

GALAXIE PUPILLE PYGMÉES BINGE DRINKING SERPENT À 4 PATTES GÈNE
MURUROA ÉTOILE À NEUTRONS INTERFACE GESTUELLE SEGWAY EXOPLANÈTES

SCIENCE & VIE

SCIENCE & VIE

OCTOBRE 2015 N° 1177  MONDADORI FRANCE



NUTRITION

LES INCROYABLES
EFFETS DU MICRO-JEÛNE

NAVETTE SPATIALE

LE GRAND RETOUR

ON PENSE TOUS QUANTIQUE

- DES EXPÉRIENCES LE PROUVENT
- UNE NOUVELLE CLÉ POUR MIEUX SE CONNAÎTRE
- UNE RÉVOLUTION POUR LES NEUROSCIENCES

ACHATS SUR INTERNET

DES PRIX À LA TÊTE DU CLIENT!

France métro: 4,30 € - D.: 6,90 €
BEL: 4,70 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 €
DOM sur: 4,90 € - DOM avon: 6,90 €
ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € - PORT CONT:
4,90 € - CAN: 6,50 \$ CAN - MAR: 4,80 DH
TOMS: 7,90 CHF - TOMA: 1,400 CFP
GH: 6,95 FRS - TUN: 7,5 DTU



Née Faites

Nouvelle Audi R8.



Volkswagen Group France S.A. - RCS SOISSONS B 602 025 538. Audi recommande **Castrol EDGE Professional**.

Nouvelle Audi R8 : consommation en cycle mixte (l/100 km) : 11.4 - 12.3. Rejets de CO₂ (g/km) : 272 - 287.

sur la piste.
pour la route.



 Audi Sport

À la CASDEN, le collectif est notre moteur !

Banque coopérative créée par des enseignants, la CASDEN repose sur un système alternatif et solidaire : la mise en commun de l'épargne de tous pour financer les projets de chacun.

Comme plus d'un million de Sociétaires, faites confiance à la CASDEN !



Découvrez la CASDEN
sur www.casden.fr ou contactez
un conseiller au 01 64 80 64 80*



L'offre CASDEN est disponible
dans les Délégations Départementales CASDEN
et les agences Banques Populaires.

Accueil téléphonique ouvert du lundi au vendredi
de 8h30 à 18h30 (heure de Paris).
Appel non surtaxé. Coût selon votre opérateur.

casden 
BANQUE POPULAIRE

CASDEN, la banque coopérative de l'éducation, de la recherche et de la culture



Anne Debroise
a.debroise@mondadori.fr

Des abus démasqués

Des stylos dont le prix augmente de 40 % selon l'historique de navigation ; un appareil photo qui varie de 30 % selon la localisation de l'acheteur... Notre enquête le confirme, les algorithmes utilisés par les sites d'achat sur Internet permettent de réaliser ce vieux fantasme de vendeur : un prix qui varie selon le profil de l'acheteur. Si la pratique reste rare, tout semble réuni pour que le phénomène prenne de l'ampleur. Au risque de tuer le commerce en ligne.



Stefan Barenski
s.barenski@mondadori.fr

Le retour du rêve

Les vols *Apollo* vers la Lune sont à l'origine de ma passion pour l'espace. Pour l'adolescent que j'étais, l'avènement de la navette, en 1981, ouvrait les portes d'un avenir au-delà de notre planète. Mais si l'accident de *Challenger* fut un douloureux retour à la réalité, celui de *Columbia* fut un coup de grâce. Revenir aux capsules après trente ans de navettes était un violent retour en arrière. Heureusement, tous ne l'ont pas accepté. Et vu le nombre de projets actuels, l'avion spatial signe même son grand retour.



Hervé Poirier
h.poirier@mondadori.fr

Le vertige quantique continue de plus belle

Mais de quoi nous parle donc la mécanique quantique ? Nous avons consacré différents articles à ce vaste mouvement de réinterprétation du corpus de la plus fondamentale des sciences physiques suggérant que la mécanique quantique ne nous parle pas du monde mais des informations que nous avons dessus (en particulier en octobre 2005, puis en août 2013). Nous n'imaginions pas, à l'époque, que ce mouvement pourrait aller jusqu'à remettre en cause notre propre psychologie, en "modélisant les réponses des êtres qui pensent", comme le dit joliment le philosophe Michel Bitbol. Un nouveau champ de recherche *a priori* déroutant... Mais les arguments et les conséquences de cette "cognition quantique" nous ont paru assez forts pour y consacrer notre une.



Nouveau
Renault ESPACE

Le temps vous appartient.

Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 4,4/6,2. Émissions CO₂ min/max (g/km) : 116/140.
Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.

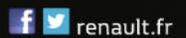
Renault recommande **elf** 



RENAULT
La vie, avec passion



Découvrez le parcours de Kevin Spacey sur espace.renault.fr



actus **20**

CHEZ LES GALAXIES AUSSI, LES GROS MANGENT LES PETITS

Les astronomes ont découvert une nouvelle galaxie naine...
 Les scientifiques ont découvert une nouvelle galaxie naine...
 Les astronomes ont découvert une nouvelle galaxie naine...
 Les scientifiques ont découvert une nouvelle galaxie naine...

Science & société **+240**

Achats sur Internet Des prix à la tête du client!

Préparer le "Big Data" pour mieux vendre...
 Les consommateurs ont des attentes...
 Les entreprises doivent adapter leurs stratégies...
 Les clients veulent des prix plus bas...
 Les entreprises doivent offrir une meilleure expérience client...

54

ON PENSE TOUS QUANTI QUE

Vous croyez être rationnels ? Faux. Ou plutôt, c'est vrai, mais quantiquement ! Car de récentes expériences le prouvent : lorsque nous pensons, hésitons, raisonnons ou prenons une décision, nous n'obéissons pas aux règles de la logique classique, mais à celles, étranges et biscornues, de la mécanique quantique, où les choses ne sont plus parfaitement définies mais intriquées, ubiques, oscillantes et superposées. Et voilà qui éclaire d'un nouveau jour toute la psychologie humaine : nos états d'esprit sont d'abord des états quantiques. De quoi mieux se comprendre et comprendre les autres...

ILLUSTRATION : V. CHARRIER D'APRÈS A. MINDE/PHOTO ALTO/CORBIS - SHUTTERSTOCK

PAR MATHILDE FONTEZ ET HERVÉ POIRIER

90

Le grand retour des avions spatiaux

Des avions spatiaux vont être lancés...
 Les agences spatiales se préparent à de nouvelles missions...
 Les technologies avancées permettent de nouvelles découvertes...

106

Objets connectés Vers les interfaces gestuelles ?

Les objets connectés révolutionnent notre quotidien...
 Les interfaces gestuelles offrent de nouvelles possibilités...
 Les technologies émergentes changent notre façon de vivre...

SCIENCE&VIE 8, rue François Ory 92543 Montrouge Cedex
 Tél. : 01 46 48 48 48 Fax : 01 46 48 48 67
 E-mail : svmens@mondadori.fr
 Recevez Science & Vie chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 129.** Pour commander d'anciens numéros, rendez vous sur www.kiosquomag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquomag.com.
 Un encart Abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro France Métropolitaine / Suisse / Belgique.

Un encart Science & Vie Voyages/Croisière Baltique est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Agenda QUINTESS est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart *Paris Match* est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart *Psychologies* est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine.

COUVERTURE : V. CHARRIER D'APRÈS A. MINDE/PHOTO ALTO/CORBIS - SHUTTERSTOCK

12 **Forum**

Actus

- 20 **Labos**
Chez les galaxies aussi, les gros mangent les petits; proie et prédateur, leur statut se lit dans leur pupille; on sait pourquoi les Pygmées restent petits; un oiseau est devenu polyglotte...
- 28 **Environnement**
Les volcans pilotent le climat depuis 2500 ans; les arbres améliorent vraiment la santé en ville...
- 32 **Médecine**
Un vaccin semble efficace à 100 % contre Ebola; l'obésité a un rôle mécanique dans le cancer du sein...
- 38 **Technos**
Un bras enfante des robots de plus en plus efficaces; l'imagerie pourrait progresser grâce à des coraux fluorescents...

Science & société

- 40 **Achats sur Internet**
Des prix à la tête du client!
- 46 **Pratique du "binge drinking" chez les jeunes**
"Boire à toute vitesse beaucoup d'alcool détruit la mémoire"
- 48 **Evolution de la loi de santé**
Le sport, un médicament comme un autre?
- 50 **Pollution lumineuse**
Il ne fait quasiment plus noir en France

A la Une

- 54 **On pense tous quantique**
- 56 Quatre tests qui le prouvent
- 66 *"La quantique est la science de la surface des choses"*: entretien avec Michel Bitbol, philosophe

Science & découvertes

- 70 Evolution
L'énigme du serpent à quatre pattes
- 73 Génétique
Arbre du vivant: un gène saute de branche en branche
- 76 Ecologie
Mururoa: la vie doit beaucoup au hasard!
- 82 Astrophysique
Tout l'or du monde vient d'étoiles à neutrons

Science & techniques

- 90 Aérospatial
Le grand retour des avions spatiaux
- 100 Mini-jeûnes
Une panacée à la portée de tous?
- 106 Objets connectés
Vers les interfaces gestuelles?

Science & futur

- 114 Le projet de base spatiale à imprimer en 3D sur la Lune; recycler les surplus de lait en sacs plastique est à l'étude; des cabines électriques et modulables sont envisagées pour limiter les bouchons; des drones pour surveiller les baleines; de petits bateaux solaires pourraient jouer les livreurs...

Culture science

- 122 **Bon à savoir**
- 124 **Questions/Réponses**
- 130 **A voir / à lire**
- 132 **Technofolies**
- 136 **Il y a...** 20 ans: Michel Mayor révélait la première planète extrasolaire

Partons à la découverte de nos origines

« Fascinant, brillant, clair, érudit... », « Une histoire des civilisations aussi saisissante que provocatrice et instructive, à l'encontre des idées reçues... »... Telles sont quelques-unes des critiques parues dans les plus grands quotidiens à la sortie de la traduction anglaise du livre de Yuval Noah Harari *Sapiens, une brève histoire de l'humanité*, en 2014.

Vous croyez tout savoir sur l'histoire de l'humanité ? Ou peut-être pensez-vous que tout a été dit, expliqué ? Alors, plongez-vous dans le livre de Yuval Noah Harari, tout juste traduit en français.

Audacieux, érudit et un peu provocateur, *Sapiens, une brève histoire de l'humanité*, mêle l'histoire à la science, et remet en cause tout ce que nous pensions savoir sur l'humanité : nos pensées, nos actes, ou notre héritage... Et notre futur. Passionnant.

Harari nous pousse à imaginer un monde différent...

DE L'ANIMAL AU SAPIENS MODERNE

Harari nous transporte dès la première page aux origines de notre histoire, lorsque l'*Homo sapiens* fit son apparition, il y a environ 70 000 ans. Nous sommes littéralement happés par la façon imagée et détaillée dont il nous raconte cette histoire, la nôtre. Il nous explique qu'il y a six millions d'années, « une même femelle chimpanzé eut deux filles : l'une qui est l'ancêtre de tous les chimpanzés ; l'autre qui est notre grand-mère ». Partant de ce fait, il aborde les plus grandes questions de l'humanité en liant histoire, biologie, philosophie et économie.

ET SI...

Harari chamboule toutes nos connaissances, et remet en question certains acquis en soulevant des hypothèses : l'*Homo sapiens* est la seule espèce humaine à avoir survécu, c'est un fait. Mais comment aurions-nous évolué si les hommes de Néandertal et les Denisoviens avaient survécu à nos côtés ? Quel genre de sociétés, de cultures ou de systèmes politiques aurions-nous dans un monde où auraient coexisté plusieurs espèces d'hommes ? Harari nous pousse à la réflexion, explique des faits mais se plaît également à imaginer un monde différent.

NOTRE DEVENIR

Yuval Harari ne se contente pas de nous apprendre énormément de choses, il soulève des questionnements passionnants. En analysant les processus qui ont façonné l'humanité et le monde qui l'entoure, de la révolution cognitive à la révolution scientifique, en passant par la révolution agricole, jusqu'au capitalisme et notre société consumériste, il décrypte notre façon de vivre actuelle, et tente de comprendre comment et pourquoi nous en sommes arrivés là, et à quoi pourrait ressembler notre futur. Sommes-nous plus heureux que nos cousins chasseurs-cueilleurs ? Comment allons-nous continuer à évoluer face à la recherche scientifique qui ne cesse de progresser ? Yuval Harari nous livre ses réflexions, et nous fascine.

L'espèce humaine est sur le point de prendre les décisions les plus lourdes de conséquences depuis sa création.



À PROPOS DE L'AUTEUR

Comment vous est venue cette envie d'écrire sur un sujet aussi ambitieux que l'histoire de l'humanité ?

Y. N. : Il me semblait urgent d'accéder à une vision globale de l'humanité, car l'espèce humaine est sur le point de prendre les décisions les plus lourdes de conséquences depuis sa création, et de redéfinir la trajectoire et le sens même de la vie.

Votre façon de nous raconter cette longue évolution en mêlant histoire, biologie, philosophie et économie passionne les lecteurs du monde entier. Mark Zuckerberg lui-même, le fondateur de Facebook, a déclaré votre livre *Libre de l'année 2015*. Comment expliquez-vous un tel engouement ?

Y. N. : Je pense que le livre a reçu un accueil positif car il répond à un véritable besoin. Nous vivons dans un monde global, mais les écoles et les livres continuent de nous raconter des histoires de « paroisse » sur un pays, ou sur une culture particulière. La réalité est qu'il n'y a plus un seul pays

indépendant dans le monde. Notre planète est toujours divisée en 200 pays différents, mais ils dépendent tous de forces économiques, politiques et culturelles qui sont, elles, globales. Les principaux problèmes auxquels nous faisons face sont également globaux par nature.

Vos analyses sont pertinentes et novatrices. Par exemple, vous expliquez que les femmes sont aussi fortes que l'homme, et « qu'elles sont généralement plus résistantes à la faim, à la maladie et à la fatigue ». Le féminisme a-t-il toujours raison d'être en 2015 ?

Y. N. : Le féminisme a été l'une des révolutions les plus importantes du siècle dernier. Il a défié et renversé avec succès des structures sociales soi-disant « naturelles » qui avaient perduré durant des milliers d'années, et avaient survécu à d'innombrables autres révolutions. Le succès relatif du féminisme devrait également nous faire repenser notre histoire. Comment les hommes ont-ils réussi à dominer la plupart des sociétés humaines du passé ?

Yuval Noah Harari

Docteur en histoire, diplômé de l'Université d'Oxford, Yuval Noah Harari, 39 ans, enseigne dans le département d'histoire de l'Université hébraïque de Jérusalem. 65 000 personnes sont abonnées à son cours en ligne *Sapiens, une brève histoire de l'humanité*. En 2012, il a reçu le prix Polonsky qui récompense la créativité et l'originalité des ouvrages de sciences humaines. Ses recherches actuelles abordent des questions d'histoire très générales sur les relations entre l'histoire et la biologie, la différence entre l'*Homo sapiens* et les autres animaux ou encore notre rapport au bonheur.

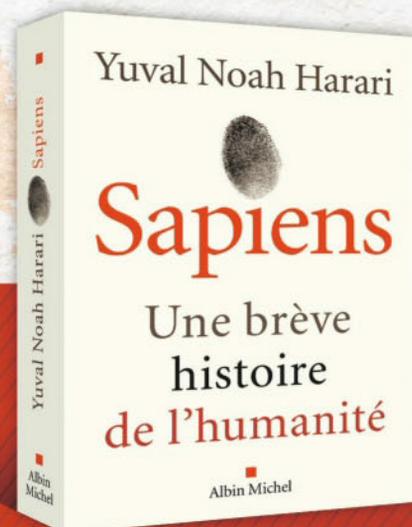
Pour plus d'informations :
www.ynharari.com/fr
<http://bit.ly/sapiens-fb>

Pour retrouver l'intégralité de l'interview, rendez-vous sur :
www.science-et-vie.com/sapiens-une-breve-histoire-de-lhumanite

JEU-CONCOURS

VENEZ VITE JOUER SUR
www.science-et-vie.com

et tentez de gagner l'un des 20 ouvrages mis en jeu dédicacés par l'auteur !



Forum

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

Et le gène des maths ?

Dans votre article sur l'échec de l'enseignement des mathématiques en France (n° 1176), vous expliquez que les bases du calcul seraient innées, plus ou moins accrues entre individus, et prédictives des futures capacités mathématiques. Mais seraient-elles aussi héréditaires ?

Gabriel Grécourt, Saint-Quentin

S&V La part de l'héritédité sur les capacités mathématiques a en effet été l'objet de plusieurs recherches. Dans les années 1960, une étude sur les jumeaux a conclu que l'héritabilité mathématique s'élevait à 50 % seulement. En 2009 et toujours chez des jumeaux, des chercheurs américains ont montré que le développement de la myéline, la substance blanche

Science Société

Plus de manuels et moins de bons élèves en maths

Echec des maths au collège
Les clés pour réussir malgré tout

Le bar chart shows a decline in math performance from 2008 to 2014. The text discusses the impact of manual textbooks and the need for better teaching methods.

de notre cerveau qui influence la vitesse de transmission de l'information neuronale, était aussi en partie régulée par l'hérédité. Et notamment dans le lobe parié-

tal, siège du fameux "sens du nombre". Mais les études sur les jumeaux sont très controversées, car elles présentent de nombreux biais. Et deux Nobels n'enfantent pas forcément un Einstein !

Plus que les capacités, il semble bien que ce soit plutôt le "goût" familial qui se transmet aux enfants. Ainsi, les parents mal à l'aise en maths ont tendance à communiquer leur stress à leurs enfants, selon une étude récente (lire "Bon à savoir" p. 123). Le sens des maths, c'est aussi une culture. Rappelons donc que ce "sens du nombre" peut être travaillé très tôt, et que cet effort se répercute sur les résultats futurs.

Concernant votre article sur le cyclisme en ville qui dénigre les automobilistes (n° 1175), je précise que le vélo est un mode de déplacement lent, fatigant et dangereux. Pour être cycliste, il faut le pouvoir !

Michel Annosse, Besançon



"La France sans nucléaire"... On oublie la demande

J'ai lu avec intérêt votre sujet. Cependant, il n'a peut-être pas assez traité la question de la demande. Car nous devons aussi modéliser les usages futurs. C'est tout le sens d'une analyse complète comme celle du scénario "négawatt", qui axe son projet sur trois volets : la sobriété des gestes (savoir consommer moins), la sobriété "structurelle" (isolation des bâtiments, amélioration des équipements...) et l'augmentation de la part des renouvelables.

Nicolas Perrot, Strasbourg

Pilosité : le facteur biologique sous-estimé

Permettez-moi d'apporter un regard plus nuancé sur la thèse défendue par M^{me} Touraille dans votre article sur la pilosité (S&V n° 1175). Sociologie et biologie s'influencent en permanence. La phrase: "La glabreté est érigée en marqueur du féminin et la barbe en marqueur du masculin" présente la pilosité comme un fait de sélection sociale. Or, elle fait partie des caractères sexuels émergeant à la puberté. Elle est fortement liée à la biologie, contrôlée par les hormones mâles, et accompagne les caractères dits mâles, comme la musculature, la morphologie...

Pr André Khayat, Caen

Rapatrier l'ISS sur Terre en pièces détachées

Dans votre article sur la Station spatiale internationale (S&V n° 1175), vous dites que l'ISS est condamnée. Cependant, ne serait-il pas possible de rapporter sur Terre ce chef-d'œuvre d'ingénierie, symbole de la collaboration humaine ?

Julien de La Villarmois, Paris

SV Les agences spatiales voudront sans doute rapporter sur Terre quelques équipements scientifiques parti-

culièrement précieux installés à bord de la Station spatiale internationale. La rapatrier en intégralité, en pièces détachées, c'est une autre affaire. Les modules de l'ISS ne sont pas dotés de boucliers thermiques adaptés pour une rentrée atmosphérique particulièrement délicate... à moins de faire appel à des navettes cargo volumineuses qui, pour l'heure, n'existent pas et qui ne font l'objet d'aucun projet sérieux pour la décennie à venir.

On en reparle



QUAND DES VOITURES SE FONT HACKER

Autos, webcams, pacemakers... A l'été 2014, nous consacrons un dossier à la sécurité des objets connectés (S&V n° 1163, p. 98). Ils seraient plus de 15 milliards en activité et les prévisions tablent sur plus de 100 milliards d'ici à 2020, dont 152 millions de voitures. Or, voici qu'un an après, deux nouveaux exemples viennent rappeler leur vulnérabilité. Fin juillet, c'est d'abord Fiat-Chrysler qui a été contraint de rappeler 1,4 million de véhicules après que deux experts en sécurité informatique, Charlie Miller et Chris Valasek, ont réussi à couper le moteur et les freins d'une Jeep Cherokee. Ils ont exploité une faille permettant d'entrer dans le système d'exploitation qui équipe des centaines de modèles du groupe. "Une porte béante", se pince encore Chris Valasek. Et de poursuivre : "Quand j'ai vu que nous pouvions sévir, installés depuis n'importe quel ordinateur, j'avoue, j'ai eu peur!" A condition toutefois de connaître l'adresse IP du véhicule et d'utiliser le même réseau mobile que celui-ci. Une semaine plus tard, deux experts informatiques ont révélé s'être introduits dans le système d'une Tesla S à l'aide d'un câble Ethernet. Une attaque à distance étant, dicit Tesla, impossible. Jusqu'à preuve du contraire, bien sûr. Ces deux hacks amicaux visaient à alerter les constructeurs sur l'urgence de mettre à jour leurs systèmes d'exploitation contre de possibles intrusions, ce qu'ils firent aussitôt. Mais ce ne sera peut-être pas toujours le cas.

E.T.-A.



PEUGEOT 2008 ET 3008

SÉRIE SPÉCIALE CROSSWAY

DE NOUVELLES SENSATIONS À DÉCOUVRIR



DÉCORS ET GARNISSAGE
BI-MATIÈRE CROSSWAY

MOTRICITÉ RENFORCÉE
GRÂCE AU GRIP CONTROL*

NAVIGATION,
BLUETOOTH ET PORT USB

NOUVEAUX MOTEURS
PureTech & BlueHDi

BETC Automobiles PEUGEOT 652 144 508 RCS Paris

ORIGINE
FRANCE
GARANTIE

BVCar.e 6033203

Venez découvrir la série spéciale Crossway et profitez d'une reprise Argus® + 2700 €⁽¹⁾ sur 2008 Crossway et d'une reprise Argus® + 5400 €⁽²⁾ sur 3008 Crossway.

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL

Consommation mixte (en l/100 km) : 2008 Crossway de 3,6 à 4,8; 3008 Crossway de 4,1 à 5,2. Émissions de CO₂ (en g/km) : 2008 Crossway de 95 à 110; 3008 Crossway de 106 à 115.

(1) Soit 2700 € ou (2) soit 5400 € ajoutés à la valeur de reprise de votre ancien véhicule de moins de 8 ans, d'une puissance réelle inférieure ou égale à celle du véhicule neuf acheté. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'Argus® du jour de la reprise, applicable à la version du véhicule repris, ou le cas échéant à la moyenne du cours des versions les plus proches de celui-ci, ledit cours ou ladite moyenne étant ajusté en fonction du kilométrage, des éventuels frais de remise en état standard et déduction faite d'un abattement de 15% pour frais et charges professionnels. Offre non cumulable, réservée aux particuliers, valable pour toute commande d'un 2008 Crossway ou 3008 Crossway neuf, commandé avant le 31/10/2015 et livré avant le 31/12/2015, dans le réseau Peugeot participant.

*En option sur 3008 Crossway.

PEUGEOT CROSSOVER

MOTION & EMOTION



PEUGEOT



On en reparle



ET PLUTON REDEVIENT LA REINE DE LA CEINTURE DE KUIPER

2370 km de diamètre. Telle est la taille de la planète naine Pluton, mesurée en juillet dernier par la sonde de la Nasa *New Horizons*. Naine, certes, mais il s'agit donc du plus gros objet de la ceinture de Kuiper, juste devant Eris et ses 2326 km de diamètre. L'information est piquante, car c'est précisément la découverte d'Eris (alors appelée Xena), en 2005, qui avait précipité la rétrogradation de Pluton du statut de "planète" à celui de "planète naine". A l'époque, non seulement Pluton n'était pas la seule de sa catégorie à orbiter dans cette région lointaine du système solaire, mais elle n'était même plus la plus grosse : son diamètre était alors estimé à 2270 km, contre 2400 pour Eris. L'Union astronomique internationale trancha en 2006 : pour obtenir le titre de planète, il faut avoir éliminé (englouti ou expulsé) tout corps susceptible de se déplacer sur son orbite proche (voir S&V n° 1069 p. 46) ; Pluton ne répondant pas à ce critère, elle fut reléguée à la catégorie des planètes naines avec Eris, Hauméa, Makémaké et Cérés, actuellement survolée par la sonde *Dawn* (Nasa). Pluton devient donc aujourd'hui la plus grande des "naines". Ironie : la nouvelle mesure de son diamètre indique qu'elle est moins dense et plus riche en glace que ce qu'on pensait (entre 35 % et 40 %, contre 60 % à 65 % de roche). En terme de masse, Pluton restera à jamais derrière Eris, qui lui est supérieure de 27 %.

B.R.

Peut-on parler d'intelligence pour un virus ?

La lecture de votre article sur le virus du sida (n° 1176) me rappelle une question que je me pose depuis longtemps. Si ce virus (et sûrement d'autres aussi, voire tous...) semble capable d'élaborer une stratégie, en l'occurrence réaliser un équilibre entre virulence et contagiosité, peut-on en conclure qu'il possède une forme d'intelligence ?

Jean-Michel Désir, Ardèche

S&V Evoquer la mise en œuvre d'une stratégie, d'un équilibre entre différentes forces (contagion et virulence), pourrait en effet laisser penser qu'il s'agit d'une bataille qui se livrerait consciemment, suggérant dès lors une forme d'intelligence, une "volonté". Mais dans la guerre entre le virus et l'homme, il n'en est rien ! La "stratégie" du virus n'est pas le fruit de son intelligence (dont il est dépourvu) mais celui de l'évolution et du hasard.

Le virus du sida, comme tous les autres virus, mais

aussi toutes les espèces vivantes, subit, au fil du temps, des mutations aléatoires. Et si, par chance, cette mutation confère à l'individu qui la porte un avantage quelconque par rapport à ses congénères, il aura une descendance plus importante et la mutation en question se répandra dans la population. C'est ce que l'on appelle la sélection naturelle.

Dans le cas du sida, les virus qui étaient trop virulents ont tué leurs hôtes avant que ceux-ci aient eu le temps de contaminer suffisamment d'autres personnes, entraînant par là même leur propre disparition.

Ce sont donc les virus dont le patrimoine génétique leur confère une virulence non pas maximale mais optimale (c'est-à-dire suffisante pour être contagieux mais pas trop pour ne pas tuer trop vite leur hôte) qui, au fil du temps, ont été sélectionnés. Au point de parvenir à un équilibre stratégique pour lequel le virus n'est finalement pour rien.

La boutique SCIENCE & VIE

Plus de

400

▶ Livres

▶ Objets scientifiques

▶ Idées cadeaux

www.laboutiquescienceetvie.com



Venise lance les pédalib'.

Si c'était vrai, France Info vous le dirait en premier.



Le réflexe info.

Nouvelles bases d'ADN : et les complémentaires ?

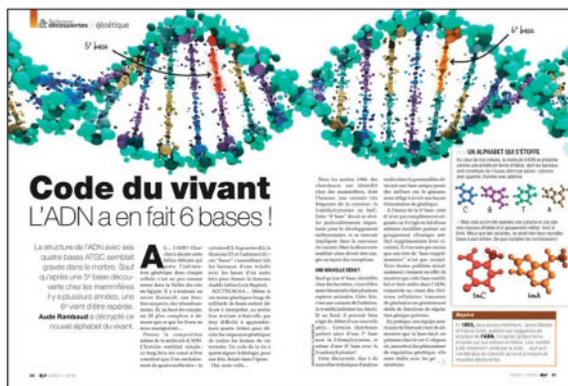


L'article "Code du vivant" a réveillé quelques souvenirs de mes cours de biologie... La molécule d'ADN se réplique à l'identique grâce à la particularité de ses bases qui s'associent deux à deux (A avec T et C avec G). Or, dans l'article, vous précisez que 5mC et 6mA sont stables et transmis de génération en génération. Est-ce à dire qu'il existe un G particulier qui ne s'associe qu'avec 5mC et un T spécial pour 6mA au moment de la méiose ? Car, sinon,

comment les cellules filles peuvent-elles "savoir" où ces bases particulières doivent être placées ?

Michel Carluuc, Quintin (22)

SV Votre question est excellente : non, il n'y a pas de base complémentaire spécifique G ou T pour les bases découvertes. En effet, ces 5^e et 6^e bases sont une cytosine et une adénine modifiées portant un groupement chimique méthyl supplémentaire. Or, les groupes méthyl des bases C ou A n'interfèrent



pas sur la liaison avec leurs bases complémentaires G ou T. Si les bases 5mC et 6mA sont bien transmises de génération en génération, cela résulte de modifications chimiques lors de la division cellulaire sur les bases originelles C et A. Les

mécanismes qui perpétuent ces méthylations au cours de la vie de l'organisme et chez la descendance sont complexes et différents chez la bactérie et chez les organismes dont les cellules ont un noyau renfermant l'ADN (les eucaryotes).

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

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

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Mathilde Fontez,
Vincent Nouyrigat, 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),
Boris Bellanger (chef de service
infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, S. Barensky, K. Bettayeb,
L. Blancard, B. Bourgeois, L. Bouyssou,
F. Cadu, J. Camuzard, T. Cavallé-Fol,
Y. Chavance, G. Girade, O. Capronnier,
A. Dagan, A. Debroise, S. Devos, S. Fay,
H. Gélot, F. Gracci, E. Haentjens, C. Hancok,
R. Ikonicoff, M. Kontente, O. Lapiro,
V. Marmont, C. Martin, E. Monnier,
A. Pihen, B. Rey, M. Saemann, Y. Sciama,
M. Spée, E. Thierry-Aymé

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

DIFFUSION

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

MARKETING

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

PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive),
Caroline Soret (directrice de groupe
commercial titres Automobile et Science),
Virginie Commun (directrice de publicité
adjointe), Lionel Dufour (directeur de
clientèle), Christine Chesse (assistante),
Stéphanie Guillard, Angélique Consoli,
Sabrina Rossi-Djenidi (planning), Stéphane
Durand (trafic), Jean-Jacques Benezech,

Grégory Gounse, Anne-Sophie Chauvière
(opérations spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD

(infolodon@publieurope.com –
44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich

(infomunich@publieurope.com
0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne

(infolausanne@publieurope.com
0041 21 323 3110);

Espagne : Publimedia Madrid

(infomadrid@publim-gestion.es
0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck,
Marie-Hélène Michon

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon,
Murielle Luche

EDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

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

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmina Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF – ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

Dépôt légal : octobre 2015

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,
CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

Par internet (taper directement dans votre
navigateur) : abo.scienceetvie.fr

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 SVV
sauf opposition motivée. Les informations
pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de
rectification dans le cadre légal. Les manus-
crits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue

François-Orly,

92543 Montrouge Cedex.

Par mail : sev.lecteurs@

mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES

ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@aboutiquescienceetvie.com



*Les Parisiens ne passent jamais le périph'.
Ça nous laisse quand même tout le reste.*



FORD EDGE
#PRENDREUNVIRAGE

Consommations et rejets de CO₂ en cours d'homologation. Modèle susceptible d'évoluer par rapport au modèle présenté et disponible courant 2016.

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





◀ L'immense NGC 6872 (au centre) aspire le gaz de la petite IC 4970 blanche (à sa droite), alimentant une flambée d'étoiles dans ses bras spiraux (en bleu).

ASTROPHYSIQUE

CHEZ LES GALAXIES AUSSI, LES GROS MANGENT LES PETITS

Le scénario est implacable : lors d'une rencontre rapprochée entre deux galaxies de tailles différentes, la grosse vampirise à coup sûr la petite. Elle aspire son gaz interstellaire et s'en sert comme matière première pour donner vie à une myriade de nouvelles étoiles. A l'inverse, la petite, dépouillée de son gaz, devient stérile. Avec son équipe,

Luke Davies, de l'université d'Australie occidentale, s'est plongé dans les données de Gama, un catalogue de plus de 300 000 galaxies. Il en a extrait 20 000 couples, dont il a scrupuleusement évalué les taux respectifs de formation d'étoiles (grâce à des traceurs comme le rayonnement infrarouge émis par le cocon de poussières qui abrite une

étoile venant de naître). Prenons ainsi deux galaxies de masses comparables, qui s'approchent à moins de 50 000 années-lumière l'une de l'autre : elles produiront chacune 50 % d'étoiles en plus. Mais si la première est trois fois plus massive que la seconde, son taux de formation stellaire augmentera de 50 %, alors que celui de la plus menue diminuera

de 50 %. *“La nouveauté de cette étude est qu'elle est quantitative, commente Françoise Combes, spécialiste des galaxies à l'Observatoire de Paris. Le grand nombre de galaxies observées la rend particulièrement solide statistiquement.”* Dans le ciel comme dans la jungle, c'est encore la loi du plus fort qui prévaut. **B.R.**

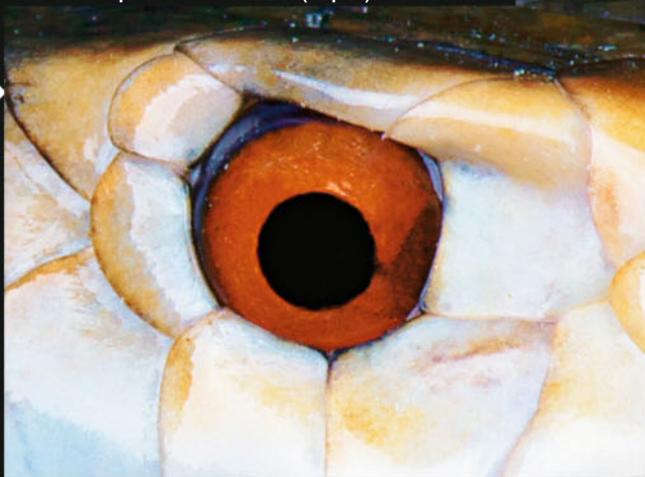
PHYSIOLOGIE ANIMALE

PROIE OU PRÉDATEUR, LEUR STATUT SE LIT DANS LEUR PUPILLE

Ronde, verticale ou, au contraire, parfaitement horizontale: la forme de la pupille d'un animal ne doit rien au hasard. Elle dépend directement de son statut de proie ou de prédateur. C'est ce qu'ont découvert des chercheurs de l'université de Californie en comparant, chez 214 espèces, la forme de leurs pupilles avec leur manière de s'alimenter et leur période d'activité (nocturne ou diurne). Les pupilles verticales sont ainsi caractéristiques des prédateurs qui chassent en embuscade le jour et la nuit (serpent, chat, renard...). "Le jour, elles améliorent la vue en profondeur et aident à mieux estimer les distances pour bondir sur les proies, précise Martin Banks, professeur d'optométrie à Berkeley

(Etats-Unis) et principal auteur de l'étude. *La nuit, elles s'ouvrent davantage, captent plus de lumière: l'animal voit mieux, alors que la visibilité est mauvaise, et peut donc chasser.*" Au contraire, la majorité des herbivores (mouton, antilope, cheval...) ont des pupilles horizontales: pour eux, l'important est de savoir où fuir. "En absorbant plus de lumière sur les côtés, la forme horizontale offre une meilleure vision panoramique", explique le chercheur. Les pupilles circulaires se trouvent, elles, chez des prédateurs qui chassent le jour (coyote), mais aussi chez certains herbivores (lapin). Enfin, les pupilles en amande (subcirculaires), plus rares, se retrouvent uniquement chez les prédateurs. **M.S.**

Circulaire: prédateurs diurnes (taïpan) et herbivores



Horizontale: proies (moutons)



17

C'est le nombre d'expressions faciales chez le cheval! Plus que le chimpanzé (13) ou le chien (16), mais moins que le chat (21) et l'homme (27). Pour arriver à ce résultat, des chercheurs ont répertorié tous les muscles faciaux du cheval, visionné des heures de vidéos et, enfin, entré la description de chaque expression dans un système de classification répertoriant chaque muscle impliqué **A.D.**

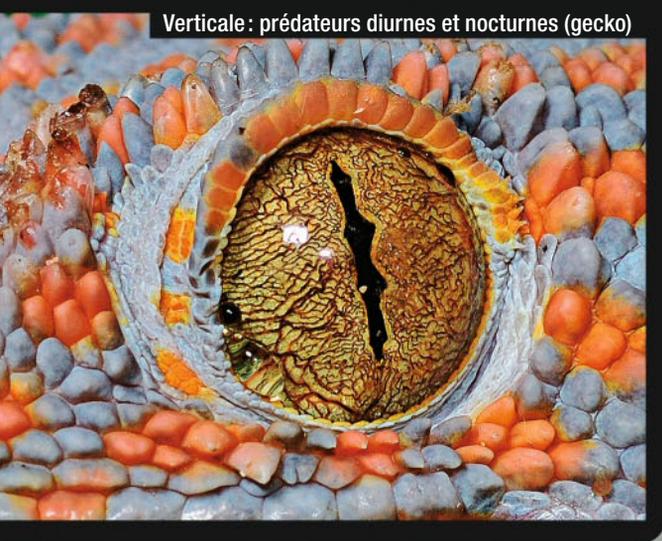
CHIMIE

Le goût du gras fait désormais partie des saveurs primaires

Après le sucré, le salé, l'acide, l'amer et l'umami (cher aux Japonais), la famille des saveurs de base accueille un nouvel entrant: *oleogustus*... le goût du gras. Des chercheurs américains ont demandé à des volontaires de distinguer différentes saveurs tout en prenant soin que texture, odeur et apparence ne laissent rien transparaître. Résultat: le gras est bien reconnu par notre palais comme une saveur à part. À forte concentration dans un aliment, son goût rejoint celui du rance, comme pour signifier de ne pas le consommer. Mais à faible dose, il en améliore la saveur et l'attrait... **M.S.**



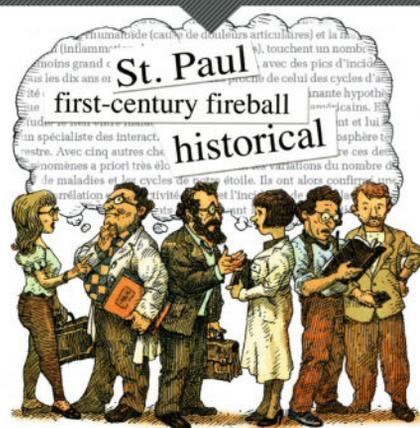
Subcirculaire : prédateurs uniquement (lynx)



Verticale : prédateurs diurnes et nocturnes (gecko)



✓ Comme le sucré ou le salé, le gras a un goût que notre palais est capable d'identifier.



Et si une météorite avait changé l'histoire du christianisme . . .

La conversion de saint Paul, qui joua un rôle majeur dans l'expansion du christianisme au 1^{er} siècle de notre ère, aurait-elle été influencée par la chute d'une météorite? C'est ce que prétend William Hartmann. Cet astronome américain a comparé l'expérience mystique vécue par Paul sur la route de Damas avec l'explosion d'un météore en 2013 dans le ciel de Russie. Les similitudes sont troublantes. La "lumière venue du ciel" correspondrait à la luminosité émise par la météorite. La chute de Paul et la "voix divine" seraient les conséquences de l'onde de choc et du bruit de l'explosion. Même la cécité passagère du jeune homme et les "écaillures" qui lui tombèrent des yeux s'expliqueraient par sa trop grande exposition à la lumière. Las, cette théorie ne repose sur aucune preuve physique. Et si des restes de météorites étaient découverts en Syrie, ils ne sauraient être datés avec assez de précision. "Mais il est fascinant de penser que l'essor d'une religion majeure ait pu impliquer un fougueux jeune homme se méprenant sur un événement rare", commente le chercheur. Après tout, les phénomènes extrêmes (déluge...) ont contribué à façonner les premiers mythes. Quelles réactions auraient pu être celles des premiers croyants face à une météorite? **T.C.-F.**

S. AQUINO - SHUTTERSTOCK - A. LAGARCHE/GETTY - SHUTTERSTOCK - D. LACASA/INSERM - MOONSABUY/SHUTTERSTOCK

ANTHROPOLOGIE

ON SAIT POURQUOI LES PYGMÉES RESTENT PETITS

Pourquoi les Pygmées sont-ils si petits? Croissance réduite durant la période *in utero* ou durant l'enfance, arrêt de la croissance plus précoce, absence de pic de croissance à l'adolescence... Plusieurs hypothèses ont été envisagées pour répondre à cette question, jusqu'à ce que l'équipe de Fernando Ramirez Rozzi, chercheur au CNRS, dévoile ses résultats. Grâce aux mesures réalisées pendant plusieurs années sur plus de 500 membres de l'ethnie Baka, au Cameroun, ils ont découvert que les Baka naissent avec des mensurations identiques aux nôtres, mais jusqu'à trois ans leur croissance est fortement ralentie. Leurs courbes de croissance sont ensuite parallèles aux

nôtres et, de fait, leur retard n'est jamais rattrapé. Un constat qui ne vaut pas pour tous les Pygmées... Les ethnies d'Afrique de l'Est ont, elles, une taille réduite dès la naissance, ce qui indique que la petite taille des Pygmées, adaptée à la forêt tropicale, résulte de deux mécanismes évolutifs différents apparus indépendamment il y a 5 000 à 15 000 ans, alors que les populations à l'origine des Pygmées de l'Est et de l'Ouest avaient déjà divergé. *"A l'échelle de l'évolution, c'est un laps de temps très court et cela signifie aussi que, de manière plus générale, la croissance de la lignée humaine bénéficie d'une grande plasticité"*, conclut Fernando Ramirez Rozzi.

C.H.



NEUROLOGIE

Les yeux bougent la nuit pour zapper d'un rêve à l'autre

Voici 80 ans, on découvrait qu'un dormeur qui rêve bouge les yeux derrière ses paupières, comme s'il suivait du regard les paysages oniriques que son cerveau fabrique. Telle était, du moins, l'hypothèse admise. Mais aujourd'hui, une équipe internationale a démontré, expériences à l'appui, que ces mouvements oculaires rapides servent plutôt à zapper d'une scène imaginaire à une autre: une remise à zéro de l'attention visuelle qui permet au cerveau de traiter les informations par fragments – comme à l'état de veille.

R.I.

ÉTHOLOGIE

Un oiseau est devenu polyglotte

C'est une première: des chercheurs australiens ont réussi à apprendre à des mériens superbes le cri d'alarme d'autres oiseaux. Ils ont d'abord diffusé par haut-parleurs des cris inconnus: celui de l'acanthize à croupion roux, ainsi qu'un son synthétisé par ordinateur. Ils ont ensuite libéré des modèles d'oiseaux prédateurs en même temps qu'ils diffusaient ces sons. Après seulement deux jours, 8 mériens sur 10 fuyaient en réponse aux seuls cris d'alarme. De quoi entraîner les animaux captifs à réagir aux dangers de la vie sauvage avant de les libérer.

M.S.



◀ Les Baka (Cameroun) naissent avec une taille normale, mais leur croissance est ralentie jusqu'à 3 ans.

C'EST LE COQ DOMINANT QUI CHANTE LE PREMIER

Des chercheurs japonais ont découvert que chez les coqs, c'est le dominant (une place gagnée par la force) qui choisit ses femelles, mange avant les autres et chante le premier ! Privilèges de leader... **M.S.**

ON SOIGNAIT LES CARIES AU PALÉOLITHIQUE

La plus ancienne trace de soins dentaires date de 14 000 ans. Les restes d'un homme mis au jour dans le nord de l'Italie ont révélé que les caries présentes sur l'une de ses molaires avaient été grattées pour enlever les tissus endommagés. **C.H.**

UNE PUNAISE ADAPTE SES ŒUFS À LA FORCE DES UV

La punaise soldat pond des œufs plus ou moins foncés... pour les protéger des UV ! Des chercheurs canadiens ont découvert que leur couleur dépend de la lumière réfléchie par la surface sur laquelle ils sont déposés. **M.S.**

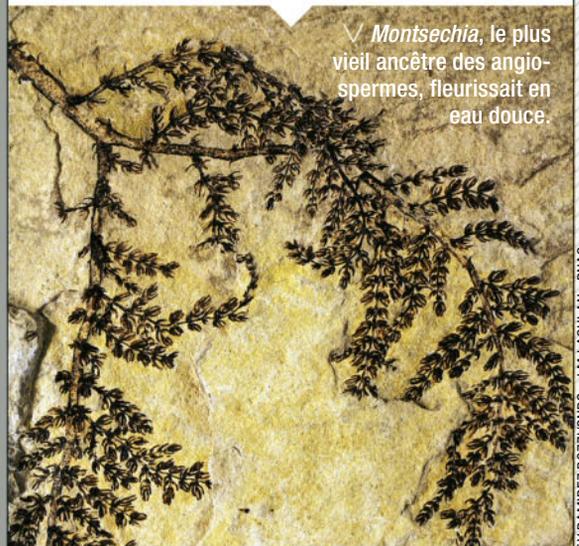


◀ *Malurus cyaneus* réagit aux cris d'alarme d'autres espèces.

PALÉOBOTANIQUE

Il y a 130 millions d'années, les fleurs poussaient sous l'eau

Les premières angiospermes (plantes à fleurs) sont-elles d'abord apparues dans l'eau ou sur la terre ferme ? Parfaitement préservés dans des sédiments espagnols vieux de 130 millions d'années, des milliers de végétaux fossilisés apportent aujourd'hui des éléments inédits au débat. Découverts il y a plus d'un siècle, les fossiles de *Montsechia vidalii* n'avaient pourtant pas été identifiés comme des angiospermes, à défaut de pétales ou autres structures produisant du nectar. Mais Bernard Gomez et son équipe de l'université de Lyon ont réussi à en extraire des fruits abritant encore leurs graines ! Les paléobotanistes ont également relevé de grandes similitudes avec l'actuel cérapophylle, qui décore nos aquariums. Selon eux, *Montsechia* était donc une angiosperme qui vivait sous la surface des lacs quelques millions d'années avant la plus vieille espèce connue à ce jour (*Archaeofructus*, 125 millions d'années). "Montsechia ne nous permet pas de conclure que les angiospermes sont nées dans l'eau, car ce n'est sans doute pas la toute première plante à fleurs, explique Bernard Gomez. Mais le fait que deux espèces aussi anciennes aient vécu en milieu lacustre signifie que l'eau a joué très tôt un rôle majeur dans la diversification de ce groupe végétal." Surprenant, quand aujourd'hui à peine 2 % des espèces de plantes à fleurs sont aquatiques ! **E.H.**



✓ *Montsechia*, le plus vieil ancêtre des angiospermes, fleurissait en eau douce.

F.V. RAMIREZ ROZCIGNRS - J.M. LACHLAN - PNAS



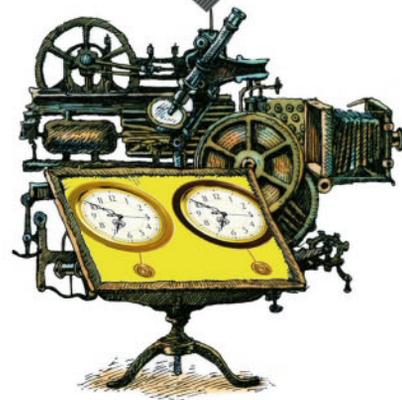
◀ L'anneau F est né du choc entre deux lunes de glace, qui sont devenues Pandore et Prométhée.

PLANÉTOLOGIE

SATURNE: L'ANNEAU F A LIVRÉ SON SECRET

C'est un petit filet de glace à l'écart de l'anneau principal de Saturne, confiné dans une bande de 100 km de largeur par l'influence gravitationnelle de ses deux "satellites bergers", Pandore et Prométhée. L'origine de ce trio atypique intriguait depuis sa découverte en 1979, jusqu'à ce que les simulations numériques de Ryuki Hyodo et Keiji Ohtsuki (université de Kobe, Japon) montrent qu'il y a quelques millions

d'années, deux petites lunes de glace au cœur de silicate sont entrées en collision non-frontale. Elles ont survécu au choc, mais ont été expulsées à l'extérieur de l'anneau principal, où elles ont agrégé une partie de leurs débris, pour devenir Pandore et Prométhée, et confiné entre leurs deux orbites les débris restants, qui ont pris une forme circulaire, ornant la planète mère d'un anneau supplémentaire. **B.R.**



C'est bien via leur tic-tac que deux horloges se synchronisent!

La tentation était grande, mais aucun scientifique n'a jamais sérieusement envisagé la piste du surnaturel pour expliquer la "sympathie" entre les horloges... pas même leur inventeur, le Néerlandais Christiaan Huygens, qui a découvert ce phénomène en 1665. Il a fallu 350 ans de recherche pour venir à bout de la question: pourquoi deux horloges accrochées au mur côte à côte finissent-elles, après quelques dizaines de minutes, par synchroniser leur balancier en opposition de phase? Huygens était alité quand il a observé cette étrange affinité à distance entre les horloges qui décoraient ses murs. Un type d'énigme qu'adorent les physiciens, tels Henrique Oliveira et Luís Melo, de l'université de Lisbonne... qui viennent enfin de répondre à Huygens: les horloges se synchronisent *via* les ondes sonores ("solitons") générées par les clics de leurs systèmes à échappement et échangées à travers le mur. Chacune perturbe microscopiquement la mécanique de l'autre, jusqu'à ce que leur effet se compense exactement quand les balanciers adoptent un mouvement opposé. Une réponse issue de la théorie du chaos... qui expliquerait aussi pourquoi les oscillateurs électroniques tendent à se coupler dans un circuit. Comme quoi, tomber malade n'est pas toujours inutile... **R.I.**

BOTANIQUE

Pour se protéger, l'ancolie appâte des gardes du corps

Voilà un exemple inédit de coopération entre animal et végétal: pour attirer les insectes qui protégeront ses bourgeons, cette ancolie californienne leur offre à manger! Elle piège, grâce à une substance visqueuse, de petits arthropodes qu'elle offre en pâture aux insectes capables de la défendre: ils dévoront ensuite les œufs de la chenille du papillon de nuit qui détruit ses bourgeons. **E.H.**



S.AQUINO - R.HYODO ET AL. - J.LYNN

La citadine aux idées larges

À partir de **7 490 €**, sous condition de reprise⁽¹⁾



**NOUVELLE
CELERIO**

La nouvelle Celerio, elle a les idées larges... mais pas seulement. Son coffre spacieux et son confortable volume intérieur sont prêts à accueillir tous vos bagages et 5 passagers, sans se sentir à l'étroit. Mais la Celerio est d'abord une citadine qui se faufile partout et vous procurera, en ville comme sur route, plaisir à la conduire au quotidien. Alors, venez vite découvrir si vous aussi avez les idées larges.

(1) Prix TTC de la nouvelle Suzuki Celerio 1.0 Avantage après déduction d'une remise de 500 € offerte par votre concessionnaire, et d'un capital reprise de 1 000 €, sans condition d'âge. Votre concessionnaire additionne cette offre capital reprise à la valeur de reprise de votre véhicule, selon les conditions générales de L'argus disponibles en concession. Offre réservée aux particuliers valable pour tout achat d'une Celerio neuve du 01/07/2015 au 30/11/2015, en France métropolitaine, chez les concessionnaires participants. (2) Consommation mixte CEE de la Celerio 1.0 VVT. (3) Selon version.

Modèle présenté : Nouvelle Suzuki Celerio 1.0 VVT Pack Plus (84 g) : 12 290 € + peinture métallisée : 410 €. Consommations mixtes CEE gamme Suzuki Celerio (l/100km) : de 3,6 à 4,3. Émissions CO₂ (g/km) : de 84 à 99. Prix TTC clés en main, tarif au 14/09/2015. *Way of Life! : Un style de vie !

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

PALÉOCLIMATOLOGIE

LES VOLCANS PILOTENT LE CLIMAT DEPUIS 2500 ANS

Si de multiples facteurs ont fait varier le climat (rayonnement solaire, cycles océaniques, orbite terrestre, gaz à effet de serre), à l'échelle des 25 derniers siècles, le volcanisme a été le facteur dominant. C'est ce que révèle une étude du Desert Research Institute, dans le Nevada, qui précise toutefois que ce résultat ne s'applique pas au dernier siècle, dominé par les activités humaines. Des techniques chimiques ont permis de dater précisément les 30 plus importantes éruptions volcaniques de ces 2500 ans. Comparées avec les reconstructions des températures disponibles, ces données ont montré que

les éruptions avaient un effet refroidissant (par "effet parasol" des particules de sulfate) pouvant durer une décennie pour les plus puissantes. Ainsi, 15 des 16 étés les plus froids précédant l'an mil suivent de très près une éruption volcanique majeure. Des refroidissements qui entraînent presque toujours des baisses de la production agricole, voire des troubles politiques et des épidémies. Une éruption en 536, suivie d'une deuxième en 540, expliquerait ainsi une famine européenne majeure, elle-même à l'origine de l'épouvantable épidémie de peste, dite justinienne, qui a sévi de 541 à 543. **Y.S.**



APICULTURE

Le salut des abeilles pourrait venir de leur capacité à vacciner naturellement leurs petits

Comment augmenter la résistance des abeilles aux maladies responsables (avec les pesticides) de leur déclin ? En exploitant leur mode de vaccination naturel, répond un groupe de biologistes internationaux, qui vient de

découvrir comment l'alimentation de la reine permet de protéger sa progéniture. En effet, les ouvrières fabriquent de la gelée royale à partir de nectar et de pollen contenant des microbes issus de leur environnement.

Ingérés, les fragments de bactéries pathogènes se lient à une protéine, la vitellogénine, qui les transporte dans l'organisme de la reine jusqu'à ses œufs en train de se développer... qui, à leur contact, sont immunisés. **A.D.**

> Les bactéries présentes dans la gelée royale permettent à la reine d'immuniser naturellement ses œufs.

TOUJOURS MOINS DE NEIGE

La baisse des surfaces enneigées dans l'hémisphère Nord se confirme. Le déficit s'élève à 4 millions de km² par rapport à la moyenne des trente dernières années, ce qui place l'année 2015 derrière 2012, le record depuis 1967.

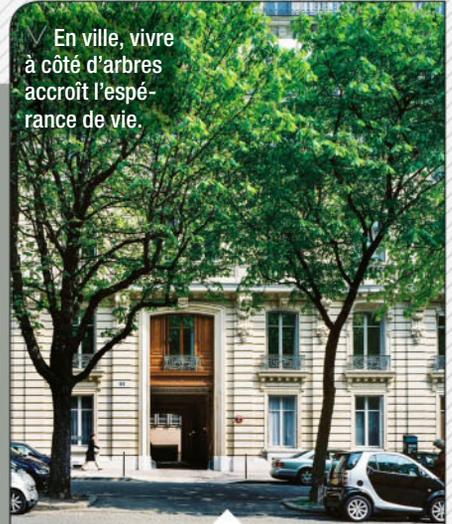
LA PREMIÈRE PHÉROMONE OGM ÉCHOUE

Le premier blé capable de produire une phéromone faisant fuir les pucerons était efficace en laboratoire... Mais le premier essai en champ n'a montré presque aucun effet, sans doute par accoutumance des insectes au produit.

UNE MONTÉE DES EAUX DE 6 MÈTRES ?

Une étude américaine a constaté qu'il y a 125 000 et 400 000 ans, alors que le réchauffement climatique était comparable à celui annoncé d'ici à 2100, le niveau marin était plus élevé de 6 mètres qu'aujourd'hui.

✓ En ville, vivre à côté d'arbres accroît l'espérance de vie.



SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

Les arbres améliorent vraiment la santé en ville

Une action dépolluante de l'air, un impact sur le niveau de stress, un effet incitatif à pratiquer le sport... La présence d'arbres dans l'espace public a un puissant effet favorable sur la santé. C'est la conclusion d'une étude concernant 30 000 habitants de Toronto qu'une équipe américaine a menée, en partant d'un jeu de données sanitaires détaillées. Les chercheurs disposaient aussi d'informations socioprofessionnelles (emploi, revenu, niveau d'études) et de la cartographie de 530 000 arbres de la ville, avec leur position précise. En croisant ces données, ils ont constaté une santé nettement meilleure chez les sujets qui résidaient dans des rues comportant des arbres, même après correction des facteurs socioprofessionnels. Selon eux, l'ajout de 11 arbres dans un quartier réduit autant la morbidité cardio-métabolique (diabète, obésité, crises cardiaques...) qu'une hausse de revenus de 18 000 €/an ou que le fait d'être plus jeune de 1,4 an!

Y.S.

◀ L'effet parasol des particules libérées par les éruptions volcaniques cause des refroidissements.

135 GW

C'est la puissance record d'énergie renouvelable installée dans le monde en 2014 (un réacteur nucléaire représente environ 1 GW). Soit un accroissement de 8,5 % en un an (elle a doublé en dix ans). Le vent s'est taillé la part du lion avec 51 GW, suivi de près par le photovoltaïque (40 GW).





OCÉANOGRAPHIE

LE PLANCTON FAIT NAÎTRE LES NUAGES DE L'OcéAN AUSTRAL

L'immense océan Austral, autour de l'Antarctique, est le plus nuageux de notre planète. Ses eaux glaciales, riches en gaz dissous, font périodiquement l'objet de développements fulgurants de plancton appelés "blooms" (éclosions). Or, les relations entre plancton et nuages intéressent particulièrement les chercheurs, car on sait que le plancton émet un gaz, le sulfure de diméthyle, qui fournit à la

vapeur d'eau des noyaux de condensation favorisant la formation de nuages. Un phénomène non quantifié mais particulièrement important à l'heure d'un réchauffement climatique dont l'effet sur la nébulosité reste la grande inconnue. D'où l'idée d'une équipe de la Nasa et de l'université de Washington d'observer, à l'extrême sud de la planète, les relations entre le plancton et le

couvert nuageux, à la fois à l'aide de modèles météo et d'observations du satellite *Terra*. Résultat impressionnant: la présence de plancton augmenterait de 60 % la couverture nuageuse de l'océan Austral, allant jusqu'à la doubler en été! Reste à vérifier si c'est aussi le cas dans les autres océans, et à tenter de comprendre l'effet, sur le plancton, des changements climatiques en cours. **Y.S.**

▲ La présence de plancton (en bleu) est étroitement liée à celle des nuages (en blanc).

AGRONOMIE

L'agriculture mondiale ralentit

Selon un rapport de l'ONU, l'agriculture mondiale devrait passer d'un taux de croissance de 2,2 %/an à 1,7 % pour la prochaine décennie. Les auteurs pensent que ce taux sera suffisant pour suivre la croissance démographique, même si des crises de prix restent possibles. La croissance sera surtout tirée par celle des rendements, grâce notamment à la conversion de terres en Amérique du Sud et en Afrique. La croissance de la production de viande baissera de 20 à 17 %. **Y.S.**

ÉCOLOGIE

70 % des oiseaux marins ont disparu depuis les années 1950

En compilant des données sur 500 colonies d'oiseaux marins dans le monde, des chercheurs de l'université de Colombie-Britannique (Canada) ont noté une baisse de 69,5 % de leurs effectifs depuis 1950 (environ 230 millions d'individus). En cause? Les déchets plastiques avalés, les captures involontaires, la réduction du nombre de poissons par la pêche, la pollution... "Quelque chose ne va pas dans les écosystèmes marins, dont les oiseaux sont de bons indicateurs", conclut Michelle Paleczny, l'une des auteurs, qui plaide pour de meilleures mesures de conservation. **Y.S.**



◁ Le nombre d'oiseaux marins dans le monde a diminué de 230 millions.

NASA'S EARTH OBSERVATORY - F. LANTING/CORBIS



NE FAITES QU'UN AVEC VOS PNEUS

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



KINERGYECO



L'équilibre
Longévité/
Economies/Sécurité.

ventus
PRIME 2



La sécurité en
toutes conditions.

ventus
S1evo²



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

HANKOOK
driving emotion

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

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

hankooktire-eu.com/fr

PÉDIATRIE

LA MORTALITÉ INFANTILE EST EN BAISSÉ SUR TOUTE LA PLANÈTE

Objectif majeur adopté par 189 pays en l'an 2000, la lutte contre la mortalité infantile porte ses fruits. Entre 1990 et 2013, le nombre de décès d'enfants de moins de 5 ans est passé de 12 à 6 millions environ. Certaines régions, comme le Moyen-Orient et l'Asie de l'Est, ont vu leur mortalité infantile divisée par plus de trois. La tendance est quasi mondiale: seul le Zimbabwe n'a pas connu d'améliorations. L'Afrique sub-saharienne reste la région à la mortalité la plus forte, 15 fois plus que la moyenne des pays à revenus élevés.

“Cette baisse est principalement due à un effort de vaccination, une meilleure nutrition [plus de vitamine A et d'allaitement maternel qui réduit le risque d'utilisation d'eau non potable], et une meilleure prise en charge médicale, notamment la réhydratation en cas de diarrhées”, indique François Alla, professeur de santé publique à l'université de Lorraine. Le chercheur a collaboré avec plus de 700 experts pour déterminer les causes de cette mortalité. Seules deux n'ont pas reculé: le paludisme et le VIH. *“Les trois quarts de la mortalité infantile proviennent de causes infectieuses, néonatales et nutritionnelles, donc évitables pour la plupart. La marge de progrès est encore considérable”,* conclut François Alla. T.C.-F.

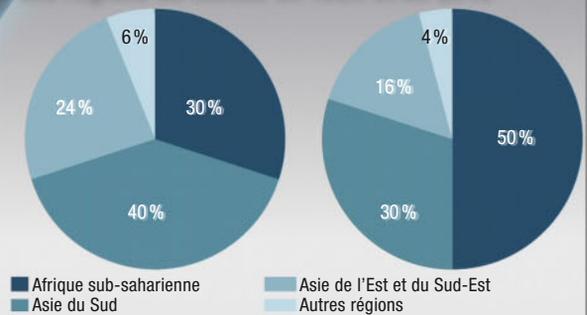


Des progrès plus ou moins importants selon les pays entre 1990 et 2013

Dans certains pays, la mortalité infantile a été divisée par plus de quatre (Chine, Iran, Portugal... en bleu ciel) en vingt-quatre ans. Le bleu foncé montre, à l'inverse, une réduction moins significative.



Répartition de la mortalité infantile en fonction des régions du monde en 1990 et en 2013



SOURCES: THE LANCET, 2015.

900 000

enfants de moins de 5 ans sont décédés en 2013 d'une infection des voies respiratoires inférieures (surtout de pneumonie).

800

 femmes

meurent chaque jour dans le monde pendant leur grossesse ou des suites de leur accouchement.

1/3

 des décès

d'enfants de moins de 5 ans ont lieu dans deux pays seulement, l'Inde et le Nigéria.

G. CIRADE



La campagne test a concerné 2500 personnes en Guinée.

VIROLOGIE

UN VACCIN SEMBLE EFFICACE À 100 % CONTRE EBOLA

Un des cinq vaccins à l'étude contre le virus Ebola (voir *S&V* n°1165, p.42), le rVSV-ZEBOV, s'est avéré efficace à 100 %, d'après l'analyse intermédiaire du test clinique "Ebola ça suffit", menée en Guinée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Entre avril et juillet, des médecins ont vacciné 2512 adultes à

risque, proches de malades nouvellement diagnostiqués. Aucun n'a développé la maladie plus de dix jours après la vaccination (le temps d'incubation du virus). *"Ces données devront être confirmées lorsque toute la cohorte aura été suivie 84 jours, tempère Marie-Paule Kieny, sous-directrice générale de l'OMS. Mais des résultats obtenus chez le singe indiquent que la protection persiste au*

moins douze mois." Le laboratoire Merck, détenteur de la licence du candidat vaccin, prépare une demande de commercialisation qui pourrait intervenir dans les prochains mois. Si l'épidémie en Afrique de l'Ouest semble en bout de course, de nouvelles flambées ne sont pas exclues. La perspective d'un vaccin est donc une excellente nouvelle. **O.C.**

NEUROLOGIE

La position latérale purge mieux le cerveau

Dormir sur le côté pourrait être meilleur pour nos méninges, suggère une expérience américaine. Elle montre que le cerveau de rats se débarrasse mieux de ses déchets lorsque les animaux sont étendus en position latérale : les flux de liquide cérébro-spinal, responsables du nettoyage du cerveau, sont alors plus importants, et la baisse de la concentration en bêta-amyloïde (une molécule impliquée dans la maladie d'Alzheimer) est plus rapide. Notre santé cérébrale pourrait donc être influencée par la position dans laquelle nous dormons. A condition que ces résultats soient confirmés chez l'humain. **E.A.**

3 semaines

C'est, chaque année, selon des chercheurs américains, la durée supplémentaire pendant laquelle les parents sont infectés par un virus respiratoire, par rapport à des personnes sans enfants. Pas étonnant, quand on sait que les moins de 5 ans abritent des virus pendant la moitié de l'année ! Toutefois, la présence de ces derniers ne provoque des symptômes que 56 % du temps. **T.C.**



Les marqueurs injectés (en jaune) sont évacués plus vite en position latérale.

Y. LIBESART/HO/EPFL/MA XPPP - H. BENVENISTE ET AL/STONBROOK

RUE DU
COMMERCE
.COM

SAUVÉ PAR LE CLOUD !



149€
99

Dont 0,05€ d'éco-part.

WD Western
Digital®

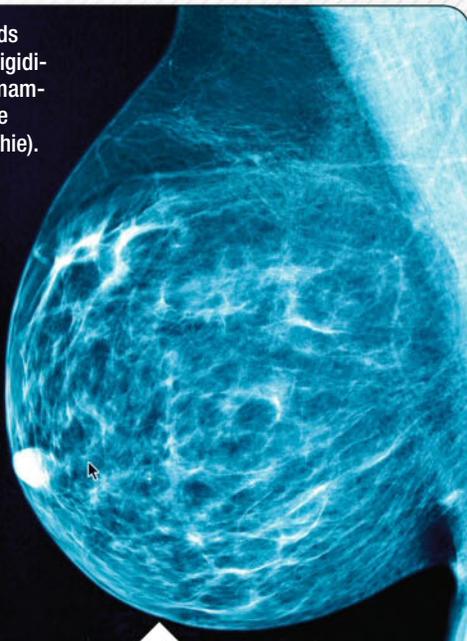
My Cloud 2 To
Solution de stockage centralisée
et cloud personnel

Stockage haute capacité : 2 To – Stockage et sauvegarde partagés de vos contenus (photos, vidéos, documents, etc.) en toute sécurité. Accès facile à distance à tous vos contenus depuis votre smartphone, tablette ou ordinateur.

RueduCommerce.com |    #BonPlan #Concours #VenteFlash

RCS Bobigny B 422 797 720 - 44-50, avenue du Capitaine Glarner, 93 585 St Ouen Cedex – Offre valable du 22 septembre au 21 octobre 2015 dans la limite des stocks disponibles. Prix indiqués hors frais de livraison. Photos non contractuelles. Voir conditions sur site.

✓ Le surpoids contribue à rigidifier le tissu mammaire (ici une mammographie).



ONCOLOGIE

L'OBÉSITÉ A UN RÔLE MÉCANIQUE DANS LE CANCER DU SEIN

Pourquoi les femmes obèses développent-elles plus de cancers du sein que celles qui sont minces? Jusqu'à présent, les chercheurs suspectaient des causes chimiques (production d'hormones ou de molécules pro-inflammatoires par le tissu adipeux), mais voilà que pourrait s'ajouter une cause mécanique. Une équipe new-yorkaise a montré que le tissu graisseux mammaire de souris obèses renfermait un grand nombre de cellules particulières, les myofibroblastes, qui contribuent à rigidifier le tissu. Or, "un environnement rigide favorise le développement

tumoral", explique Claudia Fischbach, auteur de l'étude. Dans le cas de ces souris, la rigidité du tissu exerçait des forces mécaniques sur les cellules mammaires, qui activaient en réaction des signaux chimiques et des gènes favorisant la cancérisation. L'analyse de biopsies mammaires a confirmé que, chez les femmes aussi, l'obésité accroît la rigidification tissulaire, et pourrait donc favoriser mécaniquement le cancer du sein. "Il est possible que ce mécanisme soit impliqué dans d'autres cancers associés au surpoids", précise Claudia Fischbach. **O.C.**

DES CACHETS IMPRIMÉS EN 3D À LA VENTE

L'agence sanitaire américaine a approuvé la mise sur le marché du premier médicament imprimé en 3D : le Spritam, contre l'épilepsie. Ainsi conçus, ces comprimés se dissolvent plus vite dans l'eau. **E.A.**

L'INEFFICACITÉ DU VACCIN ANTIGRIFFE EXPLIQUÉE

La souche de grippe de l'hiver dernier était bien présente dans le vaccin... Mais une mutation à sa surface a empêché les anticorps de neutraliser le virus. **T.C.**

LA CREVETTE LUTTE CONTRE DES PARASITES

Des crevettes ont été introduites dans le point d'eau d'un village sénégalais pour lutter contre les escargots porteurs de la bilharziose, une maladie touchant 220 millions d'individus dans le monde... dont elles ont diminué l'incidence de 9% en dix-huit mois. **E.A.**

OPHTALMOLOGIE

De simples gouttes soigneraient la cataracte

La cataracte pourrait être traitée à l'aide d'un collyre. Cette maladie, entravant la vision d'un individu de plus de 75 ans sur deux, et première cause de cécité dans les pays en développement, n'est actuellement traitée que par la chirurgie. Mais des chercheurs américains ont découvert une molécule capable de dissoudre les agrégats de protéines qui opacifient le cristallin dans la majorité des cas de cataracte. Sept chiens atteints ont reçu des gouttes de cette molécule pendant six semaines, et ont vu l'opacité de leur cristallin réduite de un à deux niveaux sur une échelle de 0 à 3. "Cette molécule pourrait traiter les formes modérées de la maladie, et être utilisée dès les premiers symp-

tômes pour retarder la chirurgie", propose Kang Zhang, auteur de l'étude. **T.C.**

< Un collyre permettrait de retarder le moment d'opérer.





EXPOSITION

SUR LA PISTE DES
**GRANDS
SINGES**

ORANG-OUTAN • GORILLE • CHIMPANZÉ

**GRANDE GALERIE
DE L'ÉVOLUTION**

Jardin des Plantes – Paris 5^e
Jusqu'au 21 mars 2016

© M. N. H. N. - Jean-Michel Viref

AUTOUR DE L'EXPOSITION

ATELIERS POUR ENFANTS

Les mercredis, week-ends et tous les jours pendant les vacances scolaires

SAUVONS LES CHIMPANZÉS D'OUGANDA !

Aidez-nous à lutter contre le braconnage dans le parc national
Pour faire un don, rendez-vous sur le site internet

GRANDSSINGES.FR



L'EXPRESS

TROIS

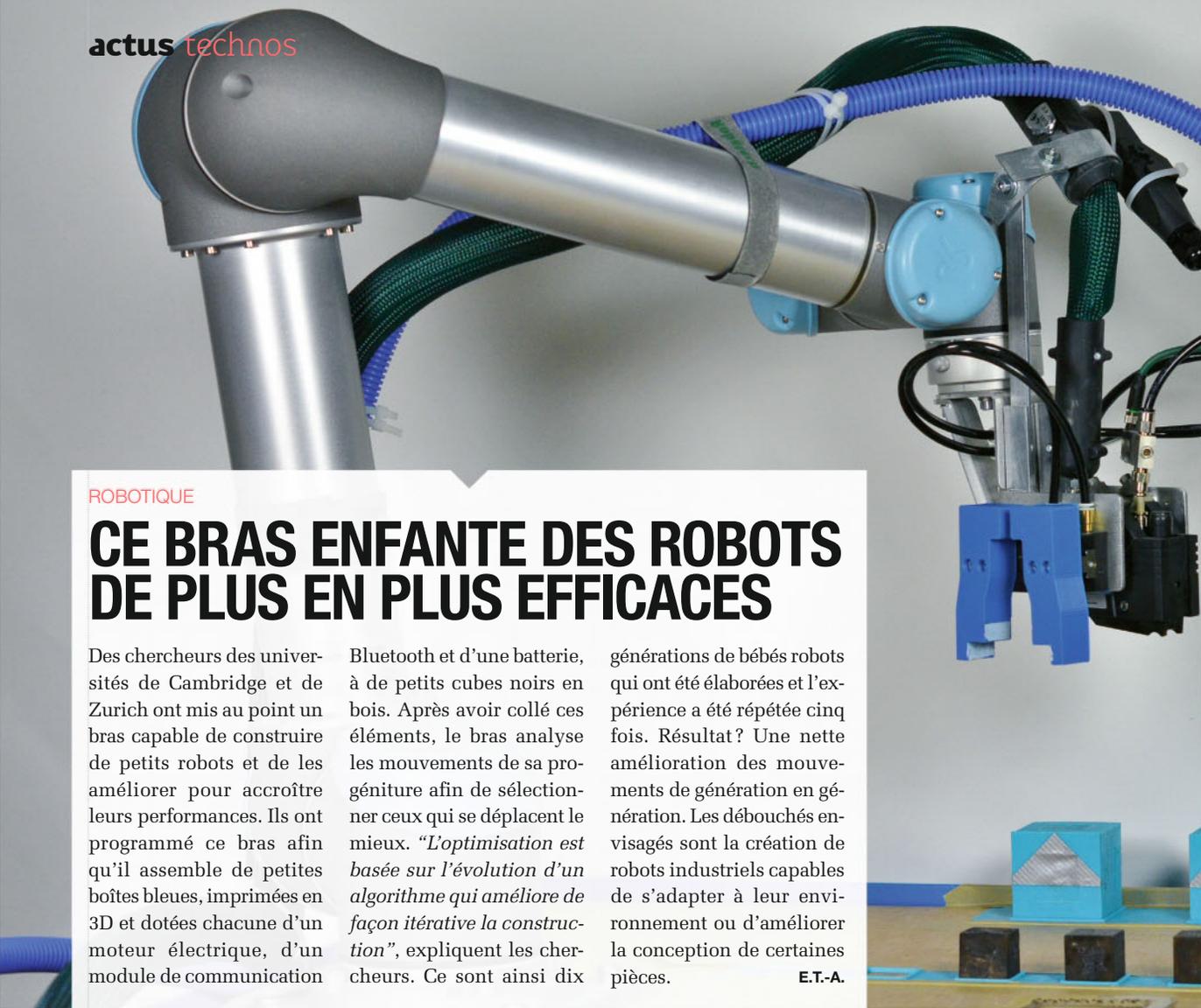
SCIENCE&VIE

ifamili

ANOUS PARIS

Le Monde





ROBOTIQUE

CE BRAS ENFANTE DES ROBOTS DE PLUS EN PLUS EFFICACES

Des chercheurs des universités de Cambridge et de Zurich ont mis au point un bras capable de construire de petits robots et de les améliorer pour accroître leurs performances. Ils ont programmé ce bras afin qu'il assemble de petites boîtes bleues, imprimées en 3D et dotées chacune d'un moteur électrique, d'un module de communication

Bluetooth et d'une batterie, à de petits cubes noirs en bois. Après avoir collé ces éléments, le bras analyse les mouvements de sa progéniture afin de sélectionner ceux qui se déplacent le mieux. *"L'optimisation est basée sur l'évolution d'un algorithme qui améliore de façon itérative la construction"*, expliquent les chercheurs. Ce sont ainsi dix

générations de bébés robots qui ont été élaborées et l'expérience a été répétée cinq fois. Résultat? Une nette amélioration des mouvements de génération en génération. Les débouchés envisagés sont la création de robots industriels capables de s'adapter à leur environnement ou d'améliorer la conception de certaines pièces.

E.T.-A.



1 000

C'est décidément le chiffre associé à la nouvelle mémoire de stockage 3D Xpoint. Elle est 1 000 fois plus rapide, 1 000 fois plus endurante et 10 fois plus dense que la mémoire flash NAND qui équipe aujourd'hui la plupart des appareils mobiles, ont annoncé les entreprises Intel et Micron Technology en présentant ce bijou jugé *"révolutionnaire"*. Cette technologie doit répondre à l'explosion du nombre de données et permettre d'accélérer leur traitement. Les premiers produits équipés pourraient arriver dès 2016.

E.T.-A.

BIOTECHNOLOGIES

L'imagerie pourrait progresser grâce à des coraux fluorescents

En imagerie médicale, il est vital de pouvoir suivre la position ou les trajets de composés divers (médicaments, cellules tumorales...), grâce à des marqueurs colorés. Ce suivi pourrait se faire plus efficacement grâce à l'utilisation d'un nouveau type de pigment, issu de coraux découverts dans la mer Rouge par des chercheurs des universités de Tel-Aviv et de Southampton. Leurs tissus contiennent des protéines fluorescentes jusqu'ici inconnues. Eclairés par de la lumière bleue, ils émettent du vert, des jaunes et des rouges inédits.

Y.S.



< Cet engin crée ses "bébés-robots" en se basant sur les progrès des générations précédentes.



DES ÉOLIENNES COPIENT LES CHOUETTES

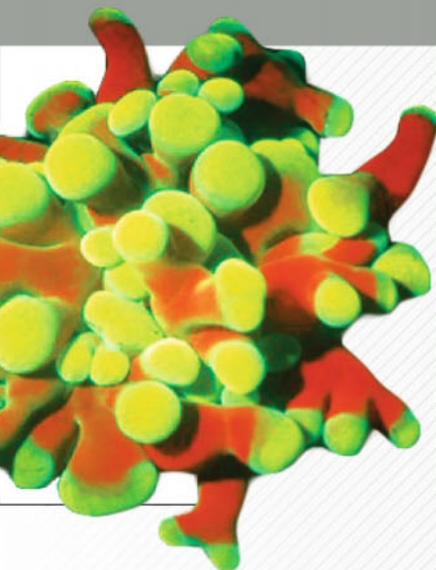
Des chercheurs britanniques se sont inspirés des ailes des chouettes pour développer un revêtement qui rend les éoliennes plus silencieuses. Leurs pales pourraient tourner plus vite, tout en faisant moins de bruit. L.B.

SELFIES EN 3D, BIENTÔT UN JEU D'ENFANT

Réaliser un selfie en relief en dix minutes, c'est ce que promet un programme conçu par des informaticiens suisses. Deux vidéos de visage – contour et expression – suffisent à générer un avatar en 3D, que l'on peut animer en temps réel. A.P.

UNE VENTOUSE JOUE LE FREIN D'URGENCE

Le suédois Autoliv vient de développer un nouveau système automatique de freinage d'urgence : une plaque, sous la voiture, qui se colle au sol par aspiration de l'air. Cette ventouse pourrait réduire la distance de freinage en ville. O.L.



MATÉRIAU

Les supraconducteurs existent à des températures terrestres

La recherche en supraconductivité est très active depuis une trentaine d'années. Et pour cause : cet état particulier de certains matériaux cristallins ou semi-cristallins, qui se manifeste quand on les refroidit, permet à l'électricité de se mouvoir sans aucune perte. Et de la stocker avec une efficacité incomparable par rapport aux systèmes existants (piles, batteries, etc.) Sauf que, jusqu'ici, tous les matériaux supraconducteurs dits "à haute température" devaient néanmoins être refroidis en deçà de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, ce qui les rendait inadaptés à un usage industriel. Or, une équipe de l'Institut Max-Planck de Mainz (Allemagne) vient de synthétiser un gaz, du sulfure d'hydrogène (H_2S), qui acquiert ce comportement à $-70,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Une température que l'on rencontre parfois durant l'hiver antarctique. Est-ce à dire que l'on se rapproche de supraconducteurs à température ambiante ? Pas encore, car pour obtenir ce résultat, les chercheurs ont dû soumettre le gaz à une pression de 2 mégabars, soit 2 millions de fois la pression atmosphérique ! Une valeur inenvisageable pour des applications concrètes immédiates. R.I.

> Pour l'expérience, le gaz a été comprimé par deux diamants dans un cylindre métallique.



L. BRODDECK, S. HAUSER, F. LIDA/UNIV. OF CAMBRIDGE - G. EYAL ET AL. - T. HARTMANN/MP

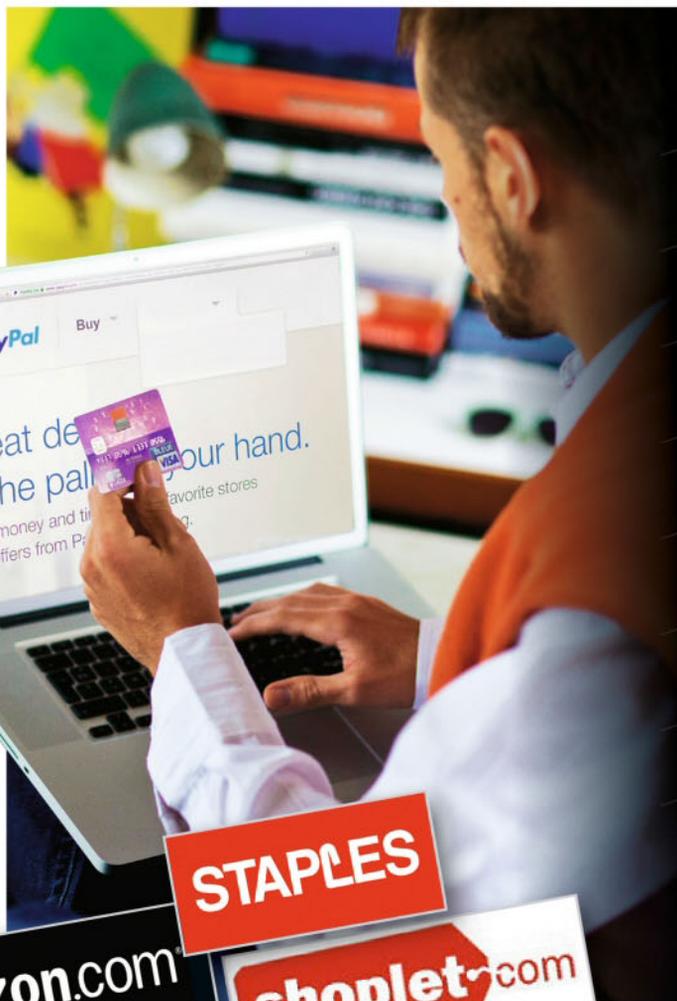
Achats sur Internet

Des prix à la tête du client!

Proposer le “juste prix” à un client, un prix personnalisé, parfaitement adapté à ses moyens et ses habitudes de consommation : c’est le rêve de tout vendeur. Avec, à la clé, ce graal commercial de déclencher l’acte d’achat à coup sûr tout en optimisant ses marges... Dans un magasin, où tout le monde passe devant les mêmes rayons, impossible d’imaginer une telle discrimination des prix “à la tête du client”.

Mais pas sur Internet! Isolé devant son écran d’ordinateur ou de smartphone, comment savoir si, pour une même paire de baskets, on se verra proposer le même prix qu’un autre internaute... ou bien le double? Sans autre justification à cet écart que... soi-même!

“Les serveurs informatiques peuvent facilement récupérer des informations personnelles sur les internautes, explique Nataliia Bielova, spécialiste en sécurité des réseaux à l’Inria Sophia-Antipolis (Alpes-Maritimes). Par exemple, quand vous ouvrez une page sur Internet, vous envoyez une requête à un serveur. Comme un courrier indiquant l’adresse postale de l’expéditeur, cette requête précise notamment votre adresse IP, un numéro



attribué de manière permanente ou transitoire à chacun des appareils connectés au réseau, et qui sert à acheminer les pages Web demandées jusqu’au terminal à l’origine de la requête. Or, cette adresse IP permet de localiser l’endroit où vous vous trouvez. Qui plus est, elle précise quel type de machine

et quel navigateur vous utilisez, pour que le serveur renvoie une page lisible par votre système d’exploitation.” A savoir Microsoft Windows, OS X, iOS, Android, etc., selon que vous utilisez un PC ou un Mac, un iPhone ou une autre marque de smartphone, une tablette...

Et ce n’est pas tout. En plus de ces informations incontournables, le serveur peut récolter sur votre machine des “cookies”,

LE RAPPEL DES FAITS

En mai 2015, Marc Tarabella, député européen chargé de la protection des consommateurs, dénonçait les écarts de tarifs pratiqués sur les sites Internet de Disneyland Paris : les Italiens payaient parfois **50 % de plus** que les Français. La direction du parc a démenti. Mais **dès 2000**, des clients américains réguliers d’Amazon se sont plaints de payer leurs DVD plus cher que des acheteurs occasionnels.

+24%

L'E-COMMERCE EN PLEIN ESSOR EN FRANCE

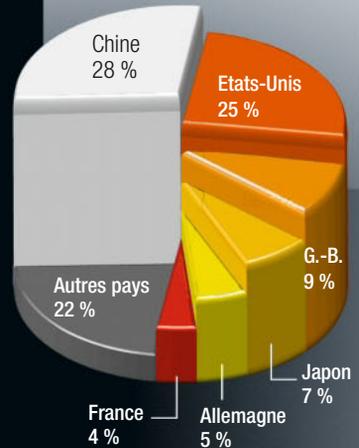
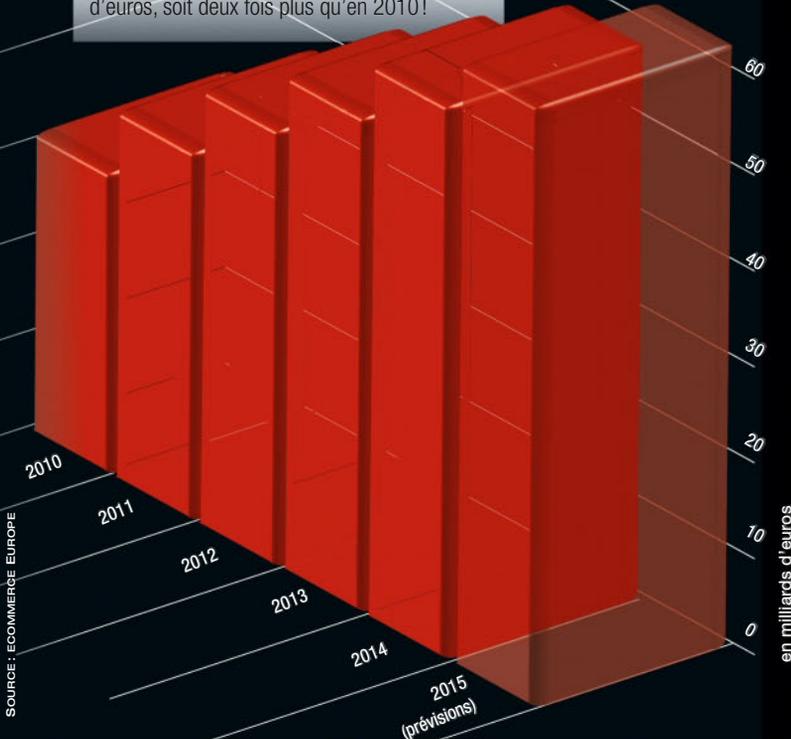
Le montant des ventes réalisées *via* Internet en France progresse : en 2014, il a atteint 57 milliards d'euros, tandis que les prévisions pour cette année annoncent 62 milliards d'euros, soit deux fois plus qu'en 2010 !

LE MARCHÉ MONDIAL EXPLOSE

Entre 2013 et 2014, le commerce électronique a progressé de 24 % dans le monde. En 2014, il représentait 1 462 milliards d'euros.

LA FRANCE EST LE SIXIÈME VENDEUR MONDIAL

Avec 4 % des ventes électroniques mondiales, la France est, en volume, le sixième pays pratiquant l'e-commerce.



SOURCE : E-COMMERCE EUROPE

ces quelques lignes de texte laissées par les sites Internet que vous consultez, et qui leur sont renvoyées à chaque nouvelle visite pour les aider à vous reconnaître. Ces cookies "primaires" peuvent être utilisés pour indiquer si vous êtes un visiteur régulier ou non.

Mais il y a plus pernicieux encore. "Certains cookies, dits 'terce partie', sont plus intrusifs, complète Nataliia Bielova. Ils ne sont pas déposés par le site que vous visitez, mais émanent d'autres

domaines, notamment *via des publicités déposées sur le site en question.*" Ceux-là peuvent témoigner de vos consultations de différents sites, et déterminer si vous avez plutôt le profil "radin.com" ou "rolex.com"...

Alors, ces outils sont-ils réellement mis à profit par les commerçants pour concocter le "meilleur" prix possible pour chacun de leurs clients ? Sachant qu'il n'y a pas de réel frein législatif. Seule l'Europe

s'interdit toute discrimination géographique entre ses pays membres (lire l'encadré p. 42). Mais il n'existe aucune réglementation concernant les variations de prix basées sur les cookies. La question est →



NATALIIA BIELOVA

Spécialiste en sécurité des réseaux à l'Inria Sophia-Antipolis

Cookies, adresses IP : les serveurs peuvent facilement récupérer les données personnelles des internautes

VOISIN/PHAMIE - DR. - M. KONTENTE

→ en tout cas suffisamment sérieuse pour que la Maison Blanche s'en soit émue: dans un rapport intitulé "Big data and differential pricing", publié en février dernier, le bureau exécutif du président des Etats-Unis concluait que certaines compagnies "expérimentent les prix personnalisés". Craignant que le manque de transparence de ces pratiques ne conduise à des abus, il plaidait pour "renforcer les lois existantes de lutte contre la discrimination, de protection de la vie privée et du consommateur".

UNE PRATIQUE AVÉRÉE...

L'ampleur du phénomène est cependant difficile à évaluer. Des associations de consommateurs et des journalistes, voire des parlementaires, ont déjà dénoncé des sites de vente en ligne proposant des prix différents selon le profil du client (lire "le rappel des faits" p. 40). Mais s'agit-il de cas isolés ou d'une pratique massive?

C'est ce qu'a voulu savoir Nikolaos Laoutaris,

spécialiste en économie des réseaux et directeur du Data Transparency Lab, à Barcelone, après avoir lui-même vécu une expérience de ce type: "Même si les sociétés en ligne ont les moyens aujourd'hui, j'ai longtemps été persuadé qu'aucune n'oserait mettre en place une personnalisation des prix. Elles n'auraient pas risqué leur image de marque... J'ai commencé à avoir des doutes alors que j'organais un séjour au ski: on me proposait une chambre d'hôtel à 150 euros, moi qui étais à Barcelone, alors que le même site la facturait 120 euros à mon ami suédois, à Stockholm."

Si le consommateur en ligne sait (et accepte) que les prix varient selon les revendeurs, selon le moment où l'on achète un billet d'avion (c'est ce qu'on appelle le *dynamic pricing*, lire l'encadré p. 44), en fonction des soldes ou des prix de groupe, il n'apprécie guère qu'on juge, à son seul profil

Des prix qui varient selon la localisation

Sur le site Digitalrev.com, le prix du même appareil photo Samsung passe de 513 euros si vous l'achetez depuis Lisbonne... à 363 euros si vous le commandez depuis Clayton (Australie), soit 30 % de moins. Si vous êtes à Paris, il vous coûtera 449 euros. Des écarts qui ne peuvent s'expliquer par des variations de taxes ou de frais de port.

513€



A Lisbonne

numérique, qu'il peut payer plus cher qu'un autre.

Dès 2011, Nikolaos Laoutaris et son équipe lancent donc la première étude de mesure systématique de

fluctuations personnalisées des prix. Pour ce faire, ils développent une application capable d'effectuer des requêtes d'achats simultanées sur un même produit, tout en simulant des demandes individuelles: elles semblent provenir de divers pays (Etats-Unis, Allemagne, Espagne, Corée ou Brésil), de terminaux gérés par huit systèmes d'exploitation, et de "types de clients" différents grâce à des terminaux entraînés à surfer sur des sites de luxe (et ayant accumulé les cookies correspondants), ou au contraire sur des sites d'e-commerce plus modestes.

Au sein de l'Union européenne, la discrimination géographique est interdite

Aux Etats-Unis, rien n'interdit à un commerçant de proposer un prix différent à deux personnes, tant qu'il ne s'agit pas de discrimination fondée sur des critères tels que la couleur de peau ou la religion. En Europe, en revanche, le Parlement a décidé d'agir pour uniformiser le commerce entre pays membres. Ainsi, la directive 2006/123/CE du 12 décembre 2006, relative aux services dans le marché intérieur, interdit la "différence de traitement de deux clients basée sur la nationalité ou le lieu de résidence". En cas de suspicion, vous pouvez obtenir des conseils auprès du Centre européen des consommateurs France. Sachez toutefois que rien n'interdit de proposer un prix plus élevé à un client en fonction des cookies portés par son ordinateur...

Realisation de l'acheteur...



363€

A Clayton

449€

A Paris



SOURCE: PRICE \$HERIFF

Après 20000 requêtes sur 600 produits proposés par 200 vendeurs en ligne (soit trois produits par vendeur), les résultats sont tombés: si la majorité des sites pratiquent des tarifs équitables entre leurs clients et qu'aucune discrimination en fonction du système d'exploitation utilisé n'est apparue, deux des plus importants sites de vente en ligne au monde, Amazon (89 milliards de dollars de chiffre d'affaires en 2014) et Staples (22 milliards de dollars) proposaient bien, sur certains produits, des prix très personnalisés en fonction

de l'origine géographique de la demande.

Chez Amazon, le prix d'un livre électronique au format Kindle (la liseuse commercialisée par le groupe) variait, en général, de plus de 21 %. Un livre proposé à 5 dollars à New York était même vendu 13 dollars à des internautes allemands, soit 160 % de plus!

... ET DÉTECTÉE SUR DE NOMBREUX SITES WEB

Chez le détaillant de fournitures de bureau Staples, les différences de prix atteignaient jusqu'à 11 % à l'intérieur d'un

même Etat américain, le Massachusetts. Quant à Shoplet, un autre poids lourd américain des fournitures de bureau, il proposait des prix plus bas de 23 % en moyenne à un internaute parvenu sur son site *via* un agrégateur de prix qui avait déposé un cookie sur son terminal (autrement dit un client à la recherche du plus bas prix possible) par rapport à un autre venu directement sur le site... et qui payait donc bien plus cher le même article.

Une autre équipe d'informaticiens, dirigée par Niko Hannak à l'université →



NIKOLAOS LAOUTARIS

Spécialiste en économie des réseaux à Barcelone

Ces pratiques doivent être encadrées, ou elles risquent de tuer le commerce en ligne

Trains, avions, hôtels... le "dynamic pricing" existe depuis longtemps

Hier à 119 euros, votre vol s'affiche aujourd'hui à 149 euros ? Il s'agit sans doute d'un effet de *dynamic pricing*, un mode de tarification qui utilise des algorithmes pour faire évoluer les prix de vente en fonction du marché : disponibilité de l'offre, pression de la demande, tarifs proposés par la concurrence... Restée longtemps à l'état de théorie économique difficile à mettre en pratique, cette stratégie a explosé avec le commerce en ligne, notamment dans le domaine touristique (billets d'avion, de train, réservations de chambres d'hôtel...). Il est même désormais possible de se procurer des logiciels de *dynamic pricing*, à télécharger sur Internet, afin de vendre ses livres d'occasion au meilleur prix. Une méthode qui n'a rien à voir avec une discrimination des prix "à la tête du client".

→ Northeastern de Boston, est arrivée à des conclusions similaires. Les chercheurs se sont cette fois intéressés à l'effet de l'historique de navigation sur les prix proposés par des détaillants en ligne ainsi que des sites de location de chambres d'hôtel ou de voitures. Cent testeurs ont été recrutés pour chaque catégorie. Ils ont téléchargé un logiciel permettant de faire passer toutes leurs requêtes par le "proxy" (un serveur intermédiaire) de l'université, avant de les rediriger vers 16 sites américains populaires. Les demandes portaient ainsi la même adresse IP d'origine (celle du proxy des chercheurs), mais gardaient les cookies des testeurs.

Résultat : certains sites, comme Home Depot, Expedia, Priceline, Orbitz,

CheapTickets ou Hotels, montraient une différence de prix souvent défavorable aux porteurs de cookies, c'est-à-dire aux habitués du site. Par exemple, une nuit dans un hôtel parisien, facturée 565 dollars pour un nouveau client, était proposée à un habitué à... 633 dollars.

UN LOGICIEL D'ALERTE

Que répondent les sites concernés ? En 2000, alors qu'il était accusé par des clients de pratiquer une discrimination aux cookies, Jeff Bezos, le PDG d'Amazon, s'était fendu d'un communiqué de presse indiquant qu'il s'agissait d'une erreur et promettait : "Nous n'avons pas testé et nous ne testerons jamais de prix basés sur des données démographiques de nos clients."

Depuis, il n'a pas réagi à la publication des travaux de Nikolaos Laoutaris. Le service de communication d'Amazon France, qui nous avons contacté, n'a pas souhaité non plus les commenter. Mais le géant d'Internet est vraisemblablement très intéressé par le sujet puisqu'il conçoit lui-même des logiciels de *pricing* intelligent...

Contacté par des journalistes du *Washington Post* en 2012, Staples avait en revanche reconnu faire varier ses prix en ligne selon la localisation de l'acheteur pour plusieurs raisons, notamment le coût de l'activité économique.

Et ce n'est certainement que la partie émergée de l'iceberg... Pour broser un tableau plus général, l'équipe espagnole de Nikolaos Laoutaris a développé un logiciel d'alerte baptisé Price Sheriff, qui fait appel au *crowdsourcing* (production participative) et peut être téléchargé par n'importe quel internaute. Dès qu'un usager effectue une demande de prix sur Internet, le logiciel simule des requêtes à partir de 14 points d'observation dans le monde, puis renvoie le panel des prix proposés au consommateur et aux chercheurs.

Résultat : sur les 600 domaines testés, 26 ont renvoyé plus de trois fois des prix différents à des profils d'acheteurs différents. Dans ces cas suspects, les différences de prix s'éche-

14\$

Le 25 août 2015, un client qui n'avait pas désactivé ses cookies devait payer 14 dollars pour un lot de stylos Zebra sur le site Shoplet.com.



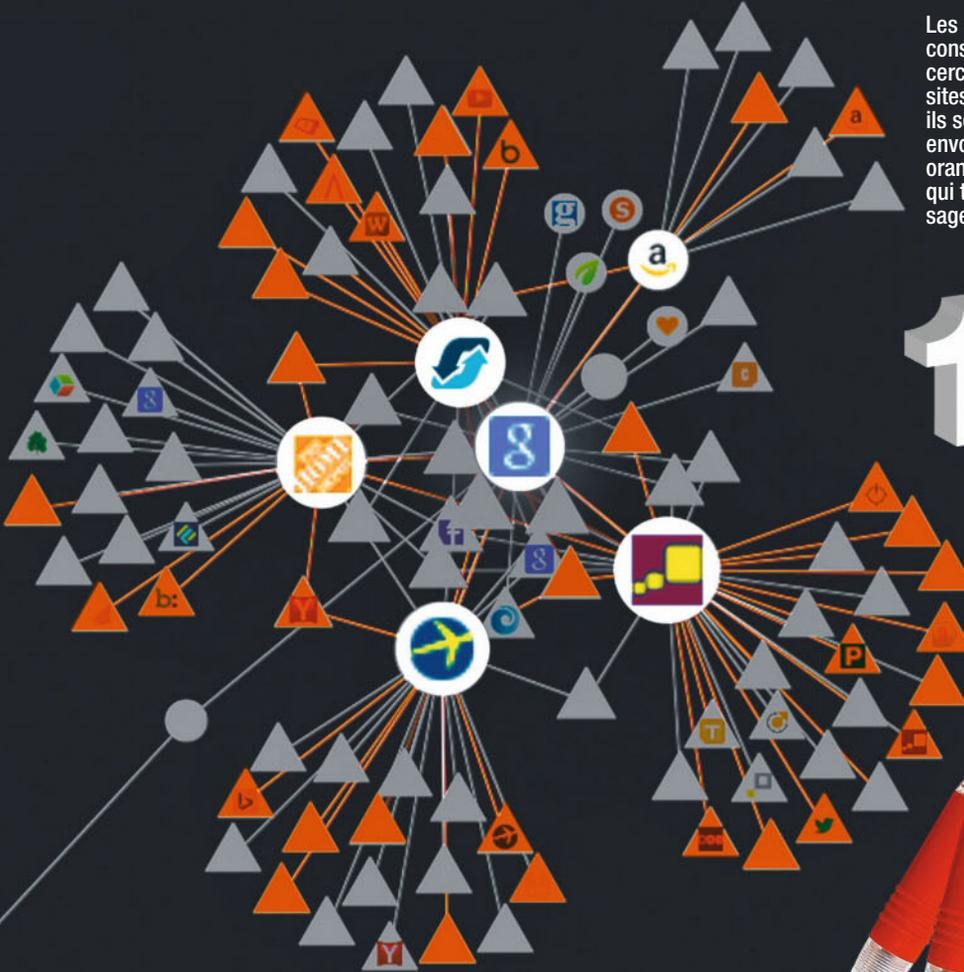
COMMENT SURFER INCOGNITO

Il existe deux astuces pour éviter de se faire "traquer" sur Internet :

- 1. Supprimer les cookies sur son ordinateur.** Tous les navigateurs le proposent, en général dans l'onglet "préférences" ou "paramètres".
- 2. Masquer son adresse IP.** En passant par un proxy, un serveur intermédiaire qui se connectera sur les sites pour vous et vous renverra les pages visitées. Vous pouvez télécharger un logiciel d'anonymisation (Tor, Privoxy...), Mais laisser transiter ses données par un intermédiaire inconnu n'est pas non plus sans danger.

... ou selon son historique de navigation

Les sites d'achat que vous consultez (figurés ici par des cercles blancs) et les autres sites commerciaux auxquels ils sont liés (triangles) vous envoient des cookies (en orange) : des lignes de texte qui témoignent de vos passages sur ces sites.



10\$

Au même moment, un internaute débarrassé de ses cookies (et qui apparaissait alors tel un nouveau client n'étant jamais venu sur le site) devait payer 10 dollars.

SOURCE : PRICE SHERIFF

lonnaient de 10 à 30 % en moyenne, avec des pointes à 100 % sur des produits isolés, comme des livres sur Amazon ou des vêtements sur Net-a-porter, spécialisé dans le luxe.

En moyenne, les Européens se sont vu proposer des prix légèrement plus élevés (d'environ 5 %, voire 10 % dans le cas de Finlandais) par rapport aux Américains ou aux Brésiliens. Plus les prix étaient

bas, plus les écarts étaient importants. Des variations que les taxes douanières ou les frais de port sont incapables de justifier...

"Ces pratiques ne sont pas encore généralisées, mais elles existent, c'est certain, analyse Nikolaos Laoutaris. Il faut alerter les législateurs, parce que si elles ne sont pas encadrées, elles risquent de tuer le commerce en ligne." Conscient de

n'avoir observé qu'une infime portion du commerce mondial, le chercheur poursuit la récolte des données qui continuent de lui parvenir via Price Sheriff: *"Nous espérons ainsi avoir une vision plus générale du phénomène et pouvoir suivre son évolution dans le temps."* Et tirer la sonnette d'alarme en cas de dérapage massif.

Anne Debroise

ALLER PLUS LOIN

A retrouver sur www.science-et-vie.com: le site du Centre européen des consommateurs France, à contacter en cas de suspicion de discrimination géographique au sein de l'UE ; le site où télécharger le logiciel Price Sheriff, pour participer à l'étude mesurant les écarts de prix selon l'origine géographique des internautes.

Pratique du “binge drinking” chez les jeunes

Boire à toute vitesse beaucoup d'alcool détruit la mémoire



MICKAËL NAASSILA

Neurobiologiste, spécialiste des problématiques d'addiction à l'alcool (Inserm)

Science & Vie: Qu'en est-il, en France, des alcoolisations ponctuelles importantes, appelées *binge drinking* ?

Mickaël Naassila: Chez les étudiants, environ 40 % des garçons et 16 % des filles ont déjà connu un épisode de *binge drinking*. Et dans certaines promotions, la moitié des élèves reconnaissent avoir vécu un “trou noir”, une période d'ivresse qui ne leur a laissé aucun souvenir.

S&V: Ce phénomène laisse-t-il des traces dans le cerveau des jeunes adultes ?

LE RAPPEL DES FAITS

Boire beaucoup d'alcool dans un laps de temps très court : voilà le concept du *binge drinking* qui sévit depuis dix ans en France et dans la plupart des pays européens, principalement chez les jeunes. La part de ceux qui ont connu au moins trois ivresses dans l'année a presque **doublé en dix ans**, passant de 15 à 29 % (baromètre santé 2014 de l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé).

M.N.: Oui. C'est la forme de consommation d'alcool la plus délétère pour la mémoire des jeunes. Pour notre étude européenne, AlcoBinge, nous avons séparé les jeunes en deux groupes : les *binge drinkers*, qui peuvent absorber jusqu'à 30 verres par session une à deux fois par semaine, et les “buveurs sociaux”, consommateurs réguliers d'alcool, mais de façon plus étalée dans la semaine. A un an d'intervalle, l'imagerie cérébrale a révélé une altération de la substance blanche (les fibres nerveuses garantes de la communication entre les zones du cerveau) plus importante chez les *binge drinkers*, notamment les garçons. Or, les capacités d'apprentissage et de mémorisation dépendent de ces fibres. L'étude de la matière grise (neurones) a, par ailleurs, confirmé une différence entre les deux groupes, mais cette fois, ce sont les filles qui sont les plus touchées par cette

altération, notamment au niveau de l'hippocampe. L'une de leurs structures les plus altérées est liée aux émotions.

S&V: Pourquoi des effets différents selon les sexes ?

M.N.: Plusieurs facteurs entrent en jeu, notamment la consommation d'autres substances. Mais la vitesse de maturation du cerveau peut également jouer : il est connu qu'au même âge, la maturation est en moyenne plus avancée chez les jeunes filles que chez les jeunes garçons. Comme les effets du *binge drinking* entrent en interaction avec le développement cérébral, les dégâts seraient plus marqués sur les neurones des filles que sur ceux des garçons.

S&V: Quelles pourraient être les conséquences à long terme de cette pratique pendant sa jeunesse ?

M.N.: Addiction à l'alcool, problèmes psychologiques, émotionnels... Sur l'animal,

nos expériences ont montré que des intoxications répétées chez le rat “adolescent” (deux premiers mois de sa vie) induisent une vulnérabilité à l'addiction à l'alcool à l'âge adulte (2 ans). Les rats adultes doivent consommer plus d'alcool pour obtenir une activation des circuits cérébraux de la récompense ! Un besoin qui n'existe pas lorsque la consommation a été plus étalée au cours de l'adolescence de l'animal. On peut aussi craindre des effets neurotoxiques liés à l'alternance d'intoxications massives et de sevrages. Même si les quantités consommées sont les mêmes que chez les buveurs sociaux, nos travaux sur les rats montrent que le cerveau se modifie pour contrer cette hyperalcoolisation, avec des dommages potentiellement durables en termes de fonctionnement cérébral, de mémorisation et d'apprentissage.

Propos recueillis par
Alexandra Pihen

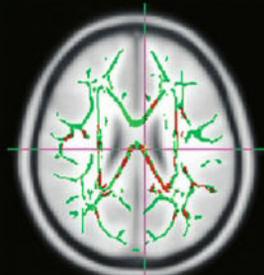
La pub évolutive s'adapte aux réactions des passants

Un rêve de publicitaire est en train de se réaliser: le panneau d'affichage qui tient compte des réactions des passants pour rendre plus efficace le message publicitaire. Testé cet été par l'agence M&C Saatchi durant deux semaines sur deux abribus de Londres, le panneau prend la forme d'un écran associé à un ordinateur et à une caméra Kinect. A partir d'une collection de textes et d'images, un logiciel d'intelligence artificielle crée une série d'affiches, qui sont soumises aux piétons. La caméra filme leur visage, enregistrant la durée de leur regard et décodant leur expression. Si l'affiche suscite l'intérêt, le logiciel la réutilise pour créer une nouvelle série dans laquelle il introduit au hasard de petites variations (image de fond, couleur, texte...). La technique, inspirée de la théorie de l'évolution de Darwin, doit aboutir à la publicité parfaite. L'intelligence artificielle sert déjà à personnaliser les publicités sur nos ordinateurs. Désormais, elle permet d'étudier leur impact sur le consommateur jusque dans ses haussements de sourcils. O.L.

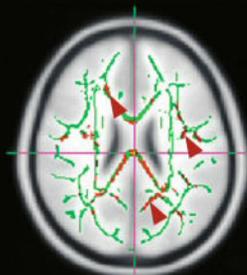


Cette pratique altère les fibres nerveuses du cerveau

Après huit mois de *binge drinking*, les fibres nerveuses primordiales dans la communication entre les différentes zones du cerveau (en vert) montrent plus d'altérations (en rouge).



Début de l'expérience



8 mois plus tard



Evolution de la loi de santé

Le sport, un médicament comme un autre ?

Un footing plutôt qu'un médicament ? Les médecins vont bientôt pouvoir prescrire du sport sur ordonnance. Pratiquée dans un centre agréé et encadrée par des professionnels formés au "sport thérapeutique", cette activité physique devrait être prise en charge par l'assurance maladie ou les mutuelles.

Les médecins ont, depuis longtemps, compris que le sport est excellent pour la santé, autant d'un point de vue préventif que curatif. En 2008, l'Institut national de la santé et de

la recherche médicale (Inserm) a réalisé la synthèse la plus complète des effets démontrés d'une activité physique régulière. Sa conclusion est catégorique : celle-ci doit être considérée, pour un grand nombre de pathologies, comme un traitement à part entière, avec des résultats parfois supérieurs aux effets des médicaments (voir les chiffres ci-dessous). Il était temps que la loi le reconnaisse !

Mais encore faut-il persuader le patient de troquer ses comprimés contre une éprouvante séance de vélo ou de marche à pied. Et c'est bien là que le bât blesse, selon la Haute autorité de santé. Dans un rapport de 2011, elle regrette que les consignes orales du médecin en la matière soient peu suivies. Elles "contrarient le schéma traditionnel du déroulé de la consultation, qui est centré

sur la prescription médicamenteuse", analyse-t-elle. En clair, le patient attend de son médecin une ordonnance, et non qu'il remette en cause sa façon de vivre.

Sacralisée en France, l'ordonnance confirme le statut de "malade" et atteste que le problème est pris en main. Y inscrire noir sur blanc l'activité physique vise à lui donner la même force symbolique qu'un médicament.

UNE MESURE LIMITÉE

Cela suffira-t-il ? Les médecins restent sceptiques. Pour Alain Simon, chef du service de prévention cardiovasculaire de l'hôpital européen Georges-Pompidou (Paris), "il faut surtout expliquer au patient pourquoi l'exercice physique est bénéfique, lui rappeler que le sang s'écoule dans des artères, que des plaques peuvent les boucher, et que le sport améliore la dilata-

tion des vaisseaux". Même discours du côté des généralistes. "Quand les malades constatent eux-mêmes les effets concrets du sport, ils s'y mettent", confie Jean-Yves Couesnon, médecin du sport à Marcorignan (Aude).

Mais plus que l'inscription sur l'ordonnance, c'est sans doute le remboursement des séances qui, auprès des patients les plus démunis, fera la différence. "Beaucoup n'ont même pas de quoi payer les soins. Ils n'iront pas s'inscrire à un cours d'aquagym si ce n'est pas remboursé", note le médecin. Il regrette par ailleurs que la mesure ne concerne, pour l'instant, que les patients en affection de longue durée. "Ces personnes ont

LE RAPPEL DES FAITS

Depuis **avril 2015**, un amendement à la loi de santé autorise les médecins à prescrire des **séances de sport sur ordonnance**, en complément, voire à la place d'un traitement médicamenteux.

DES BIENFAITS DU SPORT SUR...

AVC : - 25%

Faire 45 minutes de vélo, de marche rapide ou de natation 3 à 4 fois par semaine réduit le risque d'accident vasculaire cérébral de 25 %.

Cancer du côlon : - 50%

Une activité physique modérée ou intense, à raison de 30 à 60 minutes par jour, diminue le risque de développer un cancer du côlon (l'un des plus fréquents) de 50 %.

Cancer du sein : - 50%

Marcher de 3 à 5 heures par semaine diminue, chez les femmes ayant été traitées pour un cancer du sein (au stade I, II ou III), le risque de décès ou de récurrence de 20 % à 50 %.



souvent des pathologies très lourdes, comme une leucémie ou une polyarthrite qui les plie littéralement en deux. Pas facile, pour des patients en chimiothérapie ou souffrant d'insuffisance respiratoire, de trouver une activité adaptée", note-t-il.

Pour les autres, la difficulté est d'avoir des conditions de vie compatibles avec une activité sportive. "Difficile de pratiquer la course à pied si vous passez chaque jour plusieurs heures dans les transports et qu'il n'y a aucun parc aux alentours...", relève Alain Simon. Le problème n'est donc plus médical, mais concerne l'organisation même de notre société.

Emmanuel Monnier



JEAN-YVES
COUESNON

Médecin
du sport

Quand les malades constatent eux-mêmes les effets concrets du sport, ils s'y mettent

Diabète: - 60%

Pratiquer la marche, le vélo ou la natation pendant 45 minutes, au moins 3 fois par semaine, diminue de 60 % le risque d'apparition d'un diabète de type 2 chez les patients qui y sont enclins. Ce qui fait du sport un traitement deux fois plus efficace que la metformine (médicament standard).



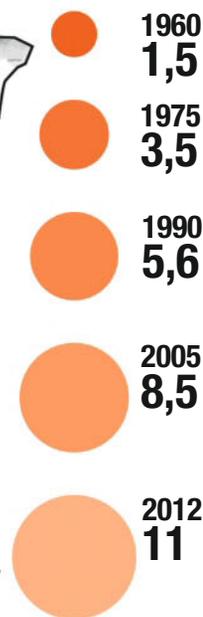
Les robots ne sont pas près d'asservir l'humanité

C'est Stephen Hawking, le célèbre astrophysicien anglais, qui a lancé le mouvement en 2014 en déclarant à la BBC: "Le développement d'une pleine intelligence artificielle [IA] pourrait signifier la fin de la race humaine." Il a vite été rejoint par Elon Musk, fondateur de Tesla Motors et Space X: "L'IA est potentiellement plus dangereuse que les armes nucléaires", puis par de nombreuses personnalités. Faut-il craindre le développement d'une super-intelligence qui déciderait d'asservir l'espèce humaine? Pour beaucoup de spécialistes, le scénario est encore éloigné de la réalité. Car malgré ses exploits, l'IA ne laisse place à aucune super-intelligence, encore moins à de l'intentionnalité. Les chercheurs évoqueraient plutôt le risque de "mauvaises décisions" prises en cascade par des algorithmes ultrarapides et interconnectés, auxquels nous déléguons de plus en plus de tâches globales: sécurité, logistique, trafic aérien, trading, transport d'énergie, etc. Pourquoi alors le débat a-t-il pris, comme si la menace était technologiquement mûre? Parce que la crainte est réelle, bien sûr. Pour certains analystes, ce débat est même positif. L'IA pourrait ainsi se faire accepter du grand public, et poursuivre son développement sans risque de blocage sociétal. Mais d'autres craignent que les vrais problèmes soient masqués, comme la mainmise sur l'IA de Google ou de Facebook, aussi riches en moyens technologiques qu'avares en informations et obscures en intentions... Le problème, c'est toujours l'humain derrière les machines.

Róman Ikonicoff

L'éclairage public a été multiplié par 7 en 50 ans

Nombre de points lumineux (lampadaires, éclairage de monuments...) en millions

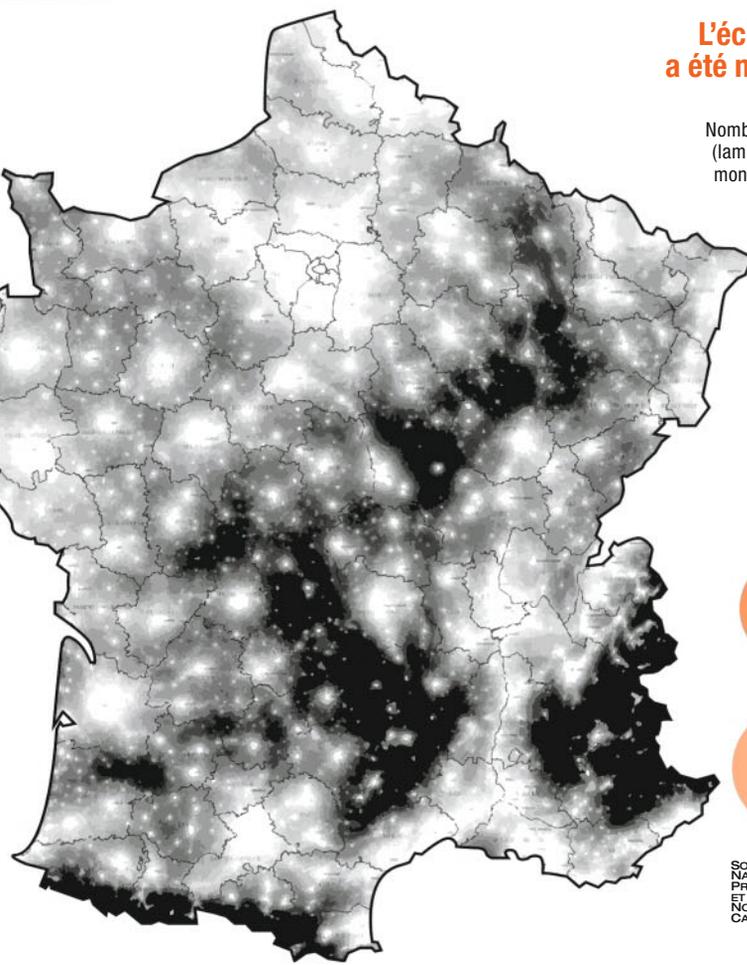


SOURCE : © ASSOCIATION NATIONALE POUR LA PROTECTION DU CIEL ET DE L'ENVIRONNEMENT NOCTURNES / CARTOGRAPHIE-2015

L'Hexagone est baigné de lumière

Cette carte, établie au 1^{er} janvier 2015, montre le niveau lumineux émis par l'éclairage public et diffusé par l'atmosphère. En blanc, les zones où ce niveau est le plus fort (villes) ; en noir, là où il est le plus faible (montagnes, zones inhabitées).

Niveau lumineux nocturne



Pollution lumineuse

Il ne fait quasiment plus noir en France

LE RAPPEL DES FAITS

Pour la première fois depuis 2000, l'Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes (ANPCEN) a dressé un portrait de la pollution lumineuse. Et la situation ne s'améliore pas. Malgré une loi de 2009 stipulant que "la prévention, la limitation et la suppression des nuisances lumineuses doivent faire l'objet de mesures", aucun plan d'action n'a été mis en œuvre par les pouvoirs publics.

En dehors des régions montagneuses, les étoiles se font toujours plus rares dans le ciel français... En cause, une lumière artificielle omniprésente qui n'est pas sans conséquences sur la santé (rythmes biologiques) des hommes et des animaux, ainsi que sur

la biodiversité (migrations, vies nocturnes).

Si la consommation d'électricité semble se stabiliser depuis 2005, le nombre de points lumineux (éclairage public), lui, explose et atteint les 11 millions avec une augmentation de 89 % depuis

1992 ! Pour Anne-Marie Ducroux, présidente de l'ANPCEN, "sans revenir à l'âge des cavernes, nous devons inventer un éclairage basé sur les besoins réels du XXI^e siècle, et non sur une offre toujours plus importante !".

Alexandra Pihen

B. BELLANGER

Ébola, un virus antique?

Comment enseigner l'histoire de France



NOUVELLE FORMULE

Plus de 7000 soldats pour protéger une tombe!

CRÉDIT PHOTO : © SHUTTERSTOCK / UNAL OZMEN

LE MAGAZINE D'HISTOIRE DES CIVILISATIONS

**LES CAHIERS
SCIENCE & VIE**



Vidéo explicative sur notre site web!

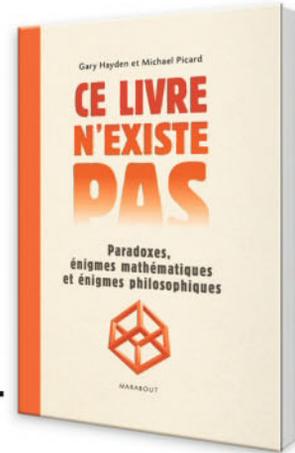
NOUVEAU

Le pendule de Newton revisité!

Sur le même principe que le pendule de Newton, ce pendulaire vous apporte un sentiment de détente grâce à ses mouvements harmonieux en forme de vague. Il apportera également une touche design à votre intérieur avec ses billes en acier inoxydable et sa structure en bois.

Le pendulaire vague (Newton revisité) - 39,90 €

DIMENSIONS : 35,5 x 26 x 15 cm. STRUCTURE EN BOIS. 9 BILLES EN ACIER INOXYDABLE. FILS EN NYLON.



Bienvenue au pays étonnant des paradoxes!

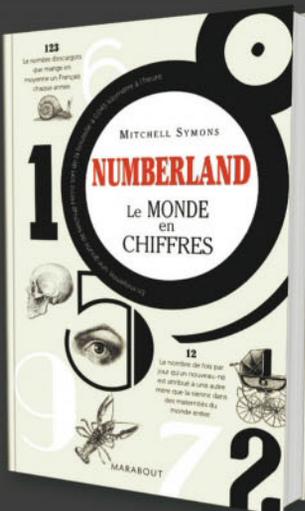
Pour vous creuser la cervelle et remettre en question tout ce que vous pensez savoir, découvrez ce livre rempli d'énigmes mathématiques et philosophiques. De l'Antiquité grecque à Albert Einstein, faites un voyage palpitant du simple contre-intuitif au totalement absurde.

Ce livre n'existe pas - 12,90 €

DIM. 14,5x22 cm. 160 PAGES. MARABOUT.

LE MONDE EN CHIFFRES

Visuels non contractuels



NOUVEAU

Combien de marches compte la Tour Eiffel?

Saviez-vous que 13,5% des scientifiques sont des femmes, que les lapins font 18 siestes par jour, que Shakespeare a inventé 1 700 mots... ?

Laissez-vous captiver par ce recueil de chiffres couvrant tous les domaines :

Histoire, science, animaux, célébrités, corps humain... Vous serez surpris à chaque instant par ces anecdotes qui nous semblent irréalistes. Attention, lecture addictive!

Numberland - le monde en chiffre - 12,90 €

DIM. 13,5 x 20,5 cm. 256 PAGES. ÉDITIONS : MARABOUT.



Déstressant et ludique!

Essayez vite ces incroyables billes magnétiques...

Et vous ne pourrez plus vous en passer! Avec des aimants de terres rares, extrêmement magnétiques, faites et défaites inlassablement de nouvelles formes. Vos mains vous étonneront!

Billes incroyables magnétiques

Bezū balls® - 29,90 €

125 BILLES AIMANTÉES, ORIGINE TERRES RARES. DIAMÈTRE : 0,5 cm. FINITION NICKEL CHROME.

BEZU ballz



Vidéo explicative sur notre site web!

ON PENSE TOUS QUANTI

Vous croyez être rationnels ? Faux. Ou plutôt, c'est vrai, mais quantiquement ! Car de récentes expériences le prouvent : lorsque nous pensons, hésitons, raisonnons ou prenons une décision, nous n'obéissons pas aux règles de la logique classique, mais à celles, étranges et biscornues, de la mécanique quantique, où les choses ne sont plus parfaitement définies mais intriquées, ubiques, oscillantes et superposées. Et voilà qui éclaire d'un nouveau jour toute la psychologie humaine : nos états d'esprit sont d'abord des états quantiques. De quoi mieux se comprendre et comprendre les autres...

ILLUSTRATION : V. CHARRIER D'APRÈS A. MINDE/PHOTO ALTO/GOBBIS - SHUTTERSTOCK

PAR MATHILDE FONTEZ ET HERVÉ POIRIER

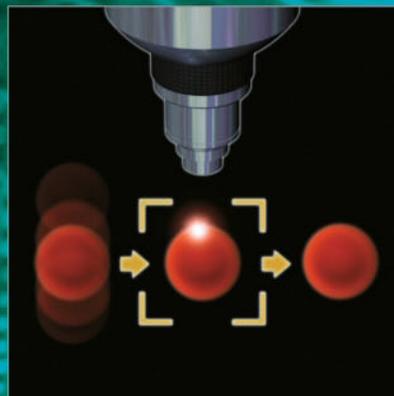


QUE

À LA
UNE

Mécanique quantique : 4 phénomènes qui font la différence

Formulée durant les années 1920 pour décrire le comportement de la matière microscopique, la théorie quantique exploite un formalisme mathématique sophistiqué. Bien qu'indigeste, ce corpus permet de prédire les résultats obtenus lors des expériences sur les électrons ou les photons avec une précision qui ne s'est jamais démentie. Sauf qu'elle décrit un monde pour le moins étrange, où les règles de la logique classique ne sont plus de mise... Voici quatre exemples de "bizarreries" typiquement quantiques.



La superposition d'états

Tant qu'une particule n'est pas soumise à un acte de mesure, la théorie quantique affirme qu'elle se trouve dans tous ses états possibles à la fois, chacun étant affecté d'une certaine probabilité. Ce n'est que lorsqu'une observation est réalisée que cette superposition se réduit à un seul état classique et bien déterminé : le résultat de la mesure. Alors qu'en physique classique, observer un phénomène ne le modifie pas.

Quel rapport? D'un côté, la pensée : l'ensemble des processus abstraits mis en place par notre cerveau pour percevoir, raisonner, juger... D'un autre, la mécanique quantique : cette théorie inventée au début du XX^e siècle pour rendre compte des expériences menées sur les électrons, les noyaux atomiques, les photons de lumière et autres particules... Quel rapport entre le discours intérieur de l'âme et le comportement de la matière dans le monde de l'infiniment petit?

"Ils sont régis par les mêmes lois!", ose une poignée de chercheurs. "Ose", car ils ne sont pour l'instant que quelques dizaines, venus d'horizons divers – physiciens théoriciens, psychologues, économistes, spécialistes des sciences de l'information... –, à défendre cette idée

apparemment folle : la moindre de nos pensées, le cheminement intérieur qui nous amène à prendre une décision, les réflexions qui se mettent en branle dans notre for intérieur, les associations d'idées qui nous permettent d'interpréter une image... tout ce qui se passe dans notre tête serait de nature quantique.

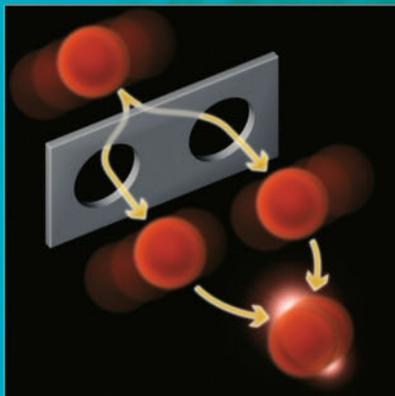
Une idée qui change tout. Alors que chacun d'entre nous, même lorsqu'il déraisonne, croit agir, décider et penser selon les règles de la logique classique et de la pensée cartésienne, eux affirment que, si raison il y a, elle n'est pas classique, mais quantique. C'est-à-dire qu'elle suit des règles, certes logiques, mais totalement différentes ! Ce qui chamboule complètement l'idée que nous avons de nous-mêmes et jette sur l'esprit humain une lumière aussi vertigineuse qu'inédite. Sans compter

que cela révolutionne, au passage, toutes les sciences humaines, de la psychologie à l'économie en passant par la sociologie.

UNE AUTRE LOGIQUE, D'AUTRES LOIS

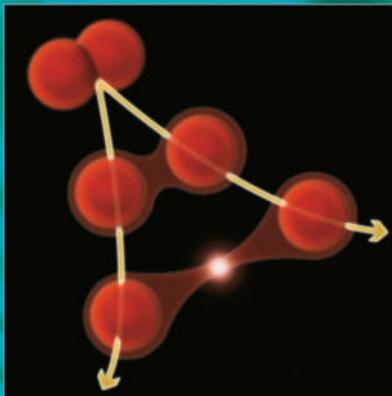
Au premier abord, il faut bien le reconnaître : cette association des termes "pensée" et "quantique" semble un peu tirée par les cheveux. Ce ne serait en effet pas la première fois que le caractère mystérieux de la mécanique quantique inspire des analogies plus ou moins fumeuses.

Pour comprendre, rappelons que la mécanique quantique permet de décrire le comportement de la matière microscopique avec une précision sidérante... mais avec une logique pour le moins bizarre : ce qui se passe dans le monde de l'infiniment petit n'est pas régi par les mêmes lois que celles prévalant dans le monde ordinaire.



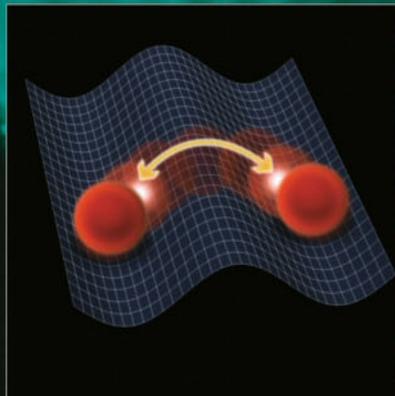
L'interférence

Envoyez une particule vers un mur percé de deux trous. Si vous ne regardez pas par lequel elle passe, la physique quantique énonce qu'elle passe par les deux en même temps – impossible, selon la théorie classique. Dans cette expérience dite des “fentes d'Young”, la particule se trouve dans deux états (elle est passée par la gauche et par la droite), qui peuvent interférer et laisser dans les mesures réalisées la trace de ce don d'ubiquité.



L'intrication

Deux particules peuvent s'enchevêtrer. Lorsqu'elles sont placées dans un état dit “intriqué”, la théorie quantique et l'expérience s'accordent pour dire que l'état de ces deux particules doit être décrit globalement, sans pouvoir séparer l'une de l'autre – bien qu'elles puissent être spatialement séparées. Ce qui est en désaccord avec la physique classique, qui veut qu'un objet ne puisse être influencé que par son environnement immédiat.



L'oscillation

Une particule quantique peut aussi présenter une dynamique originale. Imaginons qu'elle soit envoyée au fond d'une vallée dotée de deux petits trous peu profonds. Au lieu de se retrouver coincée et immobile au fond d'un de ces deux trous, comme c'est le cas dans la physique classique, elle va se mettre à osciller entre ces deux états instables. Elle ne va pas rester statique mais adopter un comportement dynamique.

Ainsi, une particule peut aussi être une onde, elle peut passer par plusieurs endroits à la fois, elle peut être reliée à une autre par-delà l'espace et le temps... Toutes choses inobservables à des échelles macroscopiques (voir les 4 phénomènes ci-dessus).

Mais pourquoi cette merveilleuse propension à échapper à la logique classique serait-elle réservée aux particules? Nos neurones, par exemple, ne pourraient-ils être quantiques? L'idée n'était pas obligatoirement absurde. Elle n'a finalement rien donné de probant, ces approches étant aujourd'hui considérées, au mieux, comme hautement spéculatives, et le plus souvent, comme parfaitement fantaisistes (lire l'encadré p. 61).

Ici, il ne s'agit pas de cela. “*Nous ne clamons pas que le cerveau est un ordinateur quantique!*”, précise d'entrée de jeu Jerome Busemeyer,

psychologue à l'université de l'Indiana (Etats-Unis). *Nous laissons les bases neuronales pour plus tard... Nous utilisons seulement les principes quantiques pour décrire les phénomènes cognitifs.*” Pour le dire autrement, ce n'est pas le

Sans clamer que le cerveau est un ordinateur quantique, nous utilisons les principes quantiques pour décrire les phénomènes cognitifs

fonctionnement biologique de nos neurones qui est en jeu, mais la manière dont, ensemble, ils traitent l'information pour former des raisonnements. Ce n'est pas directement notre matière grise qui se met dans des états quantiques, mais son

fruit, c'est-à-dire nos pensées intérieures, et la façon dont elles sont représentées et transformées dans notre cortex.

Le changement de perspective n'en est pas moins radical. Car, au final, les arguments avancés par les adeptes

JEROME BUSEMEYER

Psychologue à l'université de l'Indiana (Etats-Unis)

de cette nouvelle “psychologie quantique” élucident de façon enfin satisfaisante ce qui se passe en nous lorsque nous réfléchissons, hésitons, décidons... et même lorsque nous rêvons. Nos états d'esprit, qui semblent si mystérieux et

→ mouvants, s'éclairent soudain si l'on sait que ce sont des états quantiques.

“Le potentiel est énorme, s'enthousiasme Ariane Lambert-Mogiliansky, spécialiste des effets psychologiques en économie à l'École d'économie de Paris. Cela amène à repenser complètement la manière dont chacun d'entre nous raisonne.”

Commençons par un exemple, qui illustre la différence entre une pensée classique et une pensée quantique :

Le potentiel de ces travaux est énorme. Cela amène à repenser complètement la manière dont chacun d'entre nous raisonne

vous êtes au restaurant et le serveur vous demande de choisir entre le fromage et le dessert.

Dans le cadre de la psychologie classique, l'état de votre opinion sur la question, qui dépend d'une multitude de paramètres et de calculs, est parfaitement défini à chaque instant (même si vous êtes face à un dilemme, avec une préférence égale pour les deux options, ou légèrement favorable à l'une plutôt qu'à l'autre). Prendre une décision ne revient alors qu'à lire l'état dans lequel votre opinion se trouve (“je vais prendre du gruyère”, ou “goûtons donc la tarte”, ou “j'hésite” si votre opinion n'est pas encore suffisamment tranchée).

DES RÉSULTATS QUI DÉFIENT L'ENTENDEMENT

Dans le cadre de la psychologie quantique, vous n'avez pas une opinion sur la question... mais toutes à la fois. On dira que vous êtes dans une “superposition d'états” (voir p. 56). En clair, vous êtes à la fois totalement attiré par le fromage, totalement tenté par le dessert, parfaitement hésitant entre les deux, ainsi que tous les autres équilibres possibles. Et c'est sur cet état d'esprit, constitué de la superposition de toutes les

opinions possibles, que se portent les réflexions que vous menez sous la pression polie du serveur – le modèle quantique englobe ainsi le modèle classique, le réduisant au rang de cas particulier.

Bizarre ? Les physiciens ont pourtant fini par s'y habituer : selon les lois quantiques, une particule peut se trouver dans plusieurs états à la fois (elle peut être ici et là, tourner dans un sens et dans un autre). C'est



ARIANE LAMBERT-MOGILIANSKY

Spécialiste des effets psychologiques en économie à l'École d'économie de Paris

seulement lorsqu'elle est soumise à une mesure effective que cette superposition d'états se réduit à un seul : le résultat de la mesure.

Idem au restaurant : votre état d'esprit est la superposition de tous les appétits possibles, laquelle se réduit à une seule réponse lorsque vous avez finalement réussi à trancher la question – en quantique, cela s'appelle “réduire son paquet d'ondes”.

Bon, mais la question reste posée : comment les scientifiques en sont-ils arrivés là ? Pourquoi aller chercher une idée aussi saugrenue ? Pourquoi vouloir représenter nos pensées avec un formalisme aussi tarabiscoté et abscons, issu d'un domaine scientifique aussi éloigné ?

La réponse donnée par les cogniticiens quantiques est lumineuse : les psychologues, en ce début de XXI^e siècle, se trouvent exactement dans la même situation que les physiciens au début du siècle précédent. Ils doivent faire face à des résultats qui défient l'entendement.

De fait, dans les années 1920, les Bohr, Heisenberg et autres Pauli échafaudèrent la théorie quantique parce qu'ils étaient confrontés à des

résultats expérimentaux qui contredisaient les lois de la physique traditionnelle. De la même manière, c'est pour faire face à l'accumulation d'une multitude d'exemples dans lesquels l'esprit humain défie la logique et les lois de la probabilité classiques que ce petit groupe de spécialistes de la cognition s'empare aujourd'hui de ce formalisme.

Dès le début des années 1980, les psychologues israéliens Amos Tversky et Daniel Kahneman ont ainsi montré qu'il existe une multitude de cas où, au lieu de calculer les probabilités de manière rationnelle pour faire un choix ou émettre un jugement, l'esprit humain viole les lois de la logique.

D'innombrables tests ont démontré depuis que lorsque nous devons parier sur un événement, nous accordons systématiquement trop d'importance aux faibles probabilités et pas assez aux grandes. Ou que nous jugeons les événements proches plus désirables que les événements lointains. Ou encore que nous sous-estimons ce que nous ignorons... Autant de traits psychologiques universels qui fonctionnent comme des biais de raisonnement, déviant les trajectoires de nos décisions de la



LE TEST DES POINTS QUI BOUGENT

Il prouve que nos états d'esprit se superposent

L'expérience

Conçu par les psychologues Jerome Busemeyer, Timothy Pleskac et Peter Kvam, ce test consiste à observer des points sur un écran : tous bougent de façon aléatoire, sauf un petit pourcentage (entre 2 et 16 %) programmé pour se déplacer d'un même côté. Après une ou deux secondes d'observation, les participants doivent dire si les points se déplacent plutôt vers la gauche ou vers la droite, et évaluer leur degré de certitude ; une fois sur deux, il est demandé de formuler un premier avis au milieu du test. Résultat : sur les 9 volontaires ayant participé à 25 000 essais environ, ceux qui avaient dû prendre une décision intermédiaire avaient moins confiance en leur jugement que les autres.

L'interprétation quantique

Contrairement au schéma de pensée classique, qui suppose que notre opinion est toujours dans un état bien défini et que prendre une décision consiste juste à lire cet état, le modèle quantique suppose que notre opinion est dans un état indéfini, une superposition de plusieurs opinions, qui se réduit à une seule lors du processus de décision ou de jugement. Prendre une décision au milieu du test transforme donc l'état de l'opinion, la réduit, et son état final s'en ressent. Le modèle quantique prévoit en particulier que l'opinion de ceux qui n'ont pas fait de choix intermédiaire, par un effet d'interférence, tend à être plus tranchée. *"Nos résultats sont des arguments empiriques forts en faveur de la prédiction quantique selon laquelle un choix interfère avec la confiance en un jugement ultérieur"*, notent les chercheurs.

LE TEST DU JEU DE HASARD

Il prouve que nos jugements interfèrent

L'expérience

Ce test, célèbre, est mené depuis les années 1990 : on informe des joueurs qu'ils ont une chance sur deux de gagner 200 dollars (par exemple avec un jeu de dés), et une sur deux de perdre 100 dollars. On fait une première partie, puis on leur demande s'ils veulent rejouer, sachant que l'on dit à certains seulement le résultat de leur première partie. Au final, environ 70 % des participants à qui on a dit qu'ils ont gagné la première fois décident de rejouer ; 60 % des participants à qui on a dit qu'ils ont perdu la première fois décident eux aussi de rejouer... mais seulement 35 % de ceux à qui on n'a rien dit.



route tracée par la logique probabiliste. Des biais de raisonnement qui seraient en réalité... quantiques !

Car comment justifier ces biais dans le cadre classique : défaillances de la mémoire ? Prédominance de l'intuition, et donc des émotions, sur le raisonnement ? "A chaque découverte d'un nouveau cas, on invente un nouveau modèle, souligne Ariane Lambert-Mogiliansky. En réalité, on ne dispose d'aucune explication. Ces constatations n'ont aucun fondement théorique solide dans le cadre classique."

Et elle n'est pas la seule à en être persuadée : à l'instar des photons et des électrons, nos pensées se superposent, interfèrent, s'intriquent dans

notre cerveau, laissant *in fine*, dans les réponses données au cours des tests psychologiques ou lors de nos réflexions quotidiennes, les traces de leur fol état.

DÉJÀ DE NOMBREUX ENSEIGNEMENTS

Le tableau de chasse de ces effets quantiques qui biaisent le raisonnement humain commence à être impressionnant.

Prenez l'impact de la mesure. C'est l'un des effets les plus fondamentaux de la mécanique de l'infiniment petit : observer une particule transforme son état, ou plutôt la réduit à un seul, elle qui était dans tous ses états à la fois.

Jerome Busemeyer et des collègues viennent de mettre en exergue, dans

une expérience, cet impact quantique de la prise de décision sur l'état d'esprit : les participants qui ont été amenés à prendre une décision au cours du test avaient, à la fin, moins confiance en leur jugement que ceux auxquels on avait demandé de ne pas encore faire de choix (voir le test des points qui bougent, p. 59).

"C'est parfaitement cohérent avec notre modèle quantique, où les participants sont dans un état de superposition jusqu'à ce qu'ils prennent une décision, et que cet état se résout", souligne le psychologue.

Premier enseignement de la cognition quantique : la prise de décision n'est pas simplement un enregistrement d'un état



L'interprétation quantique

La logique classique voudrait que le troisième pourcentage soit la moyenne des deux premiers : si on a envie de rejouer quelle que soit l'issue du jeu, on devrait avoir envie de rejouer même sans la connaître. Pour le psychologue Peter Bruza, ce résultat est conforme à la rationalité quantique. Il y voit même la reproduction de l'expérience des fentes d'Young, où une particule de lumière est capable de passer par deux trous à la fois pour interférer derrière avec elle-même (voir p. 57) : *"Le participant qui ne sait pas s'il a gagné se trouve dans un état de superposition de l'état 'j'ai gagné la première fois' et de l'état 'j'ai perdu la première fois'. Un terme d'interférence s'ajoute alors aux probabilités classiques, qui modifie sa décision... et colle parfaitement avec les résultats expérimentaux."*

préexistant ; cela change carrément l'état d'esprit. Les réponses ne pré-existent pas aux questions : elles sont construites par le contexte dans lequel elles sont posées.

"Cet impact de la prise de décision sur l'opinion remet en cause des aspects fondamentaux des théories classiques de l'économie – décisions, prix, négociations, etc. –, qui sont fondées sur l'idée qu'un agent cherche à maximiser son utilité en fonction des informations disponibles et de préférences préexistantes", note Ariane Lambert-Mogiliansky. →

SHUTTERSTOCK

Les neurones, eux, ne sont pas quantiques

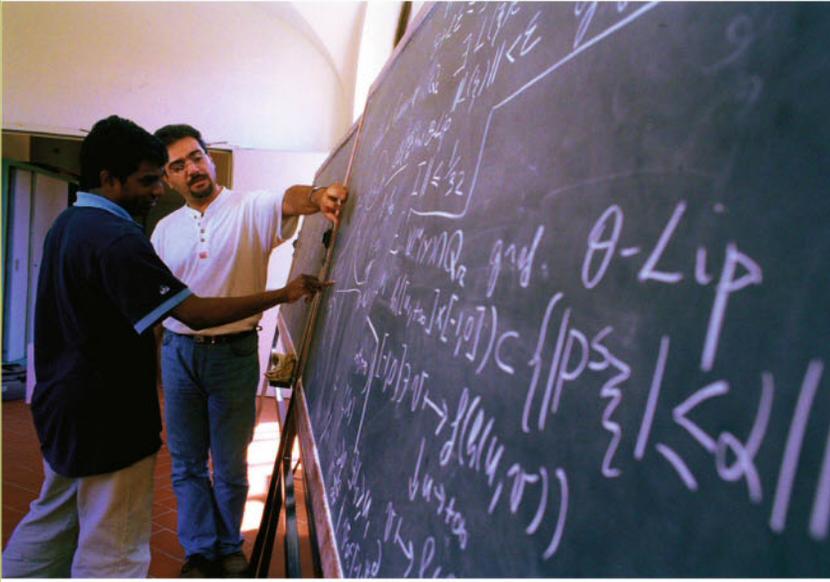
Attention ! Il ne faut pas confondre ces travaux sur la psychologie quantique avec les tentatives de voir les neurones eux-mêmes adopter un comportement quantique – ce serait comme confondre, pour un ordinateur, le type de langage informatique utilisé avec les règles de la logique des circuits électroniques. Parmi ces tentatives, la plus connue reste celle proposée par Roger Penrose dans les années 1980. Guidé par des réflexions sur la pure logique mathématique, le célèbre mathématicien anglais avançait alors que la clé de l'émergence de la conscience humaine pourrait se trouver dans la capacité des neurones à former des sortes de condensats de Bose-Einstein, un état quantique extrême où toutes les particules deviennent indiscernables. Mais comme nous l'expliquait le physicien suisse Nicolas Gisin il y a quatre ans (voir S&V n° 1123, p. 54), *"ces idées ont beau être très stimulantes intellectuellement parlant, elles sont à ce point spéculatives que ça n'en est plus de la science"*. Si des travaux expérimentaux s'accumulent qui montrent que des effets quantiques pourraient avoir une importance pour décrire certains phénomènes biologiques comme la photosynthèse, la stabilité de la molécule d'ADN ou l'activité des enzymes, aucun ne s'attaque sérieusement aux neurones.

À LA UNE



◀ **UN DOMAINE QUI GAGNE EN CRÉDIBILITÉ**
Portés par une poignée de chercheurs, les travaux en cognition quantique commencent à être publiés dans de prestigieuses revues scientifiques comme les PNAS.





^ LES PSYCHOLOGUES AUX PRISES AVEC LES ÉQUATIONS QUANTIQUES

C'est en étudiant et en affinant le formalisme quantique que les psychologues tentent de tirer un modèle plus général, applicable à l'esprit humain.

→ Et cela fournit le premier socle théorique à une pratique économico-sociale courante depuis la nuit des temps : l'art de la manipulation. Jim Sherman, psychologue à l'université de l'Indiana, a par exemple récemment démontré que le simple fait de demander à quelqu'un s'il pense qu'il pourrait donner son sang augmente la probabilité qu'il le donne

La superposition d'états offre une très bonne représentation du conflit et de l'ambiguïté que nous ressentons lorsque nous doutons

technologie du Queensland, en Australie, étudie ce domaine depuis quinze ans. Lui a relié un autre type de biais psychologique bien connu avec un autre type d'effet quantique célèbre : ses tests indiquent que nos réactions illogiques dans une situation où l'on manque d'informations sont dues à un pur effet d'interférence quantique, similaire à la célèbre

JEROME BUSEMEYER

expérience des fentes d'Young (voir le test du jeu de hasard, p. 60).

Ce n'est pas tout ! Car en appliquant la cognition quantique au langage, Diederik Aerts, physicien à l'université libre de Bruxelles, l'un des pionniers du domaine, a pour sa part démontré, calculs à l'appui, que notre difficulté à catégoriser les choses ("ceci est un fruit", "ceci est un légume") porte la signature de

l'intrication quantique, cette propension que peuvent avoir deux objets à n'en former qu'un seul, quelle que soit la distance qui les sépare (voir le test du champignon, ci-contre).

UNE PENSÉE PLUS PERFORMANTE

Autre succès spectaculaire : notre perception du cube de Necker, un cube dessiné en perspective qui peut être perçu comme vu du dessus ou vu du dessous. De nombreuses études psychologiques ont démontré que, face à cette figure ambiguë, notre perception bascule sans cesse entre les deux configurations. Or, en représentant ce basculement comme une oscillation quantique entre deux états instables, Harald Atmanspacher, de l'université de Zurich, et un collègue ont réussi à déduire la durée d'oscillation observée expérimentalement (voir le test du cube de Necker, p. 64).

La liste des expériences qui trahissent le fonctionnement quantique de notre pensée est longue. Perception, langage, mémoire, jugement, apprentissage... Aucun domaine de la cognition n'est épargné. Et chacune des bizarreries quantiques semble y trouver sa place.

Reste une question : pourquoi la nature aurait-elle implémenté sous nos crânes une telle mécanique, si complexe et parfois si illogique ?

La réponse est toute trouvée : parce que cela rendrait notre pensée plus performante. Elle acquerrait ainsi la puissance de calcul d'un ordinateur quantique, cette machine qui, depuis qu'elle a été imaginée par les physiciens dans les années 1980, désespère les ingénieurs et fait rêver les informaticiens.

Penser quantique, c'est faire des calculs massivement parallèles, les réflexions opérant sur des représentations mentales constituées d'une superposition d'états. Avec un défaut. Comparées aux réponses d'un cerveau qui tourne selon le modèle classique, non limité en ressources et en temps de calcul, celles de la

R. ACCURRI/CONTRASTO/REA - SHUTTERSTOCK

LE TEST DU CHAMPIGNON

Il prouve que nos pensées peuvent s'intriquer

L'expérience

Ce test a été inventé dans les années 1980 par James Hampton. Il consiste en trois questions : par exemple, est-ce que le champignon est un fruit ? Est-ce un légume ? Est-ce un fruit ou un légume ? Les résultats indiquent que personne ne considère que c'est un fruit, qu'un participant sur deux estime que c'est un légume... mais que 90 % d'entre eux disent qu'il s'agit "d'un fruit ou d'un légume". Autrement dit, nombreux sont ceux qui considèrent que ce n'est ni l'un ni l'autre, mais "l'un ou l'autre" ! Et le même biais émerge pour catégoriser l'olive, l'ail, le persil ou l'amande...



À LA UNE

L'interprétation quantique

Pour le physicien Diederik Aerts, ce paradoxe logique trouve sa source dans l'intrication, l'un des phénomènes quantiques les plus déroutants (voir p. 57). Dans le modèle quantique, pour les aliments ambigus, la catégorie "fruit ou légume" ne se réduit pas à la somme de ses deux sous-catégories. Calculs à l'appui, le chercheur a démontré que seul le modèle quantique prévoit cet effet d'indiscernabilité. Il permet ainsi de capturer l'un des aspects les plus subtils de la psycholinguistique : le sens des mots dépend du contexte dans lequel ils sont utilisés. Le concept "légume" ne renvoie pas au même état selon qu'il est pensé seul ou conjugué.

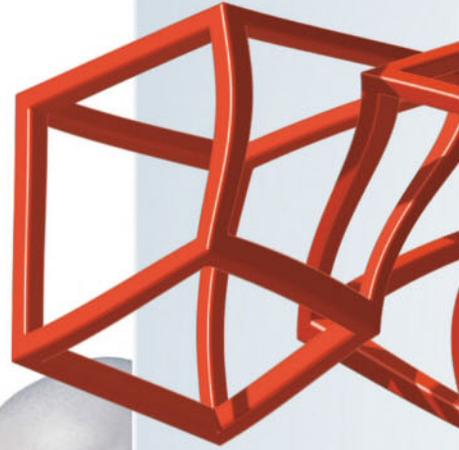
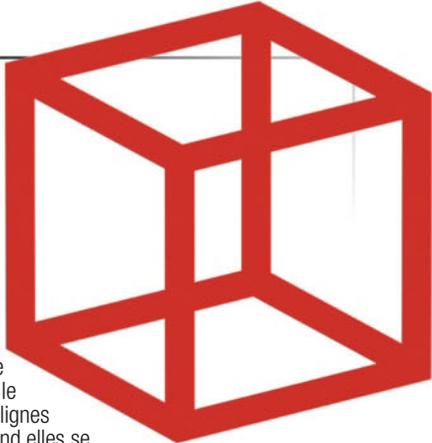


LE TEST DU CUBE DE NECKER

Il prouve que nos perceptions oscillent quantiquement

L'expérience

Le cube de Necker est une illusion d'optique publiée en 1832 par le mathématicien suisse Louis Necker. Avec ses arêtes dessinées en perspective cavalière (par le tracé de lignes parallèles), c'est un exemple de figure ambiguë qui peut être interprétée par notre perception de différentes manières : comme le dessin ne montre pas quelles lignes passent devant les autres quand elles se croisent, ce cube peut être vu soit du dessus, soit du dessous, notre interprétation du dessin passant alternativement de l'un à l'autre. Les psychologues ont beaucoup étudié la dynamique de cette "perception bistable".



→ pensée quantique ne sont, au final, pas toujours optimales. Elles sont imprégnées du contexte dans lequel les questions ont été posées.

Dans certains cas, elles semblent même totalement illogiques : ce sont les fameux biais psychologiques. Sauf qu'en général, elles réussissent à s'approcher très efficacement de la réponse classique. *"En utilisant des ressources cognitives limitées, le formalisme quantique offre aux humains la possibilité de répondre à un nombre illimité de questions... mais avec une rationalité limitée"*, résume Jerome Busemeyer.

Élégante résolution des paradoxes en psychologie, non ?

L'idée est en outre renforcée par le vaste mouvement de réinterprétation de la mécanique quantique, où des spécialistes de la physique théorique font en quelque sorte le chemin

inverse, "psychologisant" leur propre corpus, en l'interprétant non plus comme la description de l'activité de corpuscules matériels, mais comme une pure théorie de l'information (voir le dossier de "une" de *S&V* n° 1057 et *S&V* n° 1151, p. 109).

Saisissant retournement de l'histoire : dans l'entretien qu'il nous a accordé (lire pp. 66-68), le philosophe Michel Bitbol rappelle que Niels Bohr lui-même s'était inspiré des théories psychologiques pour donner naissance à la physique quantique...

Mais il reste du travail avant de convaincre la communauté des psychologues, qui, pour la grande majorité, ne semblent pour l'instant pas prêts à abandonner les modèles classiques. *"Ma sensation personnelle, et celle des physiciens de mon laboratoire, est que cette approche n'est tout simplement pas adaptée à la réalité*

macroscopique, juge par exemple Alexandre Pouget, spécialiste réputé des neurosciences fondamentales. *Ils ont peut-être raison, il est peut-être trop tôt pour se prononcer, mais je ne suis pas optimiste."*

L'AVÈNEMENT D'UN "MOI" MULTIPLE

"La cognition quantique est encore relativement jeune", répond Jerome Busemeyer, auteur, avec Peter Bruza, du premier livre de référence sur le sujet, *Quantum Models of Cognition and Decision*, sorti il y a trois ans.

Ce dernier est optimiste : *"Nous avons de plus en plus d'audience, nous sommes invités aux conférences importantes... Ce champ de recherche est en train de gagner du crédit. Toutefois, il nous faut être irréprochables. Nous devons encore travailler la robustesse de chacun de nos exemples."*



L'interprétation quantique

Harald Atmanspacher et Thomas Filk ont modélisé cette perception "bistable" dans le modèle quantique. Ils sont partis d'un système quantique à deux états, chacun correspondant à l'une des deux représentations du cube ; le basculement entre les deux perceptions correspond à la transition quantique entre les deux états. Ce système dynamique est bien connu des physiciens : il s'agit d'une oscillation quantique entre deux états instables. Ce modèle a permis aux chercheurs de déduire la vitesse à laquelle on perçoit cette figure et la période à laquelle cette perception oscille. Et ils sont retombés sur les mesures observées expérimentalement (trente milli-secondes et trois secondes respectivement).

L'enjeu est considérable. L'avènement de cette cognition quantique bouleverserait l'idée que nous nous faisons de notre propre identité, notre "moi" devenant le regroupement d'une multiplicité de personnalités avec des désirs différents. Un "moi" multiple, en interdépendance permanente avec l'extérieur, bien éloigné du "moi" classique, parfaitement individualisé, centralisé et déterminé, au cœur de toute la philosophie occidentale (lire l'encadré p. 68). Ce qui éclairerait d'un nouveau jour nos propres certitudes et incertitudes, notre libre arbitre, notre conscience. voire nos rêves (lire ci-contre).

Pour Ariane Lambert-Mogiliansky, *"la cognition quantique remet au cœur de la société les interactions sociales, et non les individus"*.

Difficile aujourd'hui de voir jusqu'où l'idée pourrait aller.

Comme il était difficile, lors de la découverte de la physique quantique, d'imaginer qu'elle aboutirait, entre autres, à l'invention du laser... A chacun, pour l'instant, de s'approprier tant bien que mal la proposition.

Mais Ariane Lambert-Mogiliansky en est convaincue : l'idée va s'imposer. L'esprit humain vient de livrer l'un de ses secrets les mieux gardés. Sa compréhension a fait un grand pas en avant. Dans son bureau d'économiste sont ainsi posés les deux pesants ouvrages de Claude Cohen-Tannoudji. La référence en mécanique quantique. Peut-être les étudiants en psychologie vont-ils devoir bientôt s'atteler à en décrypter les symboles mathématiques... *"Bah, ils s'y feront !"*

Si c'est ainsi que nous pensons, il le faudra bien.

Nos rêves sont-ils quantiques ?

"Très bonne question... à laquelle nous n'avons pas encore de réponse", répond Jerome Busemeyer. Le thème a été exploré dès les années 1930 par l'un des physiciens à l'origine de la physique quantique : Wolfgang Pauli a en effet longuement échangé avec le célèbre psychanalyste Carl Gustav Jung à propos de ses rêves récurrents. Ensemble, ils ont publié *The Interpretation of Nature and the Psyche* en 1952. Un livre qui part à la recherche d'une sorte de totalité psychophysique profonde qui serait cachée derrière les phénomènes. Plutôt à ranger dans la case "ésotérique" que "scientifique"...

Reste que, suivant la logique de la nouvelle cognition quantique, nos songes ont vocation à déployer un fort caractère quantique (états superposés, interférences, etc.) puisqu'ils ne sont pas susceptibles d'être perturbés par des interrogations, des décisions et autres intentions.

Un signe : le souvenir que nous avons de nos rêves au réveil semble plus riche que le récit que nous en faisons une fois bien réveillés. Comme si, en se le remémorant ou en le racontant, nous en changions la mémoire que nous en avons, réduisant des récits oniriques superposés en un récit classique et linéaire. Comme si, une fois remémoré, le rêve perdait son étoffe quantique...

À LA UNE



MICHEL BITBOL

Philosophe

Michel Bitbol, directeur de recherche au CNRS aux archives Husserl (Ecole normale supérieure), est spécialiste de l'histoire et de l'interprétation de la physique quantique et spécialiste de la philosophie de la connaissance.

“LA QUANTIQUE EST LA SCIENCE DE LA SURFACE DES CHOSES”

Comment une science aussi “dure” que la quantique peut-elle éclairer la psychologie humaine? Parce qu’elle est plus vaste qu’on ne le croit, répond le philosophe Michel Bitbol. Entretien.

Science & Vie: L'idée d'utiliser la physique quantique pour comprendre le fonctionnement de l'esprit humain a de quoi surprendre...

Michel Bitbol: En fait, pour moi, cela n'a rien d'étonnant! Lorsque j'ai découvert il y a une dizaine d'années les travaux menés par les chercheurs qui utilisent le formalisme quantique pour modéliser les réponses des êtres qui pensent, j'ai été ravi. Ce rapprochement entre l'étude de la microphysique et l'étude des comportements humains montrait que la physique quantique est bien ce que je pensais: une théorie générale de la connaissance, qui concerne toutes sortes d'objets et toutes sortes de domaines, au moins autant qu'une théorie des objets connus... L'extension des succès expérimentaux de la théorie quantique au-delà du cercle des objets microscopiques est l'argument que j'attendais!

S&V: Pourtant, la théorie quantique est censée expliquer le comportement des atomes, des électrons et de tous les objets microscopiques. Rien à voir a priori avec les êtres humains...

M.B.: Si l'on part de ce préjugé, on ne voit pas, en effet, ce que la théorie quantique pourrait nous apprendre sur les êtres humains. Mais peut-être, justement, la théorie quantique n'est-elle en rien une explication des propriétés

et des comportements des atomes et des électrons. Peut-être est-elle simplement une manière de prévoir les réactions de toutes sortes de choses, et entre autres des atomes et des électrons, face à certaines sollicitations expérimentales. Si l'on se place à ce niveau très général, la physique quantique et les sciences humaines ne sont pas très éloignées. En somme, pour s'apercevoir de leur parenté, il suffit de prêter attention à leur méthode plutôt qu'à leur objet.

S&V: La physique quantique et la psychologie sont donc semblables dans leur méthode?

M.B.: Oui! Ce n'était pas le cas au temps des sciences classiques de la nature, comme la physique de Newton ou la chimie, qui expliquent le comportement d'objets complètement séparés de ceux qui les étudient et des instruments qu'ils utilisent pour cette étude; par exemple la trajectoire d'une planète éloignée dans l'espace. Dans les sciences humaines, au contraire, l'objet d'étude est indissociable de celui qui l'étudie: l'homme s'étudie lui-même. Mais cet écart majeur entre les sciences de la nature et les sciences de l'homme disparaît presque entièrement avec la physique quantique, où on ne peut plus établir de séparation nette entre

les propriétés des objets et l'effet que produit l'instrument servant à les mesurer.

S&V: Parce qu'on ne peut pas voir les objets sans instrument?

M.B.: Plutôt à cause d'une limite fondamentale propre au domaine quantique. Le physicien danois Niels Bohr, l'un des fondateurs de la théorie quantique, a expliqué cela dès les années vingt: en interagissant, un système microscopique et un appareil de mesure échangent un *quantum* élémentaire indivisible. Cette indivisibilité interdit de faire la part entre ce qui revient au système microscopique et ce qui revient à l'appareil. La conséquence de cela est qu'on ne peut pas décrire les objets microscopiques comme si on leur était extérieur, mais seulement calculer la probabilité de ce qui arrivera si on interagit avec ces objets au moyen d'un instrument. L'indéterminisme, les interférences ondulatoires, l'intrication entre les états, le principe de superposition... toutes ces propriétés quantiques, que l'on qualifie souvent d'étranges, découlent de cela: on ne peut pas désentrelacer les phénomènes microscopiques de leurs contextes expérimentaux. Cette situation est semblable à celle des sciences humaines, et il n'y a dès lors plus rien d'étonnant à ce que des propriétés analogues y soient observées.

S&V: Qui a fait ce rapprochement le premier?

M.B.: Les fondateurs de la physique quantique eux-mêmes! Cette parenté a été aperçue très tôt par Niels Bohr. Elle semble même avoir guidé sa

À LA UNE

réflexion de physicien. Bohr avait une grande familiarité avec la psychologie et la philosophie de la connaissance grâce, notamment, aux cours du philosophe danois Harald Høffding qu'il suivait. Or, Høffding avait posé, parmi ses principes, que nul état mental ne peut être considéré comme existant en lui-même, indépendamment des relations qu'il entretient avec l'état mental de celui qui l'étudie. Bohr s'en est inspiré pour comprendre le statut de la physique qu'il était en train de construire. Plus tard, il a même développé explicitement un parallèle entre la physique quantique, qui se heurte à l'impossibilité de séparer l'objet et le moyen de l'étude, et la psychologie introspective, dans laquelle le sujet est en même temps l'objet de son propre examen.

Niels Bohr n'est d'ailleurs pas le seul des fondateurs de la physique quantique à avoir fait le lien entre quantique et psychologie. Lorsqu'il délimite les régions de connaissance dans son texte de philosophie rédigé en 1942, le physicien allemand Werner Heisenberg rapproche, lui aussi, les deux disciplines par leur méthode. Il va même plus loin en montrant que cette impossibilité à dissocier l'objet d'étude de l'instrument de mesure s'exprime formellement dans la structure probabiliste de la théorie quantique. Cela avait d'ailleurs été démontré plus en détail par le physicien et philosophe Jean-Louis Destouches, à partir de 1938.

S&V: La mécanique quantique ne doit donc plus être vue comme la science des atomes et des électrons ?

M.B.: J'en suis convaincu. La quantique n'est pas une théorie qui porte sur la profondeur du monde, mais sur la surface des phénomènes. Et ces phénomènes sont les réponses des objets à des sollicitations contextualisées. En physique, elle nous permet d'évaluer la probabilité des réactions d'un électron aux mesures qu'on effectue sur lui. En psychologie, ou en économie, elle nous permet d'évaluer la

Une "spiritualité quantique" ?

Face à cette nouvelle cognition quantique qui prend le contre-pied d'une tradition occidentale multimillénaire, le parallèle avec la tradition orientale est tentant. *"Ces travaux résonnent profondément avec certains fondements de la pensée bouddhiste, comme la non-substance de l'ego, l'illusion des perceptions, l'interdépendance des phénomènes"*, souligne ainsi Ariane Lambert-Mogilansky, spécialiste des effets psychologiques en économie à l'École d'économie de Paris. Un parallèle qui rappelle *Le Tao de la physique*, un livre à succès publié en 1975 par le physicien Fritjof Capra, qui tisse ce type d'analogies audacieuses entre la quantique et la spiritualité orientale. Faut-il alors sortir cet ouvrage de sa case "ésotérique" ? Mieux vaut rester prudent. Un petit tour sur Internet suffit pour se rendre compte à quel point la théorie quantique est abondamment mobilisée pour justifier tout un tas de "thérapies alternatives" plus ou moins orientalisantes (reiki, acupuncture, shiatsu, réflexologies...). Soyons donc sûrs que la psychologie quantique sera elle aussi abusivement mobilisée. En attendant que cette idée s'affermisse, considérons-la pour l'instant comme une proposition radicalement originale, plutôt que comme le nouvel avatar d'une sagesse ancestrale.

probabilité des réactions d'êtres humains aux questions qu'on leur pose, ou aux situations dans lesquelles on les place. Et après tout, qu'est-ce qu'un être humain envisagé indépendamment des relations qu'il peut avoir avec l'environnement et avec les autres ?

S&V: Cette interprétation est-elle partagée par les physiciens aujourd'hui ?

M.B.: L'idée s'impose progressivement. Il y a une communauté de théoriciens, encore petite mais très influente, qui, en travaillant sur le corpus de la physique, arrive à la même conclusion: la théorie quantique fonctionne avant tout comme une théorie qui anticipe l'information expérimentale indépendamment des objets sur lesquels on cherche à acquérir cette information. Mais cette interprétation ne s'imposera sans doute que lorsqu'on l'aura reconstruite à partir de premiers principes, portant justement sur les limites de notre accès à l'information expérimentale. Ce travail de reconstruction est en cours. Mais il n'est pas fini... Je le vois comme un programme de recherche passionnant pour les années qui viennent !

S&V: Quelle conséquence ont ces travaux sur notre façon de voir le monde ?

M.B.: Il est intéressant de remarquer que la théorie quantique est d'autant plus générale et précise qu'elle renonce à la prétention d'expliquer la "nature" des choses, et se concentre plutôt sur les phénomènes qui résultent de leur relation avec nos instruments. Elle nous fait d'autant plus progresser dans le projet de nous orienter dans notre environnement et de nous adapter à lui, qu'elle ne cherche pas à en dévoiler les "rouages intimes", et qu'elle pousse même à se demander si cela a un sens d'imaginer qu'il y a de tels rouages cachés derrière les phénomènes. Cela invite à repenser un grand présupposé de notre connaissance: la différence entre la réalité et les apparences.

**Propos recueillis
par Mathilde Fontez**

À lire: les ouvrages de Michel Bitbol consacrés à la réinterprétation de la physique fondamentale. ✱
À consulter: les principales publications de cette nouvelle psychologie quantique.
À tester: une vidéo sur le cube de Necker.

**EN
SAVOIR
PLUS**

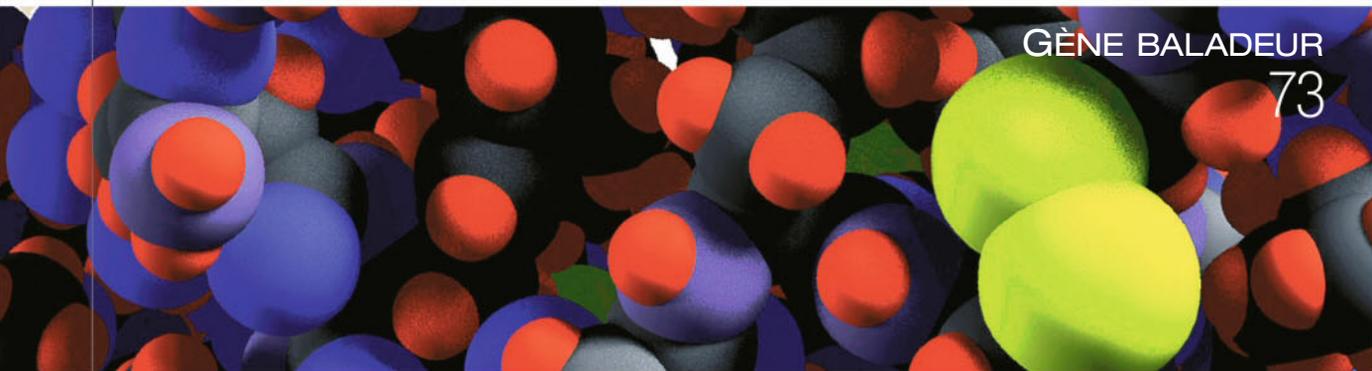
science-et-vie.com

& Science découvertes



SERPENT À 4 PATTES

70



GÈNE BALADEUR

73



MURUROA

76



ORIGINE DE L'OR

82



UNE COLONNE VERTÉBRALE CARACTÉRISTIQUE

Avec son corps plus long que sa queue et ses 160 vertèbres précaudales, *Tetrapodophis* a bien un corps de serpent.

QUATRE MEMBRES RÉDUITS MAIS FONCTIONNELS

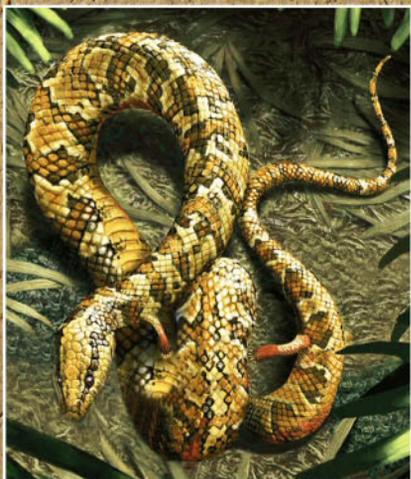
Ses pattes de 1 cm ne pouvaient pas soutenir son corps, mais avec ses dernières phalanges longues et courbées, il pouvait maintenir une proie.

UN RÉGIME CARNIVORE

Les os d'un petit vertébré au niveau de l'intestin montrent qu'il était carnivore, ce qui est cohérent avec ses dents crochues et sa mâchoire extensible.

UN FOSSILE EXTRAORDINAIRE !

Sur cette vue d'artiste, *Tetrapodophis* apparaît avec ses pattes fonctionnelles, mais déjà inutiles pour déplacer son long corps. Ce fossile vieux de 113 millions d'années est sans doute le spécimen qui se rapproche le plus du serpent originel.



L'énigme du serpent à quatre pattes

Le corps d'un serpent et les pattes d'un lézard. *Tetrapodophis* est-il le chaînon qui manquait dans l'arbre des ophidiens ?

Thomas Cavallé-Fol a remonté la piste.

Il était à la vue de tous, négligemment exposé avec la mention "inconnu" dans un musée allemand, parmi d'autres fossiles provenant du Brésil. Et sans David Martill, de l'université de Portsmouth, il y serait encore resté longtemps dans un total anonymat.

"Lorsque j'ai vu ce fossile, je suis resté bouche bée, raconte le paléontologue britannique. Sauf erreur, c'était le premier serpent à quatre pattes jamais découvert !"

On est en 2012. David Martill baptise ce fossile d'une vingtaine de centimètres *Tetrapodophis amplexus*, autrement dit "constricteur à quatre pattes". En jeu : la découverte de l'ancêtre commun de tous les ophidiens, celui qui se rapproche le plus du serpent originel et révélera les caractéristiques de ce plus-tout-à-fait-lézard, dévoilant le mystère d'une origine longtemps débattue par les spécialistes. D'ailleurs, l'étude fait immédiatement grand bruit dans le milieu de l'herpétologie.

Une chose est sûre : *Tetrapodophis* n'est pas le père des serpents. Il n'a "que" 113 millions d'années environ, alors que le plus vieux fossile retrouvé de ce groupe en a 167... Mais justement, ces fossiles pourtant plus anciens n'arborescent jamais quatre membres, au mieux des

pattes postérieures et, souvent atrophiées. *Tetrapodophis*, lui, a toutes ses pattes. S'agirait-il alors d'un lézard ? Non. au sein des reptiles à écailles, seuls les serpents ont plus de 150 vertèbres ; lui en a 160. Et son crâne est serpentiforme. Alors quoi ? Qui est *Tetrapodophis* ?

Pour son découvreur, aucun doute : il s'agit d'une espèce de serpent archaïque qui aurait conservé pendant des millions d'années nombre de caractères primitifs ; il serait donc le spécimen se rapprochant le plus du serpent originel !

UN FOSSILE QUI FAIT DÉBAT

"Avec ce fossile, on a la preuve que l'ancêtre commun des serpents avait quatre pattes bien formées, confirme le docteur Nicolas Vidal, au Muséum d'histoire naturelle de Paris. Et ces membres ont perdu chez au moins une espèce, de manière fonctionnelle de surcroît, malgré un nombre phénoménal de vertèbres précaudales." Car ces pattes, longues d'un centimètre et terminées par cinq doigts, paraissent

Repère

Avec les lézards et les amphibènes, les serpents forment le groupe des reptiles à écailles et squamates (qui muent). Si les plus vieux fossiles d'ophidiens remontent au Jurassique (200 à 145 millions d'années), les serpents actuels se sont développés au Crétacé (145 à 66 Ma).

→ trop bien formées pour être inutiles. Toutefois, elles sont si réduites que la question se pose : pouvaient-elles l'aider à se mouvoir ?

“Au vu de leur petite taille et de l'écart entre elles, elles ne soutenaient certainement pas le corps, argumente Alexandra Houssaye, paléontologue au Muséum d'histoire naturelle. Dès que l'élongation du tronc a permis la reptation, elles ont perdu leur utilité et pouvaient même être une gêne. Elles se sont réduites, et ont probablement eu une autre fonction.”

Pour les auteurs de l'étude, le fait que les dernières phalanges

actuels, indiquant qu'ils sont apparus très tôt dans l'évolution, avant la perte de leurs pattes.

TERRESTRE OU MARIN ?

Ainsi était-il carnivore : ses dents incurvées et un joint intramandibulaire lui permettaient d'avaler de grosses proies. Il contient même les restes de son dernier repas : des os de vertébrés qui renforcent l'idée qu'il étouffait déjà ses proies.

Si la plupart des experts pensent que le serpent originel était insectivore, comme la majorité des lézards, le fossile démontre que le goût pour la chair

orbitale de son crâne allongée, *Tetrapodophis* était un animal terrestre, tout comme son aïeul le premier serpent.

Les défenseurs de la cause marine ne sont pas aussi catégoriques. *“Ce fossile est exceptionnel, mais il faut confirmer que c'est bien un serpent, prévient Michael Caldwell, de l'université d'Alberta, au Canada. Et certaines conclusions de l'étude sont réfutables, comme la constriction par exemple : seule sa tête est enroulée, et ce phénomène peut très bien se produire post-mortem, avec le mouvement des sédiments. Enfin, le fait que les poignets et les chevilles ne sont pas ossifiés est clairement caractéristique des animaux marins.”* Susan Evans, herpétologiste à l'University College de Londres, préfère attendre : *“Tetrapodophis était manifestement terrestre, mais son crâne est trop endommagé pour le classer avec certitude chez les serpents. Il faut attendre sa reconstruction numérique pour statuer. Si c'est un serpent, ce sera alors un coup dur pour l'hypothèse marine.”*

Ce débat rappelle les tergiversations autour d'archéoptéryx, passé d'oiseau à dinosaure en 2011, avant de redevenir un oiseau en 2013. Tout comme ce spécimen mythique, le serpent à pattes divise, pose plus de questions qu'il n'apporte de réponses, et risque d'être baladé de place en place dans l'arbre de la vie au fil de futures études et découvertes. Un signe qu'il est bien en train d'entrer au panthéon de l'évolution.

Mosasaure, l'autre challenger

C'est sur le mosasaure, gigantesque reptile marin du Crétacé, que repose la thèse d'une origine marine des serpents. En 1997, les chercheurs Mike Lee et Michael Caldwell présentent le fossile d'un reptile marin doté de pattes arrière comme le chaînon manquant entre mosasaures et serpents. Ces derniers seraient donc apparus en mer. Depuis, plusieurs études morphologiques et moléculaires, ainsi que la découverte d'autres fossiles – dont *Tetrapodophis* – sont venues contredire cette hypothèse. *“Les mosasaures ont une longue queue, tandis que les fossiles de serpents marins en ont une courte. Pourquoi perdre un avantage moteur ?”, réfute l'herpétologiste britannique Susan Evans.*

soient longues et courbées indique que les pattes servaient à attraper, peut-être à maintenir les proies ou à faciliter l'acte sexuel. Mais elles ont fini par quasiment disparaître (les pythons en possèdent encore des reliquats), preuve qu'elles n'étaient pas si essentielles. Ce sont d'autres caractères, en plus de l'élongation du corps, qui ont permis aux serpents de conquérir, de la mer aux arbres, de nombreuses niches écologiques. Et justement, *Tetrapodophis* semblait déjà posséder certains caractères des serpents

et la capacité de constriction des reptiles sont apparus très tôt. Et il semble qu'avoir une grande gueule leur ait réussi : 85 % des espèces actuelles sont macrostomates ! Ces caractères sont-ils à l'origine des succès des serpents ?

Surtout, ce fossile répond à une question qui divise les scientifiques depuis plus d'un siècle : les premiers serpents étaient-ils marins ou terrestres ? David Martill n'a aucun doute : avec ses pattes réduites mais fonctionnelles, sa queue courte et non aplatie et la région post-

A lire : la publication des chercheurs et les commentaires des experts.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Arbre du vivant

Un gène saute de branche en branche

On le sait, les gènes se transmettent de génération en génération verticalement. Or, un drôle de gène vient d'être identifié : lui saute d'espèce en espèce, comme un singe de branche en branche ! Une transmission horizontale inédite par son ampleur, dont **Alexandra Pihen** nous livre les secrets.

Il y a les gènes dont on hérite... et ceux qui s'inventent d'eux-mêmes dans notre génome. Le GH25-muramidase est de ceux-là. Il l'est même incroyablement !

Qu'on en juge : depuis des centaines de millions d'années, ce gène fait fi des liens de parenté et prend des chemins de traverse pour investir en toute liberté virus, bactéries, archées, champignons, plantes

et insectes – excusez du peu ! Déjouant avec brio les règles classiques de l'hérédité, il s'octroie une présence inattendue sur l'arbre du vivant grâce à une faculté proprement hors normes : celle de sauter, comme un singe, de branche en branche. Au lieu de se transmettre verticalement de génération en génération, lui se transmet horizontalement, d'individu à individu !

“La présence du gène GH25-muramidase dans tous les domaines de l'arbre du vivant nous place face à une réelle nouveauté biologique en matière de transferts horizontaux, s'émerveille Olivier Panaud, spécialiste de la génomique des plantes, devant ce petit bout de séquence baladeur. Cela

^ Produite par le gène GH25, la muramidase (ci-dessus) se retrouve chez moult espèces.

montre que les mécanismes évolutifs sont beaucoup plus complexes que quelques mutations aléatoires et substitutions anecdotiques. L'évolution n'a pas fabriqué une aile d'oiseau en remplaçant un A par un T !”

Le tour de force de GH25 aurait pourtant pu passer inaperçu sans un coup de pouce du destin. Car c'est de façon inattendue que l'équipe de biologistes de l'université Vanderbilt de Nashville a percé son secret.

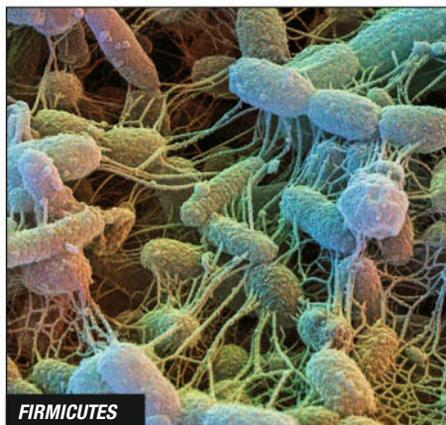
Il faut dire que ce gène est connu pour conférer aux virus dont l'ADN le contient un pouvoir antibiotique : GH25

Repère

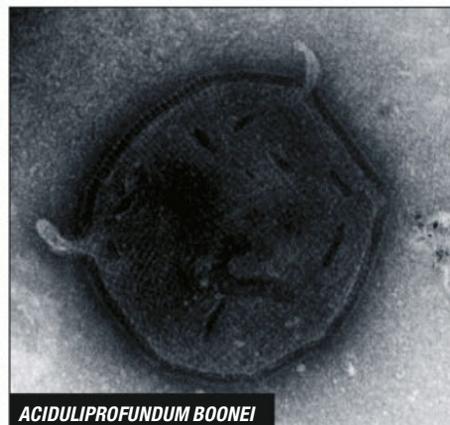
Le gène, séquence d'ADN constitutive du génome, contient l'information nécessaire au développement de l'organisme. Transmis verticalement, il permet de retracer l'histoire des espèces en établissant les liens de parenté entre celles qui le possèdent. Décrit pour la première fois en 1959, le transfert horizontal de gènes entre individus sans lien de parenté sème le trouble dans notre vision de l'évolution du vivant.

GH25 : 4 cas de transferts horizontaux

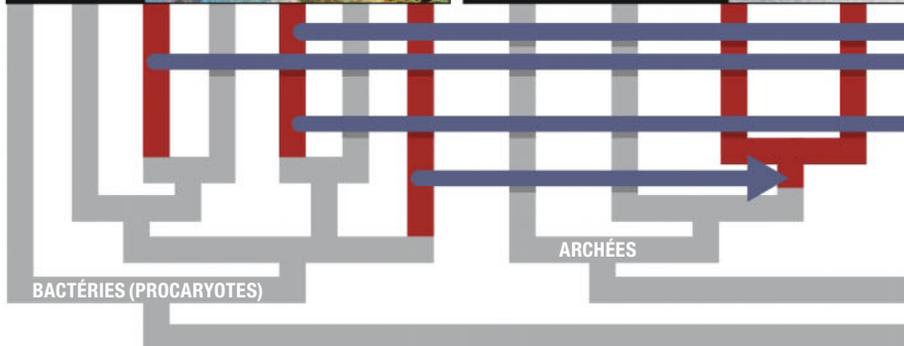
GH25-muramidase a été détecté chez des espèces appartenant aux trois branches du vivant. Présent à l'origine chez certaines bactéries, il est passé horizontalement des *Firmicutes* à l'archée *A. boonei*, mais également dans le génome de trois eucaryotes : une plante, un champignon et un insecte. Le transfert de ce gène, absent chez les ancêtres de ces quatre espèces, aurait été favorisé par leur proximité physique avec les bactéries.



FIRMICUTES



ACIDULIPROFUNDUM BOONEI



→ produit en effet une protéine, la muramidase, qui est capable de détruire l'enveloppe d'une bactérie. Le virus WO-phage s'en sert ainsi pour détruire la bactérie *Wolbachia*. Mais GH25 est également présent dans l'ADN de certaines bactéries, chez lesquelles il joue un rôle crucial dans la reproduction : il leur permet d'autodétruire très brièvement leur paroi extérieure pour se diviser en deux. Jusqu'ici, rien d'étonnant.

UN GÈNE COLONISATEUR

Là où l'histoire a pris un tour inattendu, c'est lorsque les chercheurs ont commencé à traquer ce gène dans leurs bases de données génétiques. "Nous avons été stupéfaits de retrouver cette séquence chez un très grand nombre d'espèces non bactériennes", se souvient Seth Bordenstein, directeur du laboratoire. Comment ce gène pouvait-il être à ce point trans-espèce ?

Les résultats complémentaires des séquences de génome vont confirmer la surprise. Outre celui de nombre de bactéries (*Firmicutes*, actinobactéries...) et de virus, GH25-muramidase est aussi présent dans les génomes du puceron vert du pois, d'une plante du genre *Selaginella*,

d'un champignon infectant le riz et d'*A. boonei*, une archée vivant dans les fonds marins.

Bactéries, archées, eucaryotes : le gène a colonisé des espèces aussi différentes... qu'éloignées ! "Une même famille de gènes présente dans les trois grands domaines du vivant constitue pour le moins une situation extraordinaire. Un tel cas de transfert horizontal entre espèces très distantes d'un point de vue évolutif repousse les limites de nos connaissances...", s'enthousiasme Seth Bordenstein.

Comment sait-on que le gène n'est pas passé d'une espèce à l'autre par les voies classiques de la reproduction ? Parce que l'arbre de leur famille ne ressemble pas à celui des espèces qui le portent ! Qui plus est, les ancêtres du puceron et de la *Selaginella* ne possèdent pas ce gène.

Jargon

L'arbre phylogénétique des espèces présente 3 grands domaines du vivant. Les **eucaryotes**, dont la cellule comporte un noyau ; les **archées**, micro-organismes unicellulaires ; et les **procaryotes**, des bactéries sans noyau dont il existe de nombreux groupes (*Firmicutes*, *Actinobacteria*...). Le **virus**, incapable de se reproduire par lui-même, reste en marge du vivant.

Alors, comment ce gène a-t-il pu se transmettre entre espèces aussi éloignées ? Si les mécanismes de transferts horizontaux sont bien connus entre bactéries – ils s'effectuent grâce à des virus ou des petites molécules d'ADN, les plasmides –, les transferts avec d'autres types d'organismes sont incroyablement délicats à réaliser.

"Ils pourraient avoir eu lieu par l'ingestion de nourriture contenant les fragments d'ADN d'une bactérie morte, avance Vincent Daubin, chercheur au Laboratoire de biométrie et biologie évolutive de l'université Lyon 1. Il faut toutefois imaginer une infinité d'essais et d'erreurs avant qu'un transfert horizontal soit vraiment sélectionné par l'évolution. La séquence de gène doit s'intégrer dans un endroit où son expression va être possible, où une protéine va être synthétisée, et

D.SCHARF/CORBIS - VANDERBILT UNIV. - TSUKUBA BOTANICAL GARDEN - DR. NCATTINI/FILIPPO MINDEU/CORBIS



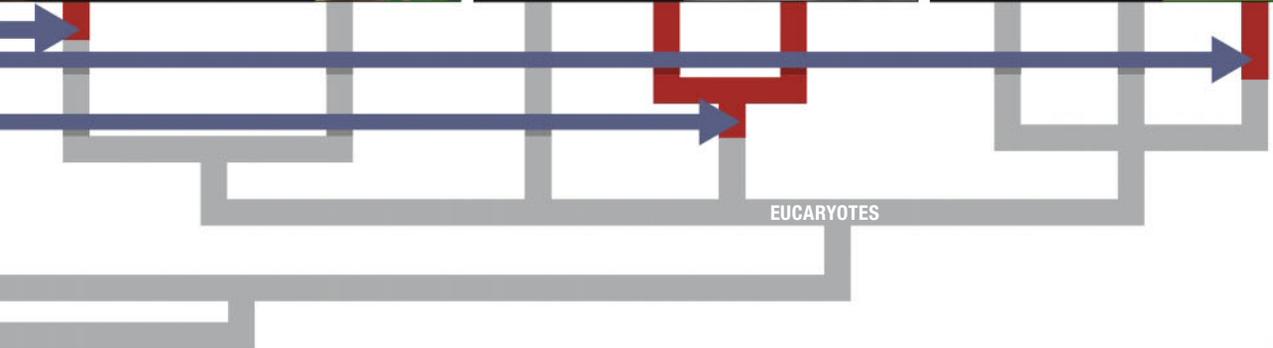
SELAGINELLA MOELENDORFII



ASPERGILLUS ORYZAE



ACYRTHOSIPHON PISUM



où cette protéine va finir par avoir une fonction et apporter un avantage à l'organisme..."

PARCE QU'IL EST ANTIBIOTIQUE

Une certitude: ces transferts sont permis par la proximité physique entre les espèces. Tous les porteurs semblent avoir été des bactéries qui ont transféré le gène à des archées ou des eucaryotes. Ainsi, les protéobactéries responsables des versions trouvées dans le puceron et le virus WO-phage sont familières des insectes; *Selaginella* se nourrit dans un sol peuplé d'actinobactéries; et l'archée partage les sources hydrothermales marines profondes avec un autre groupe de bactéries, les *Firmicutes*.

Oui, mais pourquoi? Quel est l'avantage de ce transfert? La réponse est toute trouvée: il permet de se procurer à peu de frais une arme antibactérienne

prête à l'emploi... puisque c'est la fonction première de GH25.

Encore faut-il s'assurer que l'effet antibactérien observé chez WO-phage est bien exprimé par les autres espèces. Bingo: il marche chez *A. boonei*. "Il aura fallu trois ans pour obtenir la validation fonctionnelle du transfert horizontal de la protéine, souligne fièrement Seth Bordenstein, dont l'équipe a montré que l'archée vient à bout des quatre bactéries testées en présence de la muramidase produite par GH25. C'est la première fois qu'a été identifié un gène antibactérien chez une archée." Qui constitue, dans la compétition avec les bactéries avoisinantes, un avantage sélectif indéniable. Et ouvre même des perspectives médicamenteuses inattendues...

Pour l'instant, les expériences réalisées dans le

cadre de l'étude pour démontrer un effet antibiotique chez les autres espèces se sont révélées vaines. Mais la petite séquence pourrait aussi s'intégrer à des molécules plus complexes pour y jouer d'autres rôles. "Les antibactériens ne sont probablement qu'un exemple parmi d'autres, on s'attend à ce que de nombreuses fonctions 'inventées' par les bactéries puissent bénéficier aux eucaryotes par transferts horizontaux. En fait, on pourrait même dire que les eucaryotes n'ont jamais fait autre chose que d'emprunter des fonctions clés aux bactéries", estime Vincent Daubin.

C'est ni plus ni moins sur une complexité féconde qu'ouvrent les exploits de GH25. A condition de pouvoir suivre ses évolutions dans l'arbre décidément touffu du vivant.

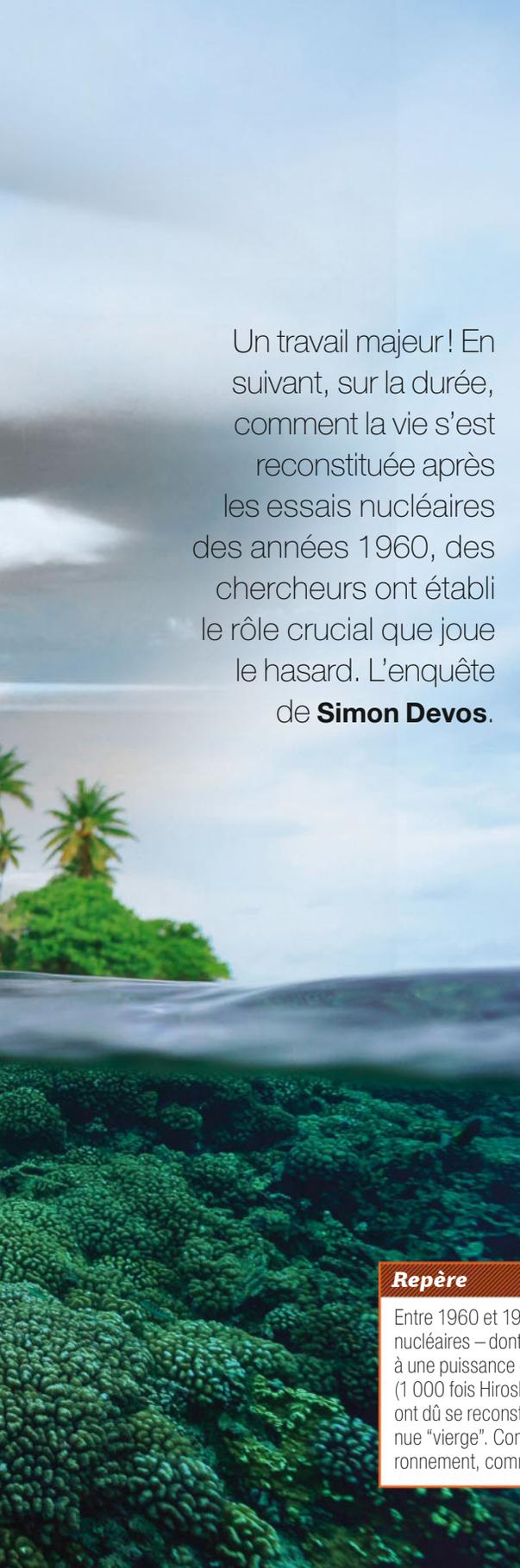
A consulter : la publication scientifique.

A voir : une conférence sur le transfert horizontal chez les plantes.

★ EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com





Un travail majeur ! En suivant, sur la durée, comment la vie s'est reconstituée après les essais nucléaires des années 1960, des chercheurs ont établi le rôle crucial que joue le hasard. L'enquête de **Simon Devos**.

Mururoa

La vie doit beaucoup au hasard !

Comment la vie colonise-t-elle de nouvelles terres ? Sur un terrain vierge ou dévasté par une catastrophe, quelles règles suivent les écosystèmes pour se reconstituer, espèce après espèce ?

Le sujet est un classique de l'écologie. Nous avons ainsi consacré, en 2010, un grand dossier à la faculté qu'a le vivant à reprendre le dessus après une marée noire, une éruption volcanique ou un gigantesque incendie (voir *S&V* n° 1114). Et nous avons présenté, il y a un an, les surprenantes dynamiques des écosystèmes face à des agressions humaines comme le réchauffe-

CORBIS

ment, la pollution ou l'urbanisation (voir *S&V* n° 1165). Mais l'expérience dont il est question ici est unique en son genre. Tout à fait hors norme par l'ampleur des moyens exploités pour la mettre en œuvre et par la subtilité de ce qu'elle est censée démontrer.

Elle a consisté à observer méticuleusement, durant trente ans, l'évolution des populations de mollusques d'un atoll paradisiaque du Pacifique, devenu un enfer atomique à la fin des années 1960 après avoir servi de terrain à des essais nucléaires atmosphériques français. Et l'analyse statistique fine qui vient d'être réalisée sur ces séries de données originales a permis pour la première fois de mesurer le rôle crucial du hasard dans le repeuplement de cet atoll atomisé. Le hasard plus que la nécessité...

Jamais on n'avait pu suivre de façon aussi précise comment la vie s'installe dans un territoire devenu quasiment vierge. Et jamais on n'avait pu mesurer à

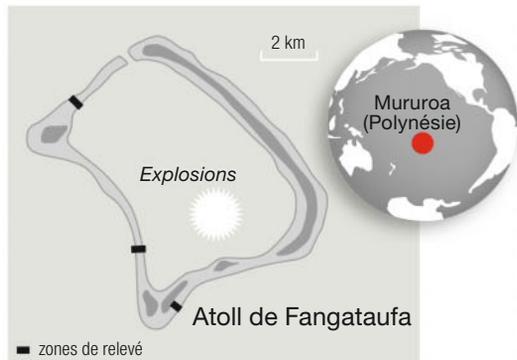
Repère

Entre 1960 et 1996, la France a effectué 210 essais nucléaires – dont 50 aériens –, correspondant à une puissance cumulée d'environ 13 mégatonnes (1 000 fois Hiroshima). Résultat : la faune et la flore ont dû se reconstituer entièrement sur une terre devenue "vierge". Comment ? Sous la pression de l'environnement, comme on le croyait ? Eh bien, non...



Une campagne de suivi des espèces hors norme

A partir de 1966, les essais nucléaires ont dévasté l'atoll qui est devenu un lieu d'observation idéal de l'évolution et de la construction des écosystèmes.



Des relevés menés avant et après les explosions

Depuis 1965, près d'une dizaine de relevés de mollusques ont été effectués, de manière répétée, dans des zones délimitées de l'atoll polynésien.

→ quel point la composition en espèces d'un écosystème n'est pas déterminée par le milieu, mais se construit principalement au fil des événements, de façon chaotique et aléatoire.

Etrange tableau: derrière les champs atomiques, la vie écrit sa propre histoire, non dictée par les conditions environnementales. On voit la biologie transcender la géologie.

Tout commence en 1965, alors que les radios crachotent en boucle les tubes de Sheila et des Rolling Stones. Bernard Salvat, jeune chercheur à l'École pratique des hautes études et au Muséum national d'histoire naturelle, voit se présenter une occasion en or. "La France était en pleine préparation de ses premiers

essais d'ogives dans le Pacifique, et le comité scientifique du centre d'expérimentations nucléaires français souhaitait suivre l'évolution de plusieurs écosystèmes, avant et après les explosions, se souvient le chercheur cinquante ans plus tard. J'ai donc été invité à participer à plusieurs expéditions sur deux petits atolls du Pacifique, dont un sur lequel j'ai fini par me concentrer: Fangataufa."

UN TERRITOIRE À REPEULER

Situé à près de 1200 km au sud-est de Tahiti, à quelques heures de bateau de l'atoll de Mururoa, autre haut lieu des essais nucléaires, cette petite île de corail dissimule un sublime lagon de 45 km², pour seulement 5 km² de terres

émergées. La première mission a lieu un an avant le premier essai nucléaire. Durant un mois, Bernard Salvat, aidé de plusieurs professionnels, récolte tous les coquillages qu'il trouve sur différentes portions du territoire précisément délimitées, et référence chaque spécimen – un collègue travaille sur le corail, un autre sur les poissons et le dernier sur les algues. De quoi observer en détail l'impact des futures explosions. "En tout, quatre essais atmosphériques ont été réalisés sur Fangataufa entre 1966 et 1970, précise le scientifique. Nous y sommes retournés après chaque test."

Comme le note alors le biologiste, le premier essai, en 1966 (une charge d'une puissance



de 125 kilotonnes de TNT, soit 8 fois celle d'Hiroshima) n'a pas d'impact sérieux sur la faune. C'est la deuxième explosion, en août 1968, qui est dévastatrice. Baptisée Canopus, l'opération est le premier test français d'une arme à fusion thermonucléaire. Sa puissance atteint les 2,6 mégatonnes de TNT – 173 fois celle d'Hiroshima! *“Presque toute la végétation terrestre a été détruite, les algues ont été complètement décapées, se rappelle Bernard Salvat. Les coraux ont quant à eux reçu un flash qui les a rendus blancs. Je m'en souviens bien, car la réverbération intense du soleil nous brûlait la peau.”*

Les populations de certaines espèces de mollusques ont été totalement décimées par l'onde de choc et par la chaleur dégagée par l'explosion. Au bout de quelques jours, une fois que la radioactivité a à peu près disparu, l'opération a laissé un territoire vierge à reconquérir.

Les deux essais nucléaires plus faibles effectués en 1970 n'auront, eux, qu'un impact mineur sur l'atoll. Bernard Salvat, qui revient faire son inventaire à de nombreuses reprises, publie différents articles sur la résistance des mollusques aux catastrophes, la santé des

réefs coralliens et l'évolution des populations. Mais à la question: “Que sont devenus les écosystèmes de cet atoll atomisé?”, sa réponse n'est, en l'état, pas très intéressante. Ils sont devenus... autre chose. Il faut attendre que l'homme

C'est surtout l'essai de 1968 qui a complètement dévasté le vivant

de terrain fasse la connaissance de Pierre Legendre, un écologue québécois spécialiste des statistiques, pour que les données commencent véritablement à parler.

UNE THÉORIE STATISTIQUE

La première rencontre a lieu en 1994, autour d'une machine à café d'une université du sud de la France. Salvat convie Legendre à la dernière expédition organisée sur l'atoll en 1997. Mais les choses en restent là à l'époque. C'était avant que Pierre Legendre ne se prenne de passion pour une nouvelle théorie de l'écologie, la “théorie neutre”, qui donne au hasard un rôle primordial dans la construction des écosystèmes.

Jusque-là, la plupart des spécialistes voyaient la répartition des espèces dans l'espace physique en termes de niches écologiques. Chaque espèce est caractérisée par sa niche, formée par les conditions physiques et biologiques dans lesquelles elle se développe. Placée dans un autre habitat, l'espèce ne parviendrait pas à survivre. Selon cette théorie, la répartition des espèces dans un écosystème se ferait donc suivant un filtrage imposé par l'environnement.

Or, l'Américain Stephen Hubbell a remis en cause cette vision en introduisant en 2001 sa théorie neutre, qui rencontre rapidement un écho dans la communauté. Son postulat fondamental: toutes les espèces situées au même rang de la chaîne alimentaire possèdent une chance égale de se reproduire, de se développer ou de mourir, et ce, peu importe le milieu. Une hypothèse volontairement simplificatrice. La répartition spatiale des espèces dans une région devient dès lors aléatoire. Dans deux milieux quasi identiques, les communautés peuvent être radicalement différentes.

“C'est une théorie purement statistique, souligne Graham Bell, de l'université McGill de Montréal, un des pionniers de la théorie neutre. A l'instar des physiciens qui étudient un gaz sans suivre les trajectoires individuelles de chaque molécule, nous nous basons sur des modèles statistiques pour déterminer l'évolution des communautés d'un écosystème, et non sur des données brutes concernant la vie de chacun des individus qui le composent.” →



BERNARD SALVAT
Biologiste ayant participé aux relevés sur Fangataufa dès 1965

Après la destruction des espèces, la structure des communautés a radicalement changé

→ Hormis quelques mesures réalisées dans les forêts tropicales (lire l'encadré), la théorie neutre manque cependant de preuves expérimentales. Pierre Legendre cherche alors où il pourrait en trouver. L'éclair ne lui vient qu'en 2010 : les relevés de Salvat sur l'atoll de Fanguataufa sont la solution miracle pour mesurer statistiquement la part du hasard et des effets environnementaux dans la construction d'un écosystème.

Le couple se reforme. Durant plusieurs mois, l'écologue statisticien applique ses méthodes d'analyse aux trente ans d'inventaire des mollusques de son aîné, calcule des indices de variation de la composition en espèces de l'écosystème, évalue la contribution de chaque campagne d'échantillonnages à cette diversité, etc.

Les résultats dévoilés en mai 2015 sont, cette fois, à la hauteur de leurs espérances. Le recensement des carnivores montre de grandes variations d'abondance d'une année sur l'autre, et selon les zones de l'atoll (voir la courbe ci-contre). *"Ces communautés sont structurées de façon aléatoire dans l'espace et dans le temps, ce qui correspond à la signature de la théorie neutre"*, souligne Pierre

La vie reprend le dessus de façon surtout... hasardeuse

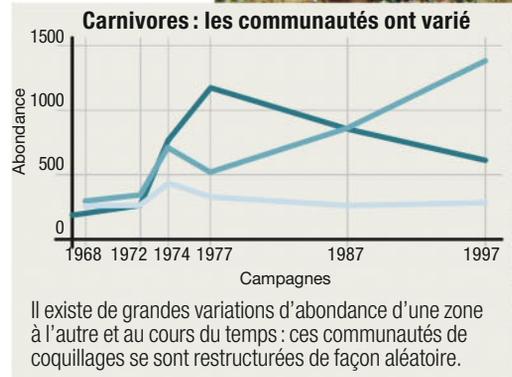
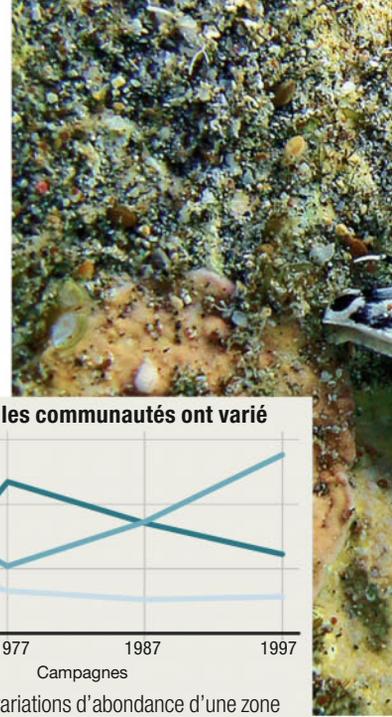
Une partie des relevés effectués sur les mollusques de l'atoll (chaque courbe correspond à une zone de prélèvement) étayant la thèse de la "théorie neutre".

Legendre. Si le nombre d'individus herbivores a globalement peu évolué après les explosions (voir la courbe p. 81), le nombre d'espèces a, lui, beaucoup augmenté, *"un accroissement qui correspond également à un phénomène neutre"*.

UNE ESPÈCE CHASSE L'AUTRE

Plus généralement, les statistiques montrent que, dans la grande majorité des cas, les espèces ayant repeuplé le site après les essais nucléaires ne sont pas les mêmes qu'auparavant ; et que les changements ne sont pas identiques d'un site à l'autre ! Pour les deux écologues, pas de doute, ces résultats montrent que le hasard a eu ici une importance beaucoup plus significative que les niches environnementales dans la reconstruction de l'écosystème.

Toutefois, les partisans de la théorie des niches ne désarment pas si vite. *"Il faudrait des études sur le plus long terme pour affirmer avec certitude*



que la théorie neutre est validée ici, juge Sean Connolly, écologue à l'université James-Cook, en Australie. L'environnement lui-même a changé de bien des façons depuis 1965. L'impact de l'environnement a pu être également modifié, et les espèces les mieux adaptées pour y vivre ne sont pas nécessairement les mêmes qu'avant."

Reste que l'extrême variation des communautés entre les sites étudiés est difficilement explicable par la théorie des niches. Pour Pierre Legendre, l'histoire de la recolonisation de l'atoll est maintenant claire : *"Avec les aléas des courants marins, les larves de différentes espèces se sont installées à divers endroits de l'atoll. La roue a tourné et les espèces dominantes ont changé."*

Mais il y a une exception : sur une zone particulière du récif, dite supralittorale, les mêmes espèces apparaissent avant et après les explosions, et dans des abondances similaires. Et cela n'est cette fois-ci pas dû

La "théorie neutre" a des précédents

D'autres études ont tenté de mesurer la part du hasard et de la nécessité dans la constitution des écosystèmes. L'exemple le plus éloquent est probablement le travail mené par Stephen Hubbell, le père de la "théorie neutre", visant à répertorier tous les spécimens d'arbres peuplant les zones tropicales à travers le monde. Au total, 62 forêts situées sur six continents ont été entièrement inventoriées. Un travail colossal au cours duquel les chercheurs ont pu remarquer qu'en dépit de conditions environnementales très proches, deux parties d'une même forêt peuvent héberger des espèces complètement différentes. Une observation qui donnerait plutôt raison à la théorie neutre.

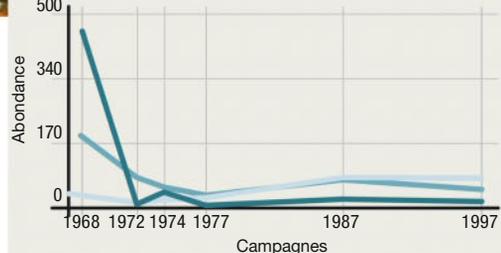


au hasard. “*Ces substrats rocheux situés au-dessus du niveau moyen de haute mer ne reçoivent de l'eau que par les embruns et les grandes marées, décrit Bernard Salvat. Très peu d'espèces de mollusques sont adaptées pour survivre dans des conditions aussi difficiles.*” Dans des cas extrêmes, c'est donc l'environnement, et non le hasard, qui décide indirectement des espèces gagnantes (voir la courbe ci-contre).

Au final, la théorie neutre et celle des niches se complètent

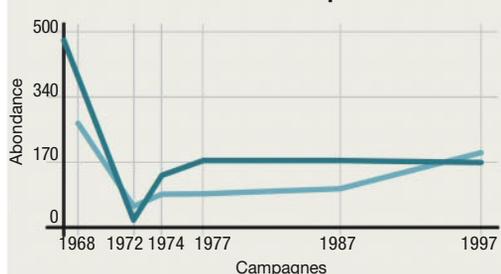
pour décrire les événements sur Fangataufa. “*La prochaine étape serait de réaliser des expériences contrôlées en laboratoire*”, lance Pierre Legendre, qui imagine déjà des expériences dans des Ecotrons, ces grands laboratoires-bulles qui permettent de conditionner l'environnement d'un écosystème à sa guise. Bernard Salvat, quant à lui, a organisé une dernière expédition sur l'atoll en 2014. Il rapporte qu'aujourd'hui, plus rien n'indique une

Herbivores : une communauté moins dense



La quantité de mollusques herbivores sur l'atoll a chuté en 1968, alors que le nombre d'espèces s'est accru. Une augmentation typique d'un phénomène neutre.

Zones difficiles : les mêmes espèces reviennent



Après les essais, on note un retour des mêmes espèces dans les milieux hostiles, corroborant, cette fois, l'hypothèse du contrôle de l'écosystème par l'environnement.

quelconque trace des explosions. Il sait cependant mieux que quiconque que la composition des mollusques a été complètement reconfigurée. Autour du lagon, le hasard a redistribué les cartes.

A lire : L'ouvrage de référence sur la théorie neutre (en anglais), de Stephen Hubbell.

★
EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com



Tout l'or du monde vient d'étoiles à neutrons

L'or a beau se trouver dans les entrailles de la Terre, il tombe du ciel. Et c'est un rare cataclysme stellaire qui en serait à l'origine, viennent d'élucider les astrophysiciens. Explications de **Benoît Rey**.

Cette fois, c'est la bonne. Les chercheurs en sont persuadés : ils connaissent l'origine de l'or. Ils savent enfin dans quels chaudrons cosmiques ses atomes ont été forgés, avant d'être éparpillés dans l'espace et incorporés dans le nuage qui forma le système solaire, puis de s'accumuler dans les entrailles de la Terre et d'être mis au jour par l'érosion et l'avidité des hommes.

L'or, mais pas seulement : l'uranium, le platine... En tout, c'est l'origine de la moitié des éléments lourds qui vient d'être élucidée.

Le ressort principal de cette nouvelle genèse ? L'un des phénomènes les plus déli-rants de l'Univers.

Il faut imaginer deux petits astres de la taille de Paris *intra-muros*, chacun deux fois plus massif que le Soleil. Ces étoiles à neutrons, nées de l'effondrement d'étoiles géantes mourantes, sont si denses qu'une cuillère à café de leur matière pèse des centaines de millions de tonnes.

Et il faut maintenant imaginer que ces deux monstres se fracassent l'un contre l'autre. Lors de cette collision, leur écorce est brutalement décomprimée et, dans une explosion ahurissante, jaillit une profusion d'éléments lourds fraîchement façonnés : l'équivalent de dix Lune en or massif ! Et six d'argent ! Ainsi qu'une Lune d'uranium, vingt-trois de platine, et bien d'autres métaux lourds.

Repère

La nature compte 92 éléments stables. Les étoiles en forgent la plupart, mais elles ne peuvent fabriquer en quantité suffisante les plus lourds, comme l'or et l'uranium. Pour cela, un autre mécanisme, plus violent, doit intervenir.

→ Au final, tout l'or que contient la Terre proviendrait de ces cataclysmes extrêmement improbables et d'une violence hors norme, qui ont eu lieu il y a des milliards d'années, aux quatre coins de l'Univers. Pensez-y la prochaine fois que vous observerez une bague ou un pendentif: ces bijoux portent en eux la mémoire d'un choc cosmique.

Certes, d'aucuns conjurent de ne pas crier victoire trop tôt. Mais tous le sentent: ce nouveau scénario est le bon.

“Le changement de paradigme aura pris dix ans, analyse Stéphane Goriely, spécialiste de la nucléosynthèse stellaire (la formation des noyaux atomiques au cœur des étoiles) à l'Université libre de Bruxelles. Mais aujourd'hui, la plupart d'entre nous sommes convaincus que le processus menant à la formation des

en déceptions. Un casse-tête sur lequel butaient les astrophysiciens depuis cinquante ans.

Pour comprendre, il faut savoir que tous les éléments qui constituent la matière viennent de l'espace. Ils ont été patiemment découverts sur Terre et rangés, dès 1869, dans le célèbre tableau de Mendeleïev (voir pp. 86-87), du plus léger au plus lourd: de l'hydrogène, dont le noyau est composé d'un seul proton, au plutonium, qui en accumule 94, en passant par l'oxygène (8), le cuivre (29)... et l'or, avec ses 79 protons. Restait à trouver leur origine...

DISSÉMINÉS DANS L'UNIVERS

L'histoire commence en 1957. Cette année-là est publié aux Etats-Unis ce qui deviendra une bible pour les astrophysiciens: l'article B2FH, d'après les quatre initiales de ses

le big bang. Ils ont servi de matière première à la formation des toutes premières étoiles, au sein desquelles a démarré la production d'éléments plus complexes, dont ceux qui, quelques milliards d'années plus tard, allaient constituer notre organisme: du carbone, de l'oxygène, de l'azote, du calcium; et même du titane, du chlore... Des éléments que les étoiles ont disséminés dans l'Univers, l'enrichissant génération après génération.

C'est pour les autres éléments chimiques que les choses se compliquent. Le fer, avec ses 26 protons, est le plus gros atome que les étoiles standard soient en mesure de produire. D'autres processus prennent donc la relève pour les éléments plus lourds.

L'un d'entre eux, le processus S (S pour *slow*, “lent”), a lieu dans les étoiles de une à trois fois la masse du Soleil, dont la densité atteint 10^8 neutrons par centimètre cube. Dans cet enfer, les neutrons s'agrègent sur les noyaux de fer pour forger de plus gros noyaux atomiques, comme ceux du baryum ou du plomb.

Mais selon B2FH, ce processus explique l'origine de la moitié des éléments lourds de l'Univers seulement. Car il dure entre un et mille ans, ce qui rend impossible la formation de certains noyaux instables, qui se désintègrent en beaucoup moins d'un an. *“C'est par exemple le cas de l'étain, explique Stéphane Goriely. A partir de l'étain 116 [50 protons et 66 neutrons], l'ajout d'un neutron forme*



En 2034, les ondes de ces chocs cosmiques seront enfin détectables

Pour les physiciens, les fusions d'étoiles à neutrons (ainsi que de trous noirs) sont avant tout l'occasion de détecter enfin les fameuses ondes gravitationnelles prédites par Einstein dès 1918, ces oscillations de la courbure de l'espace-temps provoquées par des mouvements ultrarapides d'astres ultramassifs. L'Agence spatiale européenne compte augmenter la sensibilité des détecteurs terrestres, et envisage surtout d'envoyer un observatoire dans l'espace en 2034. Composé de 3 satellites connectés par laser sur une distance de 1 million de km, eLisa se concentrera sur les ondes générées par les chocs de trous noirs supermassifs. En décembre, le satellite *Lisa Pathfinder* doit être lancé pour éprouver la technologie en conditions réelles.

éléments lourds comme l'or a bien lieu dans les collisions d'étoiles à neutrons.”

De quoi mettre fin à une épopée intellectuelle qui aura sollicité des générations de chercheurs et plusieurs champs de la physique. Une intrigue exaltante, riche en concepts physiques, en rebondissements et

auteurs. Une synthèse exhaustive de la genèse des éléments de l'Univers, qui aujourd'hui encore fait référence.

Selon cet article, les deux éléments les plus légers, l'hydrogène et l'hélium, sont nés spontanément dans l'espace, au tout début de l'histoire de l'Univers, trois minutes seulement après



Voici comment l'or est tombé du ciel

D'où viennent l'or et les autres noyaux lourds, dont la genèse ne peut être expliquée par les processus classiques de formation des éléments chimiques ? D'un choc extrêmement violent d'étoiles à neutrons, ces résidus hyperdenses de supernovæ, répondent aujourd'hui les astrophysiciens.

1 La collision de 2 étoiles à neutrons provoque un sursaut gamma...

De ce choc naît un trou noir extrêmement massif. Deux jets de matière sont expulsés sous la forme d'un flash très bref : c'est le sursaut gamma court.

Trou noir

Tore de matière

Sursaut gamma court

DANS CE MILIEU HYPERDENSE, NEUTRONS ET PROTONS S'ASSEMBLENT TRÈS VITE POUR CONSTITUER DES NOYAUX D'ATOMES

Neutron

Proton

Noyau d'azote

SATURÉS DE NEUTRONS, LES NOYAUX GROSSISSENT SANS AVOIR LE TEMPS DE SE DÉSINTÉGRER : DES ÉLÉMENTS LOURDS SE FORMENT, DONT L'OR

Nuage de matière très concentré en neutrons

Kilonova

Noyau d'or

3 ... lesquels s'amalgament au nuage de gaz et de matière...

Ces atomes lourds se mélangent au nuage de gaz dont va émerger le système solaire.

Nuage de gaz

4 ... qui, *in fine*, aboutit à la formation des planètes

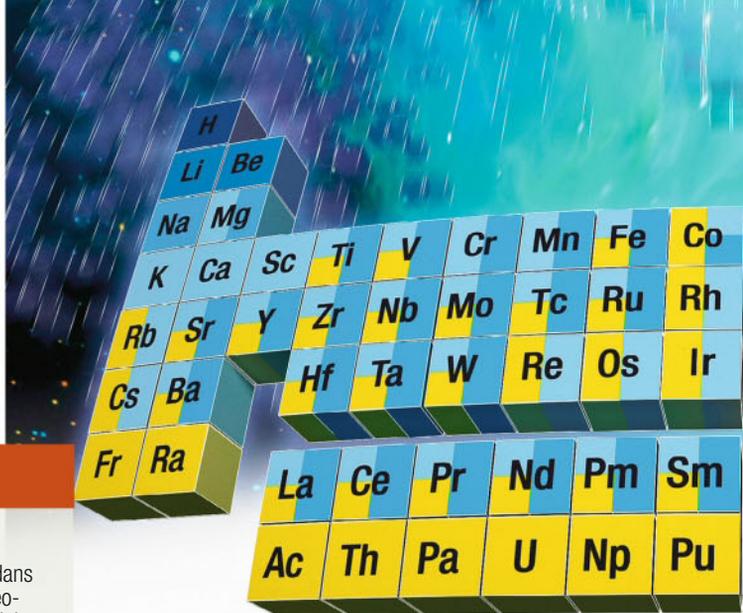
On y retrouve ces atomes lourds à des concentrations plus ou moins fortes (mines d'or, etc.).

Terre

Pépite

La genèse de tous les éléments chimiques est désormais connue

L'or (Au dans ce tableau de Mendeleïev), mais aussi le platine, le plomb... Les éléments lourds dont on ignorait encore l'origine (en jaune) voient enfin leur genèse élucidée. (Les cases à plusieurs couleurs représentent les éléments qui peuvent se former de diverses manières.)



Hydrogène et hélium

Nés lors du big bang

Les deux atomes les plus légers sont nés spontanément dans l'espace, trois minutes après le big bang (lors de la "nucléosynthèse primordiale"). Les toutes premières étoiles de l'Univers se sont allumées exclusivement à partir de ces deux éléments.

Lithium, béryllium et bore

Fabriqués dans le vide interstellaire

Ces trois éléments, un peu plus lourds que les deux précédents, se constituent dans le vide interstellaire, où des rayons cosmiques (principalement des protons et des noyaux d'hélium) percutent à grande vitesse des noyaux de carbone, d'azote ou d'hydrogène.

→ *L'étain 117, qui donne ensuite l'étain 118, et ainsi de suite... jusqu'à l'étain 123, très instable, qui se désintègre en seulement cent vingt-neuf jours. Il est donc impossible de fabriquer de l'étain 124 de cette manière. Or, celui-ci existe bel et bien dans la nature, et il est parfaitement stable !*

C'est donc que doit intervenir un autre mécanisme, encore plus efficace : le processus R, pour "rapide". En une seconde, ce mécanisme doit être capable de saturer de neutrons les noyaux existants, comme l'étain 123, sans leur laisser le temps de se désintégrer. Ainsi gavés, les noyaux grossissent en une fraction de seconde jusqu'à atteindre un équilibre, puis servent à leur tour de briques de base pour construire des noyaux encore plus lourds.

Ce processus R serait donc à l'origine de l'étain 124, ainsi que de l'or, de l'uranium, du platine, de l'osmium... et d'une flopée d'autres éléments lourds.

Le problème, c'est qu'en 1957, on n'a aucune idée de la source

cosmique de ce phénomène. Une chose est sûre, il n'a pas lieu dans les étoiles classiques. Selon la théorie, le milieu doit être riche d'au moins 10^{20} neutrons par centimètre cube, soit 1 000 milliards de fois plus que ce que nécessite le processus S!

LA PISTE DES SUPERNOVÆ

Un seul type d'astre peut atteindre de telles concentrations : les étoiles à neutrons. Sauf que vu leur formidable gravité, rien n'en sort jamais une fois qu'elles sont formées. Or, les astrophysiciens recherchent un objet capable de propager dans l'Univers les éléments qu'il fabrique, en explosant par exemple. Ils délaissent donc les étoiles à neutrons et se tournent plutôt vers les explosions d'étoiles massives qui les génèrent : les supernovæ.

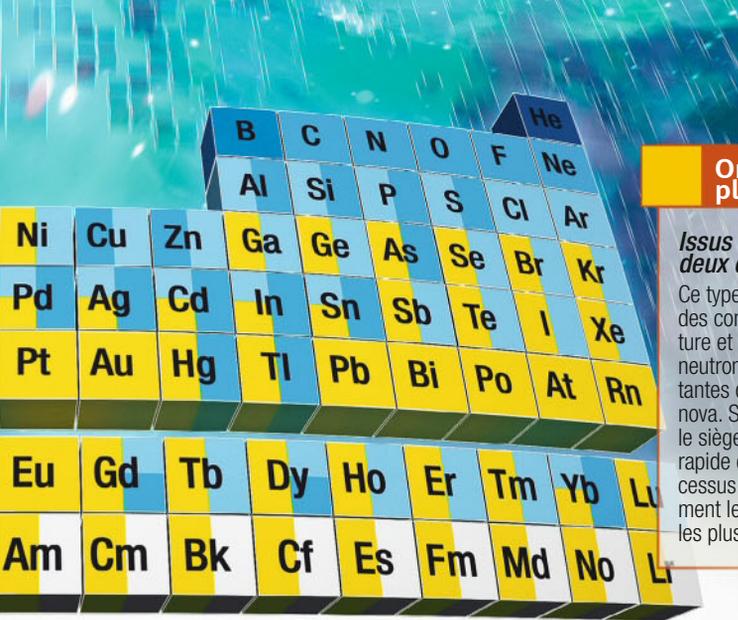
Carbone, azote, oxygène...

Forgés au cœur des étoiles

Les étoiles génèrent une grande partie des atomes de l'Univers : soit par fusion nucléaire pour ceux qui constituent notre organisme (carbone, azote, oxygène... jusqu'au fer, Fe sur le tableau), soit par capture lente de neutrons (le "processus S") pour les éléments plus lourds.

Selon les modélisations rudimentaires de l'époque, ces cataclysmes fourniraient les conditions de concentration requises. Et ils durent une seconde, soit le temps caractéristique du processus R! De quoi en faire des candidats privilégiés.

S'ensuivent trois décennies de calculs de haute volée à l'issue desquelles, au début des années 1990, les chercheurs pensent tenir enfin un mécanisme plausible, le "modèle du vent neutrinique". D'après ce scénario, le processus R aurait lieu au cœur des explosions d'étoiles massives, à l'interface entre l'enveloppe interne de l'étoile et le petit



Or, uranium, platine...

Issus d'un choc entre deux étoiles à neutrons

Ce type de collision produit des conditions de température et de concentration en neutrons encore plus importantes que pour une supernova. Si bien qu'elle est le siège idéal de la capture rapide de neutrons, ou "processus R", par lequel se forment les atomes naturels les plus lourds de l'Univers.

Chlore, calcium, potassium...

Générés lors des supernovæ

Les étoiles massives mourantes explosent en supernovæ. Durant ces cataclysmes, les conditions infernales (1 milliard de degrés) donnent naissance à des atomes lourds, notamment *via* la capture rapide de neutrons (le "processus R"), qui pourrait former des éléments plus légers que le platine (Pt).

Transuraniens

Créés par l'homme

Les atomes plus lourds que l'uranium (U), très instables, se désintègrent quasi instantanément. Ils sont donc surtout créés artificiellement, dans les réacteurs nucléaires ou les accélérateurs de particules, ou peuvent apparaître furtivement lors d'un choc entre étoiles à neutrons.

grain extrêmement dur qui naît en son cœur. Un vent de particules (des neutrinos) y formerait des bulles de matière extrêmement chaude dans lesquelles naîtraient en profusion les neutrons qui constituent les éléments lourds.

Sauf que, depuis, ce scénario s'embourbe. Il peine à produire des neutrons en quantité suffisante. Et les simulations ne permettent pas de trancher.

Il faut attendre le début des années 2000 pour que l'histoire rebondisse grâce à des travaux issus d'un secteur de l'astrophysique à des années-lumière de ces questions de physique nucléaire.

Que se passe-t-il lorsque deux étoiles à neutrons tournent l'une autour de l'autre, unies par les liens de la gravitation? La situation n'est pas si exceptionnelle: il suffit qu'un système soit composé de deux étoiles massives pour que, après leur mort explosive, cet étrange bal se mette en place. Vu les masses en jeu, les astrophysiciens prédisent que leur rotation doit asperger l'Univers d'un déferlement d'ondes gravitationnelles, qui déforment la structure de l'espace-temps comme un caillou déforme la surface de l'eau.

C'est là, à l'origine, tout l'intérêt scientifique de ces systèmes binaires d'étoiles à neutrons. D'énormes détecteurs, Ligo aux Etats-Unis et Virgo en Italie, ont été mis en service dans les années 2000 dans le seul but de

repérer ces ondes gravitationnelles – en vain jusqu'ici (lire l'encadré p. 84).

Alors qu'ils modélisent le plus minutieusement possible le phénomène, les théoriciens se rendent compte qu'à force de perdre de l'énergie sous la forme d'ondes gravitationnelles, les deux cadavres stellaires se rapprochent et finissent par s'écraser l'un sur l'autre dans une explosion effroyable... que l'on soupçonne d'être à l'origine des "sursauts gamma courts", des flashes extrêmement brefs et brillants régulièrement détectés par les télescopes spatiaux. Et au début des années 2000, les modélisations révèlent que ces fusions stellaires fournissent les conditions idéales... pour le processus R. Nous y revoilà!

"Ces fusions d'étoiles à neutrons n'ont lieu qu'une fois tous les 100 000 ans dans la Voie lactée: elles sont 1 000 fois plus rares que les supernovæ. Mais elles produiraient 100 à 1 000 fois plus d'éléments lourds que le modèle du vent neutrinique, soit environ un centième de la masse du Soleil, calcule Stéphane Goriely. Au final, elles pourraient expliquer à elles seules l'origine de la totalité des éléments lourds produits par le processus R!"

DIFFICILES À DÉTECTER

Reste à prouver que ce scénario cataclysmique est le bon... L'histoire montre que ce n'est pas la première fois qu'on est convaincu à tort d'avoir résolu cette énigme.

Comment faire? Les chercheurs ont bien une idée: les simulations indiquent qu'une semaine après le cataclysme, la désintégration des éléments les plus radioactifs devrait cracher

→ une flambée de rayons infrarouges dans toutes les directions. Ce rayonnement, baptisé "kilonova", prendrait la forme d'un pic de luminosité aux aurores de supernova, quoique 10 à 1 000 fois moins brillant.

Un sursaut gamma court suivi quelques jours plus tard d'une kilonova... La chasse est ouverte. Mais elle promet d'être ardue. "Les sursauts gamma se produisent le plus souvent à

Mais le 3 juin 2013, coup de tonnerre: un sursaut gamma de 0,18 seconde est observé par le satellite *Swift* dans la constellation du Lion, à une distance de 3,9 milliards d'années-lumière – soit pas trop loin de nous.

"Dès l'annonce de cette détection, j'ai fait une demande d'observation auprès de l'Institut des sciences du télescope spatial, responsable du satellite

éclatante du nouveau scénario sur l'origine des éléments de l'Univers. Ils savent qu'il leur faudra d'autres observations pour prouver véritablement sa validité. Mais ils auront bientôt les moyens de les obtenir. "Avec la mise en service, vers 2020, du Large Synoptic Survey Telescope au Chili et du satellite Euclid, qui seront 25 fois plus sensibles et couvriront une surface 7 fois plus étendue, on devrait repérer 10 kilonovæ par an!", estime Frédéric Daigne.

D'autant que le lancement de détecteurs d'ondes gravitationnelles de deuxième génération, à la sensibilité décuplée, devrait également faire mouche d'ici cinq ans.

"Le rêve serait que dans les millisecondes suivant la détection d'ondes gravitationnelles, un sursaut gamma court soit observé depuis un télescope gamma spatial, qui laisserait place plusieurs jours après à une kilonova, lâche Frédéric Daigne. Alors, le scénario serait définitivement validé."

Voilà pourquoi c'est finalement le moment idéal pour prendre l'histoire en route: juste assez tard pour échapper à la frustration qu'ont ressentie les chercheurs durant les années d'errance; juste assez tôt pour savourer son dénouement à sa juste valeur s'il survient demain.

Ce n'est plus qu'une question de temps. Les spécialistes doivent encore patienter avant de l'annoncer haut et fort. Mais ils ont enfin compris d'où vient tout l'or du monde.

Quand l'homme tente de forger des noyaux encore plus lourds

Bien que la nature ne s'aventure guère au-delà de l'uranium, le plus lourd des éléments stables (92 protons et 146 neutrons), l'homme ne cesse de repousser ses limites. Le noyau le plus complexe en date est l'ununoctium (118 protons et 176 neutrons): synthétisé en 2006, il a survécu... 1,8 milliseconde. Au-delà de la performance technique, la course aux noyaux superlourds porte de nombreux intérêts scientifiques. "Ils permettent notamment de tester le tableau de Mendeleïev et de mieux comprendre le processus R", explique Hervé Savajols, du Grand accélérateur national d'ions lourds, à Caen.

une distance trop grande pour qu'une kilonova associée, si elle existe, puisse être détectée", explique Frédéric Daigne, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Avec ses collègues, il a confronté le taux prévu de collisions entre étoiles à neutrons avec la partie du ciel observée et la sensibilité du télescope de l'observatoire du mont Palomar en Californie, spécialisé dans ce type d'observation. Conclusion rageante: les kilonovæ dégagent une énergie tout juste inférieure à la limite de détection. Au point qu'avec les moyens de surveillance actuels, il ne faut pas espérer en repérer plus d'une tous les dix ans! La quête de l'or a décidément de quoi rendre fou...

Hubble", raconte Nial Tanvir, de l'université de Leicester (Angleterre). Bien lui en a pris: neuf jours après le sursaut, *Hubble*, grâce à sa sensibilité extrême, détecte une kilonova!

L'ÉNIGME ENFIN RÉSOLUE ?

La spectroscopie (l'étude du rayonnement émis) ne permet pas d'identifier les éléments impliqués: il est donc impossible de confirmer que le signal provient de la décomposition des éléments radioactifs issus du processus R. Mais son profil correspond à ce que prévoient les modèles de fusion d'étoiles à neutrons.

Parmi les chasseurs de kilonovæ, c'est l'effervescence. C'est la première confirmation

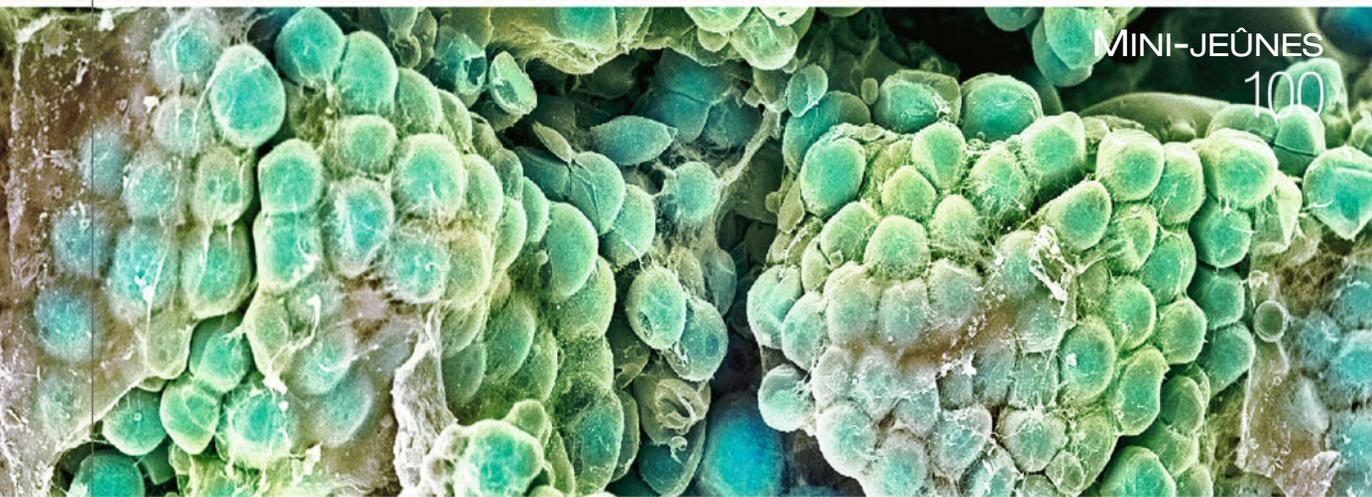
A voir : des simulations vidéo de fusions d'étoiles à neutrons.

★ EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

& Science techniques

AVIONS SPATIAUX
90



MINI-JEÛNES
100



OBJETS CONNECTÉS
106



Le grand retour des avions **spatiaux**



< Le *Dream Chaser* décolle depuis un lanceur, mais atterrit à l'horizontale.

Depuis que les navettes ont pris leur retraite, des hommes sont envoyés dans l'espace *via* des fusées et des capsules retombant au sol grâce à un parachute. Comme au temps d'*Apollo*... Mais cela pourrait changer ! **Stefan Barensky** le montre : dans les hangars et dans les hautes couches de l'atmosphère, l'avion spatial prépare son grand retour. La preuve, avec six projets phare.

Contexte

Matériaux thermostructuraux nouveaux, moteurs plus performants, technologies d'automatisation plus poussées... Le développement d'avions à l'aise aussi bien dans l'air que dans les dernières couches de l'atmosphère, ou sur orbite, est techniquement à la portée de l'industrie privée. Qui espère tirer profit des avions spatiaux sur le marché des satellites de très petite taille et des expériences scientifiques, mais aussi dans le secteur émergent du tourisme spatial, qui vise des clients fortunés avides de découvrir la Terre à 100 km d'altitude.

DREAM CHASER

Il y eut bien sûr la glorieuse conquête de la Lune, à la fin des années 1960 et pendant les années 1970, avec ses grosses fusées *Saturn*, propulsant les fameuses capsules *Apollo*. Puis s'ouvrit une nouvelle ère, où l'espace parut soudain une proche banlieue de la Terre. Entre 1981 et 2011, les navettes américaines, drôles d'avions aux ailes courtaudes et embarquant des équipages, se sont régulièrement mises sur orbite pour y déployer des satellites et les modules constituant la Station spatiale internationale (ISS), avant de se poser sur Terre pour ramener matériel et équipage et de se satelliser à nouveau pour d'autres missions.

Sauf que le rêve s'est brisé. Par deux fois. En 1986, la navette *Challenger* se désintègre après le décollage. En 2003, *Columbia* subit le même sort funeste, lors de sa rentrée dans l'atmosphère. Le 21 juillet 2011, le sort en est jeté : *Atlantis*, dernière du genre à voler, se pose définitivement à Cap Canaveral

L'objectif : embarquer scientifiques et touristes à 100 km d'altitude

(Floride). Outre les accidents, terribles, l'économie fragile du programme, plombant le budget de la Nasa, scelle le destin des navettes. Et la conquête spatiale fait alors un bond en arrière... de quarante ans.

Car pour mettre sur orbite de nouveaux satellites ou faire la liaison avec l'ISS, les agences spatiales renouent avec la technique qui leur avait initialement réussi : de petites capsules, propulsées par des

Après trente ans de navettes,



1942

Eugen Sänger propose un bombardier antipodal

L'ingénieur allemand crée un engin capable d'atteindre Mach 24 à 100 km d'altitude avant de rentrer dans l'atmosphère en vol hypersonique pour frapper son objectif.



1963

L'avion spatial X-15 atteint 107 km d'altitude

Cet avion-fusée expérimental américain a exploré le domaine hypersonique au-delà de Mach 5 à partir de 1961. En 199 vols, il a fait deux incursions à plus de 100 km d'altitude.

fusées, retournant sur Terre à grande vitesse et achevant brutalement leur course en pleine mer au bout d'un immense parachute. Problème, elles ne sont pas toujours réutilisables. Un retour en arrière aux allures de constat d'échec : les navettes avaient l'avantage de ramener hommes et passagers sur la terre ferme, en un point fixe, à chaque voyage. Certes, les fusées désormais utilisées pourraient devenir en partie récupérables, avec des étages revenant sur Terre à la manière des fusées de Tintin. C'est ce que visent les essais menés notamment par Space X, compagnie privée qui assure le ravitaillement de l'ISS avec ses capsules *Dragon*.

Sauf que ramener une fusée sur Terre n'a rien d'évident ! *"L'atterrissage vertical demande de moduler en temps réel la poussée du moteur en tenant compte de l'altitude et de la masse de carburants restants, pour parvenir très précisément à une vitesse nulle à une altitude nulle, explique-t-on chez Airbus. A la moindre erreur, on s'écrase – ou on redécoule."* L'atterrissage d'un avion spatial, y compris sans pilote, s'apparente, lui, à la techno-

logie déjà bien maîtrisée de l'atterrissage des drones. Un argument de poids... Si bien que, poussés par les progrès technologiques et le développement de nouveaux marchés (lire "Contexte" p. 91), une poignée d'investisseurs privés et d'agences publiques ont entrepris de remettre en piste cet engin. Non sans fracas.

VOLS EN ORBITE À L'ÉTUDE

Les derniers essais en vol du *SpaceShipTwo (SS2)*, de la compagnie Virgin Galactic, fondée en 2004 par le milliardaire britannique Sir Richard Branson, se sont soldés le 31 octobre dernier par un crash et la mort du copilote. Malgré le drame, Virgin Galactic s'en tient à sa promesse de vols à plus de 100 km d'altitude à bord de cet avion-fusée suborbital. Un deuxième modèle du SS2 est en cours de finition dans un atelier de l'aéroport de Mojave, en Californie, et les vols commerciaux sont annoncés pour 2016. Une échéance ambitieuse... qui devrait aiguïser les appétits d'une concurrence de plus en plus sérieuse.

Dans un autre hangar de Mojave, une société fondée par un petit groupe d'investisseurs

une nouvelle ère est ouverte



1981

Premier vol d'une navette spatiale

Décidée en 1972, la navette américaine *Columbia* doit effectuer un vol par semaine et remplacer le lancement par fusées. Devant les difficultés liées à son exploitation, cet objectif est réduit.



1986

Accident de Challenger

Ce premier crash – qui entraîne la mort de sept astronautes – met un terme à la carrière commerciale de la navette et relance l'exploitation des lanceurs classiques. Désormais, la navette servira aux missions scientifiques.



2011

Ultime atterrissage pour la navette américaine

La perte de sept astronautes de plus à bord de *Columbia* en 2003 achève l'ère des navettes spatiales. Après leur dernière mission (assemblage de l'ISS), elles atterrissent... au musée.

et d'ingénieurs, XCOR Aerospace, assemble le premier exemplaire de son avion-fusée *Lynx*, conçu à la fois pour les expérimentations scientifiques et le tourisme spatial.

Ces efforts privés ont éveillé l'intérêt du groupe européen EADS, devenu Airbus, qui a dévoilé, en juin 2007, son concept de *Spaceplane* alliant propulsion aérobie (qui utilise l'oxygène de l'air) et fusée pour décoller d'une piste traditionnelle et revenir s'y poser après une incursion à 100 km d'altitude. En mai 2014, un premier largage d'une maquette à l'échelle 1/4 a été effectué au large de Singapour. D'autres tests devraient suivre.

Au-delà du vol suborbital, les travaux se poursuivent aussi sur des appareils orbitaux – suffisamment puissants et résistants pour se satelliser et traverser les couches de l'atmosphère à vitesse supersonique. En 2010, l'américain Sierra Nevada Corp. (SNC) a ainsi présenté son concept, le *Dream Chaser*, rappelant le projet Hermès européen qui, malgré son abandon en 1992, a lui-même inspiré deux autres projets.

Le premier est le démonstrateur *IXV*. Soit une forme

aérodynamique dépourvue d'ailes qui, lancée de Kourou, a effectué une rentrée spatiale hypersonique au-dessus du Pacifique, le 11 février dernier. Cet *IXV* préfigure un appareil opérationnel plus complexe: l'avion spatial *Pride*, capable d'effectuer des vols autonomes pour tester des instruments scientifiques, de nouvelles technologies et même venir réparer des satellites. Le *Pride* serait ainsi un équivalent européen et civil du *X-37B*, qui réalise des missions secrètes pour l'US Air Force depuis 2010.

UN MARCHÉ D'AVENIR ?

Deuxième projet inspiré d'Hermès: le *Soar* (*Sub Orbital Aircraft Reusable*), avion spatial développé à Payerne par Swiss Space Systems (S3), une firme fondée par l'ingénieur et pilote suisse Pascal Jaussi.

Hors des cieux américains et européens, l'avion spatial a aussi le vent en poupe. En 2013, l'industriel russe Energia proposait son concept *Berkout*, équivalent du *X-37B* et du *Pride*. En Inde, l'agence spatiale Isro s'apprête à tester un modèle réduit de sa future navette *Avatar* sur une fusée-sonde au dernier trimestre 2015. En

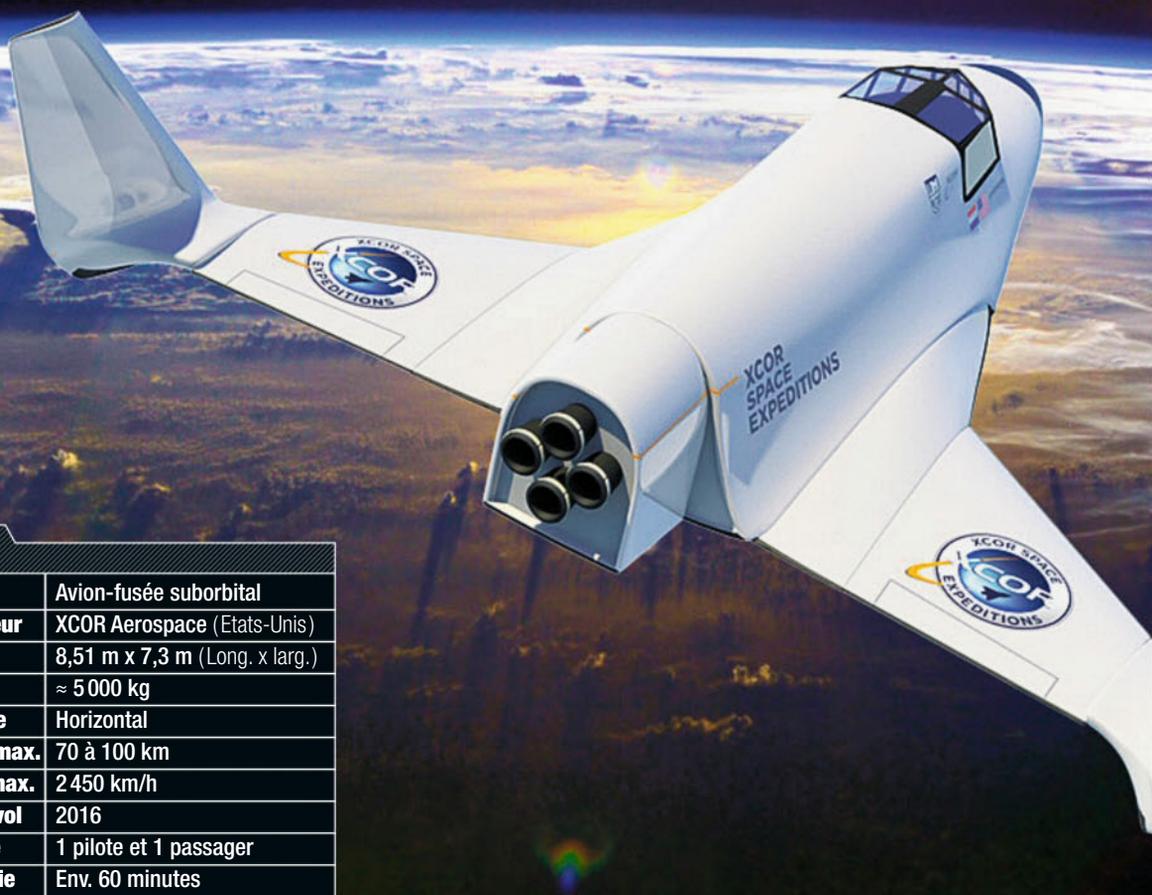
Jargon

Lors d'un **vol suborbital**, un avion spatial monte en chandelle pour atteindre, au maximum, 4 000 km/h, et poursuit sur sa lancée jusqu'à une altitude inférieure à 100 km. Pour **se placer sur orbite**, au-delà de 150 km, l'engin doit atteindre 28 000 km/h parallèlement au sol, pour se satelliser. Le retour dans l'atmosphère requiert des protections thermiques.

Chine, des images de l'engin *Shen Long* lors d'essais de largage ont fuité en 2007.

Les concepts sont là, les technologies aussi. Il reste aux nouveaux avions spatiaux à trouver leur modèle économique. En 2008, les études de marché d'Airbus estimaient à 15 000 le nombre de passagers annuels prêts à déboursier plus de 100 000 dollars pour des vols suborbitaux. Cela se confirmera-t-il, passé l'effet de mode? Le salut pourra-t-il venir des lancements de microsattelites?

Airbus, avec son concept *Adeline* dévoilé en juin, envisage un débouché inédit pour les technologies du *Spaceplane*. Un module ailé doté de turbopropulseurs déployables, installé à la base du premier étage des futurs lanceurs spatiaux, pourrait accueillir moteurs et commandes de vol, éléments les plus coûteux du lanceur. Une fois l'étage séparé, ce module larguerait les réservoirs vides et reviendrait se poser comme un avion à Kourou, pour être intégré sur un autre lanceur. Le coût des futures *Ariane* pourrait ainsi être réduit de 20 à 30%. L'avenir dira si ce mariage intime des fusées et des avions sera la clé de l'espace...



LYNX

Type	Avion-fusée suborbital
Concepteur	XCOR Aerospace (Etats-Unis)
Taille	8,51 m x 7,3 m (Long. x larg.)
Masse	≈ 5 000 kg
Décollage	Horizontal
Altitude max.	70 à 100 km
Vitesse max.	2 450 km/h
Premier vol	2016
Equipage	1 pilote et 1 passager
Autonomie	Env. 60 minutes

Le challenger discret mais tenace

Moins médiatisé que le projet de Virgin Galactic (p. 99), le *Lynx* n'en poursuit pas moins son développement. Equipé d'un moteur-fusée d'une force de 13 kilonewton, il décolle et atterrit sur une piste. Son habitacle pressurisé ne compte que deux places – un pilote et un passager payant (95 000 \$) ou une charge utile scientifique expérimentale. La première version de l'appareil, qui montera à 70 km, devrait voler début 2016, avant de céder la place à une version plus puissante atteignant 100 km. Une évolution future pourrait emporter un étage supérieur dans une soute dorsale pour la mise sur orbite de microsattelites.

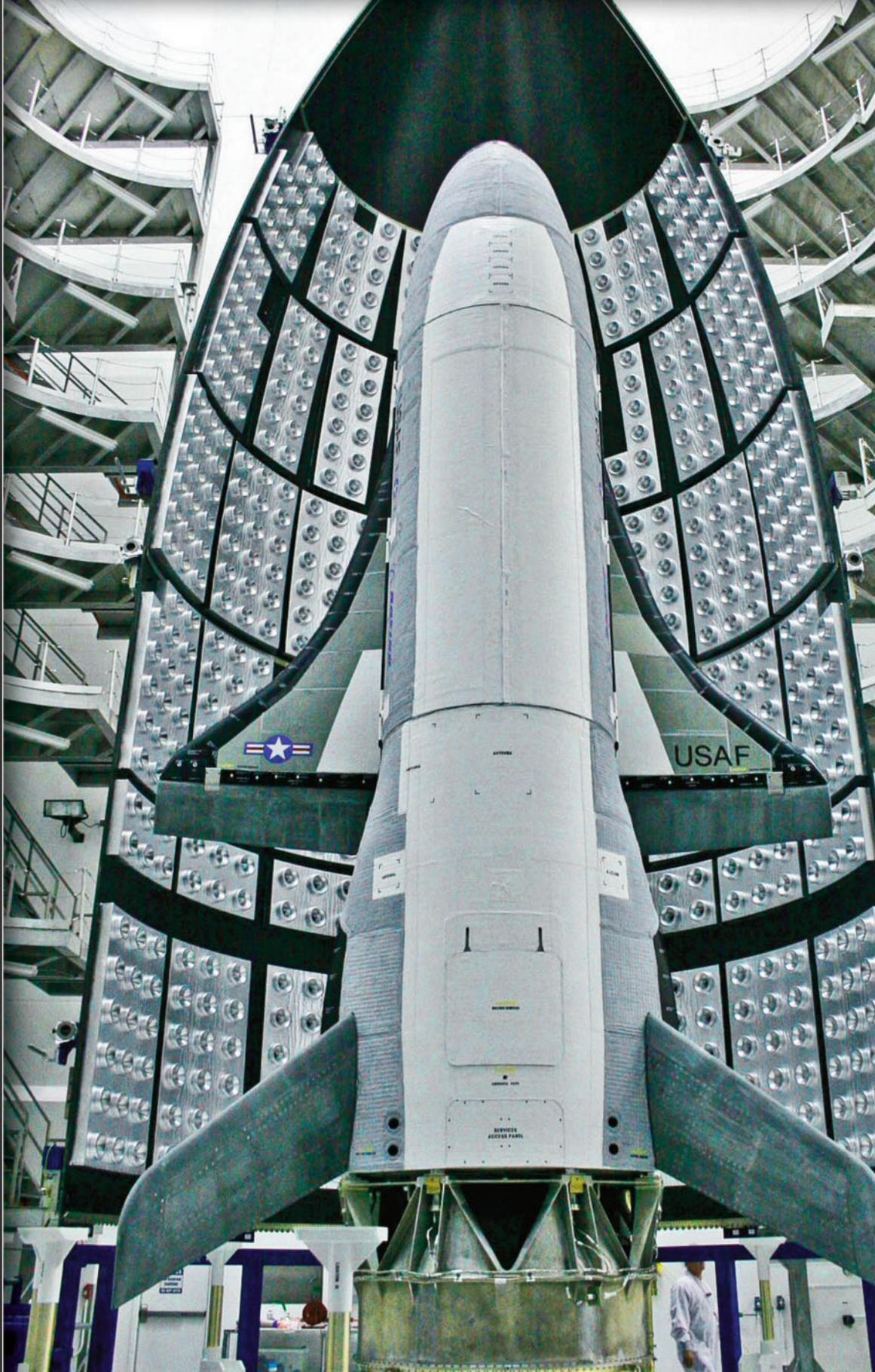
DREAM CHASER

Type	Avion orbital
Concepteur	Sierra Nevada Corp. (Etats-Unis)
Taille	9 m x 7 m (Long. x larg.)
Masse	11 300 kg
Décollage	Vertical, au sommet d'un <i>Atlas 5</i>
Altitude max.	450 km
Vitesse max.	28 000 km/h
Premier vol	Fin 2016
Equipage	1 pilote et 6 passagers
Autonomie	210 jours (avec amarrage à l'ISS)



Le phénix aux multiples résurrections

Ce projet d'avion spatial reprend une architecture étudiée par la Nasa dans les années 2000, sur la base d'une forme aérodynamique conçue par les Soviétiques pour leur projet *MiG 105 Spiral*, dans les années 1960 et 1970. Les technologies ont cependant bien changé. Le *Dream Chaser* dispose d'une cellule pressurisée en composite et de tuiles de protection thermique en Tufroc, un nouveau matériau plus léger et plus résistant. Incapable de décoller par ses propres moyens, le *Dream Chaser* serait satellisé par un lanceur *Atlas 5*. Bien que le projet ait été recalé pour le transport d'astronautes, Sierra Nevada Corp. continue de l'étudier pour le ravitaillement automatique de l'ISS ou du tourisme spatial.



X-37B

Type	Avion spatial automatique
Concepteur	Boeing Phantom Works (Etats-Unis)
Taille	8,92 m x 4,55 m (Long. x larg.)
Masse	4 990 kg
Décollage	Vertical, au sommet d'un <i>Atlas 5</i>
Altitude max.	925 km
Vitesse max.	28 000 km/h
Premier vol	22 avril 2010
Equipage	Aucun
Autonomie	675 jours

Le projet militaire confidentiel

Développé sur la base d'un concept abandonné par la Nasa, le X-37B est l'un des plus mystérieux programmes militaires américains. Exploité en toute discrétion depuis 2010 par l'US Air Force, ce petit avion spatial sans pilote existe en deux exemplaires et affiche quatre vols au compteur. Mis sur orbite par un lanceur *Atlas 5*, il revient se poser tout seul sur la base militaire de Vandenberg (Californie) après plusieurs mois dans l'espace. Aucune information n'est communiquée sur sa mission, et les détails de son orbite ne sont connus que grâce aux astronomes amateurs qui le suivent. On sait néanmoins qu'il dispose d'une soute dans laquelle prennent place des expérimentations technologiques.



SPACEPLANE

Type	Avion-fusée suborbital
Concepteur	Airbus Defence & Space (Fr./All.)
Taille	18 m x 16 m (Long. x larg.)
Masse	18 tonnes
Décollage	Horizontal
Altitude max.	100 km
Vitesse max.	3 000 km/h
Premier vol	2020 ?
Equipage	1 pilote et 4 passagers
Autonomie	80 minutes

L'outsider industriel

Huit ans après son annonce, l'appareil d'Airbus a peu fait parler de lui. Des études ont été menées discrètement sur les technologies nécessaires, en parallèle d'une recherche d'investisseurs et de partenaires potentiels. Le *Spaceplane* ressemblera beaucoup à un jet d'affaires. Mais la partie arrière, au diamètre élargi, abritera des réservoirs d'oxygène et de méthane liquides pour alimenter le moteur-fusée réutilisable *Romeo*, en développement chez Airbus. A la différence de ses concurrents, il disposera aussi de turboréacteurs aérobies pour le décollage et l'atterrissage, ce qui améliorera la sécurité du vol, que l'industriel présente comme une de ses priorités.



SOAR

Type	Avion-fusée suborbital
Concepteur	Swiss Space Systems (Suisse)
Taille	14 m x 12 m (Long. x larg.)
Masse	Non communiquée
Décollage	Largage à 10 km d'un A300
Altitude max.	80 km
Vitesse max.	7 600 km/h
Premier vol	2018 (auto.), 2020+ (habité)
Equipage	Aucun puis 6
Autonomie	A définir

La fusée à trois étages réinventée

Voici le seul avion spatial actuel conçu davantage comme un étage de lanceur que comme un vaisseau à part entière. Basé sur la forme aérodynamique étudiée par Dassault Aviation pour l'avion spatial européen Hermès, le Soar serait largué du dos d'un Airbus A300 et propulsé par un moteur-fusée jusqu'à 7 600 km/h à 80 km d'altitude. Il emporterait, dans sa soute, un étage supérieur pour placer des satellites sur orbite. Swiss Space Systems (S3) envisage qu'à terme cette soute puisse également accueillir des astronautes pour des vols suborbitaux scientifiques ou touristiques. S3 annonce un premier vol en 2018, et entend financer son activité par des vols paraboliques commerciaux.

SWISS SPACE SYSTEM - VIRGIN GALACTIC



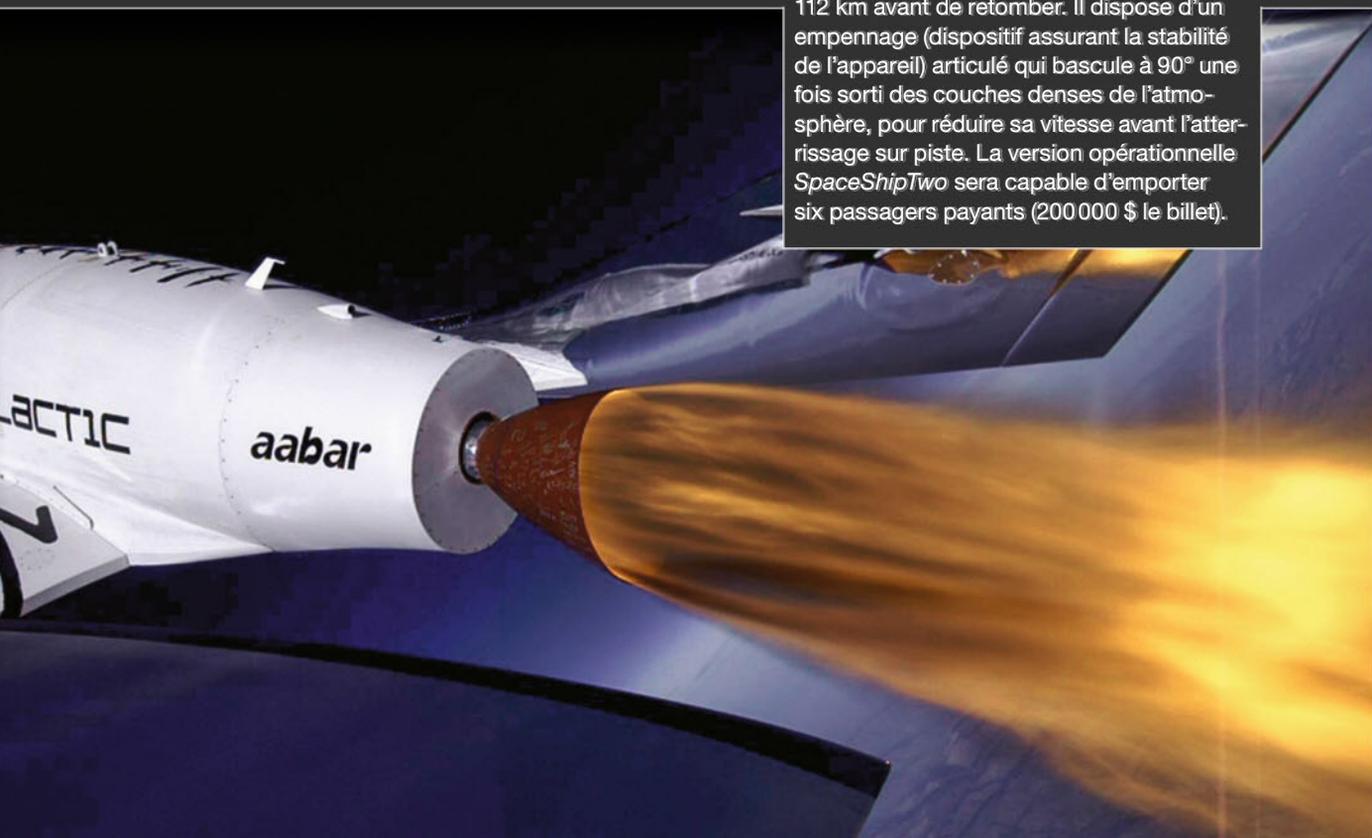


SPACESHIP TWO

Type	Avion-fusée suborbitale
Concepteur	Scaled Composites (Etats-Unis)
Fabricant	The Spaceship Company (E.-U.)
Exploitant	Virgin Galactic (Etats-Unis)
Taille	18,3 m x 12,8 m (Long. x larg.)
Masse	9 740 kg
Décollage	Largage à 14 km par l'avion porteur <i>WhiteKnightTwo</i>
Altitude max.	112 km
Vitesse max.	4 200 km/h
Premier vol	29 avril 2013
Equipage	2 pilotes et 6 passagers
Autonomie	Env. 90 minutes

Le précurseur

Conçu par Burt Rutan – déjà père de l'avion *Voyager*, qui boucla le premier tour du monde sans escale ni ravitaillement en 1986 –, le *SpaceShip* est un appareil à structure composite, largué à 16 km d'altitude par un avion porteur et propulsé par un moteur-fusée hybride. En 87 secondes, il accélère à Mach 3 à 50 km d'altitude et poursuit sur sa lancée jusqu'à atteindre 112 km avant de retomber. Il dispose d'un empennage (dispositif assurant la stabilité de l'appareil) articulé qui bascule à 90° une fois sorti des couches denses de l'atmosphère, pour réduire sa vitesse avant l'atterrissage sur piste. La version opérationnelle *SpaceShipTwo* sera capable d'emporter six passagers payants (200 000 \$ le billet).



Mini-jeûnes

Une panacée à la portée de tous ?

On savait que jeûner est bon pour la santé. Or, de courtes privations alimentaires procurent aussi des effets incroyablement bénéfiques ! De quoi, selon **Elsa Abdoun**, révolutionner nos habitudes alimentaires.

Et si lutter contre le vieillissement et les maladies qui lui sont associées était aussi simple que de sauter le petit déjeuner ? C'est une des séduisantes possibilités que laissent entrevoir des études récentes démontrant les nombreux bénéfices de courtes périodes de restriction alimentaire, d'une dizaine d'heures par jour, ou de

quelques jours par semaine ou par mois. Elles font apparaître, pour gagner des années de vie en bonne santé, le "mini-jeûne" et le "quasi-jeûne" comme des stratégies à la portée de tous.

Difficile à avaler ? Les effets positifs d'une restriction alimentaire sont pourtant connus depuis près d'un siècle... mais seulement quand celle-ci est pratiquée de façon radicale.

Ainsi les scientifiques ont-ils par le passé soumis des animaux à des diminutions d'au moins un tiers de leur ration alimentaire chaque jour de leur vie adulte, ou à des privations totales de nourriture un jour sur deux jusqu'à leur mort, pour s'assurer d'observer des effets – qui sont impressionnants. Certaines espèces vont jusqu'à

gagner 30 % d'espérance de vie, et la plupart sont protégées contre de nombreuses maladies (Alzheimer, diabète, cancer...).

Seules des expériences allant de quelques jours à quelques mois ont été réalisées ces quinze dernières années chez l'humain, mais elles montrent aussi une diminution des marqueurs biologiques associés au risque de développer différentes maladies (voir ci-contre).

DE COURTES DURÉES SUFFISENT

Les mécanismes en jeu ne sont pas uniquement liés à la perte de kilos en trop ou au fait de ne plus faire d'excès. Les privations extrêmes mettent en branle des mécanismes biologiques bien spécifiques et, au final, très bénéfiques pour la santé.

A commencer par le phénomène d'hormèse : affamer l'organisme entraîne un stress physiologique qui pousse ce dernier à activer des systèmes de défense, tels que la production de molécules antioxydantes, connues pour ralentir le

Enjeu

Cancers, maladies cardio-vasculaires, Alzheimer... Les années passant, notre risque de développer de nombreuses maladies augmente. Une importante piste de recherche pour les éviter est donc de retarder le vieillissement de l'organisme à l'aide de médicaments (voir *S&V* n° 1143), ou en modifiant notre mode de vie.



De courtes périodes de jeûne protégeraient de nombreuses maladies

Si on connaît depuis longtemps les effets bénéfiques du jeûne sur la santé, de récentes études montrent, chez la souris, mais aussi chez l'homme, qu'il aurait un effet même quand il n'est suivi que sur une courte durée ou n'est que partiel. Le jeûne ralentirait ainsi le vieillissement – jusqu'à 30 % de longévité en plus chez les souris – et protégerait de nombreuses maladies.

Maladies vasculaires

Chez l'humain : baisse du cholestérol (jusqu'à -30 %), mais aussi des triglycérides et de la pression artérielle ; augmentation du nombre de globules rouges et de plaquettes.

Ostéoporose

Préservation de la densité osseuse (+15 %)

Maladies neurologiques

Augmentation de la neurogenèse (+18 % dans l'hippocampe) chez la souris, mais aussi : amélioration des fonctions cognitives (notamment chez des souris atteintes d'Alzheimer) ; ralentissement de la maladie neurodégénérative de Huntington ; moindre mortalité après un infarctus cérébral...

Maladies cardiaques

Risque de maladies coronariennes diminué de 30 % chez la souris.

Diabète

Chez l'homme, +20 % de sensibilité à l'insuline (un facteur protégeant du diabète) et chez la souris, prévention du diabète (-20 %).

Sclérose en plaques

Prévention de la sclérose en plaques (-15 % chez la souris).

Cancers

Prévention du cancer, notamment de la prostate (-10 % chez les souris).

3 façons de "mini-jeûner"

- Manger dans une fenêtre de 8 à 12 heures seulement par jour, 5 jours par semaine.
- Manger très peu (environ 500 calories) 2 jours consécutifs par semaine.
- Manger très peu 5 jours consécutifs par mois (1 000 calories le premier jour, 700 les quatre suivants).



→ vieillissement, et des phénomènes d'autophagie, qui consistent en une dégradation par les cellules de leurs propres déchets moléculaires. Qui plus est, la restriction alimentaire entraîne une baisse de l'inflammation qui peut, avec le temps, ronger les tissus, et pousse le corps, privé de glucides, à puiser de l'énergie dans ses réserves de graisses: les lipides sont ainsi transformés par le foie en corps cétoniques, des molécules bénéfiques pour les cellules gourmandes en énergie (neurones, muscles...).

Selon Mark Mattson, directeur du laboratoire de neurosciences à l'Institut national du vieillissement de Bethesda (Etats-Unis), une telle multiplicité d'effets positifs n'a rien de surprenant: *"Durant la plus grande partie de son histoire évolutive, notre espèce a été confrontée à d'importantes restrictions alimentaires. Notre organisme est donc plus adapté à ce mode de fonctionnement qu'à celui, très récent, consistant à manger trois repas tous les jours."*

Soit. Reste que les humains les plus chanceux, qui peuvent aujourd'hui manger à leur faim, n'ont pas l'air désireux de renoncer à ce confort. Manger cinq fruits et légumes par jour reste déjà pour beaucoup un

Comment le jeûne fait du bien à notre organisme

défi. Alors s'imposer volontairement de jeûner un jour sur deux, ou de ne plus jamais manger à sa faim...

Cette réflexion a récemment mené des scientifiques à tester des stratégies plus réalistes, et leur a permis de découvrir qu'il n'est pas nécessaire de torturer sans arrêt son estomac pour régénérer son organisme.

RENONCER AU PETIT DÉJEUNER

Les premiers à tenter une nouvelle approche sont des chercheurs anglais. Ils ont développé une méthode aujourd'hui très prisée des magazines féminins: le régime 5:2. Ce dernier consiste à ne pratiquer la restriction calorique que deux jours par semaine, mais de manière plus intense, en divisant cette fois les apports énergétiques journaliers par trois ou quatre. Au point de réaliser des "quasi-jeûnes".

En 2011 sont publiés les résultats des premiers tests menés pendant six mois sur 41 femmes obèses ou en surpoids. Ces dernières avaient évidemment



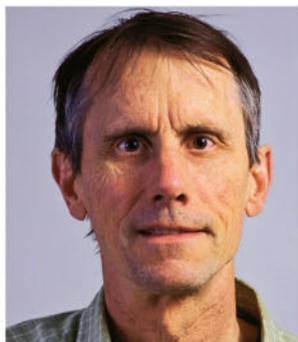
Il active la production de corps cétoniques

Quand le corps manque de glucose, il puise son énergie dans les cellules graisseuses (photo): le foie transforme ces lipides en corps cétoniques aux effets bénéfiques sur les cellules...

maigri, et leur état de santé s'en trouvait par conséquent amélioré, mais elles présentaient aussi une plus forte production de corps cétoniques, ainsi qu'une baisse des marqueurs de stress oxydants et de l'inflammation, soit les mêmes phénomènes que ceux impliqués dans le ralentissement du vieillissement provoqué par des privations extrêmes. Soulignant ainsi la possibilité que cette méthode apporterait, au-delà des effets de l'amaigrissement, des bénéfices du même type que ceux provoqués par des privations plus intenses.

"Cela reste encore à démontrer", insiste Michelle Harvie, l'auteur de l'étude, spécialiste de diététique à l'hôpital universitaire de Manchester Sud, qui espère cependant le tester.

En attendant, une méthode concurrente – consistant en une restriction calorique encore moins intense et moins fréquente, mais s'étalant sur une durée plus longue – vient de produire des preuves crédibles de son efficacité. Pendant trois

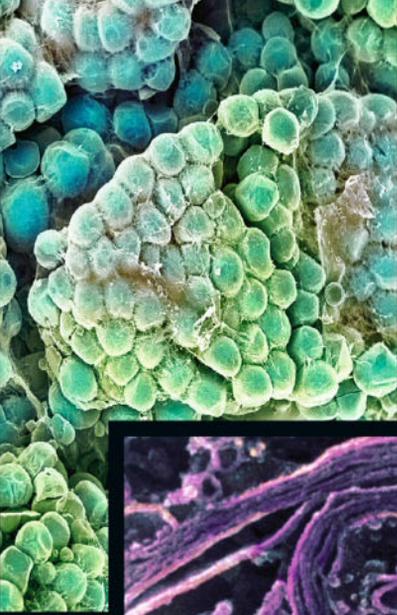


MARK MATTSON

Directeur du laboratoire de neurosciences de l'Institut national du vieillissement de Bethesda (Etats-Unis)

Durant la plus grande partie de son évolution, notre espèce a été confrontée à d'importantes restrictions alimentaires

DR - CORBIS - PROF. P. MOTTI & T. INAGURO/CORBIS - S. GSCHEISSNER/CORBIS - CNRI/SPL/COSMOS



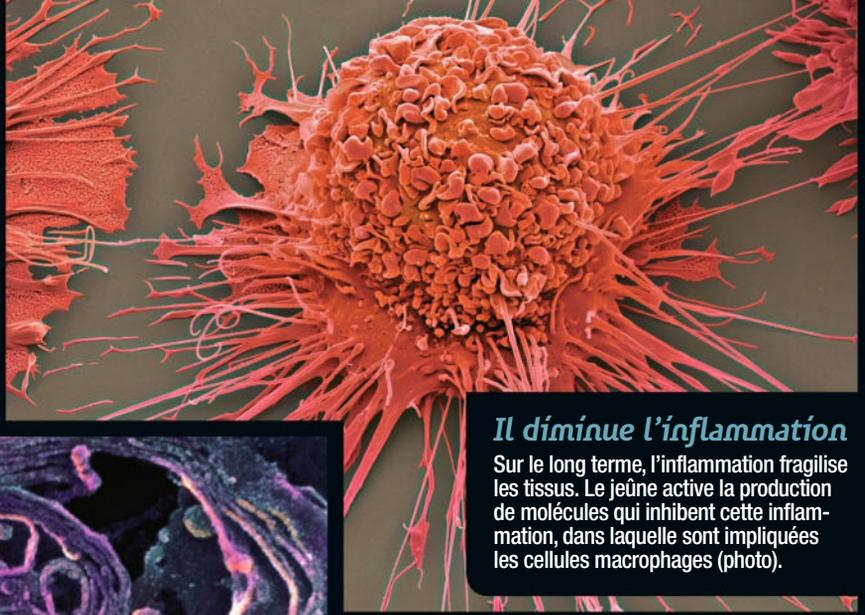
Il favorise l'autophagie

Le jeûne active la dégradation, par les cellules, de leurs déchets internes, à l'aide de leurs centres de recyclage appelés lysosomes (photo).

mois, 19 volontaires se sont contentés, cinq jours consécutifs par mois, de la moitié des apports caloriques recommandés le premier jour, puis seulement du tiers, les quatre suivants. A la fin de l'expérience, Valter Longo, professeur de biologie et gérontologie à l'université de Californie du Sud, a remarqué que ces quasi-jeûneurs

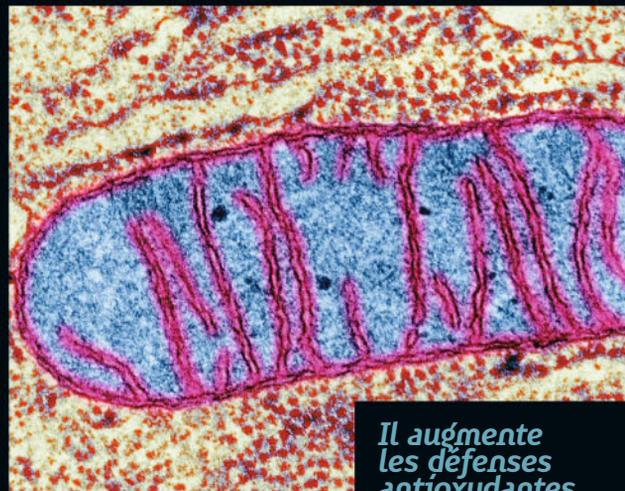
produisaient plus de corps cétoniques et présentaient moins de protéines CRP (marqueurs d'inflammation) et d'hormones IGF-1 (facteurs de vieillissement). Des souris soumises à un régime similaire ont, quant à elles, vu leur longévité accrue de 11 % ; leur risque de développer des tumeurs diminué de 45 % ; leur système immunitaire rajeuni et leur densité osseuse préservée.

Surtout, Valter Longo a noté chez elles un phénomène tout



Il diminue l'inflammation

Sur le long terme, l'inflammation fragilise les tissus. Le jeûne active la production de molécules qui inhibent cette inflammation, dans laquelle sont impliquées les cellules macrophages (photo).



Il augmente les défenses antioxydantes

Avec l'âge, la respiration cellulaire, assurée par les mitochondries (photo), produit un excès de radicaux libres, qui oxydent les cellules. Le jeûne active la production de molécules aidant à s'en protéger.

à fait nouveau : "Un véritable renouvellement cellulaire avec une disparition très importante de cellules des muscles, du foie et du système immunitaire qui, à la reprise d'une alimentation normale, étaient repeuplés grâce à la très forte prolifération de cellules souches."

Si cette stratégie semble avoir une longueur d'avance, une troisième, plus hypothétique, attire par son incroyable simplicité : elle consiste à jeûner... la nuit. Ou, plus exactement, à espacer d'au moins douze heures, et si possible seize, la dernière prise alimentaire d'une journée et le premier repas de

→ la suivante. Quitte, pour les humains, à sauter le dîner ou le petit déjeuner si nécessaire.

Des chercheurs de l'Institut Salk de La Jolla (Californie) se sont récemment intéressés aux bénéfices métaboliques de ces mini-jeûnes. Et ont démontré en décembre dernier, chez des souris, que, sans diminuer la quantité de nourriture ingérée dans la journée, cette méthode entraînait une moindre prise

Centre médical Intermountain de Salt Lake City, les mécanismes aboutissant à la production de corps cétoniques, par contre, "démarrant dès huit à dix heures de jeûne". Des effets anti-âge pourraient donc bien être à l'œuvre... "Nous testons actuellement de possibles effets préventifs sur le cancer, et d'autres laboratoires sont en train d'étudier les effets sur la longévité", confie d'ailleurs

Horne, tout en accordant "qu'on ne connaît pas encore chez l'humain les effets à long terme de jeûnes très fréquents pratiqués pendant des années".

LES CHERCHEURS À LA DIÈTE

Sur les rongeurs, de rares études testant des restrictions plus extrêmes ont obtenu des résultats à contre-courant, tels qu'une baisse de la longévité ou une augmentation de l'incidence des cancers.

Avant d'être reconnu comme un outil de prévention, voire conseillé par des autorités de santé, le rapport bénéfice/risque du jeûne, même très court ou partiel, devra donc être confirmé par des essais cliniques de plus grande ampleur.

En attendant, les spécialistes semblent considérer ces stratégies comme suffisamment sûres pour les pratiquer eux-mêmes. "Je ne prends plus de petit déjeuner cinq jours par semaine", confie Mark Mattson, tandis que Valter Longo effectue "cinq jours de jeûne partiel tous les six mois". Tous précisent cependant que le jeûne doit être médicalement supervisé et réservé à des adultes en bonne condition physique et mentale. Luigi Fontana, professeur de médecine et nutrition, rappelle, quant à lui, que "le jeûne est un outil parmi d'autres, qui peut venir en complément de l'exercice physique et d'une alimentation équilibrée". Un outil simple, gratuit, et enfin à la portée de tous.

Le jeûne serait même thérapeutique

Et si, en plus de ralentir le vieillissement de l'organisme, le jeûne pouvait aussi nous soigner? C'est ce que suggèrent plusieurs études menées sur de petits groupes de patients, qui montrent, notamment, qu'il pourrait diminuer les symptômes de l'asthme et de la polyarthrite rhumatoïde, ou normaliser la tension de patients hypertendus. Mais récemment, la recherche sur le potentiel thérapeutique du jeûne s'est surtout orientée vers une application particulièrement prometteuse: le traitement du cancer. Des études indiquent en effet que de courtes périodes de privation de nourriture augmenteraient l'efficacité de la chimiothérapie, tout en réduisant ses effets secondaires (voir S&V n° 1137, p. 88)!

de poids, garantissait une meilleure endurance physique et une diminution du cholestérol et des facteurs de risque de diabète. Et cela, même quand les souris ne s'y soumettaient que cinq jours par semaine. Une bonne nouvelle pour ceux qui apprécient autant les dîners tardifs du samedi, que les croissants au réveil le dimanche.

Peut-on également espérer des effets anti-âge? Si les chercheurs ont observé une baisse de l'inflammation, Satchin Panda, qui a dirigé les travaux, se montre réservé: "Nous n'avons pas vu d'effet sur le stress oxydant." D'après Benjamin Horne, spécialiste d'épidémiologie au

Amandine Chaix, qui a mené les premières expériences.

Les bénéfices du jeûne pourraient donc être enfin à la portée de nos estomacs avides. Même si, précise Benjamin Horne, "les bénéfices seront probablement proportionnels à l'intensité et à la durée de la restriction".

Mais qu'en est-il des risques? Si mini-jeûnes et faux jeûnes s'avèrent suffisamment efficaces pour procurer des bénéfices, ils pourraient aussi induire des effets néfastes. "Le jeûne est pratiqué depuis des milliers d'années pour des raisons sociales, religieuses... et la plupart du temps cela ne pose aucun problème", rassure Benjamin

A consulter : les références des principales publications citées.  A voir : deux documentaires (un français, un anglais) sur le jeûne.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

SOIRÉES ENTRE POTEAUX.



TM © Rugby World Cup Limited 1986. © GETTY IMAGES

DU 18 SEPTEMBRE AU 31 OCTOBRE
TF1 DIFFUSEUR OFFICIEL DE LA COUPE DU MONDE DE RUGBY 2015



PARTAGEONS DES ONDES POSITIVES

Objets connectés

Vers les interfaces gestuelles ?

Piloter ses appareils électroniques sans souris ni écran tactile, mais par de simples mouvements de la main : ce n'est pas du cinéma, mais le nouveau credo des géants du Net. Et déjà, les premiers systèmes d'interface gestuelle arrivent sur le marché. Succès garanti ? Pas si sûr, selon **Román Ikonicoff**, qui a décortiqué ce nouveau type d'interaction homme-machine.

Avez-vous vu le film *Minority Report* ? Dans une scène mythique, Tom Cruise s'adonne à une "danse" fébrile des bras et des mains face à un grand écran semi-cylindrique, au rythme de la *Symphonie n° 8* de Schubert. Les objets virtuels sur l'écran – des données, vidéos, schémas – suivent le rythme de ses mouvements codifiés, répondant à ses requêtes gestuelles avec une efficacité toute... hollywoodienne. Les créatifs de Google pensaient à ce film quand ils préparaient le projet Soli, annoncé en

fanfare en mai lors de la conférence Google I/O 2015, destinée aux développeurs ? Ce ne serait pas la première fois que la science-fiction sert de boussole aux ingénieurs...

Soli est une puce extraplatée de quelques millimètres carrés, qui peut être insérée dans n'importe quel support numérique. Sa particularité ? Elle détecte les gestes des doigts et des mains et les traduit aussitôt en commandes sur un écran (déplacer le curseur, cliquer...). Plus besoin de souris ni d'écran tactile : la main devient l'unique interface avec la machine.

Même les gants "haptiques" (permettant d'interagir avec des objets virtuels) de Tom Cruise sont ici superflus. Grâce à un miniradar à ondes radio gravé à même la puce et un algorithme d'analyse d'images en 3D, Soli se passe de ces oripeaux artificiels (lire p. 108).

Selon Google, sont d'abord visés les objets connectés, dont on nous promet la déferlante imminente (lire "Contexte"). Soli n'est qu'un début : la firme californienne a présenté en parallèle Jacquard, un projet de vêtement connecté qui déclenche des commandes sur



Contexte

D'ici cinq ans, les objets connectés (montres, ampoules, électroménager, radiateurs, capteurs... pouvant communiquer *via* Internet avec un smartphone, une tablette ou un ordinateur) devraient dépasser les 25 milliards d'unités.

SHUTTERSTOCK - C.JAY/GETTY

Trois technologies bientôt commercialisées

→ une machine lorsqu'on touche l'étoffe (lire ci-contre) – un partenariat a été signé avec Levi's pour introduire ce système dans ses nouvelles collections.

UN MARCHÉ PRIS D'ASSAUT

Le célèbre moteur de recherche n'est pas le seul à se lancer sur ce nouveau créneau des interfaces dites gestuelles. Facebook le suit de près. La société aux 1,4 milliard d'"amis" prépare un casque de réalité virtuelle, Oculus Rift, capable de détecter les mains de l'utilisateur et de les intégrer dans l'espace virtuel (lire ci-contre). Microsoft aussi s'y est mis avec HoloLens. Sans parler d'Intel, qui a conçu RealSense dans le même but que Soli, ainsi que d'une multitude d'entreprises plus petites, comme Leap Motion, pionnière en la matière, ou de laboratoires universitaires...

Les interfaces gestuelles sont-elles la prochaine innovation destinée à transformer le monde – à tout le moins celui de l'informatique? Entourés d'objets connectés à la maison

Commander par le geste est plus naturel que *via* une souris ou un écran tactile

et dans la ville, allons-nous tous bientôt devoir gesticuler pour augmenter le volume de la chaîne hi-fi, allumer le four, mettre le chauffage, lancer le robot-aspirateur, baisser les stores, ouvrir la porte du parking, régler le temps de stationnement dans l'horodateur, et bien d'autres choses que nous n'imaginons même pas? Déjà, dans certains trains suisses, un système de reconnaissance des gestes au-dessus des portes



LES MINIRADARS CAPTEURS DE MOUVEMENTS

Soli, de Google, est un miniradar gravé sur une puce en silicium qui émet des ondes radio haute fréquence. Son récepteur analyse les paramètres des signaux renvoyés vers la puce (forme des ondes, vitesse...). Cela lui permet, à l'aide d'un logiciel d'intelligence artificielle, de reconstituer la scène "vue"... comme les gestes de l'utilisateur, qui pourront être traduits en commandes à l'écran. RealSense (photo), d'Intel, fonctionne sur le même principe, mais avec une caméra.

permet aux retardataires de stopper leur fermeture en levant la main... Est-ce ce type de scénario qui attend l'humanité 3.0 dans cinq à dix ans?

Une certitude: tous ces projets coûtent des milliards en développement et en marketing. Pourquoi un tel investissement s'il n'y avait derrière un projet et une volonté... Mais lesquels? A quoi bon? Quand bien même les géants de l'Internet auraient déjà leur slogan tout trouvé: "Très prochainement, tous des Tom Cruise!".

Du côté "c'est possible", les arguments ne manquent pas. D'abord, la perspective de l'arrivée des objets connectés semble avoir dynamisé la recherche en interfaces gestuelles. "Nous avons l'habitude de toucher les objets qui nous entourent, de les lever, les secouer... Le geste s'insère donc naturellement dans la conception d'interfaces pour ces

objets", analyse Nicolas Nova, professeur à la Haute Ecole d'art et de design de Genève et cofondateur de la société Near Future Laboratory. Sa spécialité est justement d'étudier comment le public réagit face à de nouvelles interfaces humain-machine (IHM), et comment il leur invente des usages.

Car piloter les objets par le geste au lieu de passer par l'écran de son smartphone (*via* des applications dites domotiques, qui permettent de contrôler à distance certains équipements de la maison: éclairage, chauffage, etc.) serait bien plus rapide. Et peut-être plus intuitif pour les *Sapiens* que nous sommes.

En effet, il serait logique qu'à la suite des interfaces vocales qui, déjà, font florès (à l'image de Siri et Cortana, lire l'encadré p. 110), le geste vienne compléter l'écosystème des IHM pour toutes les machines,



LES VÊTEMENTS CONNECTÉS

La technologie Jacquard (Google) incorpore au textile, lors de son tissage, des fibres métalliques conductrices qui vont transformer le vêtement en surface tactile. Au moindre contact, la répartition d'électrons dans ces fils est modifiée: le signal est envoyé vers une puce, fichée au revers du tissu ou dans une poche. Un algorithme intégré reconnaît et extrait le geste effectué à partir d'un catalogue de signaux. Le résultat peut être communiqué, par wi-fi, à une machine proche.



LES CASQUES D'INTERACTIVITÉ VIRTUELLE

Les casques de réalité virtuelle, comme Oculus Rift, de Facebook (photo), ou de réalité augmentée, tel HoloLens, de Microsoft (lire "Jargon"), introduisent les mains de l'utilisateur, voire son corps entier, dans le champ de vision. Pour cela, deux technologies: l'utilisation soit de caméras (intégrées au casque) filmant les mains et d'un algorithme qui les reconnaît et les incruste dans l'image virtuelle; soit de microcapteurs inertiels – mais cela exige de porter des gants ou des vêtements spécifiques.

ordinateurs compris. La voix et le geste ont en effet été les premiers canaux de communication entre les humains, bien avant l'invention de l'écriture cursive (IV^e millénaire av. J.-C.), du clavier de machine à écrire (XIX^e s.) et de la souris (1963). Le geste pour communiquer est dans notre nature! L'histoire des interfaces pourrait même être interprétée comme une douce remontée vers lui: d'abord le clavier, puis la souris, popularisée dans les années 1980, enfin l'écran tactile. Toujours plus proche, en somme.

Avec un credo: en libérant nos mains de l'ancrage physique du clavier et de la souris, nous finirons peut-être par développer de meilleures aptitudes. *"Quand l'humanité est passée du rouleau de papyrus au codex [l'ancêtre du livre, inventé au II^e s. av. J.-C. à Rome], les lecteurs se sont libéré une main. Du coup, ils se sont mis à écrire dans les marges, donnant peu à peu naissance à l'analyse critique, la glose, qui s'est étendue à tous nos écrits",*

rappelle Olivier Ertzscheid, enseignant-chercheur en sciences de l'information et de la communication à l'IUT de La Roche-sur-Yon et auteur du blog Affordance.info.

Le vieux duo clavier-souris, qui engage le geste de manière très limitée, est-il voué au même destin que le papyrus? Pas assez naturel, trop contraignant, il nous limiterait cognitivement et serait donc condamné à rester à l'écart de ce processus de "fusion" avec les machines du quotidien – non pas biologique, mais communicationnelle.

LA "GÉNÉRATION MUTANTE"

Surtout, pour les firmes du Net, il est vital de trouver un nouveau créneau porteur pour continuer de croître et de financer le progrès technologique.

Pour cela, elles comptent en partie sur les *digital natives*, les jeunes générations nées un doigt sur l'écran. *"J'ai déjà observé de tout jeunes enfants tenter de zoomer avec les doigts sur des photos de*

magazines ou sur la télé, raconte Nicolas Nova. Pour certains d'entre eux, commander les choses par le geste apparaît évident. Cela peut favoriser le développement d'interfaces gestuelles plus sophistiquées." Cette "génération mutante", selon l'expression du philosophe Michel Serres, serait ainsi un moteur du changement de paradigme des interfaces.

Naturalité du geste, économie de temps et d'efforts, arrivée des *digital natives*, pression marketing du côté des géants du Net... Demain, tous des Tom Cruise? Peut-être, mais il y a des contre-arguments.

Si l'on considère l'hypothèse "haute" d'une mutation de toutes nos interfaces vers le mode gestuel, le premier écueil, évident et incontournable, est que la grande majorité des milliards de lignes de programme qui font tourner nos machines sont optimisées pour l'usage du clavier et de la souris: les adapter à des commandes gestuelles aurait donc un coût en temps et en argent

Jargon

La réalité virtuelle

désigne le plus souvent les scènes en 3D diffusées dans un casque opaque apposé sur les yeux, suivant les mouvements de la tête. **La réalité augmentée** désigne les dispositifs (en particulier des lunettes) faisant apparaître des scènes ou des objets en surimpression dans le champ visuel naturel.

→ considérable. Mais cet obstacle peut être dépassé, comme le montre l'exemple réussi de la mutation des logiciels vers des versions hybrides clavier-souris/écran tactile depuis cinq ans – le nouveau système Windows 10, déclinable sur ordinateur, tablette et smartphone, en est l'emblème.

UN ENTRAÎNEMENT COMPLEXE

Le deuxième écueil est d'ordre physique, corporel : si balayer ou zoomer avec les doigts est évident sur un écran tactile, se servir d'une interface gestuelle sophistiquée pour des commandes complexes l'est moins. "Pour *Minority Report*, Tom Cruise avait besoin de deux heures pour récupérer physiquement de ces scènes gestuelles", rappelle Nicolas Nova. *De manière générale, on a observé que les Kinect et autres Wii [les systèmes à capteurs de mouvements de la Xbox de Microsoft et de la console de Nintendo] ont fini par laisser les joueurs. Ils sont revenus à la manette de jeu classique ou au joystick.*" Ces systèmes n'ont pas vraiment percé, au-delà de certaines applications

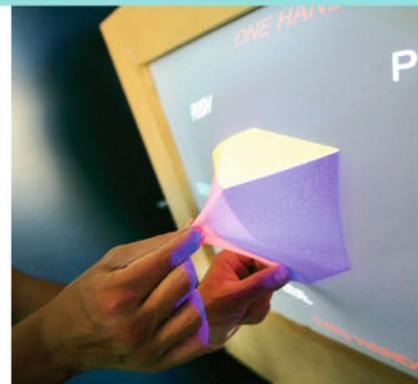
Deux projets futuristes, mais déjà prometteurs

LES HOLOGRAMMES TACTILES

La technologie sur laquelle travaille Digital Nature Group, au Japon, est balbutiante, mais prometteuse. Il s'agit de créer un hologramme en se servant de l'interaction entre l'air et des lasers : la focalisation de rayons laser en un point de l'espace ionise (charge électriquement) les molécules d'air, qui émettent alors une lumière bleue. Si l'on approche le doigt, le contact avec cette lumière crée une sensation tactile (la fréquence laser, très courte, évite de se faire brûler). La déformation de l'hologramme par le contact du doigt est entièrement pilotée par une caméra et un logiciel qui modifie l'hologramme afin qu'il donne l'impression de réagir.

ludiques. *Idem* pour la reconnaissance automatique de l'écriture cursive, au point depuis au moins une décennie : tout le monde lui préfère le clavier (qui n'a pas évolué depuis le XIX^e siècle).

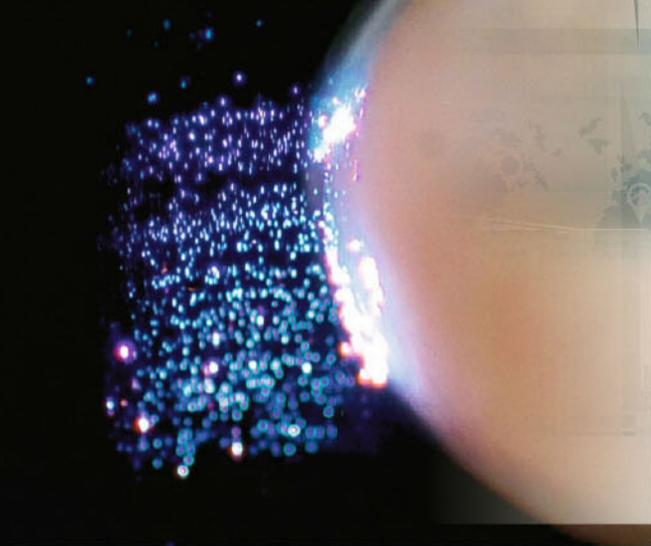
"Le système clavier-souris me semble être un optimum technologique, à l'instar de la manette pour les joueurs, poursuit le chercheur. C'est une solution qui n'est idéale pour aucun usage en particulier, mais dont l'énorme polyvalence dans tout contexte et activité la rend indépassable."



Regardez la technologie Leap Motion, ce petit boîtier à moins de 100 euros à brancher sur l'ordinateur par USB et qui réalise les mêmes prouesses que Soli. Lancée en 2012, elle attend toujours son heure. "Dans les études, nous avons constaté que les utilisateurs n'étaient pas très à l'aise", confirme Nicolas Nova. Des dizaines de gestes précis à apprendre, l'entraînement et la maîtrise du logiciel, cela demande beaucoup d'efforts, "surtout quand les gestes codifiés ne sont finalement pas si intuitifs ni évidents à réaliser". Une codification artificielle rendue indispensable à cause d'un phénomène incontournable, bête noire des ingénieurs : "l'effet cocktail".

Les interfaces vocales n'ont pas tardé à convaincre

Tout s'est joué en quelques années, entre l'apparition de Siri (2011) et celle de Cortana (2014-2015), les assistants vocaux d'Apple et de Microsoft. Des systèmes issus d'un demi-siècle de recherche en traitement automatique des langues, domaine impliquant la reconnaissance vocale, le traitement du langage naturel et la synthèse vocale. Ces interfaces sont devenues plus efficaces. Et la voix a investi d'autres créneaux, "comme l'envoi de SMS vocaux, qui se répand de plus en plus", analyse Nicolas Nova (Near Future Laboratory). Même si les interfaces vocales n'ont pas la polyvalence du clavier-souris, "la voix a trouvé sa niche, surtout à l'extérieur et en mouvement – à condition qu'il n'y ait pas trop de bruit, poursuit le chercheur. On commence à voir, dans la rue, des utilisateurs qui parlent avec leur machine... ce qui n'était pas gagné d'avance".



LES ÉCRANS 3D DÉFORMABLES

C'est le type de projet à long terme qui, pour l'heure, reste cantonné aux laboratoires de recherche, tel le programme Ghost de l'université de Copenhague, cofinancé par l'UE. L'idée est que l'écran puisse se déformer pour reconstituer en 3D les objets affichés : l'utilisateur pourra dès lors interagir manuellement avec ces objets en appuyant, en tirant, en poussant latéralement. Les chercheurs testent plusieurs technologies, comme les films de polymères conducteurs, les matériaux reconfigurables électriquement (comme la cape de Batman) ou encore l'utilisation d'un système de pistons derrière l'écran.

L'effet cocktail? Une source inépuisable de quiproquos, qui fait référence au problème du parasitage des voix dans les systèmes de reconnaissance vocale. De la même façon, "comment éviter les gestes parasites ou accidentels qui actionneraient des commandes par erreur?", interroge Olivier Ertzscheid. *Imaginons que, dans le métro, quelqu'un frôle involontairement la partie active d'un vêtement connecté: les ingénieurs ne savent pas encore surmonter ce type d'obstacle.*" Lequel vaut pour tous les objets, sensibles au toucher ou au mouvement (coups ou déplacements involontaires), ou suffisamment proches pour superposer leur

champ de "vision" (dans le cas des puces Soli ou RealSense). Pour les systèmes vocaux, une des solutions a consisté à inclure une phrase clé, comme "OK Google". On pourrait, ici aussi, imaginer un geste clé pour "allumer" l'attention du système, sauf que cela complique la donne: pour éliminer véritablement le risque de quiproquo, il faudrait presque un geste particulier par appareil.

LE PUBLIC SUIVRA-T-IL ?

Au-delà des défis techniques, et en supposant qu'ils puissent être surmontés, le dernier obstacle sera psychologique: adhérerons-nous à un tel scénario? Si cela paraît séduisant au cinéma, être entouré d'une

myriade de systèmes prêts à réagir (parfois surréagir) à nos gestes pourrait générer un malaise, l'impression d'être cerné et aliéné par la "Machine". "Dans quelle mesure la société acceptera-t-elle cette omniprésence?", s'interroge ainsi Olivier Ertzscheid.

Reste que, pour les firmes du Net, ces interfaces gestuelles représentent un énorme potentiel. "Elles lancent donc des prototypes et observent, explique Nicolas Nova. Est-ce que le public se les approprie? Est-ce que les 'geeks' et les artistes leur trouvent des usages originaux qui pourraient se répandre par la suite?"

Justement. "A l'Ircam [Institut de recherche et coordination acoustique/musique, à Paris], nous développons des interfaces gestuelles pour la musique et explorons diverses approches pour utiliser les mouvements du corps", précise Frédéric Bevilacqua, responsable de l'équipe de recherche Interaction son musique mouvement. Cet ingénieur et musicien travaille sur la conception de systèmes à interface gestuelle, tels les projets Interlude et CoSiMa: un instrument de musique en forme de petit boîtier, dont la manipulation par gestes codifiés crée des sons ou mixe des musiques à l'ordinateur (par wi-fi ou Bluetooth), et des applications pour smartphones permettant notamment de mixer des sons en agitant le mobile. Ce type de projet lié à la création artistique, libre d'accès sur le site de l'Ircam, est un exemple de ce qui pourrait déclencher un effet "viral" sur la Toile et pérenniser ces interfaces d'un nouveau genre. Les firmes du Net n'ont plus qu'à croiser les doigts.

A consulter : les blogs de Nicolas Nova et d'Olivier Ertzscheid ; le site de l'Ircam.

★ EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Une croisière exceptionnelle de Saint-Petersbourg à Moscou

11 jours au fil de l'eau pour découvrir la Russie

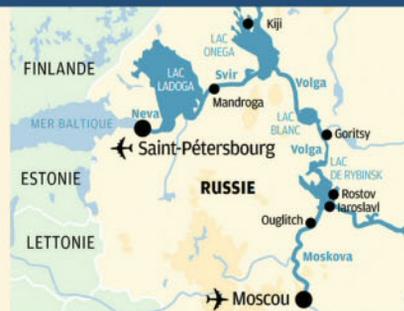
Les points forts de votre croisière Science & Vie :

- Nombreuses visites et excursions incluses
- Un conférencier spécialiste de la Russie à bord
- Encadrement et animations 100 % francophone
- Un tarif **PENSION COMPLÈTE**, spécial lecteurs

Moscou

Navigation sur la Neva, les

Les croisières fluviales en Russie offrent un angle idéal et un confort de voyage pour comprendre et découvrir la Russie d'hier et d'aujourd'hui. Science & Vie vous propose cette croisière en 11 jours, des palais somptueux de Saint-Pétersbourg aux bulbes des cathédrales de Moscou, des immensités vierges de Carélie à la majestueuse Volga.



Laissez-vous porter au fil des fleuves, des lacs et des rivières...

Avec Sciences & Vie dans **LE PRIX SPÉCIAL LECTEUR** voici ce qui est compris :

- Vols Paris/Russie/Paris
- assistance
- transferts en autocar
- hébergement en cabine double pont standard
- vistes et excursions mentionnées au programme
- pension complète à bord, du dîner du 1er jour au petit déjeuner du dernier jour
- cocktail de bienvenue et cérémonie du "PAIN et du SEL"
- dîner du Commandant
- 2 déjeuners en ville à Saint-Pétersbourg et un déjeuner à Moscou
- animations à bord : conférences sur la civilisation russe, des cours d'initiation au russe, soirées dansantes et ambiances musicales
- assurance assistance/rapatriement OFFERTE pour l'obtention du visa
- taxes portuaires. (**NON INCLUS** : boissons, visas, taxes aéroport et autres prestations non mentionnées dans la brochure).



à partir de
1412€ SEULEMENT
 au lieu de ~~1615€~~
PAR PERSONNE
 11 jours/10 nuits, vol inclus,
 PENSION COMPLÈTE !
PRIX SPÉCIAL LECTEURS soit **-203€**



Renseignements - réservation : 01 41 33 59 00*

grands lacs de Carélie, la Moscova...

DATES ET PRIX DE LA CROISIÈRE RUSSIE (prix à partir de)		
23 mai au 2 juin 2016 1469€	13 au 23 juin 2016 1532€	4 au 14 juillet 2016 1480€
25 juillet au 4 août 2016 1480€	15 au 25 août 2016 1412€	5 au 15 septembre 2016 1458€



Téléchargez une documentation plus détaillée sur www.croisieres-lecteurs.com/sv

Informations - réservation : **01 41 33 59 00** (*Prix d'un appel local). Du lundi au vendredi de 9h à 12h30 et de 13h30 à 18h et le samedi de 9h à 12h. **SCIENCE&VIE** En précisant le CODE : **SCIENCE & VIE**



Si vous souhaitez recevoir une documentation détaillée de votre croisière retournez ce bulletin à : Science & Vie - Croisière Russie - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9. **Sans oublier d'indiquer vos coordonnées.**

CE16RUD

Nom

Prénom

Rue

CP Ville

Numéro de Téléphone

E-mail

J'accepte d'être informé(e) des offres commerciales du groupe Mondadori France et de celles de ses partenaires.

Avez-vous déjà effectué une croisière ? Oui Non

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



^ Testée sur Terre, la technologie est prête. Reste à savoir si elle sera aussi performante sur la Lune, où la gravité est six fois plus faible.



PAYS-BAS

Le projet de **base** spatiale à imprimer **en 3D** sur la Lune

Les détails de Lunarville, la base que l'Agence spatiale européenne (ESA) projette de construire sur la Lune, aux abords du cratère Shackleton, viennent d'être dévoilés. Nous évoquons ce projet le mois dernier (n°1176, p. 119). Le voici en image. Proposé par Jan Woerner, qui a pris la direction de l'agence en juillet, Lunarville aurait vocation à remplacer la Station spatiale internationale dès 2024. Pour la construire, des robots déposeraient sur la Lune un dôme qui se gonflerait, puis utiliseraient la couche de poussières recouvrant la Lune (le régolite) comme matériau de base pour imprimer en 3D, par-dessus le dôme, une structure épaisse destinée à le protéger. "Nous avons testé cette

technologie sous vide sur Terre, explique Laurent Pambaguian, de l'ESA. Elle consiste à déposer des couches successives de régolite et de liant, transformant la nature poudreuse du premier en un matériau solide qui permet de bâtir des structures robustes." Ainsi recouvert, le dôme serait capable d'héberger quatre personnes qui n'auraient rien à craindre des radiations, des météorites et des fluctuations de température. "Reste à savoir si cette impression 3D est efficace avec une gravité aussi faible que celle de la Lune", souligne l'ingénieur. Et ce ne sera pas la dernière des difficultés, car l'ESA envisage aussi de construire des serres pour nourrir les habitants de Lunarville! S.F.

BOGOTA

Une **prothèse ludique** compatible avec les **Lego** bientôt disponible



Pour qu'un enfant handicapé accepte sa prothèse, il doit pouvoir se l'approprier et jouer avec. Partant de ce constat, le designer colombien Carlos Arturo Torres a développé le tout premier bras artificiel compatible Lego. Il ne s'agit pas d'un gadget, mais d'une prothèse fonctionnelle – avec capteurs des contractions musculaires, moteur et batterie – qui peut faire office, au choix, de main ou de jouet articulé. Pince, pelleuse ou même vaisseau spatial, l'enfant peut fixer sur sa partie terminale chacune de ses créations Lego Technic et la mettre en mouvement. *“Sous réserve de financements suffisants, la prothèse pourrait être commercialisée en 2017”*, précise Carlos Arturo Torres. **L.B.**

ROTTERDAM

Un **purificateur d'air géant** innove pour assainir **l'air pollué**

Si l'on sait assainir l'air des habitations avec des purificateurs, le principe pourrait logiquement s'appliquer à l'extérieur pour éliminer le nuage de pollution qui plane au-dessus des villes. Après trois ans de travail, le studio néerlandais Roosegaarde a réussi à mettre cette idée en pratique en construisant à Rotterdam, en septembre, le plus grand purificateur d'air au monde. Haute de 7 mètres, la tour Smog Free aspire et assainit 30 000 m³ d'air par heure, créant autour d'elle un espace, certes limité à quelques mètres, où l'atmosphère est 75 % plus pure. *“Ce n'est pas la solution ultime, mais le début d'une réflexion pour débarrasser les villes de la pollution”*, précise son inventeur, Daan Roosegaarde. La tour voyagera ces prochaines années à Pékin, Paris et Mexico pour y éveiller les consciences. **L.B.**



HANOVRE

Recycler les surplus de lait en sacs plastique est à l'étude

Les sacs en plastique nouvelle génération viendront-ils d'Allemagne? Environ 2 millions de tonnes de lait y sont jetées chaque année. Or la caséine, une des protéines contenues dans le lait, pourrait remplacer les polymères utilisés pour fabriquer les sacs. L'entreprise Qmilch (Hanovre) expérimente donc la production de sacs biodégradables et antibactériens à base de caséine. Une redécouverte, en fait, puisque le premier plastique fut inventé en 1897 à partir... de lait. "Sur le lait tourné se forme, une fois sèche, une poudre riche en protéines, explique la microbiologiste Anke Domaske, fondatrice de Qmilch. En la mélangeant avec de l'eau, on crée une pâte qui s'apparente à du plastique." Un processus écologique et naturel. L.Bo.



Idee neuve



“ÉLIMINER LES PATHOGENES DANS LES AVIONS EN DIFFUSANT DES ULTRAVIOLETS”

Elliot M. Kreitenberg, co-inventeur du robot GermFalcon (Los Angeles)

“On peut tomber malade en prenant l'avion à cause des germes présents sur les surfaces partagées, regrette Elliot M. Kreitenberg, jeune diplômé d'économie. Si les avions filtrent l'air, les surfaces communes restent contaminées.” Pour améliorer l'hygiène de ces espaces confinés très fréquentés, il a, avec son père Arthur Kreitenberg, médecin, mis au point un robot assainisseur, le GermFalcon. De la taille d'un chariot à boissons, le robot se promène dans les rangs pour tuer les germes du sol au plafond en diffusant des rayons ultraviolets (UVC). *“Ils endommagent la structure génétique des virus comme la grippe, la rougeole et même Ebola, ainsi que celles des bactéries telles que E. coli ou le staphylocoque doré qui finissent par mourir.”* Une vingtaine de minutes suffit à traiter 30 rangées. De quoi assurer une hygiène optimale aux passagers et au personnel navigant. *“Nous effectuerons des tests en janvier avec une compagnie aérienne américaine”,* précise le jeune homme. Le robot pourra ensuite être commercialisé. M.S.

CARLOS ARTURO-TORRES - STUDIO ROSEGAARDE - D.L.



PENNSYLVANIE (ETATS-UNIS)

Un patch qui change de couleur promet de déceler des lésions cérébrales

Certains chocs reçus lors de la pratique d'un sport peuvent avoir des conséquences dramatiques sur le cerveau. Pour déceler ces lésions sans matériel médical, Shu Yang (université de Pennsylvanie) a développé un patch qui indique quand il y a danger. Son matériau miracle: "Un film à base de polymères qui se déforme et change de couleur en fonction de la force et de la vitesse de l'impact." Ainsi, en appliquant une force équivalente à celle d'un choc reçu à la tête lors d'un plaquage, ce matériau passe du rouge au vert. Un impact plus violent encore, et il devient violet. Ce système pourrait être appliqué sur des casques d'ici à cinq ans. **L.B.**

MASSACHUSETTS (ETATS-UNIS)

Des drones pour surveiller les baleines

Une fois encore, les drones sont utiles là où les hommes ne peuvent pas aller: au plus près des baleines. En juillet, un petit hexacoptère (à 6 hélices) piloté par des scientifiques de l'Institut océanographique de Woods Hole, dans le Massachusetts, a collecté des échantillons de leur souffle en volant à quelques mètres au-dessus d'elles. En analysant ce mélange d'air et de vapeur d'eau expiré par les poumons, il est possible de déceler des maladies. Couplé à des photographies aériennes, ce dispositif permet de suivre l'état de santé et le comportement de ces cétacés. **L.B.**

ITALIE

Des **cabines électriques et modulables** sont envisagées pour limiter les **bouchons**

Des voitures 100 % électriques et autonomes qui s'unissent et se séparent comme des wagons, mais en pleine circulation. C'est l'idée développée par la société italienne Next, dont les avantages sont légion: outre le désengorgement des routes et l'absence de pollution, les modules unis se rechargeraient les uns les autres en cas de besoin. Dans ce qui s'apparenterait alors à un bus, les individus pourraient, à l'aide d'une application, inviter des modules spécialisés (presse, restaurant...) à rejoindre le convoi. *"Et la sécurité ne sera pas inférieure à celle d'un bus, assure Tommaso Gecchelin, concepteur du projet. Le programme de conduite tiendra compte du nombre de personnes, et donc du poids, dans le calcul des distances de sécurité."* La société prévoit de sortir ses premiers prototypes d'ici à 2020. T. C.-F.

Rendez-vous en...
2025

UN RÉACTEUR À FUSION PLUS PETIT, MAIS AUSSI PUISSANT

Mi-août, une équipe du Massachusetts Institute of Technology (MIT) a annoncé pouvoir mettre au point, d'ici à dix ans, un modèle de réacteur à fusion nucléaire deux fois plus compact que celui construit actuellement dans les Bouches-du-Rhône par l'équipe du projet international Iter. Une annonce qui a fait grand bruit dans le petit monde de la fusion nucléaire. Bilan des experts d'Iter et du CEA: côté réacteur, pas de vraie révolution technologique. ARC – c'est son nom – reprendra les mêmes principes physiques qu'Iter. Son innovation réside dans la manière de confiner le plasma grâce à l'utilisation de nouveaux matériaux supraconducteurs à haute température, à base d'oxyde de baryum, de cuivre et de terres rares, capables de générer un champ magnétique plus intense. L'énergie ainsi produite serait dix fois supérieure à celle générée à l'aide de supraconducteurs classiques. Sauf qu'elle sera plus difficile à extraire, note Alain Becoulet, qui dirige l'Institut de recherches sur la fusion magnétique (IRFM) au CEA: *"C'est le prix à payer de la compacité"*. Sans compter que ces matériaux n'ont jamais vraiment été testés hors laboratoire. Pas sûr, donc, qu'ARC honnore bien le rendez-vous fixé. E.T.-A.

NEXT - ACQUIRED UNDER NATIONAL MARINE FISHERIES SERVICE PERMIT 17355-01/NOAA CLASS G FLIGHT AUTHORIZATION 2015 ESA-4-NOAA



LONDRES

De petits **bateaux solaires** pourraient jouer les **livreurs**

Alors que les technologies des drones et des véhicules autonomes arrivent à maturité, deux étudiants londoniens, Oliver Lehtonen et Philippe Hohlfeld, ont imaginé un petit bateau recouvert de cellules solaires capable de distribuer, seul, des marchandises. Nommé *Water Strider*, il a reçu le prix Blue Sky Transport Design de DHL. Muni de 12 m² de panneaux solaires fournissant 8 kWh d'énergie, il possède une capacité d'emport de 5 m³, soit l'équivalent d'un van. Il est également pourvu d'*hydrofoils*, des ailes immergées qui permettent à la coque du bateau de s'élever au-dessus de l'eau pour gagner en vitesse tout en économisant de l'énergie. Son terrain d'action serait les villes traversées par des cours d'eau (ce qui est le cas de 85 % des capitales européennes) ou situées le long de côtes. S.F.



PH. HOHLFELD & O. LEHTONEN

Culture Science

122 **Bon à savoir**

Santé, vie quotidienne, environnement... Dix enseignements pratiques en direct des publications scientifiques et autres rapports et études.

124 **Questions / Réponses**

Peut-on dormir les yeux ouverts ? Un séisme peut-il changer l'axe de rotation de la Terre ? Pourquoi les humains s'embrassent-ils sur la bouche ?...

130 **A lire / à voir**

Le livre de Bruno Latour sur le nouveau régime climatique ; la réouverture du Musée de l'Homme ; un site de la Nasa pour visiter Mars depuis son fauteuil.

132 **Technofolies**

Un Segway sans les mains ; l'enceinte qui enveloppe dans une bulle sonore ; le listeur de courses ; un four qui cuit deux fois plus vite...

136 **Il y a... 20 ans**

La première planète extrasolaire : Michel Mayor révèle le 5 octobre 1995 que son spectrographe a capté le signal d'une planète autour de 51 Pegasi.

126



134



136



O. LULMANN/TENDANCE FLOUE - DR - L. WEINSTEIN/NOVAPIX

LES AQUARIUMS APAISENT LA TENSION

Une équipe américano-britannique a mesuré l'effet de cinq ou dix minutes passées à contempler des poissons sur les visiteurs d'un aquarium: leur pression sanguine avait tendance à diminuer, et leur rythme cardiaque s'abaissait d'autant plus que le nombre de poissons augmentait. "Environ. Behav.", juillet 2015



TETRIS RÉDUIT LES ENVIES COMPULSIVES

Une trentaine d'étudiants ont dû recenser leurs envies compulsives (manger, fumer...) sept fois par jour pendant une semaine. Ceux qui, juste après, jouaient pendant trois minutes à Tetris voyaient ces envies instantanément diminuer. "Addict. Behav.", juillet 2015

LE SUREAU NOIR SOIGNERAIT LE RHUME

Des chercheurs australiens ont testé l'efficacité de l'extrait de baies de sureau noir sur 312 personnes. Résultat: les rhumes étaient moins longs et moins sévères que dans le groupe placebo. "Intern. Integ. Med. Conf.", Melbourne, juillet 2015

LA MÉDITATION POURRAIT AIDER À ARRÊTER DE FUMER

On peut réduire sa consommation de tabac sans même le vouloir: il suffit d'entraîner son *self-control* afin d'atténuer l'envie de fumer, affirment des chercheurs américains qui ont analysé la littérature scientifique sur le sujet. Une méthode aurait, selon eux, particulièrement fait ses preuves: la méditation. Ainsi, une étude, publiée dans la très respectée revue *Pnas* en 2013, a montré une diminution de 60% de la consommation de cigarettes chez ceux l'ayant pratiquée un total de cinq heures en deux semaines, et ce, indépendamment de toute volonté d'arrêter. La méditation activerait les circuits neuronaux du contrôle. "Trends Cogn. Sci.", août 2015

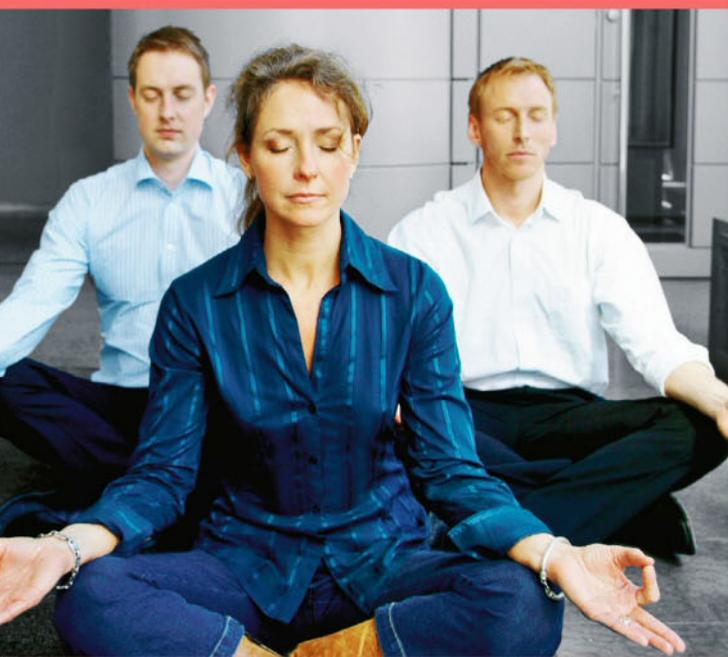


LES PRODUITS SANS GLUTEN N'ONT PAS DE VERTUS NUTRITIONNELLES

Alors qu'une minorité de personnes doivent proscrire le gluten de leur alimentation pour des questions de santé, nombreux sont ceux qui le font sans raison médicale avérée. Et notamment pour les vertus diététiques supposées des produits sans gluten. Or, des chercheurs australiens ont comparé la qualité nutritionnelle de 3213 produits alimentaires contenant ou pas cette substance, et ont constaté que la plupart étaient équivalents. Deux exceptions: les pâtes sans gluten étaient moins riches en protéines et plus concentrées en sel, et les glaces, chips et bonbons indiqués sans gluten contenaient en moyenne moins de graisses saturées ou de sucres. "Brit. J. Nutr.", juin 2015



D. PRYKHODOV/SHUTTERSTOCK - GARO/PHANIE - MASKOT/PLAINPICTURE



ON CONVAINC MIEUX EN RESTANT THÉORIQUE

Des chercheurs américains ont mis en valeur un étrange biais psychologique : on a tendance à s'aligner sur les goûts de son entourage, mais à éviter de copier ses actions. Un premier test a montré que, quand un participant disait préférer un parfum de chewing-gum à un autre, la personne qui l'accompagnait faisait le même choix plus d'une fois sur deux. Alors que, quand il s'en emparait, son partenaire en prenait un différent trois fois sur quatre. Autre test : sur un panel de 100 personnes devant acheter un objet, le deuxième suivait plus souvent l'avis du premier quand celui-ci évoquait celui qu'il "préférerait", et non celui qu'il "voulait acheter". Pour convaincre, mieux vaut donc rester théorique : parler de ses goûts, et espérer que la personne en face les adoptera à son tour. "J. Pers. Soc. Psychol.", août 2015

LA PEUR DES MATHS SE TRANSMET LORS DES DEVOIRS

Les parents peu à l'aise avec les chiffres transmettent leur peur en surinvestissant les maths dans l'aide aux devoirs, selon des chercheurs américains. Les enfants de ceux qui se tiennent à l'écart se débrouillent aussi bien que les autres. "Psychol. Sci.", août 2015

LA MUSIQUE SOULAGE LA DOULEUR POSTOPÉRATOIRE

Des chercheurs britanniques ont analysé les résultats de 73 études, sur un total de 6902 patients, et en ont conclu qu'écouter de la musique avant, pendant ou après une opération réduisait la douleur, l'anxiété et la prise d'analgésiques. "Lancet", août 2015

LES BÉBÉS DEVANT LA TÉLÉ FONT DES ADOS HARCELÉS

Chaque heure de télé supplémentaire à 29 mois est associée à 11 % de harcèlement en plus au collège ! En cause : un déficit de compétences sociales et cognitives, envisagent des chercheurs canadiens, qui ont suivi 2 000 enfants. "J. Dev. Behav. Pediatr.", juil.-août 2015

S. MARTIN/GETTY

GRIMPER AUX ARBRES DOPE LA MÉMOIRE

C'est un fait aujourd'hui reconnu : l'exercice physique a des effets positifs sur le cerveau. Et des chercheurs américains viennent de montrer que certaines activités, qui nécessitent de mémoriser la place de son propre corps dans un environnement changeant, étaient particulièrement bénéfiques pour la mémoire à court terme. Juste après avoir grimpé aux arbres ou couru pieds nus dans la nature, les participants à l'étude mémorisaient mieux des séries de chiffres, alors que ceux ayant pratiqué, à la place, deux heures de yoga ne présentaient aucune amélioration. "Percept. Motor Skills", juin 2015



Un séisme peut-il changer l'axe de rotation de la Terre ?

Question de Jean-Jacques Barbier, Trets-en-Provence (13)

C'est très peu probable. La seule catastrophe naturelle susceptible de changer de façon brutale, significative et permanente l'axe de rotation de la Terre serait un impact avec un objet céleste d'une taille comparable à plusieurs fois celle de la Lune. Et nous ne serions alors plus là pour effectuer des mesures...

“Théoriquement, des phénomènes naturels, comme les séismes, peuvent déplacer l'axe de rotation de la Terre, mais il est très difficile de mesurer leur influence avec précision car ils sont ponctuels, souligne David Bancelin, chercheur à l'Institut d'astrophysique

de l'université de Vienne. Et pour que cette variation soit significative, la grandeur mesurée doit être plus grande que l'incertitude liée à la mesure, ce qui n'est généralement pas le cas.”

Un exemple : considérons l'arrivée à l'équateur, à très grande vitesse, d'un astéroïde de 10 km de diamètre – comparable à celui responsable de la disparition des dinosaures. Cet impact ne changerait la vitesse de rotation de la Terre que de 1/200 000 000, en ne faisant varier la durée du jour que de 0,004 seconde ! C'est très peu, mais déjà plus de mille fois supérieur à l'effet d'un

des séismes records de magnitude 9,1 à 9,3 enregistré au large de Sumatra en 2004.

En fait, le seul facteur capable de provoquer une variation tangible de l'axe de rotation de la Terre n'est pas une catastrophe naturelle, mais l'éloignement progressif de la Lune, qui pourrait élargir le cône décrit par notre axe de rotation, dont un tour complet est effectué en environ 25 800 ans. *“Cet éloignement engendrera une précession, comprise entre 27° et 60° d'ici deux milliards d'années, contre 23° aujourd'hui, modifiant cycles saisonniers et climat, précise David Bancelin.”* AP



Pourquoi certains grincements donnent-ils des frissons ?

Question de Juliette Camuzard, Paris 13^e

Parce que ce son agit davantage sur nos émotions. En 2012, des chercheurs de l'université de Newcastle ont en effet montré que l'activité du cortex auditif varie selon la nature des sons : plus ils sont jugés désagréables par l'amygdale – la région cérébrale qui traite les émotions –, plus leur perception augmente. Ils provoquent alors un frisson. Sont en cause les sons dont la fréquence est comprise entre 2000 et 5000 Hz (comme les cris d'un bébé). Cette réaction excessive de l'amygdale est considérée comme un réflexe de défense face à un bruit synonyme de danger pour le cerveau.

F.C.



◀ Même une catastrophe naturelle aussi violente que celle de Sumatra en 2004 (magnitude 9,3!), ne suffit pas à changer significativement et durablement l'axe de rotation de la Terre.

Y a-t-il des personnes plus sensibles que d'autres à l'électricité statique ?

Question de Caroline Voirin, Hymont (88)

L'électricité statique est surtout liée aux vêtements. Frottées l'une contre l'autre, des matières dites "négatives" arrachent des électrons à d'autres dites "positives" qui en cèdent plus facilement. Ainsi, "un sous-pull en polyester arrachera des électrons à un pull en laine qu'il transférera à la peau", explique Philippe Verkerk, chercheur en physique atomique au CNRS. L'électricité produite se libère alors au pre-

mier contact avec un matériau conducteur. Des coups de jus plus fréquents donc en hiver, quand on porte plusieurs couches de vêtements... et que l'air est sec: car l'eau, conductrice, rétablit l'équilibre électrique. "On peut donc supposer que les personnes à la peau sèche accumulent davantage de charges, ajoute Philippe Verkerk. Et pourraient se décharger en gardant une clef dans la main." H.G.



Les avions polluent-ils plus que les voitures ?

Question de Gilles Avena, Roquevaire (13)

Non: globalement, il n'y a pas pire que la circulation routière... De fait, avions et véhicules rejettent différents polluants, dont certains, comme les particules fines ou les NOx, nuisent à notre santé; quand d'autres, dits gaz à effet de serre (GES), sont néfastes pour l'environnement. Or, le trafic routier est celui qui génère le plus de ces deux types de pollution. Ainsi, selon l'Agence européenne pour l'environnement, la circulation

routière européenne est à l'origine de 32 % des émissions totales de NOx et 22 % des particules fines; contre 1 % et 0 % pour l'aviation. Ceci dit, *"tout dépend si vous habitez près d'un aéroport"*, souligne Scott Fruin (université de Californie du Sud): il a évalué la pollution aux particules fines autour de l'aéroport de Los Angeles et en a conclu que les avions étaient *"la source majeure de particules fines de la ville"*, malgré trois autoroutes.

Concernant les GES: pour un passager effectuant 1 km, les avions émettent 2,5 fois plus de CO₂ que les voitures. Et comme il y a plus de trajets en voiture qu'en avion, le trafic routier l'emporte: en Europe, il est à l'origine de 72 % des GES liés aux transports (12,3 % pour l'avion). Mais si on tient compte des traînées de condensation, et que l'on regarde le réchauffement à court terme, alors la pollution aérienne fait presque jeu égal. **K.B.**

Le trafic aérien mondial pollue moins que la circulation routière...



Peut-on dormir les yeux ouverts ?

Question de Constance Houillon, Arbaz (Suisse)

Oui, car nous sommes "aveugles" quand nous dormons. C'est ce qu'ont observé dès 1965 les chercheurs américains Allan Rechtschaffen et David Foulkes. Après avoir collé en position ouverte les paupières de cinq volontaires, ils ont passé devant leurs yeux des images éclairées pendant leur sommeil. Réveillé quelques minutes après, aucun ne se souvenait ou n'avait rêvé des images présentées. *"Notre cerveau peut ignorer une information lumineuse quand nous dormons, comme il ignore une information sonore alors que nos oreilles ne sont pas bouchées"*, confirme Isabelle Arnulf, neurologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière. *Seul un signal visuel très important passera. C'est*

une protection du sommeil, comme un garde du corps qui ne déciderait de réveiller son maître que si ce qui arrive est suffisamment grave." Ainsi les personnes victimes de paralysie faciale peuvent-elles dormir même si elles ne peuvent plus fermer les yeux. Et certaines personnes dorment même les yeux entrouverts... Problème: fermer les paupières permet d'hydrater et de protéger la surface de l'œil. Dormir les yeux ouverts les assèche donc; ils reçoivent aussi plus de poussières et peuvent s'infecter. **F.C.**



A. DAGAN - O. CULMANN/TENDANCE FLOUE

Pourquoi les

Question de Lucas Backes,

Plusieurs explications sont avancées. Précisons d'abord que le "baiser amoureux" à pleine bouche, avec langue et échange de salives (baptisé *french kiss*) n'est pas propre aux humains: il existe aussi chez les chimpanzés et les bonobos. Mais notons surtout que, s'il est en vogue en Occident, ce baiser n'est pas universel.

Une récente étude portant sur 168 cultures montre en effet que la majorité d'entre elles (54 %) – comme les Thonga (Zambie, Zimbabwe), les Mehinaku (Amazonie) ou, plus proches de nous, les Albans ou les Serbes –, ne le

Monoxyde de carbone (CO) 
(émissions du parc mondial en kilotonnes)

158

6475

Oxydes de carbone (OX) 
(émissions du parc mondial en kilotonnes)

588

3902

Particules fines (PM10) 
(émissions du parc mondial en kilotonnes)

10

363

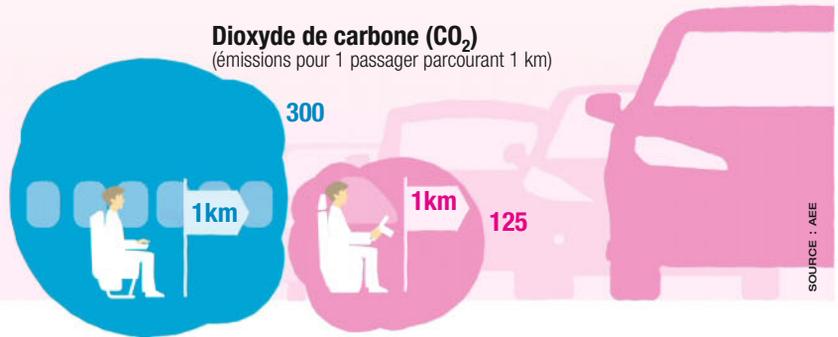
Dioxyde de carbone (CO₂)
(émissions pour 1 passager parcourant 1 km)

300

1km

125

...mais pour transporter
1 passager sur 1 km,
une voiture émet
2,5 fois moins de CO₂



SOURCE : AEE

humains s'embrassent-ils sur la bouche ?

Sprimont (Belgique)

pratiquent pas traditionnellement, voire le trouvent répugnant !

Ce type de baiser, notent les anthropologues, existerait surtout dans les "sociétés complexes, au sein desquelles sont apparues des classes sociales distinctes". Pourquoi ? "Un certain idéal culturel du jeu et de l'érotisme a peut-être pu y conduire au développement de pratiques amoureuses dépassant les principes de base de la reproduction, avancent les chercheurs. Le baiser amoureux serait alors davantage un produit culturel, pratiqué pour se conformer

à un script sexuel imaginé, qu'une adaptation biologique spécifique."

FAVORISER LA SURVIE

D'autres scientifiques restent pourtant persuadés que ce baiser est au contraire une adaptation évolutive : il aurait été retenu lors de l'évolution parce qu'il favorise la survie et la reproduction humaine. Il pourrait en effet permettre aux partenaires de juger de leur état de santé respectif, et ainsi de choisir un compagnon apte à la reproduction. "Le baiser amoureux permet d'accéder inconsciemment, via

la salive, à la concentration de certaines hormones [testostérone, cortisol, etc.] et à de nombreuses informations physiologiques, comme le niveau de stress du partenaire, par exemple", explique Michel Raymond, chercheur en biologie évolutive humaine (université Montpellier II).

Une étude allant dans ce sens suggère que le baiser profond serait d'ailleurs plus important pour les femmes que pour les hommes. Et pour cause : bien choisir son partenaire serait plus crucial pour la gent féminine... "Ce sont les femmes qui

s'investissent le plus en tant que parent ; le choix du partenaire est donc toujours prudent", précise Michel Raymond.

Toujours en faveur de la thèse de l'adaptation évolutive, une autre hypothèse avance que s'embrasser sur la bouche permet tout simplement d'induire l'excitation sexuelle précédant un rapport.

Plus poétique enfin, une troisième explication, biologique celle-ci, suggère que ce geste favorise l'attachement amoureux entre amants en augmentant la sécrétion d'ocytocine, l'hormone du bonheur. **K.B.**

Comment font les chauves-souris pour synthétiser la vitamine D sans lumière ?

Question de Jonathan Decamps, Voiron (38)

Cela dépend des espèces ! "Il existe plus de 1000 espèces différentes de chauves-souris qui vivent dans toutes les régions du monde, sauf en Antarctique, aux régimes alimentaires extrêmement variés", explique Lizabeth Southworth, spécialiste américaine des chauves-souris et du métabolisme de la vitamine D, cette hormone le plus souvent synthétisée grâce à la lumière du soleil, qui est essentielle à l'absorption intestinale du calcium, à sa fixation sur les os et à la réabsorption du phosphore par les reins.

Certaines espèces, comme *Pteropus hypomelanus* (le renard volant des îles), nichent dans les arbres : les rayons du soleil qui atteignent leur peau noire provoquent donc la synthèse de la vitamine D. D'autres, comme le vampire commun (*Desmodus rotundus*), trouvent le fameux micronutrimment directement dans le sang des vaches qu'elles mordent à la nuit tombée. Mais le mystère demeure pour la roussette d'Egypte, par exemple, qui se nourrit de fruits et de fleurs et passe ses journées dans des



habitats obscurs. "Son mécanisme d'absorption minérale n'en nécessite pas", explique la chercheuse. Comme celui du rat-taupe de Damara. H.G.

△ La plupart des chauves-souris trouvent la vitamine D directement dans leur alimentation (sang des vaches par exemple).

Pourquoi éternue-t-on presque toujours deux fois de suite ?

Question d'Hélène Banyuls, Perpignan (66)

Pour la croyance populaire japonaise, éternuer deux fois au lieu d'une signifie qu'on dit du mal de nous. Pour les scientifiques, l'explication est plus prosaïque... mais non vérifiée : on éternue deux fois parce que le premier éternuement n'a pas entièrement rempli sa fonction. D'où l'enchaînement d'un deuxième, d'un troisième, voire d'un quatrième !

Survenant de manière incontrôlée chez les humains

et de nombreux animaux (chien, cheval...), l'éternuement correspond à une expulsion bruyante, par le nez et la bouche, d'air provenant des poumons. Il s'agit donc d'une expiration réflexe explosive.

Qualifié de "défensif" par les biologistes, ce phénomène a pour fonction de chasser par la force de l'expiration les impuretés du nez. Il est le plus souvent déclenché par un élément

irritant la muqueuse nasale : polluants, poussières, pollens... "40000 particules de 0,5 à 5 mm de diamètre peuvent être libérées par la force d'un éternuement. L'air est expiré de 150 à 1000 km/h, soit 85 % de la vitesse du son", précise l'ORL Cemal Cingi (université d'Osmangazi, Turquie). Mais un seul éternuement, aussi puissant soit-il, ne suffit pas toujours à éliminer tous les irritants... K.B.

GAGNEZ UN
ABONNEMENT
D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre,
écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à toutes et à tous, mais les auteurs des questions 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

“Face à Gaïa – Huit conférences sur le nouveau régime climatique”

L'art de mettre en scène le climat

Pourquoi peinons-nous tant à faire face au réchauffement? Comment enfin agir quand tout montre que la situation va empirer? Bruno Latour, anthropologue et philosophe des sciences, dont l'œuvre singulière fait référence, s'est emparé de ces questions en “*faisant feu de tout bois*” (lire ci-contre): des conférences, une pièce de théâtre – *Gaïa Global Circus* –, et même une simulation de négociations climatiques avec ses étudiants.

Face à Gaïa, recueil de huit conférences largement remaniées, articule ces trois approches et livre des réponses troublantes.

INVITER GAÏA DANS LE DÉBAT

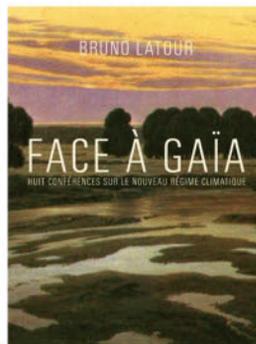
Lors de la simulation de négociations climatiques organisée en mai dernier aux Amandiers, 208 étudiants représentaient 41 “parties” – en référence à la Conférence des parties de l'ONU qui doit se tenir début décembre à Paris autour du climat –, où figuraient des Etats, mais aussi des acteurs plus inattendus: les sols, les forêts, les actifs délaissés du pétrole, les espèces en voie de disparition...

A quoi bon convier dans une enceinte de négociations ces entités

vue usuellement comme des “externalités” économiques, le plus souvent comme un simple contexte? Afin d'éviter l'écueil du “naturel” ou du “global”, et inscrire les diverses et concrètes “puissances d'agir” de la Terre dans les combats politiques avec la même légitimité que les représentations traditionnelles, explique Bruno Latour. “*Si vous vous étonnez qu'on fasse parler 'Forêt' alors il faut vous étonner qu'un président parle au nom de la 'France'*”, écrit-il.

Simple “astuce” technique pour traiter les conflits environnementaux prêts à dépasser les frontières? Spectacularisation de la science?

Au vrai, il s'agit d'ouvrir un chemin de pensée pour sortir, enfin, de cet incroyable état de “*calme total, [...] froideur de marbre, de ceux qui lisent pourtant tous les jours l'annonce de catastrophes diverses*”. Une façon de lutter contre le sentiment d'impuissance de l'individu face au “global” et les problèmes économiques quotidiens bien plus angoissants que de lointaines et futures montées des eaux... Les raisons ordinaires d'ignorer le réchauffement climatique sont nombreuses – et réelles.



- ▶ “Face à Gaïa”
- ▶ de Bruno Latour
- ▶ Les empêcheurs de penser en rond / La découverte
- ▶ 402 pages

La force de Bruno Latour, celle qui anime son livre, c'est d'extirper les raisons profondes de ce déni et, par là, trouver les moyens de le dépasser. Y figurent essentiellement ce que nous avons hérité des religions, et ce qu'elles sont devenues; ce que la science a de religieux. Des thèmes chers à l'auteur, mais ici affinés et inscrits dans l'urgence climatique. L'efficacité des tactiques des climato-sceptiques et l'origine de leurs motivations s'en trouvent explicitées.

Surtout, Bruno Latour articule une reprise critique et lumineuse de la théorie de Gaïa, du Britannique James Lovelock, et la notion, récente, d'anthropocène – ce moment où l'activité humaine peut laisser une trace

M. AGGREGLO/MAKE IT WORK - J.C. DOMENECH/MUSÉE DE L'HOMME



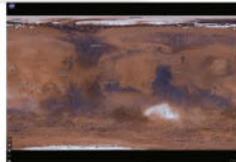
mesurable dans les strates géologiques. Ces deux éléments, liés avec brio, dans le style typique de l'auteur – saisissant, gardant trace de l'oral – convainquent de l'urgence, pour chacun, de s'interroger sur sa position dans l'existence – ce qu'on appelle usuellement “son rapport à la nature”. Trouble assuré. **F.L.**



◀ Conférences, théâtre, simulations (ici aux Amandiers): le dernier livre de Bruno Latour articule ces trois approches pour repenser le débat sur le climat.

SITE WEB

► **Mars Trek**
 ► //marstrek.
 jpl.nasa.gov/



Cette carte interactive de la Nasa livre les détails de la planète rouge, tels qu'ils ont été tirés des données collectées par les missions Mars Global Survey, Mars Odyssey et Mars Reconnaissance Orbiter, avec une précision allant jusqu'à 200 m. D'astucieux outils permettent, en quelques clics, de calculer le diamètre des cratères, les distances entre les sites, l'altitude de chaque point du relief, l'inclinaison des rayons solaires... Sont d'ores et déjà repérés des "points d'intérêts" tels que le parcours du rover Curiosity. En bonus: le site produit les fichiers d'impression 3D permettant de construire une reproduction de n'importe quelle partie du sol martien. **F.L.**

MUSÉE

► **Musée de l'Homme**
 ► Réouverture le 17 oct., à Paris
 ► www.musee-delhomme.fr



Lieu emblématique de l'histoire de notre espèce, le Musée de l'Homme (fondé il y a 77 ans) rouvre ses portes après six ans de travaux au cours desquels il s'est réinventé en institution du XXI^e s. Ses incroyables collections (squelettes, crânes, outils...) se redécouvrent enfin dans une mise en scène digne de leur importance, à travers un parcours articulé autour des 3 grandes questions: "Qui sommes-nous?"; "D'où venons-nous?"; "Où allons-nous?". Notre évolution physique et culturelle se dévoile comme une aventure vivante, enrichie par les laboratoires de pointe du musée. **E.R.**

“

BRUNO LATOUR

Anthropologue des sciences, professeur à Sciences Po, directeur du Médialab et du programme Sciences Po expérimentation arts & politiques (SPEAP)

“Nos habitudes intellectuelles ne nous prédisposent pas à faire face à Gaïa”

S&V: Vous soulignez que le cadre de l'ONU est inadapté aux négociations climatiques. Comment inventer les cadres adaptés?

Bruno Latour: Je fais mon travail d'intellectuel qui consiste à proposer des formats multiples, dans des médias différents, comme la simulation de mai aux Amandiers [des étudiants simulant des négociations climatiques portaient les revendications des peuples, des industriels, mais aussi de l'océan, de la toundra...],

l'enquête de terrain ou le théâtre, parce que la crise, de mon point de vue, est aussi conceptuelle: rien dans nos habitudes intellectuelles ne nous prédispose à faire face à Gaïa, il faut donc faire feu de tout bois. J'ai l'avantage d'être à Sciences Po, et donc à l'endroit même où l'on peut penser que les étudiants vont profiter de ces innovations. A eux de sélectionner ensuite ce qui leur est utile. Je fournis, ils décident.

S&V: Dans la pièce *Gaïa Global Circus*, une climatologue affirmant soudain sa vision politique. Pensez-vous que les "vrais" climatologues suivront cet exemple?

B.L.: Ils sont déjà nombreux à se rendre compte que s'ils continuent à se battre contre les supposés "sceptiques", ils ne gagneront jamais. Puisqu'on les accuse d'avoir une vision politique, et pas seulement scientifique, je propose de prendre au sérieux l'accusation et de rétorquer: "Ah très bien, alors qu'elle est votre politique à vous, avec qui vous battez-vous, quel monde voulez-vous habiter?" Pour moi c'est cela faire de la vraie politique et, incidemment, pour décider de ces questions, il faut faire de la très bonne science. La science et la vie, si vous voulez et pas la science ou la vie!

L'enceinte qui enveloppe dans une bulle sonore

Plus besoin de casque pour s'enfermer dans sa "bulle" sonore au milieu du salon ou en voiture! L'enceinte "A", développée par la société française Akoustic Arts, permet d'émettre un faisceau de sons ultradirectionnel audible jusqu'à 20 m. Les 200 mini-haut-parleurs piézo-électriques regroupés en hexagone qui composent l'enceinte diffusent des ultrasons. Non audibles un à un pour l'oreille humaine, ils sont modulés grâce à un algorithme et leur somme a une

fréquence audible pour celui qui se trouve dans cette bulle sonore.

Quand il faudrait des haut-parleurs de quelques mètres pour focaliser les sons, les petites longueurs d'onde des ultrasons permettent la réalisation d'enceintes de taille réduite. Dix fois plus petite que ses concurrentes, la "A" se présente sous la forme d'un carré de 10 cm ou 20 cm, selon le modèle. "Une enceinte située à 2 m de hauteur diffuse un faisceau presque droit d'environ 50 cm de diamètre, ex-

plique Morgan Hett, chargé de projets technologiques chez Akoustic Arts; il est aussi possible de chaîner les enceintes pour élargir le faisceau."

Grâce à une simple prise mini-jack, la "A" se connecte à tous types d'appareils (téléphone, télévision, etc.), et un système sans fil est prévu pour la fin de l'année. **A.P.**

Prix : à partir de 340 €.
Rens. : www.akoustic-arts.com



△ Ces petites enceintes de 10 ou 20 cm de côté diffusent un son ultradirectionnel : un faisceau de 50 cm de diamètre, jusqu'à 20 m de distance.



◀ Fixé sur le bord de la poubelle, ce boîtier scanne le code-barres des emballages jetés, listant ainsi ce qu'il faut racheter.

Le listeur de courses

Plus besoin de faire sa liste des courses : votre poubelle s'en charge. Ou, plus exactement, le boîtier wi-fi GeniCan, qui se fixe en haut de la poubelle, dans lequel une fente est prévue pour y glisser le sac plastique. Equipé d'un lecteur de code-barres, il scanne les emballages jetés qu'on lui présente et ajoute les produits correspondants à la liste des courses, consultable *via* une appli sur son smartphone. S'il ne trouve pas le code-barres dans sa base de données ou que l'on jette un produit qui en est dépourvu, son haut-parleur et son micro lui permettent de demander ce qu'il faut ajouter, enregistrer la réponse de l'utilisateur et compléter la liste (en anglais pour le moment). O.L.

Prix : env. 200 €.
Rens. : www.genican.com

LE COIN DES PROTOTYPES

Une table sensible à la température ambiante

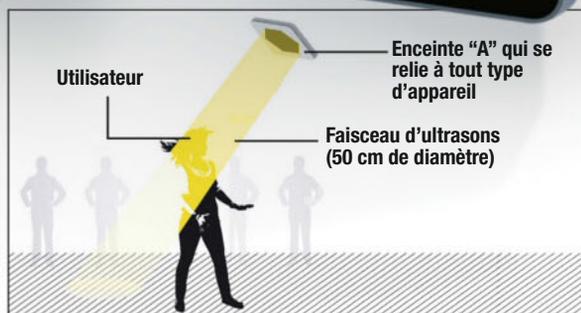
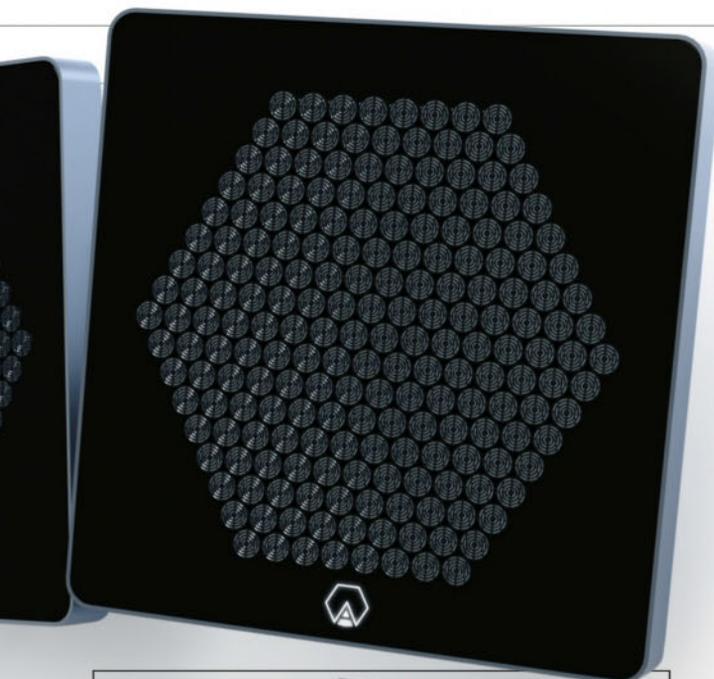
La table climatique conçue par le designer Jean-Sébastien Lagrange et l'ingénieur Raphaël Ménard offre un nouveau moyen de réguler la température d'une pièce de manière écologique et sans électricité. Pour cela, ce prototype utilise un matériau à changement de phase, sous forme de billes disposées entre son plateau de bois et sa sous-surface en aluminium. Lorsque la température ambiante dépasse 21°C, le matériau se ramollit sous l'effet de la chaleur qu'il absorbe. Lorsque la température est plus basse, il durcit, ce qui libère de la chaleur.

La base en aluminium

permet de diffuser cette dernière de manière homogène. Un système surtout efficace lorsque les températures sont clémentes.

S.F.

Rens. : www.jslagrange.com/
ZEF-Table-Climatique



Une centrale pour traiter l'eau chez soi

Pour obtenir une eau du robinet purifiée et détartree, il faut multiplier les équipements: adoucisseur, antitartre, carafe filtrante... Le fabricant français Comap a eu l'idée de réunir pour la première fois ces technologies en une centrale compacte destinée aux particuliers. Moins encombrante qu'un adoucisseur (59x59x17 cm), Proteo intègre un antitartre électronique pour préserver votre électroménager,

deux filtres à charbon actif pour éliminer le goût de chlore et les micropolluants (pesticides, herbicides...), et une lampe UVc pour neutraliser les bactéries. Elle s'installe sur l'arrivée d'eau générale, en seulement une heure et sans soudure. Et peut communiquer en wi-fi avec la box de la maison: consommation et autres infos sont alors consultables sur votre smartphone. **L.B.**

Prix: env. 1.300 € (avec raccordement).
Rens. : www.centrale-proteo.com



Un Segway sans les mains

Il porte le nom de la société néerlandaise qui l'a conçu : Oxboard. Ce nouveau moyen de déplacement se présente sous la forme d'une planche à deux roues électriques sur laquelle on se tient debout, et utilise la même technologie que le Segway : en fonction de la manière dont vous répartissez votre poids sur la planche, l'Oxboard avance, recule, pivote, etc., tandis que ses détecteurs se chargent de maintenir l'équilibre de la planche en agissant sur les roues. Ses dimensions (584 x 196 x 178 mm) permettent de

le ranger facilement. Il est capable de parcourir 20 km à la vitesse maximale de 15 km/h, peut supporter 120 kg et se recharge en trois heures. Mais il faut une trentaine de minutes pour le maîtriser car, sans manche, il se révèle encore plus sportif que le Segway. **S.F.**

Prix : 799 €. Rens. : www.oxboard.nu



De la musique rien qu'en bougeant

Faire de la musique en utilisant son corps comme instrument de musique, tout simplement. C'est ce que propose l'ingénieur français Nicolas Rasamimanana avec Phonotonic, un objet en forme de polygone relié en wi-fi à une application dédiée. A l'intérieur, un capteur de mouvements transforme vos gestes en mélodies et rythmiques. Dessinez des boucles, jonglez, bougez ou lancez, et vous composerez votre musique. **M.S.**

Prix : 80 €. Rens. : www.phonotonic.net

Le four qui cuit deux fois plus vite

Rôtir un gros poulet en seulement quarante minutes, soit deux fois plus vite que la normale, semble impossible. Pourtant, c'est la promesse du nouveau micro-ondes combiné Speed Gourmet de Samsung.

Pour une cuisson aussi rapide, l'intérieur du four a été totalement repensé. Au lieu d'un ventilateur de 10 cm de diamètre qui pulse habituellement l'air chaud, une turbine plus large (15 cm), située sur le côté, l'aspire pour le propulser sur le plat à travers un "plafonnier" criblé de 72 petits trous.

La chaleur est donc diffusée plus rapidement, mais aussi de manière plus uniforme afin de conserver la moelleux des aliments. Malgré ces modifications internes, les dimensions de ce four à micro-ondes restent classiques (52 x 40 x 46 cm). **L.B.**

Prix : env. 500 €. Rens. : www.samsung.com



✓ Ni manche ni guidon : l'Oxboard exige un petit temps d'adaptation et un certain sens de l'équilibre.



Une télécommande autosuffisante

La télécommande Soft Remote fonctionne sans fil ni pile... Elle utilise l'énergie mécanique créée par la pression d'un des quatre boutons, qu'elle transforme, grâce à un générateur magnéto-résistif, en énergie électrique suffisante pour envoyer un message radio aux appareils à piloter (via la bande de fréquence 868,3 Mhz). A la clé : allumer ou éteindre, dans un rayon de 30 mètres, n'importe quel appareil branché sur une prise compatible avec ce protocole radio. E.T.-A.

Prix : 44,90 € seule (89,80 € avec une prise compatible). Rens. : www.nodon.fr



Le premier smartphone à reconnaissance d'iris

Plus simple que de retenir un code, plus rapide que de dessiner un motif sur un écran, l'identification par scan de l'iris débarque sur les smartphones. Fujitsu est le premier à équiper de ce système biométrique l'un de ses modèles, le NX F-04G. Son écran affiche l'image de l'utilisateur pour qu'il positionne correctement ses yeux. Sur le haut du smartphone, une LED infrarouge éclaire chaque iris, pendant qu'une caméra infrarouge en filme le motif, propre à chacun. Le système sert à déverrouiller le téléphone, mais

pas seulement. Combiné au gestionnaire de mots de passe, par lequel l'utilisateur enregistre ceux des sites web qu'il fréquente, il permet de se connecter d'un regard.

Ce modèle est aussi le premier équipé du système de transmission sans fil Transfert Jet, prêt à concurrencer le NFC : avec une vitesse de transfert de 375 Mbps (contre 424 Kbps), deux appareils distants de quelques centimètres peuvent échanger photos et vidéos. Pour le moment, ce smartphone n'est disponible qu'au Japon. **O.L.**

Prix : env. 800 €. Rens. : www.fujitsu.com

> D'un regard, ce smartphone se déverrouille et se connecte sur vos sites web préférés.



5 octobre 1995

Mayor révèle la première planète extrasolaire

Au colloque de Florence consacré aux étoiles froides, ce 5 octobre 1995, chacun retient son souffle. Michel Mayor avait prévu de garder jusque-là secrète l'annonce qu'il s'apprête à faire. La revue *Nature*, qui doit publier ses travaux, l'avait exigé. Mais sa découverte, énorme, s'est propagée comme une traînée de poudre. Des journalistes le supplient depuis plusieurs jours de leur accorder un entretien. Il va rompre, enfin, le suspense. Le regard pétillant, il se lance. Avec son collaborateur Didier Queloz, ils ont détecté la première planète hors du système solaire, autour d'une étoile semblable au Soleil, dans la constellation de

Pégase. La salle se met à rêver de nouveaux mondes...

Beau joueur, l'Américain Geoffrey Marcy, chasseur de planètes très en vue, confirmera une dizaine de jours plus tard la présence effective d'une exoplanète autour de 51 Pegasi. Un trophée qui aurait pu être le sien si le Suisse n'avait reçu un coup de pouce du destin.

TRAQUE DE NAINES BRUNES

Car Michel Mayor n'avait pas pour vocation de découvrir de nouveaux mondes. A l'Observatoire de Genève, il étudiait la dynamique des bras spiraux de galaxies comme la nôtre, en mesurant les variations fines de vitesse des étoiles. Il s'est inspiré des travaux

de Griffin, à Cambridge (Angleterre), pour concevoir un spectrographe de haute précision. Son principe? Déduire la vitesse à laquelle une étoile s'éloigne ou se rapproche, en mesurant le léger décalage dans la longueur d'onde de la lumière que l'on reçoit d'elle. Un effet appelé "Doppler", similaire à celui qui fait entendre plus aiguë la sirène d'une ambulance qui se rapproche, et plus grave celle qui s'éloigne.

Mayor met cinq ans, dans les années 1970, à construire Coravel, son instrument couplé au télescope de 1 m de l'Observatoire de Haute-Provence (OHP), et en installe un second à La Silla, au Chili. Grâce à

la très grande précision de son spectrographe, il repère des étoiles doubles en mesurant les perturbations de vitesse créées par la force gravitationnelle du compagnon qui orbite autour de l'étoile principale. Son défi? Trouver les compagnons stellaires les plus petits possible. En particulier des naines brunes, ces astres trop légers pour enclencher la fusion de leur hydrogène, qui pourraient être le chaînon manquant entre planètes et étoiles que traquent les astronomes à la fin des années 1980.

L'un d'eux a repéré une oscillation de l'étoile HD 114762 qui pourrait provenir d'un de ces astres froids. Et en 1988, Michel

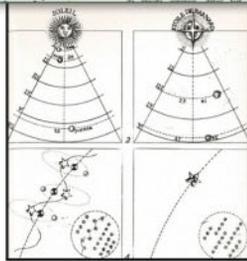
SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

1971 UN ESPOIR DÉÇU...

"Il n'a pas fallu moins de vingt-cinq ans à l'astronome Peter van de Kamp et à son équipe pour étudier et traiter les milliers de photographies [...] avant d'annoncer avec certitude [qu'] il y avait au moins une planète autour de l'étoile de Barnard." Mais en 1973, ces résultats seront invalidés. Néanmoins, les astronomes n'excluent pas définitivement qu'une exoplanète de type terrestre pourrait y être dénichée un jour. *S&V n° 646*

Les planètes de Barnard

Nous avons des voisins. Tout près de nous, moins de 10 années lumière, vient de découvrir autre Soleil.



1992 DANS L'AURA D'UN SOLEIL MORT

"Fabuleux": il existe "un véritable petit système 'extrasolaire' composé de deux planètes en orbite à [...] des distances comparables à celle de Mercure au Soleil". Sauf que leur astre hôte, à 980 années-lumière de nous, est un pulsar, soit le cadavre d'un soleil dégageant des radiations mortifères. Elles n'ont donc pas le titre de "premières exoplanètes". *S&V n° 894*





« Grâce à Coravel, leur spectrographe de très haute précision, Michel Mayor (en haut) et Didier Queloz (à dr.) ont détecté l'existence de la première planète extrasolaire.

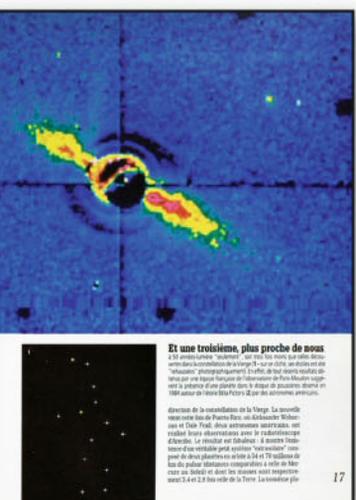
Mayor confirme la présence probable d'une naine brune. Auréolé de ce succès, il installe en 1993 à l'OHP un spectrographe encore plus performant, Elodie, et sa réplique Coralie, à La Silla. Un jeune thésard, Didier Queloz, développe le logiciel.

De leur côté, les chasseurs d'exoplanètes sont à la peine. Et pour cause: la sensibilité de leurs spectrographes ne peut détecter que les plus grosses, de la taille de Jupiter, qui, très loin de leur étoile, mettent des années à boucler leur orbite!

En se focalisant sur les naines brunes, plus massives, dont rien n'interdit qu'elles gravitent près d'une autre étoile, Michel Mayor adopte une stratégie opposée: observer un maximum d'étoiles dans l'espoir que l'une d'elles

s'accompagne d'une naine brune très proche, dont l'orbite s'effectuerait en quelques jours seulement.

En novembre 1994, Didier Queloz détecte une oscillation suspecte chez 51 Pegasi. Ses mesures confirment la présence probable d'un



Et une troisième, plus proche de nous
 51 Pegasi b, la première planète extrasolaire découverte, est visible dans l'observation au télescope Hubble. Le système est composé d'une naine brune et d'une étoile de type solaire. La planète est à 42 années-lumière de nous. Elle est la plus proche de nous d'une planète de type terrestre. La troisième plus proche de nous est la Terre. La quatrième plus proche est la planète Mars. Elle est à 228 millions de kilomètres de nous.

astronomie

On a enfin vu une planète extra solaire

PAR NERVE FOMIER

Pour la première fois, un télescope a observé la silhouette d'un autre monde devant une étoile, coordonnant l'existence d'une planète en dehors de notre système solaire. Ce petit point lumineux qui brille devant la constellation des Gémeaux sera une planète géante, semblable à Jupiter.

Dans la constellation de Pégase

Une ombre passe

Le 28 septembre 1999, le télescope Stare, programmé pour fixer l'étoile HD 209458 perdue dans la constellation de Pégase, mesure une légère baisse de sa luminosité de 1,6 pendant trois heures. [...] Le télescope vient de repérer la silhouette d'une planète qui passe devant l'astre lumineux et en estompe l'éclat. C'est la première observation directe d'une planète extrasolaire. S&V n°988

2000 LE PREMIER VRAI CLICHÉ

8 septembre 1999. "Pour la première fois depuis sept nuits, le télescope Stare, programmé pour fixer l'étoile HD 209458 perdue dans la constellation de Pégase, mesure une légère baisse de sa luminosité de 1,6 pendant trois heures. [...] Le télescope vient de repérer la silhouette d'une planète qui passe devant l'astre lumineux et en estompe l'éclat." C'est la première observation directe d'une planète extrasolaire. S&V n°988

→ compagnon d'une masse au moins égale à la moitié de Jupiter, orbitant en 4,2 jours. Naine brune? Ou... grosse planète?

Si c'est le cas, elle est 20 fois plus proche de son étoile que la Terre du Soleil. Aucune théorie ne prévoit une telle bizarrerie! L'équipe avance donc prudemment. Car beaucoup, avant eux, ont cru découvrir une planète extrasolaire et vu leurs mesures contredites! Mais le 6 juillet 1995, le doute n'est plus permis: la trajectoire de 51 Pegasi correspond pile à celle qu'elle doit avoir si elle s'accompagne d'une grosse planète en orbite rapide.

Michel Mayor en est donc certain: à 42 années-lumière de nous, une géante gazeuse d'une demi-masse jovienne orbite en 4,2 jours autour d'une étoile semblable au Soleil. Un collègue américain lui confirme que la configuration est physiquement possible. Il soumet ses résultats à *Nature* le



△ C'est la première d'une longue liste: à 42 années-lumière, une géante gazeuse moitié moins massive que Jupiter gravite autour de 51 Pegasi.

25 août. Quand annoncer la découverte? Le congrès de Florence, en octobre, avec ses 300 spécialistes, est l'occasion idéale. Son intervention s'y achève sous un déluge d'applaudissements.

EXOPLANÈTES À LA PELLE

La question centrale demeure pourtant: que fait une planète géante si près de son étoile? Trois Américains suggèrent qu'elle aurait migré, sous l'effet de résonances gravitationnelles dans le disque protoplané-

taire, et se serait stabilisée très près de l'étoile.

Pendant que le scénario s'affine, les trophées s'enchaînent. Marcy et Butler annoncent en janvier 1996 avoir découvert deux autres planètes. Moins de cinq ans plus tard, elles sont une cinquantaine, géantes gazeuses en orbite rapide et excentrique. Notre système solaire est-il une exception? Car l'espoir demeure de découvrir un monde sur lequel la vie serait possible. Mais pour cela, il faut affiner les instruments. Sophie

et Harps remplacent Elodie et Coralie, tandis que le satellite *Corot*, lancé en décembre 2006, utilise la méthode des transits, qui consiste à mesurer la baisse fugace de luminosité d'une étoile lorsque sa planète s'intercale dans la ligne de visée. Lui-même cède en 2009 le relais à *Kepler*.

A ce jour, près de 2 000 exoplanètes ont été détectées, pour la plupart des géantes gazeuses. Mais aussi des boules de glace (OGLE-2005...) ou des amas de roches couvertes de lave (Corot-7b...). Le défi, maintenant, est de trouver des planètes rocheuses orbitant à la bonne distance pour y permettre la présence d'eau liquide. Les données indiquent qu'il y en aurait des milliards rien que dans notre galaxie, la planète Kepler-452b découverte en juillet dernier étant, à ce jour, la meilleure candidate.

Vingt ans après l'exploit de Mayor et Queloz, la traque aux exomondes bat son plein. **Emmanuel Monnier**

SCIENCE & VIE en parlait encore

2005 ON PEUT CAPTER LEUR LUMIÈRE !

"C'est une première: des astronomes ont réussi à capter directement la lumière d'exoplanètes gravitant autour de leur propre soleil. Un véritable tournant dans l'exploration de l'Univers, mais aussi dans la quête d'une autre Terre..." Les planètes HD 209458 b, TrES-1 b et 2M1207 b, situées à 154, 512 et 170 années-lumière, montrent le bout de leur nez... *S&V* n° 1053



2012 LA QUÊTE D'AUTRES TERRE

Le nouveau défi? Repérer les planètes qui gravitent "à la bonne distance de leur étoile pour pouvoir abriter à leur surface de l'eau liquide, déclarée source universelle de vie", soit une zone d'habitabilité. "Et quatre d'entre elles [Gliese 581 d, HD 85512 b, Kepler 22 b, Gliese 667 Cc] pourraient abriter des premières autres Terre potentielles." *S&V* n° 1139



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

LES QUESTIONS DE LA VIE, LES RÉPONSES DE LA SCIENCE



N° 17 | Trimestriel Octobre-Novembre-Décembre 2015

SCIENCE & VIE

Questions Réponses

De quoi sont tissés nos rêves ?

Pourquoi l'insomnie ?

Compter les moutons, ça marche ?

Peut-on vaincre ses cauchemars ?

100 RÉPONSES DE SCIENCE

LE SOMMEIL

& les rêves

Les secrets du manque de sommeil ?

Quel est le secret de notre horloge biologique ?

somnifères sont-ils efficaces ?

TEST
Quel dormeur êtes-vous ?

Spécial automne

Cheveux La malédiction automnale
Ecole Noter les élèves ou pas ?
Climat Quel automne en 2050 ?

En vente actuellement



1 0 7 4



Affligem®

CUVÉE CARMIN

BIÈRE D'INITIÉS DEPUIS 1074*

AGENCE D'IMPRESSION COMMISSION SCARLETT H. Entreprise RCS Nanterre 41442062

*Depuis près de 1000 ans, la recette de la bière Affligem est transmise par les moines de l'abbaye qui encore aujourd'hui initient nos maîtres brasseurs pour garantir une bière de haute qualité.

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