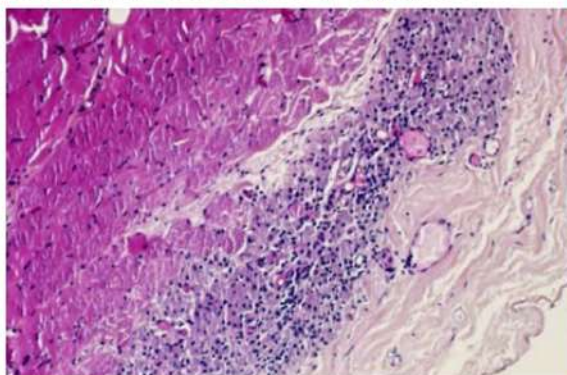
biologiques seraient des indicateurs de santé plus prédictifs que les marqueurs purement physiologiques, puisque les premières modifications liées au vieillissement se retrouvent d'abord dans le sang. Pous-



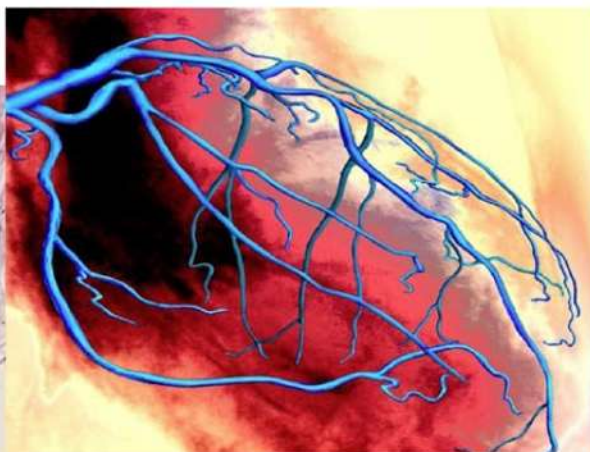
PAOLA SEBASTIANI
Biostatisticienne
à l'université de Boston

L'âge chronologique, soit le nombre d'années écoulées depuis la naissance, représente assez mal l'âge réel du corps

L'âge physiologique d'un individu dépend aussi de...



... sa masse musculaire
Elle a tendance à diminuer avec le vieillissement.



... l'état de ses artères
Elles deviennent de plus en plus rigides à mesure qu'on vieillit.



→ estime même qu'un simple test sanguin évaluera bientôt précisément l'état d'avancement du vieillissement de chacun ! Pour l'heure, cette approche reste toutefois largement expérimentale...

Test biologique ou pas, quel est le secret de l'exceptionnelle vigueur de Robert Marchand et de ces autres athlètes centenaires qui enchaînent les records ? Et plus largement, comment déterminer l'origine des inégalités entre individus face au temps qui passe ?

Depuis plusieurs décennies, de nombreux chercheurs pensent pouvoir trouver une partie de la réponse du côté de la génétique, en explorant l'ADN

de populations particulièrement âgées (lire l'encadré ci-dessous) ou en comparant, comme Paola Sebastiani et son équipe, les génomes de 800 centenaires avec ceux de personnes plus jeunes (entre 53 et 90 ans).

Cette étude a permis d'identifier pas moins de 281 séquences pouvant être associées à une plus grande longévité. La plupart serviraient à modifier les fonctions de certains gènes impliqués dans différentes maladies liées à l'âge (Alzheimer, maladies cardio-vasculaires, etc.), et agiraient comme des boucliers contre ces dernières.

Cependant, toutes ces séquences ne se retrouvent pas dans le génome de

chacun des centenaires étudiés. Si la présence de certaines d'entre elles peut avoir une influence positive sur le vieillissement, il n'y a donc pas vraiment de cocktail génétique miracle pour souffler ses cent bougies.

UNE BONNE HYGIÈNE DE VIE

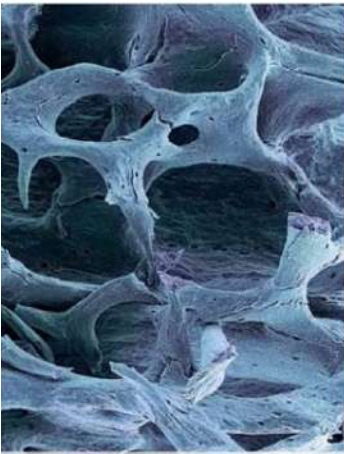
Surtout, la génétique ne fait pas tout. L'environnement exerce aussi une influence primordiale sur le rythme auquel nous vieillissons. *"De nombreuses études ont montré qu'une hygiène de vie inadéquate pouvait accélérer le processus"*, rappelle Véronique Coxam, directrice de recherche à l'Inra. L'alimentation, le sport, le tabagisme ou les conditions socio-

économiques sont autant de paramètres à prendre en compte. En adoptant de bonnes pratiques, il serait donc possible de faire reculer son âge physiologique. *"De plus, notre capital santé n'est pas le seul reflet de notre hygiène de vie à un instant T, mais plutôt le cumul de tout ce que nous avons vécu précédemment"*, ajoute la chercheuse. En particulier, l'alimentation au cours de l'enfance et de l'adolescence jouera un rôle très important dans les paramètres du vieillissement à l'âge adulte.

Enfin, environnement et génétique sont liés. A l'extrémité des chromosomes se trouvent de longues séquences répétitives appelées télomères, qui jouent un rôle clé dans le renouvellement des cellules. A chaque division cellulaire, ces télomères se raccourcissent légèrement, et sont donc de moins en moins performants à mesure qu'on vieillit. Or, plusieurs études ont montré qu'une hygiène de vie saine, basée

L'île de tous les records

L'archipel d'Okinawa, à l'extrême sud-ouest du Japon, est bien connu des spécialistes du vieillissement. Non seulement l'espérance de vie sur ce petit groupe d'îles fait partie des plus élevées de la planète, mais les Okinawaïens détiennent également un record mondial : 33 centenaires environ pour 100 000 habitants. Selon diverses recherches, le secret de leur longévité résiderait à la fois dans leur patrimoine génétique, qui protégerait de nombreux habitants des îles de certaines maladies liées à l'âge, et dans leur hygiène de vie saine, basée sur une alimentation variée et peu calorique.



... la densité de ses os
Elle aussi diminue avec l'âge.

notamment sur un régime méditerranéen et une activité physique régulière, aurait tendance à rallonger ces télomères, et ainsi à "ralentir" le vieillissement.

La bonne forme de Robert Marchand peut donc difficilement s'expliquer sans une combinaison de facteurs génétiques et environnementaux. D'une part, le seul fait d'atteindre un âge aussi avancé pour un homme requiert un patrimoine génétique "solide". D'autre part, garder une forme physique si extraordinaire à cet âge témoigne probablement de l'irréprochable hygiène de vie tenue par le cycliste depuis ses plus jeunes années. Une explication que semble confirmer le centenaire dans plusieurs interviews, et qu'il résume avec philosophie: "J'ai usé de tout, mais je n'ai abusé de rien".

Simon Devos

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

Des traces de loups dans la forêt de Rambouillet ?

Non, le loup n'est pas encore aux portes de Paris



ERIC MARBOUTIN

Chef de projet des recherches sur le loup et le lynx à l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS)

Science & Vie : Vous n'êtes pas convaincu par les indices sur la présence de loups relevés en Ile-de-France...

Eric Marboutin : Les carcasses de chevreuils retrouvées dans la forêt de Rambouillet ont été étudiées par des agents de l'ONCFS qui ont conclu à une mort par maladie. Elles ne portaient pas les signes d'une consommation par les loups (peau retournée, cœur et poumons mangés), mais par les renards, qui ont emporté les têtes en guise de réserve. Aucun témoignage officiel n'a confirmé les hurlements, empreintes et tanières rapportés par les associations. Or, si une meute était installée dans la région, il y en aurait de nombreuses traces.

S&V : Où en est l'expansion du loup en France ?

E.M. : Après avoir disparu dans les années 1920-1930, le loup gris (*Canis lupus lupus*) s'étend depuis 1994

dans l'Hexagone ; sa population atteint environ 300 individus. Les meutes se sont développées surtout dans les Alpes, à partir de l'Italie, et dans l'Est, depuis l'Allemagne. Les dernières observations confirmées de manière récurrente s'arrêtent en Lorraine, dans le Massif central et l'est des Pyrénées. Dans la Nièvre et la Marne, ils n'ont été qu'aperçus.

S&V : Le loup pourrait-il s'installer autour de la capitale ?

E.M. : Oui, car biologiquement, il est adapté à tous les écosystèmes français, forêts et zones agricoles. Il a même d'autant plus de chances de se nourrir que la zone sera giboyeuse, comme les forêts de la région parisienne. Reste que la répartition des grands carnivores dépend aussi des choix politiques qui seront faits pour gérer sa coexistence avec l'élevage et l'agriculture.

S&V : Sa présence près des villes poserait-elle problème ?

E.M. : Ce n'est pas le cas dans les Alpes, où des meutes vivent déjà près des villes. Seule la rage pourrait réellement pousser un loup à mordre quelqu'un, mais cette maladie n'existe plus en France depuis 2001.

Propos

recueillis par
F. Gracci

LE RAPPEL DES FAITS

Observatoire du loup et Alliance avec les loups auraient relevé depuis fin 2015 des signes de la présence de loups en **Essonne**, dans les **Yvelines** et en **Seine-et-Marne** : hurlements, empreintes, tanières... et **deux carcasses de chevreuils**.



Ampoules LED

Elles nuiraient aux yeux!

Eclairage d'intérieur, phares de voiture, écrans, décoration... : les LED (*light-emitting diodes*, ou diodes électroluminescentes) sont désormais partout. Pourtant, cette technologie ne serait pas sans risque pour nos yeux, si l'on en croit une nouvelle étude parue fin 2016. "Réalisés chez le rat, nos travaux suggèrent que la lumière des LED induit un stress toxique dans la rétine, qui pourrait favoriser un vieillissement précoc de l'œil et, à terme, la

dégénérescence maculaire liée à l'âge, cause de cécité la plus fréquente après 60 ans", résume l'ophtalmologiste Francine Behar-Cohen (université Paris Descartes). "Les jeunes générations, qui y seront exposées à vie, sont les plus à risque", alerte sa collègue biochimiste Alicia Torriglia, du Centre de recherche des Cordeliers, à Paris.

D'un point de vue technique, les LED sont à ce jour le système d'éclairage le plus performant. Elles sont d'abord peu énergivores, avec des rendements atteignant 150 lm/W (lumens par watt), contre 50-100 lm/W pour les ampoules fluocompactes (les plus performantes après les LED). Elles durent aussi cinq fois plus longtemps que leurs concurrentes : jusqu'à 50 000 heures.

Leur technique de fabrication la plus courante (car la moins onéreuse) consiste

à couvrir une diode bleue de phosphore jaune, pour convertir la lumière bleue en lumière blanche.

TROP DE LUMIÈRE BLEUE

Contrairement à la vraie lumière blanche, naturelle ou artificielle (mélange équilibré de bleu, de vert et de rouge), celle des LED comprend donc une forte proportion de lumière bleue. Or, justement, c'est elle, la plus énergétique, qui pose problème.

Plusieurs études antérieures, comme celle de

l'équipe suédoise de Jiangmei Wu, en 1999, avaient déjà démontré la nocivité de la lumière bleue pour la rétine. Et en 2010, un rapport de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) pointait déjà le possible danger des LED.

Cela dit, ces travaux portaient sur la lumière bleue en général, et non sur les LED elles-mêmes. En outre, les conditions d'expérimentation y étaient extrêmes, avec une intensité



LE RAPPEL DES FAITS

Favorisées par la directive européenne EuP, qui vise à réduire la consommation des appareils électriques, les LED se diffusent rapidement dans notre quotidien. En 2020, elles devraient représenter 80 % de l'éclairage mondial.



EN CHIFFRES

+ 146 %

C'est le taux d'augmentation des cyberattaques subies par les grandes entreprises françaises. Soit 26 attaques par société en 2016, contre 13 l'an passé. Parmi les modes les plus en vogue figurent le logiciel de ranson ou le déni de service.

T.L.-H.

C'est
fer
se
de
en
ind



d'éclairage de plus de 3 000 lux, alors que le niveau habituel dans les habitations est de 500 lux.

La nouvelle étude a permis d'analyser les effets des LED dans des conditions d'utilisation normales. Pendant un mois, et à raison de 12 heures par jour, les chercheurs ont soumis des rats à un éclairage aux LED de 500 lux. Puis l'équipe a analysé la rétine des animaux. Et, fait inquiétant, décelé des "signes de stress oxydant" en la présence d'une protéine, la GFAP, produite quand la rétine subit un stress toxique. A l'inverse, l'exposition à d'autres types d'éclairage (lampes fluorescentes, LED vertes) n'a occasionné aucun dommage...

"Puisque les LED deviendront bientôt la source de lumière prédominante dans notre environnement domestique, il devient urgent d'établir une façon sûre de les utiliser", concluent les auteurs.

En attendant d'en savoir plus, mieux vaut suivre les recommandations émises en 2010 par l'Anses. Elle conseillait, entre autres, d'éviter d'éclairer avec des LED les lieux fréquentés par les enfants (leur cristallin, très transparent, les rend particulièrement sensibles à la lumière bleue). "Attention aussi aux jouets, précise Alicia Torriglia. Je suis effarée de voir qu'il y a des LED même dans les peluches..." Kheira Bettayeb



FRANCINE
BEHAR-COHEN
Ophtalmologue, université Paris Descartes

Leur lumière induit un stress toxique dans la rétine, qui pourrait favoriser un vieillissement précoce de l'œil



Les pesticides chimiques sont bannis des lieux publics

Depuis le 1^{er} janvier, l'épandage de produits phytosanitaires chimiques est interdit dans les parcs, forêts, ronds-points et autres espaces verts de gestion publique.

Alors que les preuves s'accumulent pour désigner l'exposition excessive à ces produits comme impliquée dans de nombreux problèmes sanitaires (infertilité, cancers, troubles neurologiques...) et environnementaux (algues vertes, diminution des populations d'abeilles...), cette décision représente évidemment une bonne nouvelle. Mais sa portée est toute relative. D'après un rapport sénatorial de 2012, 1 % seulement des pesticides déversés sur le territoire français l'était dans des lieux publics. Et les agriculteurs, qui en restent de très loin les premiers utilisateurs, y ont recours, quant à eux, toujours davantage (5,8 % supplémentaires entre les périodes 2011-2013 et 2012-2014, d'après le ministère de l'Agriculture). Cela malgré l'objectif qui avait été fixé par le tout premier plan Eco-phyto d'une diminution de moitié des quantités épandues entre 2008 et 2018.

Certes, une plus grande part de la population est exposée, par la respiration et le contact direct, aux pesticides des jardins publics. Mais ceux des champs nous atteignent à travers l'alimentation, ce qui n'est pas moins inquiétant. Cette interdiction n'est donc que la première étape, facile à atteindre, d'un très long et exigeant parcours. D'autant que certains produits persistent plusieurs années dans l'environnement. Ce printemps, les enfants ne seront donc toujours pas totalement à l'abri dans leurs aires de jeu.

Elsa Abdoun

2%

C'est la part du PIB mondial engloutie par le tabac en 2012, d'après une étude de l'Organisation mondiale de la santé. Sur les 1 436 milliards de dollars partant en fumée, près de 40 % étaient payés par les pays en développement.

E.A.



Greffes

La loi santé à l'assaut du déficit de dons d'organes

Les reins, premiers organes concernés devant le foie et le cœur

Depuis le 1^{er} janvier 2017, nous sommes tous devenus donneurs d'organes par défaut, sauf si le refus est explicitement signifié. Sachant que les reins arrivent en tête des demandes de greffe, mais aussi des délais d'attente : moins de 30 % des demandes sont satisfaites au bout d'un an. Pour les tissus (peau, veines...), les conditions de stockage sont moins contraignantes et les délais beaucoup plus courts.

POUMONS



CŒUR + POUMONS



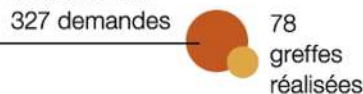
CŒUR



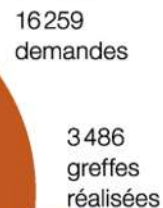
FOIE



PANCRÉAS



REINS



INTESTIN



57 171

C'est le nombre de Français vivant avec un greffon. Les demandes représentaient presque la moitié de ce chiffre pour la seule année 2015!

9 000

Chaque semaine, c'est le nombre moyen d'inscriptions sur le Registre national des refus depuis l'entrée en vigueur de la loi (contre 300 en 2016).

553

En 2015, 553 personnes sont décédées en France faute d'avoir pu bénéficier d'une greffe d'organe à temps.

T.L.-H.

SOURCE : AGENCE DE BIOMÉDECINE, CHIFFRES 2015

Pris public et prix de vente en Kosque. Offre valable pour un premier abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/05/2017 et dans les autres départements d'outre-mer. Le tarif public est fixé à 6,95€ par semaine hors taxes. À l'issue du 31/05/2017, le tarif sera porté à 8,95€ par semaine hors taxes au prix de 5,50€ et chacune des deux éditions spéciales au prix de 5,95€. Votre abonnement vous sera adressé dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement. Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notification clairement votre décision à notre service abonnements ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CVR sur le site www.kosque-mag.com. Le coût de renvoi des produits est à votre charge. Les informations relatives 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 n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, vous pouvez exercer vos droits de consultation, de rectification, de suppression et de destruction de vos données personnelles auprès de notre service abonnements au 02 30 00 00 00.

LE SELF-CONTROL, ÇA SE TRAVAILLE

Les jeunes Chinois subissent une forte pression sociale les incitant à boire, cependant certains d'entre eux, intolérants à l'alcool, ne cèdent pas. D'après une expérience sino-américaine, cela renforce leur contrôle de soi : face à la tentation de tricher à un jeu d'argent, ils se maîtrisent mieux que les autres. "PNAS", janv. 2017

**POUR MIEUX DORMIR, PARTEZ CAMPER**

Camper le week-end suffit à remettre à l'heure son horloge circadienne, révèle une expérience américaine. En deux jours, le pic de mélatonine (l'hormone du sommeil) avait avancé d'une heure trente chez neuf campeurs, et retardé d'une heure chez ceux qui étaient restés chez eux. "Curr. Biol.", fév. 2017

ON APPREND PLUS VITE UNE LANGUE SI ON L'A ENTENDUE BÉBÉ

C'est le résultat d'une étude menée sur 58 Néerlandais adultes, dont la moitié avaient passé les premiers mois de leur vie en Corée. Même s'ils n'avaient jamais parlé le coréen, ils l'apprenaient avec plus de justesse et de rapidité. "The Royal Soc. Pub.", janv. 2017

LE CURCUMA N'A FINALEMENT RIEN D'UNE ÉPICE "MIRACLE"

Vantée pour ses vertus prétendument anti-inflammatoires, antioxydantes et même anticancéreuses, cette épice indienne est une star parmi les ingrédients censés soigner de manière naturelle. Pourtant, aucun effet thérapeutique n'a pu être prouvé : c'est ce qui ressort de la synthèse de milliers d'études et de 120 essais cliniques menés sur la curcumine, son principe actif. Alors d'où vient sa réputation ? Des résultats prometteurs que la curcumine affiche systématiquement lors des premières phases de tests *in vitro*, mais qui constitueraient une fausse piste : elle a en effet tendance à se lier à toutes les molécules du test, sans pour autant avoir d'action spécifique dans le corps humain. "J. Med. Chem.", janv. 2017

**N'OUVREZ VRAIMENT PAS LA CAGE AUX OISEAUX !**

Ils sautillent et chantent dans leur cage... mais nos oiseaux de compagnie sont loin d'être inoffensifs pour les écosystèmes ! Alors mieux vaut ne pas faire comme dans la chanson et veiller à bien refermer leur cage, voire ne pas en acheter du tout. Car leur libération, intentionnelle ou accidentelle, est la principale source d'espèces invasives d'oiseaux depuis les années 1950, conclut une vaste étude internationale qui a retracé tous les déplacements d'oiseaux entre 1500 et 2000. Dans les récentes décennies, ce sont surtout ceux venant d'Inde, d'Indonésie ou d'Afrique qui ont gagné de nouveaux territoires : des perruches, perroquets, mainates et pinsons, soit les plus populaires oiseaux de compagnie. Et l'invasion s'est accélérée : il y a eu davantage d'introductions d'espèces entre 1983 et 2000 (324 dans 235 pays) qu'entre 1500 et 1903 (245 dans 167 pays). "PLOS Biol.", janv. 2017





LA MÉTÉO N'A PAS D'INFLUENCE SUR LES RHUMATISMES

"Le temps a changé!" Nombreux sont ceux qui disent ressentir les variations météorologiques dans leurs os ou leurs articulations. Or, deux études réalisées en Australie sur plus de 1 000 personnes mettent à mal cette croyance. Pendant plusieurs mois, l'évolution de la météo locale a été comparée aux douleurs déclarées quotidiennement par les patients. Au total, 981 d'entre eux ont dit souffrir d'un lumbago, et 171 d'une recrudescence des douleurs dans les genoux dues à leur arthrose. Les résultats sont sans appel : que ce soit la pluie, la vitesse du vent, la pression atmosphérique ou la température, aucune variation dans les facteurs météorologiques n'était associée aux épisodes douloureux! Notre cerveau a tendance à trouver des liens de cause à effet entre des événements qui ne sont pas forcément reliés dans la réalité, rappellent les chercheurs... "OARSI" et "Pain Med.", déc. 2016

PAS PLUS DE DEUX STEAKS PAR SEMAINE!

Nos assiettes ne devraient pas contenir plus de 25 g de charcuterie par jour et plus de 500 g de viande (hors volaille) par semaine. En contrepartie, il est recommandé de manger plus de légumineuses (lentilles, fèves, pois chiches...). "Anses", janv. 2017

TROP S'ENTRAÎNER NUIT AUX NOUVEAUX APPRENTISSAGES

Réviser une leçon qu'on maîtrise déjà parfaitement rend plus difficile l'intégration de nouveaux enseignements peu de temps après. Sauf que dans le cas contraire, c'est la seconde leçon qui effacera en partie les bénéfices de la première... "Nat. Neuro.", janv. 2017

QUI APPRÉCIE L'HUMOUR NOIR FAIT PREUVE D'INTELLIGENCE

Un fort Q.I. et un haut niveau d'études : voilà le profil des personnes aimant le plus l'humour noir, selon des chercheurs autrichiens qui ont soumis 156 adultes à des blagues tendancieuses. Ceux qui ne riaient pas étaient aussi souvent les plus agressifs. "Cog. Process.", janv. 2017

DONNER DE L'ARACHIDE À UN BÉBÉ LIMITE BIEN LE RISQUE D'ALLERGIE

Alors qu'il était jusqu'ici recommandé de ne jamais exposer un bébé aux arachides avant l'âge de 1 an, les autorités sanitaires américaines invitent désormais à faire le contraire! Une décision motivée par de récentes études concluant que repousser l'introduction de cet aliment est contre-productif, comme nous vous l'indiquions en mai 2015. Les cacahuètes doivent être intégrées très tôt à l'alimentation, et ce d'autant plus que l'enfant présente des risques de développer des allergies : dès 4 à 6 mois (avec l'avis d'un médecin) pour ceux souffrant d'une allergie aux œufs ou d'un eczéma sévère. "NIAID", janv. 2017



La roue qui peut rendre tous les vélos électriques

Comment transformer son vélo en vélo électrique? Tout simplement grâce à une roue équipée d'un moteur électrique, répond l'américain GeoOrbital. Cette roue, qui pèse 9 kg, s'adapte sur n'importe quel vélo de route. Son moteur de 500 W et sa batterie lithium-ion de 360 Wh sont fixés sur son châssis en aluminium qui ne tourne pas. L'avantage de cette solution? Elle permet de limiter les masses en mouvement et d'assurer un bon confort. Son pneu plein en mousse haute densité empêche toute crevaisson. Compatible avec les roues 700 C de 28 et 29 pouces (une version 26 pouces est prévue), ce

dispositif s'installe, selon GeoOrbital, en moins d'une minute. Il permet de se déplacer à 32 km/h avec une autonomie variant de 32 à 80 km selon que l'on pédale ou non. La batterie se recharge (un peu) au freinage, et sur une prise domestique en trois à quatre heures. Mais attention: en France, cette roue n'est pas compatible avec la réglementation des vélos à assistance électrique (VAE), car sa puissance l'assimile à un cyclomoteur. Cela implique donc de porter un casque, d'assurer son deux-roues et de le doter d'une immatriculation.

B.P.

Prix: env. 900 € (version 28 pouces),
frais d'envoi: 155 €
Rens.: www.geoo.com



Une box à traiter ses déchets dans sa cuisine

Pour réduire le volume de nos poubelles, on peut composter ses déchets alimentaires organiques. Sauf que l'on n'a pas toujours la place, ou un jardin... Pour y remédier, le fabricant néerlandais Qlima propose une alternative: les déshydrater dans sa Bio Station WR01, un appareil compact (27x28x35 cm), d'une capacité de 5 litres à poser sur le plan de travail de sa cuisine. Branché sur une prise murale, il permet, au bout de dix-neuf heures, de réduire de 80 % le volume de ses déchets. Et le tout sans mauvaises odeurs grâce aux deux filtres à charbon actif situés à l'arrière de l'appareil.

L.B.

Prix: env. 250 €. Rens.: www.qlima.fr

LE COIN DES PROTOTYPES



Des baskets en fibre naturelle biodégradable

Faire littéralement disparaître ses vieilles baskets au lieu de les jeter à la poubelle ? On y vient avec les Futurecraft Biofabrics élaborées par Adidas. A la place des fibres synthétiques ? Une fibre 100 % naturelle et biodégradable qui imite la soie des araignées. Ce qui permet, lorsqu'elles sont devenues inutilisables, de les dégrader presque totalement (hormis la semelle) en les plaçant dans un bain d'enzyme spécifique pendant 36 à 48 h. Autre avantage, *dixit* Adidas : elles pèsent 15 % de moins que les modèles habituels, tout en étant aussi résistantes. Le fabricant envisage de les commercialiser à moyen terme.

L.B.

Rens. : www.adidas.fr/futurecraft

DR

< Attention : GeoOrbital transforme votre vélo en cyclomoteur qu'il faudra immatriculer car il pourra rouler jusqu'à 32 km/h.



La réalité virtuelle enfin jusqu'au bout des doigts

Pour plonger dans la réalité virtuelle et mieux interagir avec les objets, la société américaine Oculus Touch présente des manettes sous la forme de deux poignées : elles détectent les mouvements de vos mains et la position des doigts (pouces, index, majeurs). Couplées au casque Oculus Rift, elles permettent de voir les mains apparaître en 3D tandis que les trois doigts peuvent être levés ou pliés (pour saisir un arc par exemple et tendre la corde avec les doigts). Une caméra USB connectée au PC permet, après un calibrage initial, de modéliser l'espace physique dans lequel vous allez jouer en faisant apparaître, dans la réalité virtuelle, des lignes bleues.

S.F.

Prix : env. 200 €. Rens. : www3.oculus.com

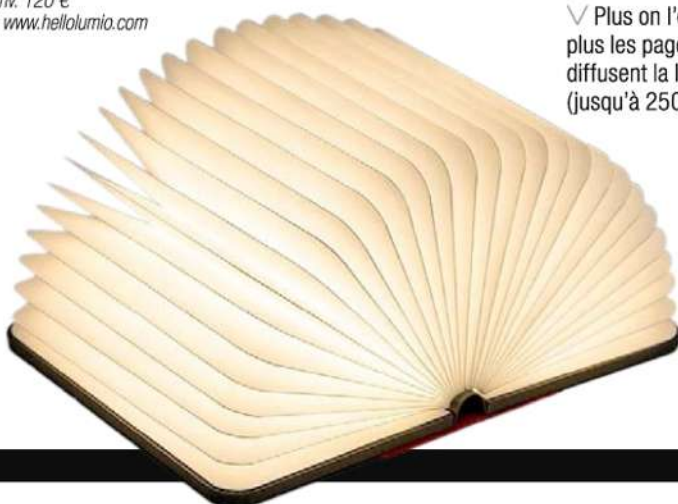
^ Ces Oculus Touch permettent aussi de modéliser pouces, index et majeurs pour mieux interagir avec les objets.

Le livre avec port USB qui fait lampe lorsqu'on l'ouvre

Venu de Californie, le petit carnet Mini Lumio+ (9,5x14,1x2,9 cm) s'ouvre comme un livre, à 180 ou 360 degrés, pour fournir à tous moments un éclairage d'appoint (de 250 lumens seulement). La nouveauté ? Il fait aussi office de chargeur pour smartphone. Sa batterie lithium-polymère intégrée assure en effet dix heures de lumière et l'équivalent de 4 cycles de recharge pour l'iPhone 6 grâce à son port USB.

L.B.

Prix : env. 120 €
Rens. : www.hellolumio.com



✓ Plus on l'ouvre, plus les pages du livre diffusent la lumière (jusqu'à 250 lumens).

Voici le premier robot maître d'hôtel

Les robots font un pas de plus vers nos maisons avec Aido, le petit nouveau de l'entreprise américaine Ingen Dynamics. Ce robot personnel d'un peu moins d'un mètre de hauteur se déplace aisément dans la maison à l'aide d'un système de navigation à billes. Mais la force d'Aido réside surtout dans sa polyvalence : il peut répondre à une commande vocale pour interagir avec

les appareils connectés de la maison (chauffage, lumière...). Equipé d'un projecteur, il peut également envoyer des vidéos directement sur un mur. Sans compter que grâce à la technologie du *deep learning* (apprentissage profond) et à la reconnaissance faciale, il peut aussi identifier rapidement un invité qui frappe à la porte et l'escorter jusqu'au salon.

S.D.

> Il répond aux commandes vocales, reconnaît vos invités et les accompagne au salon...

Prix : env. 600 €
Rens. : www.aidorobot.com



Le premier vélo électrique adapté... à la marche à pied !

Ce vélo n'a pas de pédales. Pour le faire avancer, il faut... marcher au rythme de son tapis roulant ! Le Lopifit, imaginé par le hollandais Bruin Bergmeester, est un vélo électrique destiné aux adeptes de la marche à pied. Pour le démarrer ? Il suffit de tourner la clé de

contact de la batterie située sous le porte-bagages – autonomie de quatre heures pour autant de charge et une portée de 50 à 70 km – puis de le pousser comme une trottinette. L'assistance électrique prend immédiatement le relais, entraînant la roue arrière et le tapis à la

vitesse imposée par le moteur en fonction d'une des 6 vitesses sélectionnée sur le boîtier à affichage numérique situé sur le guidon : 5 km/h au maximum pour rouler à 25 km/h. Pour négocier pentes et virages sans avoir à marcher, le levier de la poignée gauche permet de débrayer le tapis, quand celui de droite freine les deux roues et stoppe le moteur. Le fabricant assure une prise en main rapide. **A.P.**

✓ Au lieu de pédaler assis sur une selle, le "cycliste" marche sur le tapis roulant qui entraîne la roue arrière.



Prix : env. 2000 €
Rens. : www.lopifit.com

Avec cet interphone connecté, on reçoit chez soi à distance

Un livreur sonne à la porte en votre absence ou vos enfants ont – encore – oublié leur clé ? Qu'à cela ne tienne : branché à votre interphone habituel et connecté au

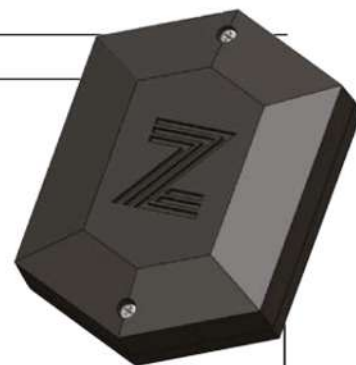
wi-fi de votre logement, le portier Classe 300 de Legrand transfère instantanément l'appel sur votre smartphone ! Vous pouvez alors visualiser le visiteur (si vous disposez d'un visiophone), lui demander de déposer votre colis chez le voisin, ou même ouvrir la porte à distance. Pratique ! **L.B.**

Prix : env. 700 €
Rens. : www.legrand.fr



< Classe 300 est un interphone directement relié à votre smartphone.

Une balise pour ne plus perdre ses skis



Le Ze Tracker, de la société française Z Safe Tech, est une balise hexagonale d'une cinquantaine de grammes que l'on fixe sur ses skis avec un simple adhésif. Connectée en Bluetooth avec votre smartphone, elle permet de les retrouver jusqu'à 30 m de distance, y compris sous la neige. Elle peut aussi envoyer une alerte à votre smartphone si vos skis se déplacent sans vous ! Et elle résiste aux chocs, à l'eau et à des températures pouvant descendre jusqu'à -40°C. Mais attention : la batterie, d'une autonomie de deux cents heures, n'est pas rechargeable (il faudra donc la changer...). **S.F.**

Prix : env. 100 €. Rens. : www.zsafetech.com

A quoi sont dues les hallucinations ?

Question de T. Rouvet, Vichy (03)

Qu'elles soient visuelles, auditives, ces fausses perceptions pourraient être la conséquence d'une perte du contrôle de l'imagination. Ou d'un dysfonctionnement de la capacité cognitive à classer les événements en faits imaginaires ou réels. Ou encore d'une élimination exagérée de synapses lors du développement du cerveau qui mènerait à la perception de mots inexistantes... Bref, les spécialistes ont beau étudier les hallucinations avec des techniques d'imagerie de plus en plus sophistiquées, impossible d'identifier une cause unique. Sans doute parce que différentes anomalies cérébrales pourraient être impliquées, selon les cas

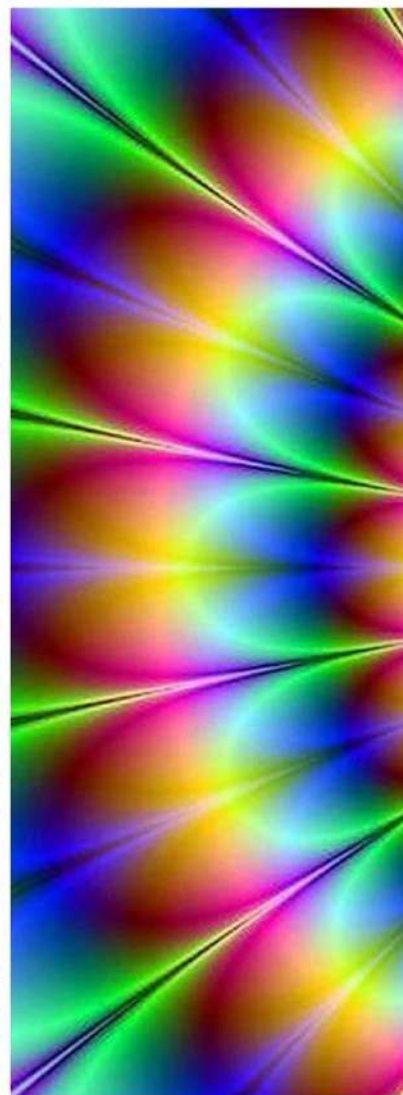
(maladie psychiatrique; prise de médicaments ou de drogues; réaction du cerveau à une amputation, une cécité ou une surdité).

DES ERREURS D'ATTRIBUTION

Reste que l'explication la plus courante est que les hallucinations découlent d'une erreur d'attribution des *stimuli*: le cerveau ne réalise pas que les sons, images et sensations perçus sont produits par lui-même. *"C'est le trouble de la distinction soi/non-soi, précise Renaud Jardri, professeur de pédopsychiatrie au CHRU de Lille. Chez les patients souffrant de schizophrénie, ce trouble pourrait découler d'anomalies cérébrales identifiées en imagerie par plusieurs*

équipes, dont la nôtre." Ainsi, dès 2002, une étude menée chez des patients souffrant d'hallucinations auditives a démontré que lorsqu'ils parlent, l'aire de Wernicke et l'aire de Broca, deux régions du cerveau impliquées dans la perception du langage, ne s'activent pas simultanément comme elles le devraient. D'après les auteurs, *"cela pourrait contribuer à l'erreur d'attribution de ses propres pensées à une source externe"*. Mais à quoi sont dues ces anomalies? Existence-elles en dehors de toute maladie? *Quid des hallucinations autres qu'auditives? A ce jour, les scientifiques n'ont pas de réponses précises à ces questions.*

K.B.



D'où vient le sens des aiguilles d'une montre ?

Question de G. Villers, Anstaing (59)

Du cadran solaire! Représentant l'un des tout premiers outils conçus par l'humain pour mesurer l'écoulement du temps durant la journée (les modèles connus les plus anciens datent de -1 500 ans), cet instrument est doté d'un style planté sur une surface plane dont l'ombre indique l'heure. *"La direction et la longueur de cette ombre varient selon la position du soleil,*

explique l'astrophysicien belge Emile Biémont. Or, dans l'hémisphère Nord, où a été inventée l'horloge mécanique, sans doute vers la fin du XIII^e siècle, l'ombre du style tourne de gauche à droite; soit... dans le sens des aiguilles d'une montre." Si les horloges avaient été inventées dans l'hémisphère Sud, on aurait vraisemblablement adopté le sens inverse!

K.B.





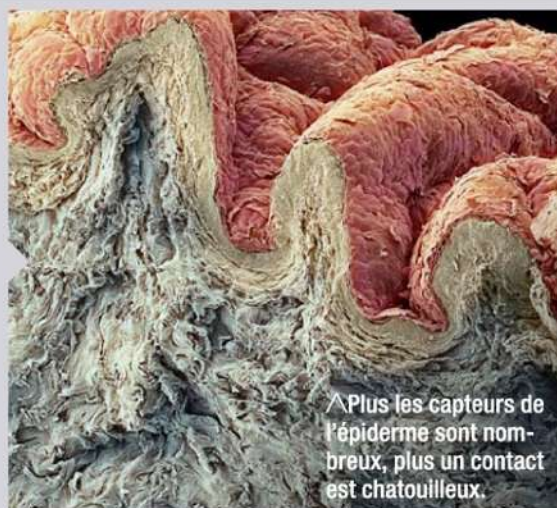
^ Une hypothèse se dégage : le cerveau attribuerait à une origine extérieure ce qu'il produit lui-même.

Pourquoi certaines zones du corps sont chatouilleuses ?

Question d'A. Chareyre, Valence (26)

Parce que toutes les parties de notre corps ne sont pas dotées des mêmes récepteurs sur leur surface. Le chatouillement est en effet un réflexe nerveux : un contact envoie un signal électrique au cerveau qui n'a pas le temps d'être interprété et déclenche alors un mécanisme de défense, le rire. Mais pour que le signal soit transmis, il doit d'abord être capté par des récepteurs tactiles à la surface de la peau. Or, ces récepteurs sont plus nombreux sur le tronc, sous les pieds et sous les aisselles que sur les bras ou les jambes...

F.C.



^ Plus les capteurs de l'épiderme sont nombreux, plus un contact est chatouilleux.

D.R. - STEVE GSCHMEISSNER/SPL/COSMOS - A. DAGAN

Que restera-t-il à la fin dans l'Univers ?

Question de M. Desse, Saint-Etienne (42)

Une soupe diluée d'électrons, de positrons, de neutrinos et de photons... Ou de minuscules billes de fer de moins de 20 microgrammes ! Les deux scénarios sont possibles, selon la stabilité ou non du proton. *"Le modèle standard le considère comme très stable, explique Alain Riazuelo, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Mais les spécialistes sont convaincus qu'une physique existe au-delà de ce modèle et qu'elle imposera une finitude à la*

durée de vie du proton." Dans les deux cas, tout commencera par l'extinction des étoiles, qui se transformeront en cadavres stellaires : étoiles à neutrons, trous noirs ou naines blanches.

DES ASTRES SOLITAIRES

Dans 100 000 milliards d'années (10^{14}), les galaxies auront fusionné avec leurs voisines et perdu de vue les autres sous l'effet de l'expansion. Entre-temps, les étoiles auront englouti leurs plus proches planètes. Les

autres seront éjectées au hasard du rapprochement des systèmes stellaires. D'après les spécialistes, dans 10 millions de milliards d'années (10^{16}), planètes et cadavres d'étoiles erreront, solitaires, dans l'Univers.

Dans 10 000 milliards de milliards d'années (10^{22}), fini les galaxies spirales, il ne restera que leur trou noir supermassif central. C'est là que l'histoire se sépare en deux voies (soupe ou billes), qui chacune se poursuit vers l'infini (voir infographie).

"A moins qu'entre-temps ne survienne un événement catastrophique sur une échelle de temps plus courte qui modifie les lois de la physique", avertit Alain Riazuelo. L'énergie noire, par exemple, pourrait ne pas conserver les propriétés qu'on lui connaît et faire entrer l'Univers dans une phase de contraction, ou au contraire d'expansion exponentielle, interrompant cette infinie monotonie en tuant littéralement le temps. **B.R.**

Faut-il saler l'eau des pâtes quand elle bout ou avant ?

Question de M. Dupré, Le Havre (76)

Selon les sites spécialisés en cuisine ou les fabricants de pâtes, la réponse est unanime : il faut le faire avant ! Mais pourquoi ? Lubie de cuistot ou geste fondé scientifiquement ? *"Je n'ai trouvé aucun article scientifique consacré à la question",* lâche Anne

Cazor, docteur en gastronomie moléculaire et directrice de la société de conseil en innovation alimentaire Scinnov. Pour autant, selon la spécialiste, c'est une question de bon sens : si l'eau est salée avant d'y plonger les pâtes, le sel aura eu le temps de se solubiliser et c'est donc une eau salée qui pénétrera dans les pâtes dès le début de la cuisson. Dans le cas inverse, l'eau qui gagnera le cœur des pâtes, en début de cuisson, a toutes les chances d'être très peu voire pas du tout salée... et les pâtes risquent de paraître bien fades. L'empirisme culinaire vient des cuisines, non des labos ; il n'en est pas moins fondé. **M.G.**



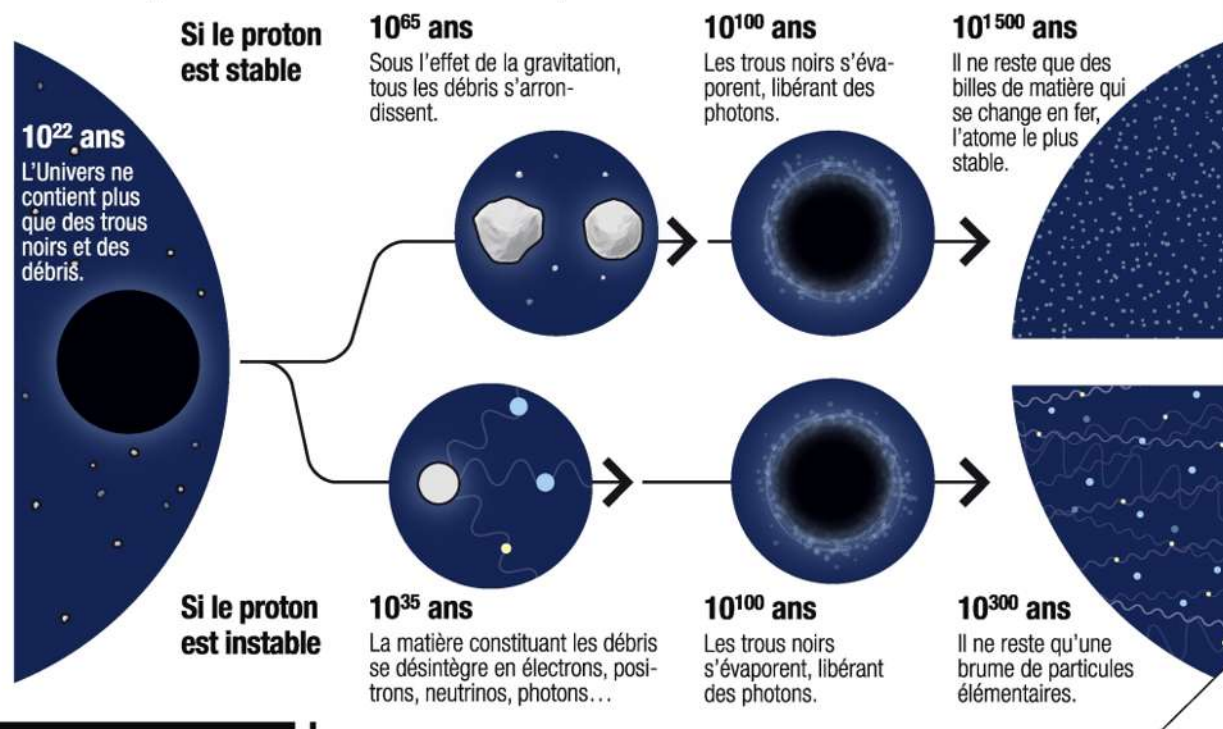
Les ani

Question de C. Auffret,

Oui, non, peut-être... A vrai dire, aucun scientifique n'a de réponse tranchée sur la question. La plupart mettent de côté les insectes sociaux, capables de se sacrifier pour sauver leurs congénères. C'est le cas des fourmis (les fourmis ouvrières sont programmées pour sacrifier leur reproduction, voire leur vie) ; des termites (leurs soldats se comportent en kamikazes pour défendre leur colonie) ; des abeilles (pour se défendre contre un frelon, par exemple, elles forment un essaim autour de lui et battent frénétique-

SHUTTERSTOCK - A. DAGAN

Tout dépend de la stabilité du proton...



maux se suicident-ils ?

Amiens (80)

ment des ailes: l'augmentation de 2 à 3°C de la température est alors fatale au frelon... mais aussi à une grande partie des abeilles). *"Dans le cas des abeilles, la ruche constitue un organisme à part entière. Elles se donnent la mort pour défendre leur nid"*, estime Pierre-Henri Gouyon, spécialiste de l'évolution au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Il n'y a donc pas contradiction entre ces morts volontaires et le principe fondamental de la sélection naturelle: survivre pour transmettre ses gènes.

Sauf qu'au-delà des insectes, on a pu observer que certains dauphins préfèrent perdre la vie plutôt que d'abandonner leurs proches dans des situations désespérées, ou que des chiens peuvent se laisser mourir lorsque leur maître les abandonne...

RÉUSSIR LE TEST DU MIROIR

Mais les exemples sont trop sporadiques pour qu'il soit possible de conclure. *"Il n'existe aucune démonstration scientifique prouvant le suicide des animaux"*, admet Sergio Pellis, spécialiste de neurologie comportementale à l'université d'Alberta

(Canada). D'autant que certains chercheurs estiment, en accord avec la définition du suicide (l'acte délibéré de mettre fin à ses jours), qu'il faudrait d'abord prouver que les animaux ont conscience d'eux-mêmes. Vaste question! *"La conscience de soi est le fait d'être conscient d'être conscient"*, rappelle Georges Chapouthier, neurobiologiste et philosophe, directeur de recherche émérite au CNRS. *L'ébauche d'une conscience de soi a été démontrée chez les chimpanzés, les éléphants, les dauphins et certains oiseaux par le test du miroir.* Ce test confronte un animal portant une marque

sur le front à un miroir: ceux qui cherchent à effacer la marque démontrent qu'ils comprennent qu'ils observent leur propre reflet. *"Mais ce test a ses limites..."*, prévient Georges Chapouthier.

D'autres soulignent le risque de tourner en rond. *"C'est une espèce de tautologie. On définit le suicide en disant qu'il nécessite une reconnaissance de soi, ensuite on dit qu'il n'y a pas de reconnaissance de soi chez les animaux, donc que les animaux ne se suicident pas! Ça me gêne un peu..."*, réagit Pierre-Henri Gouyon. Bref, la question reste ouverte, et le débat vif!

A.P.

Comment agissent les destructeurs d'odeurs ?

Question de T. Pfister, Tours (37)

La plupart des désodorisants ou des déodorants sont ni plus ni moins des parfums qui couvrent l'odeur à éliminer, sans la supprimer ! Après leur évaporation ou leur dispersion, l'odeur de base, restée présente, est de nouveau perceptible. Certes, il existe bel et bien des produits qui, sur le papier, contiennent des molécules – souvent des aldéhydes ou des huiles essentielles – qui réagissent avec le gaz odorant pour le transformer en une odeur plus agréable... mais la plupart ne sont pas efficaces.

Une étude menée sur ce genre de produits en 2014 par l'Ineris pour le compte des ministères de l'Aménagement du territoire et de l'Ecologie, et de l'Ademe a en effet conclu que *“les essais effectués, tant en laboratoires que sur sites industriels, n'ont pas permis de mettre en évidence une action significative”* pour deux produits testés sur trois. Elle conclut ainsi que la plupart des produits de pulvérisation peuvent apporter un réel confort olfactif, mais par simple effet de masquage, et non par la

neutralisation des polluants présents dans l'air malodorant. Les recettes contre les mauvaises odeurs restent donc

les mêmes : nettoyer pour enlever les molécules odorantes, et évacuer l'air nauséabond en aérant. **FC.**



< La majorité des désodorisants ne suppriment pas les mauvaises odeurs, ils ne font que les masquer.

C'est vrai que les oreilles grandissent tout au long de notre vie ?

Question de C. Larcher, Lyon (69)

Oui. Et le phénomène est clairement visible. Carsten Niemitz, biologiste à l'Institut de biologie humaine et d'anthropologie de Berlin a mesuré en 2007 les oreilles de 1448 volontaires âgés de 0 à 92 ans. Résultat : leur longueur atteint en moyenne 52 mm chez les nouveau-nés ; respectivement 61 mm et 65 mm chez les femmes et les hommes à 20 ans ; puis

72 mm et 78 mm après 70 ans. Soit, à partir de 20 ans, un taux de croissance de 0,19 mm/an chez les femmes et de 0,26 mm/an chez les hommes !

UN CARTILAGE ÉLASTIQUE

Pour l'expliquer, deux phénomènes sont invoqués : *“D'abord le cartilage qui constitue les oreilles – le cartilage élastique – continue de grandir tout*

au long de la vie, détaille le chercheur allemand. Mais, surtout, il perd en élasticité.” Comme un élastique détendu, les tissus de nos oreilles luttent de moins en moins efficacement contre la gravité et s'allongent donc au fil du temps. *“Cela pourrait constituer un avantage évolutif en compensant, au moins en partie, la perte d'audition liée à l'âge”*, avance Carsten Niemitz.

D'autant plus qu'il n'y a pas que les oreilles : le nez aussi est constitué de ce cartilage élastique... Lui aussi grandit donc tout au long de la vie. **C.H.**

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

EASYFOTOSTOCK/AGE FOTOSTOCK - SHUTTERSTOCK

Lors d'un arrêt en voiture, faut-il couper le moteur ou pas ?

Benoît Segui, Six-Fours-les-Plages (83)

Pour quelques minutes, mieux vaut le couper. La surconsommation de carburant au démarrage d'une voiture (et la pollution associée) n'est pas assez élevée pour justifier de laisser tourner son moteur. Mais pour quelques dizaines de secondes, comme lors d'un arrêt au feu rouge par exemple, cela dépend des cas et, surtout, de l'ancienneté de la voiture.

PAS LES MODÈLES RÉCENTS

"Il est préférable de couper les moteurs récents – sur les voitures de moins de 10 ans, essence ou diesel –, pour tout arrêt supérieur à quelques secondes", tranche Luis Le Moyne, ingénieur à l'Institut supérieur de l'automobile et des transports à Nevers. C'est d'ailleurs dans cette optique que s'est généralisé le système "stop & start", qui arrête automatiquement le moteur quand le véhicule s'immobilise. "En revanche, mieux vaut ne pas éteindre les moteurs plus anciens, notamment à froid, si l'arrêt dure moins d'une minute."

Dans les modèles anciens à essence, le carburant est en effet injecté relativement loin des cylindres (et non très près ou directement dans les cylindres, comme dans les voitures récentes). Or, "l'injection du combustible en amont des cylindres conduit à un dépôt important de ce dernier dans les conduits d'admission, particulièrement lors d'un démarrage à froid. Un dépôt qui peut atteindre 500 fois la masse nécessaire à la combustion et qui est perdu lors de l'arrêt du moteur", explique le chercheur.

Eteindre et redémarrer un moteur à essence ancien induiront une consommation de carburant et une pollution plus importantes que si on le laisse tourner au ralenti.

Idem pour les diesels : les modèles anciens à préchambre présentent aussi ce problème de dépôt au démarrage, qui est atténué dans les nouveaux moteurs à injection directe...

On récapitule, donc : pour minimiser la consommation de carburant ainsi que la pollution, mieux vaut éteindre les moteurs récents pour tout arrêt et laisser tourner les moteurs anciens jusqu'à une minute. **K.B.**



« Le Will Hunting du 21^e siècle » SHORTLIST



L'HOMME QUI DÉFIAIT L'INFINI

APRÈS « IMITATION GAME »,
L'INCROYABLE HISTOIRE VRAIE DU GÉNIE DES MATHÉMATIQUES.



LE 1^{ER} MARS 2017
EN DVD, BLU-RAY ET VOD

COMME AU CINÉMA

SCIENCE&VIE

PARIS
PREMIERE

Sortie en DVD de l'incroyable histoire d'un génie des mathématiques

Le mystère Ramanujan

Ce film pose une des questions les plus déroutantes de l'histoire des mathématiques : d'où Srivrinasan Ramanujan tirait-il son inspiration ? Comment ce jeune Indien autodidacte que rien ne prédestinait aux mathématiques a-t-il pu imaginer ces passerelles entre les nombres dont personne n'avait jusqu'ici soupçonné l'existence ? La question hante tous ceux qui se sont penchés sur les milliers de formules qu'il a tracées dans ses lettres et ses carnets il y a une centaine d'années.

DES INTUITIONS SIDÉRANTES

Au générique, défilent les longues lignes de ces arabesques très calligraphiques. L'amateur peut déchiffrer terme à terme ces suites vertigineuses de signes mathématiques plus ou moins élémentaires (sommes, produits, fractions, racines carrées d'une infinité de nombres, avec un Pi omniprésent et quelques fonctions plus sophistiquées, le tout relié par un intrépide signe égal). Le professionnel, lui, est frappé par les relations inattendues que ces signes esquissent entre des techniques mathématiques éloignées. Mais, au final, ce sont les

meilleurs experts de la théorie des nombres (le domaine de prédilection de Ramanujan) qui sont les plus sidérés : mais où est-ce qu'il a pu aller chercher tout ça ?

Ce fut Godfrey Harold Hardy qui, le premier, se posa la question. La scène est restée comme un des grands moments de l'histoire des mathématiques. Nous sommes en 1913, à Cambridge : l'illustre savant et son compère John Littlewood découvrent la lettre couverte de formules, sans aucune démonstration, que Ramanujan leur a envoyée depuis son petit poste de commis d'office à Madras. Le jugement que pose alors Hardy sur ces formules en dit long sur son degré de sidération : *"Elles devaient être vraies, parce que personne n'eût pu avoir l'idée de les concevoir fausses."*

Le film n'a pas besoin d'en rajouter : le destin de "l'homme qui défiait l'infini" est terriblement romantique. Ramanujan est invité à Cambridge en 1913 où il travaille avec Hardy, en particulier pour démontrer ses intuitions, avant de rentrer malade en Inde en 1919, où il meurt un an plus tard à 32 ans, en n'ayant jamais cessé de tracer les mystérieuses arabesques qui



► **L'Homme qui défiait l'infini**
 ► Un film de Matthew Brown
 ► Sortie en DVD le 1^{er} mars 2017

inspireront des générations de mathématiciens.

Face à l'insistance de Hardy, Ramanujan a pourtant esquissé une réponse : ses formules sont déposées la nuit sur ses lèvres par Namagiri Thayar, la déesse de sa famille. Humour typiquement anglais ? Et Hardy de répondre : *"Je ne crois pas en Dieu, mais je crois en toi."*

Cent ans plus tard, le mystère Ramanujan reste toujours entier, même pour les meilleurs spécialistes (voir interview ci-contre). Mais ce biopic soigné – belle distribution, beaux décors, description réaliste de l'activité mathématique – a le mérite de montrer ce qui peut l'être... car Ramanujan voyait des choses que personne d'autres ne voit. **H.P.**



◀ Ce biopic consacré à Srivrinasan Ramanujan, interprété par Dev Patel, permet d'approcher au plus près le travail mathématique.



S&V : En tant qu'expert de la théorie des nombres, comprenez-vous les ressorts de son inspiration ?

Don Bernhard Zagier : C'est évidemment la grande question. Tout le monde est mystifié. Personnellement, je me sens très proche des mathématiques de Ramanujan. Certaines de ses formules sont magnifiques, même les

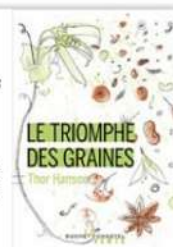


A voir, à lire

LIVRE

► **Le Triomphe des graines**

► De Thor Hanson
► Editions Buchet-Chastel
► 352 p., 22 €



Les graines, un sujet pour botaniste chevronné? Le livre du biologiste Thor Hanson se lit pourtant comme un essai très accessible. Son sujet: l'incroyable conquête du monde par les graminées, qui représentent aujourd'hui l'essentiel de l'alimentation mondiale. Rien d'étonnant quand on lit que la noix de coco peut voguer trois mois sur l'océan grâce à sa coque ultrarésistante, que la moutarde perçoit la position idéale du soleil pour germer même sous 2 m de neige, ou que les graines de pommier ont su s'entourer d'un fruit bien charnu pour tenter les animaux capables d'assurer leur dispersion... **V.N.**



DON BERNHARD ZAGIER

Directeur à l'Institut Max-Planck de mathématiques de Bonn, ancien titulaire de la chaire de théorie des nombres au Collège de France à Paris

Le mystère ne disparaîtra jamais... même pour les experts

plus simples. Mais la façon dont il faisait ses calculs reste à mes yeux très mystérieuse. Moi, par exemple, je me sers d'un ordinateur pour tester quelques cas particuliers, je griffonne des centaines de feuilles de calculs, mais lui manquait même de papier! Alors, soit il écrivait dans le sable, soit... je ne sais pas.

S&V: Ses formules ne sont-elles pas le reflet de notions plus abstraites sur lesquelles il appuyait son intuition?

D.B.Z.: Comme le film le montre très bien, Ramanujan ne cherchait pas des raisons structurelles à ses calculs. Aujourd'hui, on sait qu'une grande partie des formules qui ont tant choqué Hardy vient de ce qu'on appelle les "formes modulaires" – des fonctions particulières dotées d'une multitude de symétries. Si Ramanujan en a sûrement reniflé l'existence, il ne connaissait pas cette théorie – qu'il a apprise avec difficulté une fois en Angleterre. Et ses travaux

ont donné un grand élan à ce domaine. L'exemple le plus frappant se trouve peut-être dans sa dernière lettre à Hardy, où il aligne 17 formules. C'est seulement en 2002 qu'un de mes thésards, Sander Zwegers, a trouvé la base théorique de ces travaux. Mais, là encore, il est exclu que Ramanujan ait pu connaître cette théorie. Ce que l'on voit aujourd'hui derrière ses calculs, lui n'a pas pu le soupçonner.

S&V: Peut-on espérer un jour mieux comprendre ses intuitions?

D.B.Z.: Je ne crois pas. Les dernières formules de Ramanujan ont été démontrées il y a dix ans, mais le mystère ne disparaîtra jamais. Même pour les experts.

Propos recueillis par Hervé Poirier

LIVRE

► **La Chirurgie de l'âme**

► De Marc Lévêque et Sandrine Cabut
► Ed. JC Lattès
► 300 p., 20,90 €



Voilà un livre complet et dérangeant! Après le récit "chirurgical" des trépanations au néolithique, puis des prémices rocambolesques de la neurochirurgie du XIX^e s., le lecteur découvre que cette discipline, longtemps décriée pour la pratique de la lobotomie sur des individus jugés déviants, connaît une vraie révolution. De nouvelles perspectives s'ouvrent pour la "chirurgie de l'âme", portées par les progrès des neurosciences et des nouvelles technologies de neurostimulation; notamment contre certaines formes graves de dépression, de troubles obsessionnels compulsifs, d'addictions... **C.T.**

Printemps 1947

L'incroyable découverte des manuscrits de la mer Morte

Khalil Iskandar Sahî, surnommé Kando, se frotte les mains. Ce cordonnier de Bethléem, amateur d'antiquités, est sûr, en cette journée de printemps 1947, d'avoir fait une bonne affaire. Il vient d'acheter pour cinq petits dollars des manuscrits en peau qu'un Bédouin de la tribu des Ta'amireh aurait trouvés dans une grotte du Khirbet Qumran, près de la mer Morte. Seule l'histoire que lui a contée le Bédouin lui paraît un peu romancée.

Mohammad edh-Dhi'b, ou Mohammad le Loup, un autre Bédouin de sa tribu, aurait perdu

une de ses chèvres en faisant paître son troupeau dans les maigres prairies qui entourent le Qumran. L'ayant cherchée en vain à flanc de falaise, il se serait alors assis et aurait découvert l'entrée d'une grotte... au fond de laquelle il aurait jeté une pierre. Intrigué par un bruit de pot cassé, il serait revenu le lendemain pour l'explorer avec un cousin muni d'une corde.

Dans la caverne exiguë, il aurait alors découvert huit jarres et les restes éparpillés de nombreuses autres. Et dans l'une d'elles : trois rouleaux de cuir écrits à la main. Ce sont ces rouleaux,

et une multitude d'autres fragments, que Kando vient d'acheter, certain qu'ils sont vieux de plusieurs siècles.

CACHÉS DEPUIS 2000 ANS

Leur écriture est mystérieuse. Aucun des antiquaires de Bethléem auprès desquels il cherche conseil ne sait la déchiffrer. L'un d'eux, pourtant, finit par téléphoner, le 23 novembre 1947, à un ami archéologue, Eleazar Sukenik, professeur à l'université hébraïque de Jérusalem. Le pays est alors

sur le point d'être divisé en deux Etats, juif et arabe, par l'Organisation des Nations unies. C'est donc à travers les barbelés qui séparent Jérusalem en deux qu'il lui présente quelques fragments acquis par Kando. L'archéologue demande à voir d'autres pièces. Un bus arabe le mène le matin du 29 novembre à Bethléem, où il rencontre Kando, qui lui confie les trois rouleaux et les fragments pour les expertiser... tandis que la radio annonce la partition de



SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

1959 LE CHOC DES PREMIÈRES TRADUCTIONS

S&V recueille le témoignage de l'orientaliste français André Dupont-Sommer, qui a fait paraître une traduction d'une partie des manuscrits. *"Dès que j'eus traduit les premiers textes hébreux publiés, je reconnus immédiatement, en même temps que leur appartenance essénienne, des affinités étonnantes avec les écrits chrétiens primitifs"*, confie-t-il. La secte juidaïque des Esséniens (200 à 68 avant J.-C.) porterait donc les prémices du christianisme. Le reste des fragments est en train d'être assemblé au musée archéologique d'Israël, mais *"il faudra encore 50 ans pour ordonner les pièces du puzzle"*. S&V n° 496





la Palestine et la création de l'Etat juif.

Dès le lendemain, Eleazar Sukenik se presse de tout acheter. Et pour cause: ces manuscrits sont des textes bibliques vieux de près de deux mille ans! On y reconnaît des fragments d'Isaïe, une *Règle de la guerre* et un recueil d'hymnes. De son côté, l'archevêque Mar Samuel de Jérusalem acquiert quatre autres rouleaux, en mauvais état, et différents fragments que les Bédouins ont continué à ré-

△> Le site archéologique de Qumran, au surplomb de la mer Morte, abrite de nombreuses grottes: c'est au fond de l'une d'elles que le Bédouin Mohammad edh-Dhi'b (ici à g.) a découvert des jarres abritant des textes bibliques datés de l'époque du Christ.



cupérer dans la grotte. L'un contient le texte complet du *Livre d'Isaïe*. L'archevêque quitte Israël au printemps 1948, fuyant la guerre israélo-arabe, et se réfugie aux Etats-Unis avec l'espoir d'y vendre ses rouleaux à prix d'or. Il n'en tirera fina-

lement que 250 000 dollars, six ans plus tard, par le biais d'une annonce anonyme dans le *Wall Street Journal*, à laquelle répond, via un intermédiaire, le propre fils d'Eleazar Sukenik, pour le compte du gouvernement israélien.

En 1949, une équipe d'archéologues fouille la grotte et récupère de nouveaux fragments. Tandis que les Ta'amireh, attirés par de possibles gains, repèrent d'autres cavités et mettent en circulation de nouveaux manuscrits sur les →



1991 UNE VERSION NON AUTORISÉE DE 23 FRAGMENTS

En 40 ans, seuls un quart des manuscrits ont été traduits et publiés. *"Ce travail est non seulement inconcevablement long, mais encore masqué par un blocus de l'information"*, dénonce S&V. De fait, les traducteurs considèrent ces textes comme leur propriété exclusive. Mais *"une révolte s'est fomentée"*. Deux chercheurs américains ont établi, par ordinateur, *"une concordance, sorte de lexique qui permet de déchiffrer 23 fragments en hébreu, parmi les 570 trouvés dans l'une des onze grottes près de la mer Morte"*. S&V n° 890 @

1995 UN VRAI REPORTAGE SUR LA VIE DE JÉSUS

La Huntington Library, en Californie, publie les copies qu'elle possède des manuscrits sans l'autorisation de l'équipe officielle de recherche israélienne. Il ressort que *"la thèse de la dette idéologique de Jésus à l'égard de l'essénisme semble fondée, ainsi que l'avaient indiqué de nombreux spécialistes au vu des premières traductions"*. Les fragments analysés contiennent aussi deux versets en grec de l'Evangile selon Saint-Marc de la première moitié du 1^{er} s. (photo): *"un véritable reportage de la vie de Jésus!"* S&V n° 933 @



→ marchés de Jérusalem. Un jeu de piste s'engage avec les archéologues.

Onze grottes, en tout, seront découvertes à Qumran, tour à tour par les Bédouins et les archéologues, révélant les vestiges d'au moins 800 manuscrits écrits à l'encre noire sur des peaux, mais aussi du papyrus. Une myriade de fragments, photographiés à l'infrarouge (pour révéler les contrastes) qu'il faut trier.

À L'AUBE DES MONOTHÉISMES

Premier constat: ils renferment plusieurs écritures correspondant à des langues ou époques différentes. Une écriture paléohébraïque pour certains passages du *Pentateuque* ou du *Livre de Job*; une écriture juive à caractères carrés, utilisée à la fois pour l'hébreu et l'araméen; du grec... Mais aussi trois autres écritures aux caractères inconnus.

Si certains manuscrits sont en relatif bon état, comme *Le Rouleau du Temple*, d'autres sont en lambeaux ou décomposés. Le travail



△ Le décryptage de ces fragiles vestiges (ici en 1965 par Yigal Yadin et James Biberkraut) a permis de renouveler la lecture de l'Ancien Testament.

des épigraphistes s'étalera sur plusieurs décennies.

Rédigés entre le I^{er} siècle après J.-C. et le III^e s. avant J.-C. pour les plus anciens, ces manuscrits sont d'une valeur exceptionnelle. En précédant d'un millénaire les plus anciens manuscrits hébreux alors connus, qui dataient du X^e siècle, ils livrent un nouveau regard sur certains des textes dits de l'Ancien Testament, dont ils révèlent différentes versions, comme celles d'Isaïe ou de l'Exode, complétée de

nouveaux paragraphes. Les théologiens découvrent que plus de la moitié des livres de la Bible hébraïque étaient ainsi rédigés sous des versions littéraires différentes au temps de Jésus.

Pourquoi ont-ils été cachés dans ces jarres en terre cuite? Le site hébergeait entre 152 av. J.-C. et 68 ap. J.-C. une secte juive d'ascètes vivant hors de la compagnie des femmes: les Esséniens. Ceux-ci entendaient observer avec la plus grande rigueur la tradition

hassidique de la Loi juive. Sans doute pressentaient-ils une menace et ont-ils caché leurs livres sacrés "afin de les protéger jusqu'à ce qu'il soit possible de les ressortir de l'ombre en des temps plus sereins", suppose Emile Puech, spécialiste des Esséniens, dans un ouvrage paru en 2002. Car à cette époque, la menace a un visage: les Romains mettent en effet la région à feu et à sang durant l'été 68, détruisant le site.

Les jarres ont finalement rempli leur mission au-delà de toute espérance, préservant pendant des siècles un trésor qui n'a pas encore livré tous ses secrets. En 2016, 74 nouveaux éléments, sans doute conservés pendant des décennies par Kando et son fils, ont pu être étudiés par deux équipes de scientifiques. Et des archéologues israéliens ont fouillé une nouvelle fois les grottes du désert de Judée, à la recherche de nouveaux fragments inédits de ces textes sacrés au fondement des trois grandes religions monothéistes du monde. **E. Monnier**

LIG VIA GETTY IMAGES

SCIENCE&VIE en parlait encore

2004 LA HIGH-TECH À LA RESCOUSSE

La science innove pour "révéler ces récits fantômes hantant les vieux manuscrits". Leur grande fragilité interdit en effet parfois de les déplier. Même frustration pour les palimpsestes, ces parchemins sur lesquels un premier texte a été gratté pour y écrire un nouveau. "De nouvelles techniques d'imagerie numérique parviennent désormais à les décrypter", en détectant leur "signature spectrale": la réflexion lumineuse unique de l'encre du premier texte. **S&V n° 1041** @



2006 SCANDALE AUTOUR DE LA VIE DE JÉSUS

"Depuis le Da Vinci Code [...], nombre d'œuvres triomphent actuellement en prétendant révéler des secrets sur la vie de Jésus [qui aurait été mari et père] ou sur la possibilité de le cloner." Le problème: "Ces œuvres à succès ont en commun de brouiller les pistes entre fiction et réel." S&V déplore une "confusion des genres qui conduit de plus en plus aujourd'hui à prendre pour documentaire ou enquête ce qui est mâtiné de fiction". **S&V n° 1064** @



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-e



«L'ANNÉE VUE PAR... LES SCIENCES»

4 TABLES RONDES ET UNE LEÇON DE CLÔTURE
ANIMÉES PAR NICOLAS MARTIN (LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE)
EN PARTENARIAT AVEC SCIENCE&VIE ET LA CROIX
SAMEDI 25 FÉVRIER DE 10H À 18H
LA SORBONNE (PARIS)

10H-11H Système solaire : la ruée vers l'eau
11H30-12H30 Élections : science recherche programme désespérément...
14H-15H Le numérique fait-il de nous des numéros ?
15H30-16H30 Microbiote : ce que notre cerveau a dans le ventre
17H-18H Leçon de clôture par Hubert Reeves

Avec le soutien de



En partenariat avec

SCIENCE&VIE et

LA CROIX

ENTRÉE GRATUITE - INSCRIPTION OBLIGATOIRE
franceculture.fr
[#FCForum](https://twitter.com/FCForum)



ON NE VIT RIEN SI ON NE VIT PAS PLEINEMENT

Nouveau Volvo V90 Cross Country
ECHAPPEZ-VOUS



RCS Nanterre n° 479 807 141.

Volvo V90 Cross Country : Consommation Euromix (L/100km) : 5.1-7.7 - CO₂ rejeté (g/km) : 134-176. VOLVOCARS.FR