

Roswell
Microsatellites
Transparisation
Proxima b
Blob
Mutation génétique
Brexit géologique
Repenser le monde
OGM
N°1197 - Juin 2017
SCIENCE&VIE

ÉPINARD **PROXIMA B** ROSWELL **K-DOG** **MICROSATELLITES** DOULEUR VÉGÉTALE
FŒTUS TRANSPARENT **TABAC À CHAUFFER** VENIN CERVEAU MUTANT **ORIGAMI**

SCIENCE&VIE

SCIENCE & VIE

JUIN 2017 N°1197 MONDADORI FRANCE

LA FORMULE DU **TEMPS**
LA FORMULE DE L'**INTELLIGENCE**
LA FORMULE DE LA **VIE**
LA FORMULE DE L'**UNIVERS**
LA FORMULE DE L'**ABSTRACTION**
LA FORMULE DE LA **SIMPLICITÉ**
LA FORMULE DE LA **MATIÈRE**

REPENSER LE MONDE

LES 7 FORMULES
DU XXI^e SIÈCLE

OGM

UNE TECHNOLOGIE
DÉJÀ DÉPASSÉE

LE BLOB

LA CRÉATURE LA PLUS
INCROYABLE DU MONDE

BREXIT

IL A DÉJÀ EU LIEU
IL Y A 450 000 ANS !



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

SAMSUNG

Vous pensiez savoir à quoi ressemble un smartphone ? Maintenant, imaginez une fenêtre ouverte sur demain.

Le Samsung Galaxy S8 bouscule les codes esthétiques et repousse les limites des écrans tels que vous les connaissiez.

Son écran Infinity sublime la richesse des images et offre une immersion spectaculaire. Un nouveau monde s'ouvre au creux de votre main. Sortez du cadre.

Vous ne verrez plus jamais votre smartphone de la même manière.

Unbox your phone, unbox your life.

Unbox your phone : Libérez votre smartphone. **Unbox your life :** Libérez votre vie.



DAS tête Galaxy S8+ : 0,260 W/kg. DAS tête Galaxy S8 : 0,315 W/kg. Le DAS (débit d'absorption spécifique des appareils mobiles) quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques, pour une utilisation à l'oreille. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2 W/kg. L'utilisation d'un kit mains libres est recommandée. Samsung Electronics France - CS2003 - 1 rue Fructidor 93484 Saint-Ouen Cedex. RCS Bobigny 334 367 497. SAS au capital de 27 000 000 €. Visuel non contractuel. Écran simulé. **Cheil**

Galaxy S8 | S8+


Unbox your
phone

Renault ESPACE

Le temps vous appartient.

Renault ESPACE fait corps avec la route. Innovation exclusive Renault, son système 4CONTROL à 4 roues directrices* optimise l'agilité et la maniabilité en ville grâce au braquage des roues arrière. Sur route, il renforce la tenue de route en adaptant les réactions à l'adhérence de la chaussée et à votre conduite.

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

Renault recommande 



RENAULT
La vie, avec passion



Et en plus, c'est une Golf.



Nouvelle e-Golf avec 300 km d'autonomie* et ses 16 technologies d'assistance.**

Pour vous faciliter la vie, la Nouvelle e-Golf s'occupe de tout. Elle prend le relais dans les embouteillages, se gare presque toute seule et vous indique même à distance son niveau de charge. Et tout ça en silence. Il n'y a pas de doute, c'est une Golf. Une Golf 100% électrique.

Demain démarre aujourd'hui.

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

Modèle présenté : Nouvelle e-Golf 136 ch (100kW) avec jantes alliage 16" 'Astana' et option peinture nacrée 'Blanc Onyx'.

* Jusqu'à 300 km selon source NEDC. ** De série ou en option.

Cycle mixte (kWh/100 km) : 12,7. Rejets de CO₂ (g/km) : 0.



SECURITY
& SERVICE



TRAFFIC JAM
ASSIST



PARK ASSIST
3.0



BLIND SPOT
DETECTION



CAR-NET
APP-CONNECT



DETECTEUR
DE PIETONS



Volkswagen

Volkswagen Group France - s.a. - R.C.S. Soissons B 602 025 538

Professionnels, découvrez la version Business de ce véhicule sur volkswagen.fr/professionnels

meilleurtaux.com

C'EST AUSSI



1 000 experts



en agence



sur le web



au téléphone

meilleurtaux.com

Un crédit vous engage et doit être remboursé. Vérifiez vos capacités de remboursement avant de vous engager.

Aucun versement, de quelque nature que ce soit, ne peut être exigé d'un particulier avant l'obtention d'un ou plusieurs prêts d'argent. Pour tout prêt immobilier, l'emprunteur dispose d'un délai de réflexion de 10 jours ; l'achat est subordonné à l'obtention du prêt, s'il n'est pas obtenu, le vendeur doit lui rembourser les sommes versées. Meilleurtaux, 36 rue de Saint-Pétersbourg 75008 Paris, société par actions simplifiée au capital de 1 000 000 €, RCS Paris n°424 264 281, courtier en opérations de banque et services de paiement et intermédiaire en assurance ORIAS n°07 022 955 (www.orias.fr). Liste de nos partenaires consultable sur meilleurtaux.com. Sous le contrôle de l'ACPR, 61 rue Taitbout 75436 Paris Cedex 09, (www.acpr.banque-france.fr).



Yves Sciamma
y.sciamma@mondadori.fr

OGM, le déclin est annoncé

Des changements importants s'opèrent dans les biotechnologies appliquées au monde agricole. Au point que la page semble se tourner sur la transgénèse, la première technique utilisée pour mettre au point les organismes génétiquement modifiés. Pourtant, les débats enflammés autour de l'intérêt ou des dangers associés à ces cultures OGM font toujours autant de bruit. Il me semblait donc important d'expliquer, loin des polémiques, les raisons d'un déclin qui s'annonce.



Roman Ikonicoff
r.ikonicoff@mondadori.fr

Le monde en équations

On le savait, faire un sujet sur des formules tient de la folie. C'est justement ce qu'on voulait : mettre au jour la folie de la science en visant les formules les plus extrêmes, celles qui touchent aux questions les plus fondamentales sur la compréhension de notre monde. A y regarder de plus près, il y a bien quelque chose de franchement "déraisonnable" dans l'efficacité de ces formules (pour plagier la phrase d'Eugène Wigner). Comment peuvent-elles être à la fois aussi abstraites et aussi réalistes ? C'est à croire que notre esprit et le monde sont en osmose. Une folie, on vous dit...

Vincent Nouyrigat
v.nouyrigat@mondadori.fr

Vous avez dit Blob ?

Les biologistes sont toujours prompts à vanter les mérites de telle ou telle bestiole étrange et unique en son genre. J'avais déjà entendu parler en long et en large de l'incroyable tardigrade ou de l'inépuisable rat-taube, mais jamais du... Blob. Plusieurs heures de conversation avec Audrey Dussutour, la spécialiste mondiale de cet unicellulaire géant et intelligent, m'ont convaincu : on tient là un beau champion. Ce sommet de bizarrerie en dit long sur les possibilités de l'évolution.



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. 119.** Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Une enveloppe Opération multi-éditeurs 2017 est jetée sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine. Une enveloppe Opération Mailing ADL 2017 est jetée sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Lecteur DVD est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Croisière S&V Toussaint 2017 est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.

12 **Forum**Actus

- 18 **Labos**
C'est dans leurs "branches" que les neurones sont le plus actifs; Mars fut jadis ravagé par un double tsunami...
- 28 **Environnement**
Les gros séismes seraient sous-estimés; onze nouveaux nuages ont été répertoriés...
- 34 **Médecine**
Des électrodes redonnent de la mobilité à un tétraplégique; des plaquettes seraient produites dans les poumons...
- 36 **Technos**
Un robot qui corrige ses erreurs grâce à la pensée humaine...

Evénement

- 40 OGM
Et si c'était le début de la fin?

A la Une

- 46 **Les 7 formules du XXI^e siècle
REPENSER LE MONDE**
- 50 Les formules du temps, de la simplicité, de l'intelligence, de la vie extraterrestre, de l'Univers, de l'abstraction, de la matière.
- 64 Vers l'ultime formule?

Science & découvertes

- 68 Géologie
**Il y a 450 000 ans...
le Brexit géologique**
- 71 Génétique
**La mutation qui a fait grossir
notre cerveau**
- 74 Cognition
**Le "Blob" : la créature qui affole
les biologistes**
- 80 Astronomie
**Proxima b: premier portrait
de notre voisine**

Science & techniques

- 88 Transparence
**"Notre technique permet de voir
à travers des fœtus"**
- 96 Espace
La révolution des microsatellites
- 100 Médecine
**Dépistage du cancer du sein:
le flair incroyable des chiens**

Science & futur

- 104 Le concept du taxi volant se dévoile; un robot marmite va être déployé dans les fast-food; la Lune aussi aura bientôt son propre réseau 4G; autonome 8 heures d'affilée, un drone solaire promet de scruter l'environnement; un avion hybride vise la traversée transatlantique; grâce à l'hydrogène, le train sera bien plus écologique; il est né, le gratte-ciel écosystème...

La science & la vie**Science & société**

- 112 Réseaux sociaux, e-mails... :
non, internet ne nuit pas au cerveau
- 116 "Tabac à chauffer": est-il vraiment
moins nocif?
- 118 Transports: les Européens passent 9 h 35
par semaine à se déplacer

Science & vie pratique

- 120 Bon à savoir
- 122 Technofolies

Science & culture

- 126 Questions/Réponses
- 130 A voir / à lire
- 132 Il y a... 70 ans: l'affaire Roswell lance
la vogue des ovnis

Forum

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

Un combat au couteau entre cosmonautes, vraiment ?

Dans la partie dédiée au stress de votre dossier "Vivre dans l'espace" (n°1196), vous mentionnez à mon grand étonnement un combat au couteau entre deux cosmonautes sur Saliout 5 (p. 64). Or, après quelques recherches je n'ai trouvé aucune mention d'un tel incident...

Théo Van Melle (59)

SV Cette mésaventure n'est pas mentionnée dans les archives russes. Saliout 5 était une station militaire identique à Saliout 3, mais sans son armement. Son équipage, composé de Boris Volynov et Vitali Jolobov, qui la rejoint le 6 juillet 1976 à bord de Soyouz 21, semble avoir eu pour mission d'observer un exercice militaire déclen-

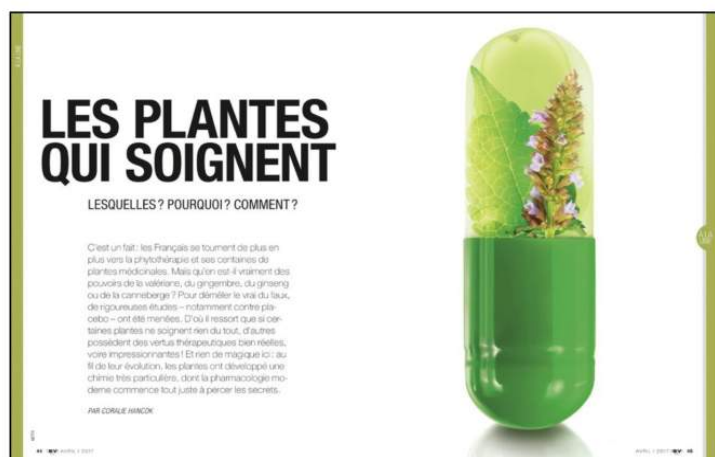


ché en Sibérie. La radio soviétique annonce, le 19 août, que le niveau d'activité solaire est bas, ce qui devrait permettre un séjour prolongé. Mais cinq jours plus

tard, l'équipage revient sur Terre. Lorsqu'ils sortent de leur capsule, les deux hommes sont visiblement éprouvés. Aucune explication n'est donnée sur ce qui ressemble à une interruption prématurée de la mission, et les spéculations circulent côté occidental : problèmes de santé physique, mentale... Dans les années 1990, des témoignages recueillis par plusieurs scientifiques européens ayant travaillé sur place laissent en réalité entendre qu'un combat à l'arme blanche entre les deux hommes aurait précipité leur retour. Ce serait donc le premier combat spatial entre humains de l'histoire.

Concernant votre dossier "Vivre dans l'espace", pourquoi dépenser des milliards pour rendre habitable la planète Mars alors que ces sommes pourraient servir à préserver notre Terre ?

Jean-Yves Coursol, Fayence (83)



Et les champignons, alors ?

Dans votre dossier "Les plantes qui soignent", pourquoi n'avez-vous pas intégré les champignons ?

Didier Sellier, Palaiseau (91)

SV Au sens strict, la phytothérapie, littéralement médecine par les plantes, ne concerne pas les champignons, ces derniers n'étant pas des végétaux. Mais ne jouons pas sur les mots, d'autant plus que, vous avez raison, certains champignons ont des vertus médicinales que les médecines traditionnelles asiatiques utilisent abondamment. Mais trop peu d'études existent sur ces usages pour que nous vous en ayons parlé.

Des feux tricolores "intelligents", ça change tout !

J'ai été étonné que vous consacriez deux pages à la pertinence des feux tricolores (n°1195, p. 116), sans mentionner la possibilité de les rendre "intelligents" par la détection du trafic (système courant en Suisse); ou la possibilité d'atténuer les nuisances sonores et la pollution subies par l'entourage en imposant l'arrêt du moteur, comme cela se fait aussi en Suisse, sous peine d'amende. Enfin, il faudrait parler du caractère dissuasif des carrefours giratoires pour les cyclistes.

Alexandre Oberlin, Saint-Martin-du-Var (06)

Sur la carte, il ne faisait pas si froid

La carte qui illustre l'article "Réchauffement climatique: l'Europe à l'abri?" (n°1196, p. 74) contredit le texte. Elle indique un refroidissement seulement sur la zone au sud du Groenland et non pas sur l'Europe...

Rémy Grand, Grenoble (38)

SV Il n'y a pas de contradiction. Sur cette carte, la température en Europe reste stable (sauf au sud du Groenland)... alors qu'un réchauffement était jusqu'ici annoncé. Cette carte est en fait une "photo" illustrant le résul-

tat du scénario décrit dans l'article. Et c'est son déroulé, plus que son résultat, qui est problématique. Les scientifiques envisagent en effet un réchauffement progressif de l'Europe (dû aux gaz à effet de serre) de 2 à 3°C (au moins deux fois le réchauffement déjà enregistré), étalé sur près d'un siècle, qui serait interrompu par un refroidissement brutal en à peine une décennie. Plus qu'un réchauffement brusque de chaud et de froid sera sans doute difficile à absorber par l'agriculture et les écosystèmes.

On en reparle



Cochons, vaches, chevaux, chiens... Leur domestication cachait un secret

Un odore plus petit, des poils tombant... tous les animaux domestiqués ont subi une sélection génétique pour devenir plus dociles. Mais les animaux domestiqués ont-ils subi une sélection génétique pour devenir plus intelligents ?

Cochons, vaches, chevaux, chiens... tous les animaux domestiqués ont subi une sélection génétique pour devenir plus dociles. Mais les animaux domestiqués ont-ils subi une sélection génétique pour devenir plus intelligents ?

LA SÉLECTION A BIEN FAVORISÉ LES ANIMAUX DOMESTIQUES

Oreilles tombantes, pelage tacheté, mâchoire raccourcie et parfois queue recourbée... Ces caractéristiques physiques propres à la plupart des animaux domestiques constituent depuis plusieurs siècles un mystère. Dans son n°1167 de décembre 2014, *Science & Vie* explorait une nouvelle hypothèse très convaincante bien que parfaitement théorique. L'idée ? Cette métamorphose se jouerait au niveau de la crête neurale de l'embryon, une bande de cellules à l'origine de nombreux tissus (oreilles, dents, etc.), mais également de la glande surrénale, qui conditionne les réponses de combat-fuite ; la sélection des animaux les plus dociles aurait donc changé profondément leur physionomie.

Or, une étude sur le génome des chevaux publiée dans *Science*, le 28 avril dernier, vient d'étayer cette proposition, preuves à l'appui. Les chercheurs ont en effet passé au crible des restes d'équidés témoignant des trois premiers millénaires de domestication de ces impétueuses montures, parmi lesquels des étalons ayant appartenu aux Scythes, un peuple d'Asie centrale de l'âge de fer réputé pour son art équestre. Bilan : les régions du génome où se trouvent concentrées les mutations adaptatives sont principalement liées à... la crête neurale. Reste à réitérer l'analyse pour les veaux, vaches, cochons... Vincent Nouyrigat

On en reparle



DURE PÉRIODE POUR LA PHYSIQUE

Le LHC impuissant à dynamiter l'actuelle théorie des particules élémentaires ; les données du satellite Planck conformes à tout ce que nous savons déjà sur l'Univers ; les expériences de détection directe de particules de matière noire désespérément muettes... Ces dernières années, partout où les physiciens l'ont traquée, cette nouvelle physique pourtant si nécessaire à leurs yeux s'est systématiquement dérobée.

En juin 2012, nous évoquions des résultats laissant penser qu'une fraction des neutrinos émis par une vingtaine de réacteurs nucléaires se transformaient en une espèce inconnue de neutrinos indétectables, dits stériles (S & V n°1137, p. 52). Las, l'expérience Daya Bay, la plus précise actuellement pour étudier les neutrinos de réacteurs, vient de doucher ce bel espoir. Elle montre que "l'anomalie" ne concernerait en fait que les neutrinos émis par les noyaux d'uranium au sein du réacteur, et pas ceux provenant des noyaux de plutonium. Dans ce cas, l'explication à base de neutrinos stériles ne tient plus. "Si les résultats de Daya Bay sont confirmés, ils plaident en faveur d'une erreur de calibration de la quantité de neutrinos produits par l'uranium au sein d'un réacteur, manifestement plus faible qu'attendu", juge David Lhuillier, au service de Physique nucléaire du CEA. Une explication bien plus triviale qui éloigne une fois de plus les physiciens de cette *Terra incognita* sans laquelle les ultimes mystères de la matière, de l'espace et du temps nous seront à jamais inaccessibles. **Mathieu Grousseau**

Et si le piratage biométrique était encore pire...



Dans votre article sur le piratage biométrique (n°1195, p. 38), vous indiquez que l'on peut reproduire assez facilement un faux doigt doté des empreintes digitales d'un autre individu... Au-delà du piratage des données de cette personne, ne peut-on pas imaginer qu'une personne mal intentionnée puisse laisser sciemment les empreintes d'une autre sur une scène de crime afin de la faire accuser à sa place ?

Frédéric Larchez, Chelles (77)

S&V Vous avez tout à fait raison : revêtir les empreintes d'une tierce personne pour les "dispenser" intentionnellement est déjà technologiquement possible. Mais l'entreprise semble fastidieuse... Il faudrait déjà, pour que le subterfuge ne soit pas trop vite découvert, disposer des empreintes de plusieurs doigts. Mais, surtout, il serait trop risqué pour un criminel de porter les empreintes d'une personne à laquelle il veut absolument nuire, celle-ci

faisant souvent partie de son cercle de connaissances proche ou lointain et constituant ainsi une piste pour les investigateurs.

Or, la technique perd énormément d'intérêt si elle ne sert plus qu'à échapper aux fichiers d'empreintes : les bénéfices sont trop faibles face à l'investissement matériel, temporel et monétaire ! Les criminels lui préféreront sûrement la bonne vieille méthode des gants, voire celle, plus barbare mais très efficace, utilisée par le personnage de Kevin Spacey dans le film *Seven* : s'écrocher les phalanges.

Rectificatifs

- Evidemment, à la p. 53 du n°1196, il fallait lire, pour le temps de transmission des communications Terre-Lune, 1,3 seconde et non 1 minute et 3 secondes !
- Contrairement à ce que nous indiquions dans l'article "La revanche du bois" (n°1196, p. 90), Sabine Caré fait partie de l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR).

SCIENCE & VIE
LA BOUTIQUE
Livres & cadeaux scientifiques et insolites

Nouvelle boutique en ligne !

+ de
600 Livres
Objets scientifiques
Idées cadeaux

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

SUZUKI VITARA IMAGINEZ PLUS GRAND



Suzuki Vitara, une gamme à partir de 15 590 € ⁽¹⁾

Vous rêvez d'un SUV ⁽²⁾ sans compromis ? N'attendez plus et imaginez plus grand avec le Vitara. Véritable SUV ⁽²⁾ issu du savoir-faire légendaire de Suzuki, il allie style, sensations de conduite, confort et technologies. Doté de motorisations performantes avec une transmission exclusive 4 roues motrices AllGrip Select et des aides à la conduite dernière génération (régulateur de vitesse adaptatif, freinage actif d'urgence), il saura vous guider sur toutes les routes en toute sécurité.

(1) Prix TTC du Vitara 1.6 Vt Advantage après déduction d'une remise exceptionnelle de 2 000 € offerte par votre concessionnaire Suzuki. Offre réservée aux particuliers dans la limite des stocks disponibles valable pour tout achat d'un Vitara neuf jusqu'au 30/06/2017. **Modèle présenté : Suzuki Vitara S 1.4 Boosterjet : 20 990 €, remise de 2 000 € déduite + peinture métallisée : 530 € + accessoires : 630 €.** Consommations mixtes CEE gamme Vitara (l/100 km) : de 4,0 à 5,7. Emissions de CO₂ (g/km) : de 106 à 131. (2) SUV (Sport Utility Vehicle) : concept urbain et tout chemin. Tarifs TTC clés en main au 03/04/2017. *Un style de vie !

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

www.suzuki.fr

Dans les kiosques

LE SPORT ET LA SANTÉ

Avant de faire votre jogging ou d'aller suer dans une salle de sport, lisez ce numéro spécial. Vous y trouverez toutes les réponses aux questions que peuvent se poser les quelque 35 millions de Français qui s'adonnent aux plaisirs de l'activité physique. *Science & Vie Questions Réponses*, 4,50 €



L'HOMME FACE AUX ÉPIDÉMIES

Peste, choléra, grippe... Les Cahiers se penchent sur notre histoire commune avec les épidémies. Terribles par leur ampleur et leur violence, elles raflent des millions de vies sur leur passage. Des plus célèbres aux plus mortelles, d'où viennent-elles ? Comment ont-elles conquis la planète ? Nous les avons souvent contrecarrées, mais aussi expliquées et parfois... utilisées. Les Cahiers de Science & Vie n°170, en kiosque le 7 juin, 5,95 €



SPÉCIAL ÉDUCATION

Les sciences du cerveau et de l'éducation pourraient-elles éclairer les chemins de la réussite scolaire ? Elles commencent à comprendre comment le cerveau apprend, comment motiver les élèves et quelles sont les erreurs pédagogiques à éviter. Des enseignements qui tombent à pic alors que les enquêtes internationales nous alertent sur la baisse de niveau des élèves en France. *Science & Vie Hors-série*, 4,95 €



SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Mathieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT

Grégoire Bouillier (chef d'édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

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

CHEFS DE RUBRIQUE

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

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavallé-Fol, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} maquettiste), Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo), Stéphane Aubin, Boris Bellanger (chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, K. Bettayeb, O. Blond, S. Brunier, S. Ceugniet, B. Crépin, A. Dagan, A. Debroise, G. Depambour, S. Devos, O. Donnars, S. Fay, F. Gracci, M. Grousson, E. Haentjens, C. Hancock, R. Ikonikoff, S. Komaroff, M. Kontente, M.-C. Mérat, E. Monnier, B. Perrin, N. Picard, B. Rey, Y. Sciama, G. Siméon, E. Thierry-Aymé, A. Vernet

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

ABONNEMENTS ET DIFFUSION

DIRECTEUR MARKETING CLIENTS/DIFFUSION

Christophe Ruet

ABONNEMENTS

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

VENTES AU NUMÉRO

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

BOUTIQUE ET VPC

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

MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon, Michèle Guillet

PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF

Valérie Camy

CONTACTS PUBLICITÉ

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

PLANNING

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

TRAFIC

Stéphane Durand (53 12)

OPÉRATIONS SPÉCIALES

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

FABRICATION

Daniel Rougier, Agnès Châtelet

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 44,80 €

1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €

Dépôt légal : juin 2017

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,

CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Pour vous abonner par internet :

www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

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

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier :

8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex

Par mail : sev.lecteurs@

mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES

ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@

laboutiquescienceetvie.com

AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL

Origine du papier : Allemagne.

Taux de fibres recyclées : 0 %.

Certification : PEFC. Impact sur l'eau :

Plot 0,016 kg/tonne



Mitsubishi OUTLANDER

Système de navigation

Caméra de recul

Jantes alliage 18"



Technologie
Grandeur Nature



OFFRE SPÉCIALE

JUSQU'AU 30 JUIN

L'OUTLANDER INTENSE NAVI 2.2 DI-D 2WD
EST À

27 500€⁽¹⁾ SANS CONDITION



(1) Prix du Nouvel Outlander 2.2 DI-D 150 ch 4x2 BVM Intense Navi 5 places, déduction faite d'une remise de 7 500 €. **Modèle présenté** : Nouvel Outlander 2.2 DI-D 150 ch 4x2 BVM Intense Navi 5 places avec peinture métallisée en supplément (610 €) à 28 110 €, déduction faite d'une remise de 7 500 €. Tarifs Mitsubishi Motors maximum autorisés en vigueur en France métropolitaine au 03/01/2017. Offre réservée aux particuliers valable jusqu'au 30/06/2017 et non cumulable avec d'autres offres en cours chez les distributeurs participants. Garantie et assistance : limitées à 5 ans/100 000 km, au 1^{er} des 2 termes échu, selon conditions générales de vente. M MOTORS AUTOMOBILES FRANCE SAS au capital de 10 000 000 € - RCS PONTOISE n° 428 635 056 - 1, avenue du Fief - 95067 Cergy Pontoise Cedex.

Consommation mixte Outlander 4x2 BM Intense Navi (L/100 km) : 4,9 . Émission CO₂ (g/km) : 130.

www.mitsubishi-motors.fr

Retrouvez-nous sur facebook

MMAF recommande **MOTUL**

actus

A close-up photograph of a dense field of small, smooth, rounded pebbles. The pebbles are in two colors: a vibrant green and a dark, almost black. They are scattered together, with the green ones often appearing in small clusters or rows, while the black ones fill the spaces between them. The lighting is soft, highlighting the smooth texture of the stones.

^ Chez le lézard ocellé, une écaille verte est entourée en moyenne de deux vertes et quatre noires, et une écaille noire de trois vertes et trois noires.

PHYSIOLOGIE ANIMALE

LES COULEURS DE CE LÉZARD SUIVENT UNE LOI MATHÉMATIQUE

Quels phénomènes microscopiques régissent l'apparition des motifs sur le pelage d'un animal? Le mathématicien Alan Turing avait montré, en 1952, que les lois chimiques de la diffusion pouvaient expliquer les taches du léopard. Des chercheurs suisses se sont intéressés à un autre cas non moins spectaculaire: la peau du lézard ocellé, qui change de couleur tout au long de sa vie, se comporte

comme un "automate cellulaire", du nom de ce petit jeu logique inventé en 1948 par le mathématicien John von Neumann, qui veut que la couleur d'une cellule soit déterminée par celle de ses voisines. En moyenne, ont-ils constaté, une écaille verte est entourée de deux vertes et quatre noires, et une écaille noire de trois vertes et trois noires. Mais les seules interactions entre cellules pigmentaires ne suffisent pas à

expliquer ce phénomène. "*Il faut prendre en compte un paramètre supplémentaire: l'épaisseur de la peau du lézard, qui limite les interactions cellulaires entre les écailles*", explique Michel Milinkovitch (université de Genève). Bingo: dans les simulations effectuées à partir du nouveau modèle, les chercheurs ont parfaitement reproduit le comportement

du réseau d'écailles dans le temps. Démontrant ainsi que, bien avant von Neumann, l'évolution exploitait la propension de ces automates cellulaires à générer des formes complexes à partir de règles simples. **G.D.**

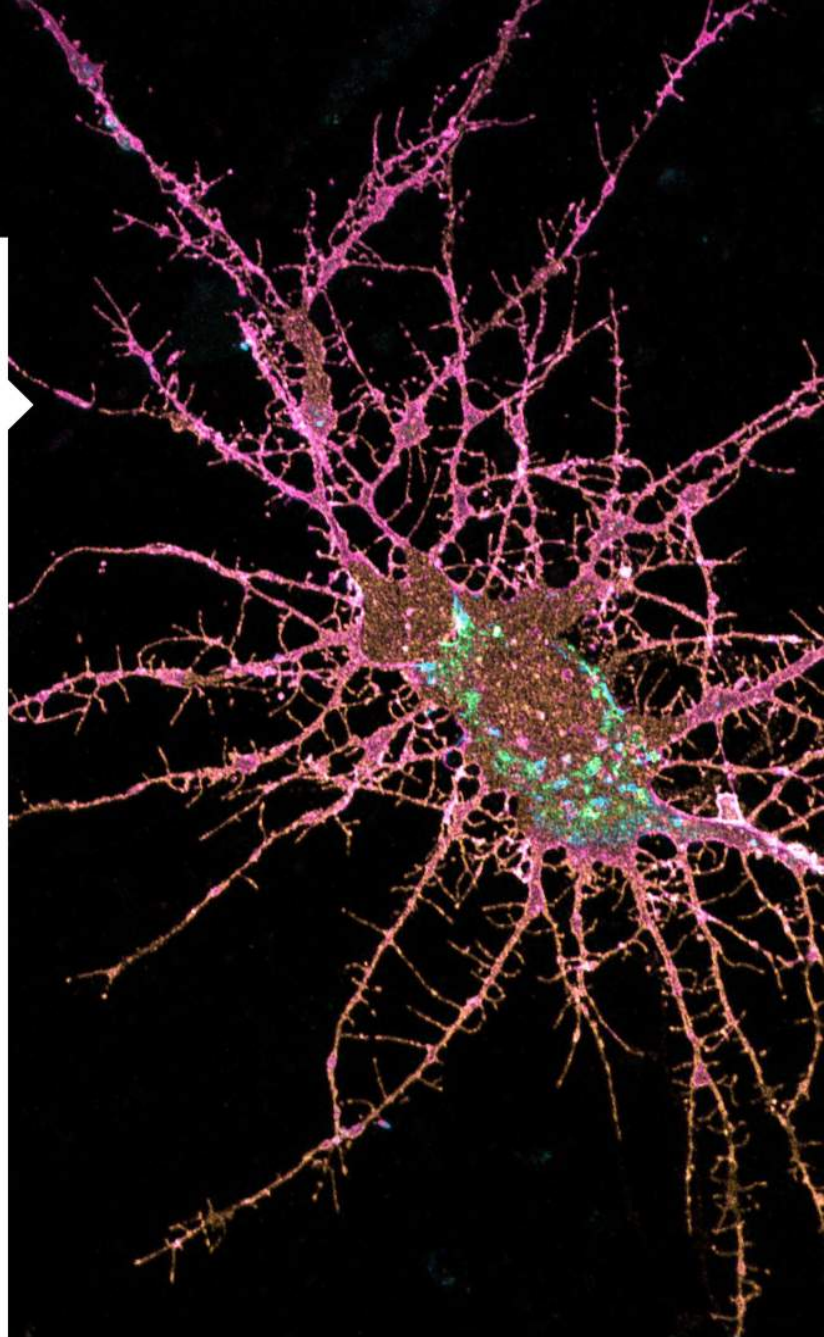


NEUROLOGIE

C'EST DANS LEURS "BRANCHES" QUE LES NEURONES SONT LE PLUS ACTIFS

Les dendrites, ces prolongements des cellules cérébrales, constituent 90 % du tissu neuronal de notre cerveau. Elles étaient pourtant jusqu'ici considérées comme de simples vecteurs de l'activité électrique. Or, des chercheurs de l'université de Californie viennent de montrer, grâce à une expérience extrêmement délicate menée sur des rats (une électrode introduite par une ouverture de quelques micromètres), qu'elles génèrent en réalité dix fois plus d'impulsions que le corps principal des neurones ! Ce qui bouscule

la compréhension du fonctionnement de ces derniers. Ainsi, alors qu'on pensait que le processus d'apprentissage impliquait forcément l'activation simultanée de plusieurs neurones au sein d'un réseau, chaque dendrite pourrait en fait agir individuellement. *"Cela augmente la probabilité que de tels apprentissages s'effectuent sur un même neurone"*, conclut Pascal Ravassard, membre de l'équipe. Les futurs ordinateurs à réseaux de neurones artificiels devraient bénéficier de cette découverte. **B.C.**



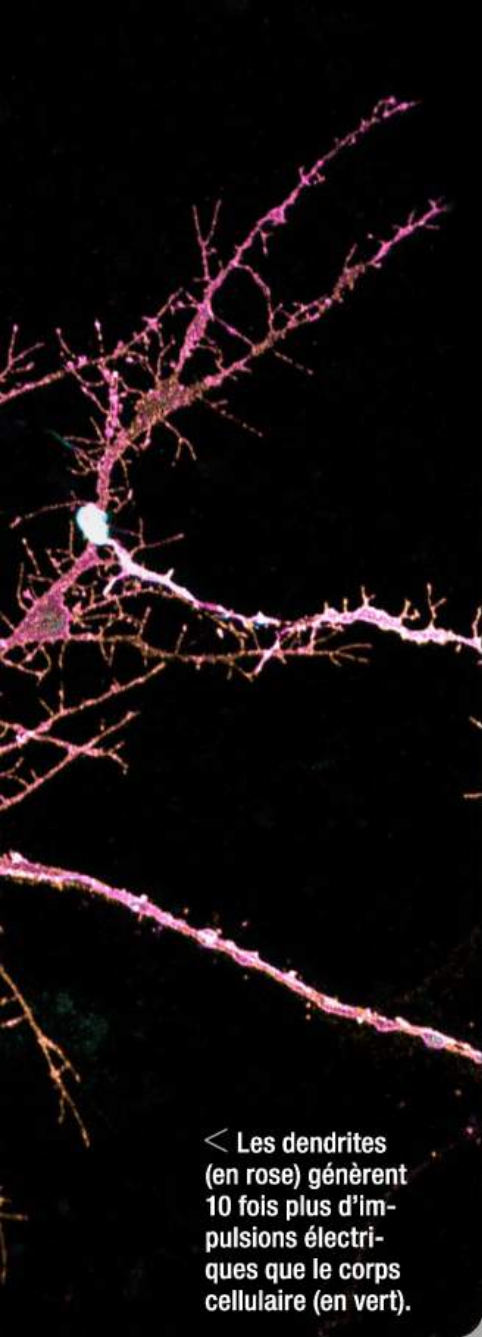
< La forme d'un squelette en fil souple plongé dans du savon liquide a enfin été modélisée !

MATHÉMATIQUES

Les structures en bulle de savon

Si l'on plonge un squelette en fil souple dans une solution savonneuse puis qu'on le retire, quelle forme prendra cette structure drapée par un film de bulle de savon ? La question, appelée "problème de Kirchhoff-Plateau", fait appel à deux théories mathématiques, liées d'une part à la forme

des bulles de savon, d'autre part aux structures rigides élastiques (poutres, fils métalliques...). Jusqu'ici, on savait seulement que deux forces s'opposent : le film de savon tire sur la structure pour devenir une petite goutte sphérique, la structure tire sur le film pour rester dans sa forme stable.



< Les dendrites (en rose) génèrent 10 fois plus d'impulsions électriques que le corps cellulaire (en vert).

LES LACS DE TITAN FONT DES BULLES

La sonde *Cassini* a observé des lacs qui pétillent sur Titan, une lune de Saturne. Ce phénomène se produit lorsque, dans certaines conditions de température et de pression, l'azote gazeux parvient à s'échapper du méthane liquide. **G.D.**

SEULE, UNE ÉCREVISSE TIENDRA MIEUX L'ALCOOL

Plongées dans un bain d'alcool, les écrevisses s'adonnent à des saltos avant et finissent étendues sur le dos. Or, celles vivant isolées développent plus lentement cette ivresse ! Un nouvel exemple de l'impact du statut social sur le comportement des animaux. **E.A.**

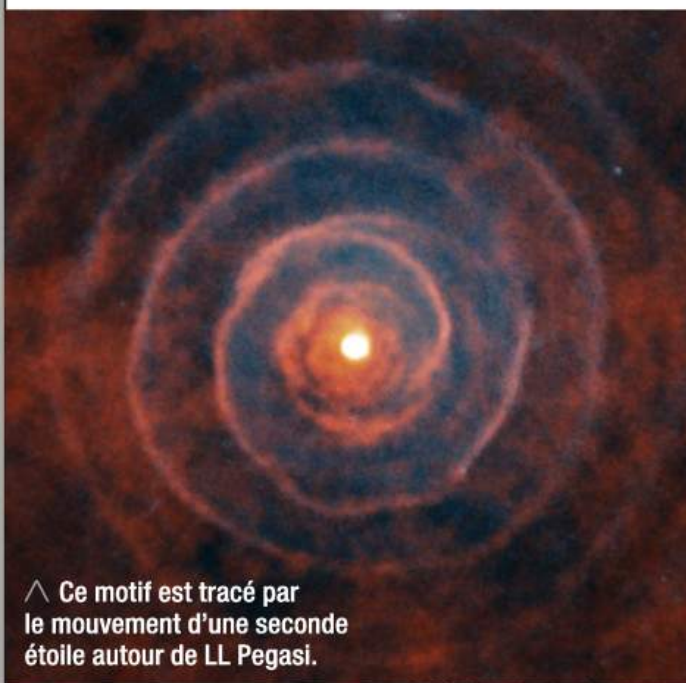
LA NOUVELLE PROUESSE DU RAT-TAUPE

Sans oxygène, le rat-taupe survit pendant 18 minutes ! Ses cellules continuent de produire l'énergie nécessaire aux organes vitaux à partir d'un sucre, le fructose, dont la provenance reste incertaine. **G.D.**

ASTRONOMIE

Une géante rouge dessine en mourant une étonnante spirale

Cette fascinante spirale céleste, c'est la vie qui s'échappe d'une étoile en phase terminale. La géante rouge LL Pegasi disperse autour d'elle du gaz et des poussières, comme le fera le Soleil dans 5 milliards d'années. Mais lui n'a aucune chance de déployer une si jolie spirale, car pour cela, il faut être accompagné : c'est le mouvement d'une seconde étoile qui provoque des remous dans le gaz et le fait s'accumuler, dessinant ce motif. Sur cette image, qui mêle les données du radiotélescope Alma (en rouge) et du télescope spatial *Hubble* (en bleu), impossible de distinguer les deux étoiles tant elles sont proches. Hyosun Kim, de l'Académie chinoise (Taïwan), a eu l'idée de remonter la spirale pour accéder à leurs caractéristiques orbitales. Résultat : elles tournent l'une autour de l'autre à 110 fois la distance Terre-Soleil, dans un plan vu, depuis la Terre, sous un angle de 40 degrés ; leur période de révolution dure 800 ans. Enfin, le petit embranchement visible au centre de l'image ne s'explique que si l'orbite forme une ellipse. *"Ce résultat est peut-être la clé d'un vieux mystère concernant les nébuleuses planétaires, souligne la chercheuse. Celles-ci sont parfois parfaitement symétriques et parfois pas du tout, sans qu'on comprenne pourquoi. L'excentricité de l'orbite d'un système binaire pourrait être un embryon d'explication."* **B.R.**

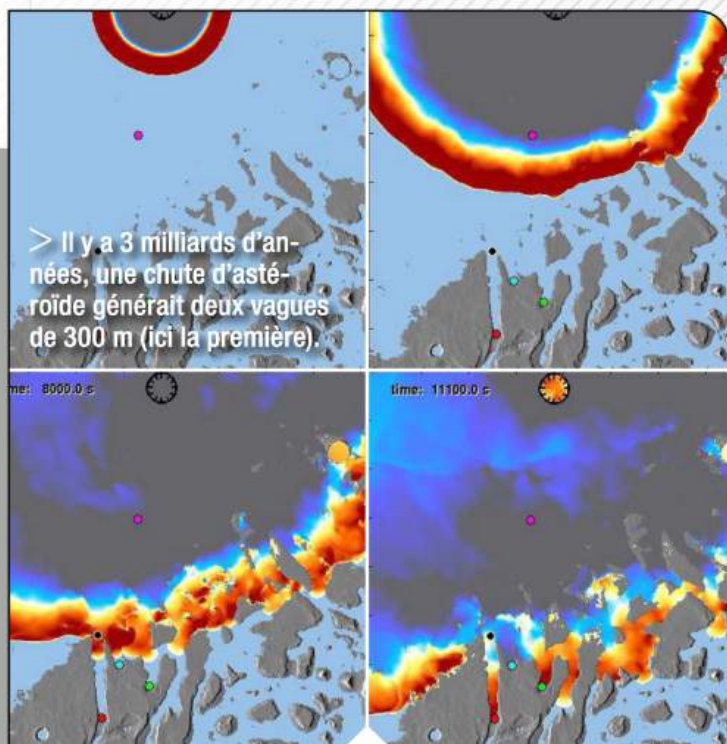


^ Ce motif est tracé par le mouvement d'une seconde étoile autour de LL Pegasi.

RAJASHEKAR IYER, MARTHA GILLETTE'S LAB - OIST - ALMA/ESO/NAOJ/NRAO/H. KIM ET AL/ESA/NASA & R. SAHAI

ont leur équation

Et voici que trois mathématiciens viennent de résoudre le problème ! Le résultat tient dans une équation assez complexe dont on vous épargnera les détails... mais qui servira aux physiciens et aux biologistes (notamment pour étudier l'interaction des protéines et des membranes cellulaires). **R.I.**



> Il y a 3 milliards d'années, une chute d'astéroïde générerait deux vagues de 300 m (ici la première).

PLANÉTOLOGIE

MARS FUT JADIS RAVAGÉ PAR UN DOUBLE TSUNAMI

Un astéroïde de plusieurs centaines de mètres de diamètre se fracasse au milieu de l'océan. Le choc génère un trou béant, profond de 20 km, et deux vagues de 300 m de hauteur, qui frappent le rivage à 220 km/h et le défigurent à jamais... Ce scénario catastrophe a eu lieu sur Mars, il y a entre 3 et 3,5 milliards d'années. C'est ce que confirment les travaux de l'équipe de François Costard (université Paris-Sud), qui a simulé la formation des cratères de l'hémisphère Nord de la planète rouge en supposant qu'à l'époque, un océan de 1000 m de profondeur le recouvrait. Les chercheurs

ont comparé leurs résultats avec les images des sondes spatiales, qui montrent des traces d'anciens rivages ravagés par deux tsunamis consécutifs. Et sur les dix cratères étudiés, celui de Lomonosov semble coller parfaitement au scénario. *"Le véritable cratère pourrait avoir été effacé par l'érosion, modère Alexis Rodriguez (Institut des sciences planétaires de Tucson). Mais cette étude montre bien que l'impact a eu lieu dans la région."* De son côté, le chercheur étudie le pôle Nord de Mars, où il pense avoir repéré les sédiments déposés par le double tsunami sur une antique banquise... **B.R.**

ANTHROPOLOGIE

Le cannibalisme ne nourrit pas son homme

C'est à un sujet tabou que s'est attaqué James Cole, à l'université de Brighton: quel intérêt nutritionnel y a-t-il à manger... de l'homme? On sait que *Sapiens* et *Neandertal* pratiquaient l'anthropophagie, mais était-ce pour des raisons alimentaires ou rituelles? Le verdict est tombé: hors abats, un corps humain entier ne vaut que 32376 calories – à peine de quoi nourrir 25 individus pendant une demi-journée. Mieux valait chasser le mammouth (deux mois d'apports caloriques) ou le sanglier (une semaine). **V.N.**

> La vue des tétrapodes (ici une image de synthèse) a évolué très vite avant leur sortie de l'eau, il y a 385 millions d'années.



ÉVOLUTION

Les poissons sont sortis de l'eau grâce à... leurs yeux

C'est un moment clé de l'évolution: il y a 385 millions d'années, les descendants des poissons, ancêtres des vertébrés actuels, quittèrent le milieu aquatique pour coloniser la terre. Selon une équipe de l'université Northwestern, qui a analysé 59 fossiles de tétrapodes, c'est l'amélioration de leur vue, plus que l'apparition des quatre pattes, qui serait à l'origine de cette migration. En seulement 12 millions d'années, la taille des yeux a en effet triplé, et ces derniers, d'abord situés sur les côtés, se sont déplacés vers le haut de la tête. De quoi leur permettre de chasser plus facilement les abondantes proies terrestres.

T.C.-F.

CHYPRE

Du soleil adoré

aux lieux sacrés
en un rien de temps.

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

www.visitcyprus.com



Chypre
de Cœur



Union Européenne
Fonds européen
de développement régional



République de Chypre



Fonds structurels
de l'Union Européenne à Chypre

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

> Les babouins présentent, comme nous, une asymétrie cérébrale impliquée dans les processus de communication.



PRIMATOLOGIE

LE CERVEAU DU BABOUIN EN DIT LONG SUR L'ORIGINE DU LANGAGE

Les hominidés présentent une asymétrie gauche-droite dans une zone du cerveau que l'on sait cruciale pour le langage, le planum temporal. Mais ils ne sont pas les seuls ! Des singes comme les babouins possèdent la même particularité, révèle une étude menée par Damien Marie (Laboratoire de psychologie cognitive de Marseille), qui a soumis

96 babouins *Papio anubis* à une IRM afin d'analyser en détail cette région. Résultat : la proportion de primates dotés d'un planum temporal plus large dans l'hémisphère gauche est quasiment identique à celle connue chez l'homme. "On pensait que cette asymétrie était un marqueur du langage humain. Il n'en est rien, rapporte Adrien Meguerditchian, qui

a supervisé l'étude. Elle remonterait en fait à l'ancêtre commun aux singes et aux hominidés, qui vivait il y a 20 à 40 millions d'années." Peut-être est-elle liée à certains processus communs au langage humain et aux gestes qu'utilisent les babouins pour communiquer, processus qui auraient pu déjà exister chez ce vieil ancêtre. **M.-C.M.**

PHYTOBIOLOGIE

Les plantes révèlent leur formidable plasticité

Une équipe française a prouvé que chez les plantes, la formation d'un organe est réversible jusqu'à plusieurs jours après le début de son développement ! Tiges, feuilles et racines naissent au cœur de structures riches en cellules souches, les méristèmes. Au fil des divisions, ces cellules se différencient pour former un organe. Mais Pierre Hilson et ses collègues de l'Inra ont montré chez l'arabette qu'une ébauche de racine pouvait être convertie en tige en seulement quelques heures en l'exposant à une hormone végétale... puis redevenir racine sous l'effet d'une autre hormone !

E.H.

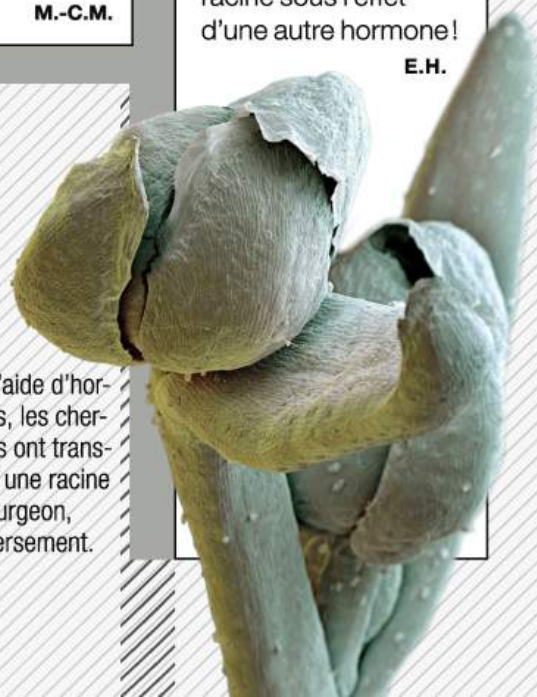
JURGEN & CHRISTINE SOHNS/FPLA/MINDEN - STEFAN DILLER/SPL/COSMOS

ANTHROPOLOGIE

Notre nez est façonné par le climat

Pourquoi y a-t-il des nez longs, courts, larges, étroits... ? La forme de notre appendice nasal résulterait en partie du climat, répondent des chercheurs. En scannant en 3D les visages de 140 femmes, ils ont constaté que la largeur des narines et de la base du nez était liée à l'origine géographique de leurs aïeux : les nez larges étant plus communs dans les zones chaudes et humides, et les nez étroits sous les climats froids et secs. "L'air froid et sec n'est pas sain pour les voies respiratoires, explique Arslan Zaidi, coauteur de l'étude. Avoir des narines étroites a sans doute permis d'humidifier l'air en le réchauffant." **O.D.**

> A l'aide d'hormones, les chercheurs ont transformé une racine en bourgeon, et inversement.



**ventus
S1evo²**



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

**ventus
PRIME³**



L'équilibre parfait
entre performances
et sécurité.

**ventus
V12evo²**



Le pneu Hautes
Performances
dédié au plaisir
de la conduite.



Comme Hankook et le Real Madrid

NE FAITES QU'UN AVEC L'INNOVATION

Partenaire
Mondial



> Au nord de la nébuleuse de la Patte de Chat, NGC 6334I vient de s'embraser.

ASTROPHYSIQUE

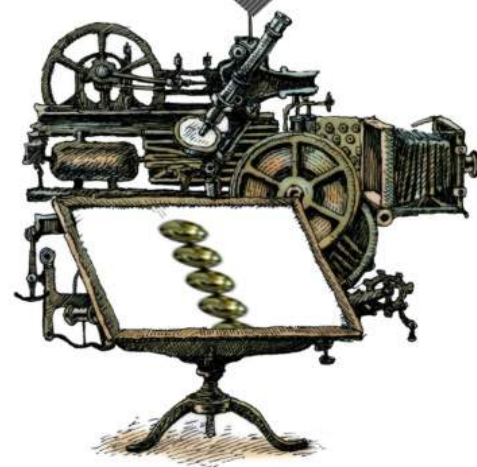
CETTE ÉTOILE EST EN PLEINE POUSSÉE DE CROISSANCE

Que se passe-t-il dans la nébuleuse de la Patte de Chat? Une petite zone au nord de cette immense pouponnière d'étoiles s'est embrasée et a vu sa luminosité multipliée par 70 en quelques mois! Selon les simulations de Todd Hunter et de son équipe de l'Observatoire américain de radioastronomie, une étoile naissante serait en train de se repaître du gaz présent

autour d'elle, grossissant d'année en année. Et elle aurait tout juste attaqué un gros morceau: un fragment de gaz d'une demi-masse solaire! Le sursaut d'énergie serait provoqué par la matière se fracassant à la surface de la proto-étoile. Pouvoir l'observer est un vrai coup de chance, car la naissance d'une étoile est un processus très long (500 000 ans). **B.R.**

1 800

C'est le nombre de dents que possède un tout petit poisson baptisé récemment "gobie à bec de canard". Sa mâchoire, dont la forme ressemble effectivement à celle d'un canard, a été scannée puis imprimée en 3D grâce à deux squelettes qui dormaient dans un musée australien depuis quarante ans... Un travail qui a permis de découvrir cette étonnante denture qui, pour l'instant, bat tous les records! **G.D.**



Au-delà de 9 billes magnétiques, on ne peut plus les empiler

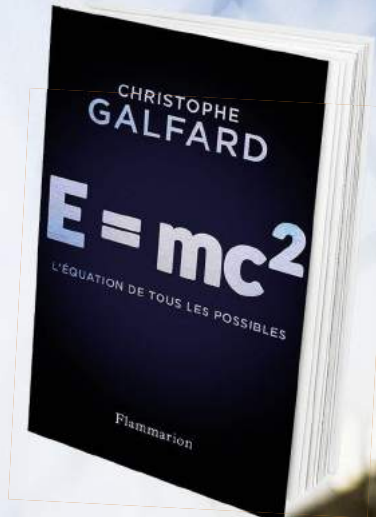
Combien de billes aimantées peut-on superposer avant que la construction ne s'effondre? Réponse: 9. Au-delà, la gravité l'emporte sur les forces magnétiques, et la colonne commence à pencher. Les physiciens Eliot Fried et Johannes Schönke en ont fait l'expérience dans leur laboratoire de l'université d'Okinawa (Japon). C'est là qu'ils se livrent sans retenue à ce jeu de construction bien connu des ados, dont les billes (5 mm de diamètre, 0,5 g) sont constituées d'un alliage néodyme-fer-bore qui les rend fortement aimantées. Joueurs, nos scientifiques ont constaté qu'on pouvait monter jusqu'à 10 billes à condition de présenter, juste au-dessus, le pôle de signe opposé d'une seconde chaîne. Si l'on renverse cette dernière, le pilier se déstabilise dès qu'il dépasse les 8 billes... Vous suivez? Un travail qu'apprécieront tous les autres physiciens qui s'adonnent à ce jeu. Comme Olivier Doaré, de l'ENSTA ParisTech, qui explique: "Ces billes nous permettent de créer des structures aux comportements nouveaux, mais aussi d'expérimenter à l'échelle macroscopique des milieux aux propriétés particulières, par exemple les fluides sensibles au champ magnétique". Belle excuse! **A.D.**

E=mc²

L'ÉQUATION DE TOUS LES POSSIBLES...

Et si l'on rendait enfin hommage à « l'équation la plus célèbre de tous les temps », comme l'écrit Christophe Galfard dans un livre aussi clair, concis et efficace que la formule elle-même ?

Après nous avoir propulsés dans une course enivrante à travers le cosmos, l'auteur de *L'Univers à portée de main* nous invite cette fois à nous arrêter sur cette pépite, découverte par le jeune Albert Einstein en 1905. Connue aujourd'hui de tous, son sens et sa profondeur demeurent souvent cachés aux non-spécialistes.



DISPONIBLE EN LIBRAIRIE - 96 PAGES - 12€ - FLAMMARION

JOUEZ SUR
WWW.SCIENCE-ET-VIE.COM
ET TENTEZ DE GAGNER L'UN DES 100 OUVRAGES

E = mc² met en scène l'énergie, la masse et la vitesse de la lumière (au carré). C'est pour saisir le sens de ce mariage que Christophe Galfard propose un formidable voyage à travers l'histoire des sciences. Son récit, qui se lit d'une traite, démarre au XVII^e siècle avec les premières tentatives pour mesurer la vitesse de la lumière. Galilée s'y attelle mais ne réussit pas car les moyens de l'époque sont insuffisants. Néanmoins, il lègue à la postérité sa lunette astronomique : celle-ci

permettra au danois Ole Rømer d'attribuer enfin une vitesse à la lumière en observant Io, l'une des quatre lunes de Jupiter découvertes par le physicien italien en 1610.

La lumière est au centre du livre de Christophe Galfard, conduit avec une grande simplicité d'écriture : comme son précédent titre, on le parcourt avec l'impression d'une douce balade qui « prend par la main » le lecteur, en appelle à son intuition et l'entraîne imperceptiblement vers les profondeurs de la pensée et de l'aventure scientifique. Et quelle aventure ! L'équation d'Einstein est le fruit des percées de brillants physiciens comme James C. Maxwell et sa théorie de l'électromagnétisme, qui fait de la lumière une onde ; Hendrik Lorentz, qui pour sauver les équations de Maxwell conçoit une formule où l'espace et le temps perdent formellement leur caractère absolu ; Max Planck aux prises avec les premiers signes de la quantification de l'énergie, point de départ de la future mécanique quantique ; ou encore Albert Michelson, qui met au point d'ingénieuses méthodes de

mesure de la vitesse de la lumière et teste l'existence du mystérieux éther au moyen de son interféromètre.

Au fil des pages, Christophe Galfard montre que E = mc² ne se résume pas à une suite de découvertes : sans les convictions des savants sur la symétrie profonde de la nature, l'équation n'aurait pu être. On pense naturellement au principe « de relativité » qui traverse la science depuis Galilée : les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels inertiels. Puis à cet autre principe issu des observations : la vitesse de la lumière dans le vide est constante. Pour les respecter, explique Christophe Galfard, Einstein ira jusqu'à « sacrifier » le temps et l'espace en les rendant variables d'un observateur à un autre. Même la masse sera sacrifiée : si les deux principes sont valables, alors la masse d'un solide doit varier avec sa vitesse. C'est ce lien tissé entre la vitesse et la masse qui a rendu possible l'équation E = mc². Désormais, l'énergie et la masse forment les deux visages d'une même entité intimement liée à la lumière...



CHRISTOPHE GALFARD

Docteur en physique théorique, il se consacre à l'écriture depuis *Georges et les secrets de l'Univers* qu'il a coécrit avec Stephen Hawking, son directeur de thèse à Cambridge. Sa trilogie *Le Prince des nuages* a connu un énorme succès. Chez Flammarion, il a notamment publié *L'Univers à portée de main* (2015).

Jeu du 24/05/2017 au 23/06/2017 inclus, ouvert à toutes personnes physiques résidant en France Métropolitaine, à l'exception des personnes ayant un lien juridique direct ou indirect avec la Société. La participation des mineurs est autorisée à la condition d'un accord parental ou d'un titulaire de l'autorité parentale. La Société Organisatrice présumera que ceux-ci ont obtenu cette autorisation. À gagner par tirage au sort : 100 livres "E=mc²" d'une valeur unitaire de 12€ TTC. Règlement complet déposé en la SCP Simonin, Le Marec et Guerrier, Huissiers de justice associés, 54 rue Talbott 75009 Paris et disponible <https://www.science-et-vie.com/>. Conformément à la loi Informatique & Libertés du 06/01/1978, les participants disposent d'un droit d'accès, de modification et de retrait des informations collectées les concernant, sur simple demande, ces droits pouvant être exercés en écrivant à : MONDADORI MAGAZINES France - Service Marketing, 8 rue François Ory 92543 Montrouge Cedex.

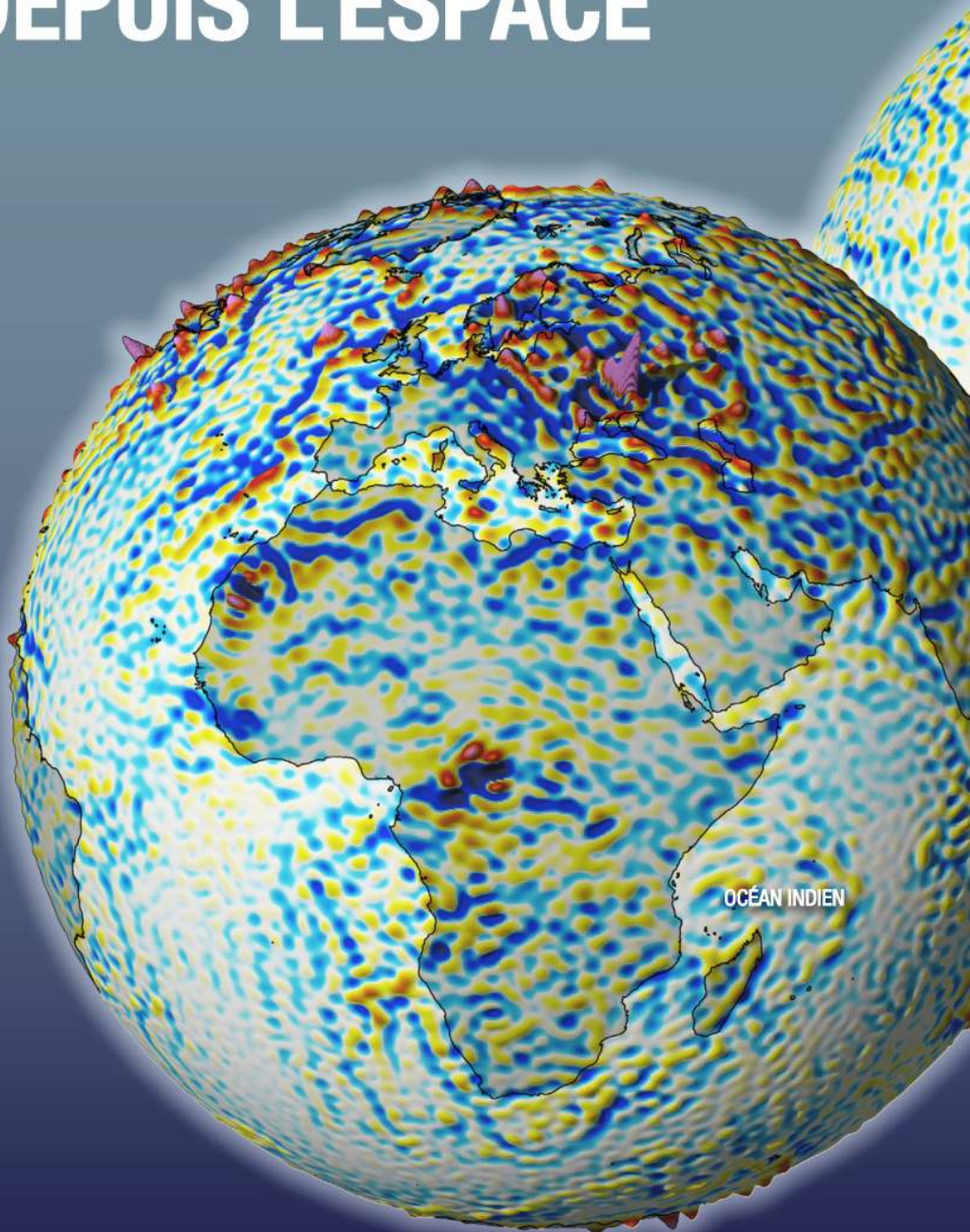
RETROUVEZ L'INTÉGRALITÉ DE L'ARTICLE SUR WWW.SCIENCE-ET-VIE.COM

GÉOMAGNÉTISME

L'AIMANTATION DE LA CROÛTE TERRESTRE A PU ÊTRE MESURÉE DEPUIS L'ESPACE

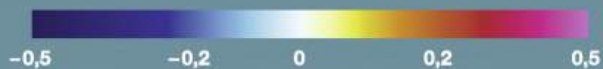
Isoler dans le champ magnétique terrestre l'infime contribution de l'enveloppe rocheuse rigide de notre planète. Voilà la prouesse réalisée par des chercheurs américains et danois, à l'aide des trois satellites SWARM. Résultat : une carte détaillée de l'aimantation des roches de surface, acquise sous l'effet du champ magnétique généré dans le noyau terrestre. Une information qui servira à affiner l'histoire géologique. *"Le magnétisme crustal permet de reconstruire le mouvement des plaques et de connaître la latitude de formation des roches"*, éclaire Thierry Alboussière, géologue à l'ENS de Lyon.

L'aimantation de la lithosphère renseigne également sur son mode de formation ou sur sa composition. Au fond des océans, l'aimantation dessine ainsi des motifs symétriques de part et d'autre des dorsales, lieu de création du plancher océanique. Sur les continents, des pics magnétiques (comme en Europe de l'Est) témoignent de processus conduisant à de fortes concentrations en fer. D'autres anomalies révèlent des événements insoupçonnés. C'est le cas en République Centrafricaine, où un puissant champ magnétique pourrait témoigner de la chute d'une météorite, il y a 540 millions d'années... **B.C.**

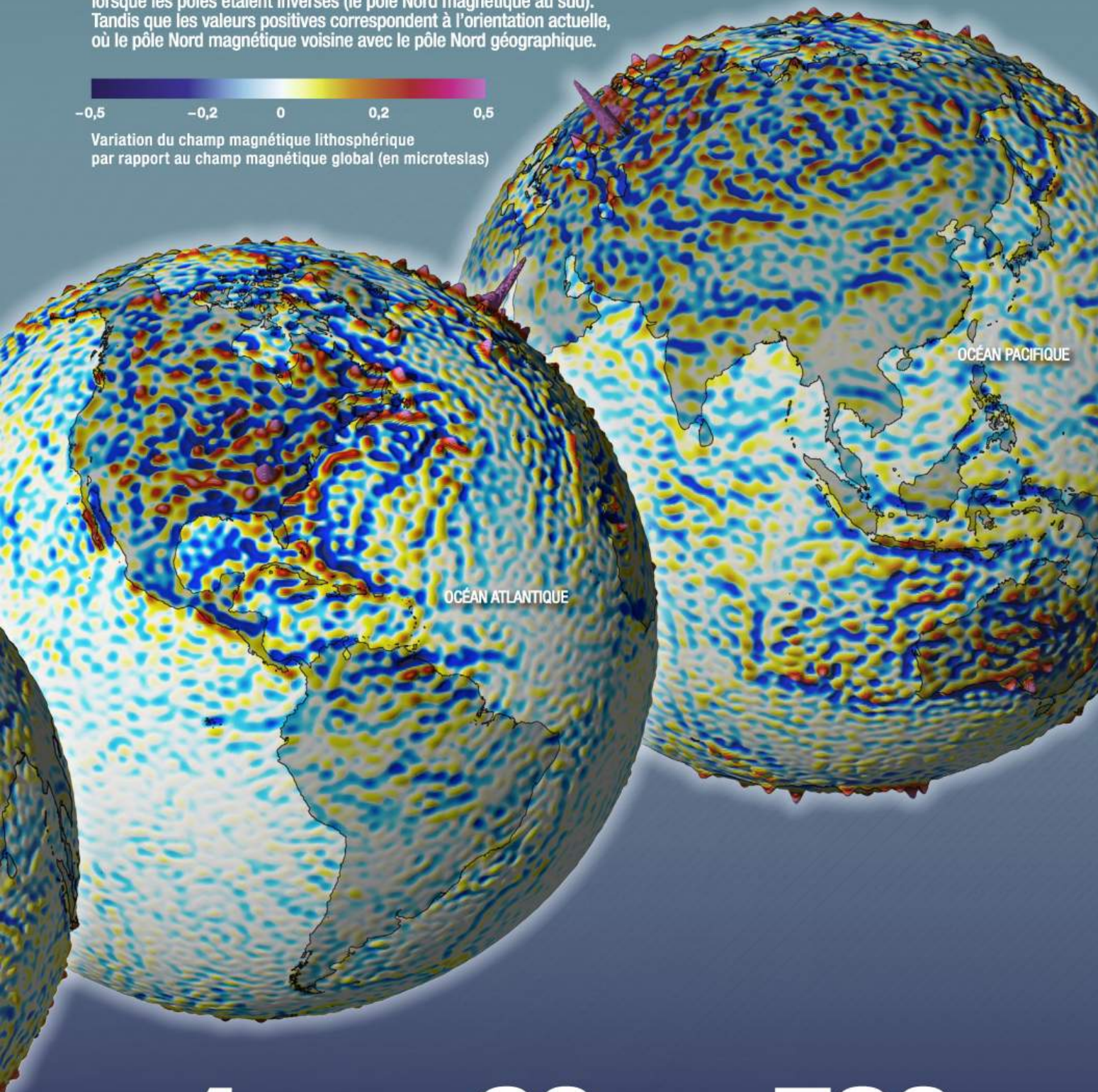


La carte reflète l'histoire magnétique du globe

Les valeurs négatives correspondent à des roches qui se sont figées lorsque les pôles étaient inversés (le pôle Nord magnétique au sud). Tandis que les valeurs positives correspondent à l'orientation actuelle, où le pôle Nord magnétique voisine avec le pôle Nord géographique.



Variation du champ magnétique lithosphérique par rapport au champ magnétique global (en microteslas)



4 %

C'est la contribution du champ lithosphérique au magnétisme total de notre globe.

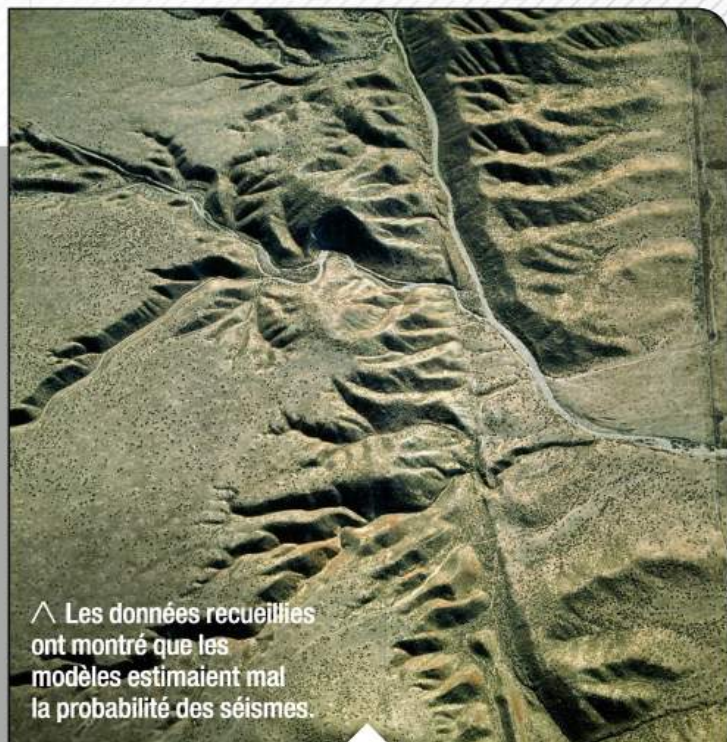
60

C'est, en microteslas, l'intensité moyenne du champ magnétique terrestre au niveau des pôles.

780

En milliers d'années, c'est le temps qui nous sépare de la dernière inversion du champ magnétique terrestre.

SOURCES : ESA



^ Les données recueillies ont montré que les modèles estimaient mal la probabilité des séismes.

GÉOPHYSIQUE

LES GROS SÉISMES SERAIENT SOUS-ESTIMÉS

Le 14 novembre 2016, la Nouvelle-Zélande était frappée par un séisme de magnitude 7,8 dans la petite ville de Kaikoura. Le deuxième séisme le plus intense de son histoire. L'île sud s'était rapprochée de 5 m de l'île nord et élevée de 8 m, tandis que la faille principale avait coulé de 12 m en surface ! Cet événement extrême suggère que les modèles sismiques sous-estiment la probabilité des "Big One".

Le tremblement de terre de Kaikoura a montré en effet un comportement très inattendu : "Il s'est propagé sur plus de 180 km, provoquant des ruptures dans

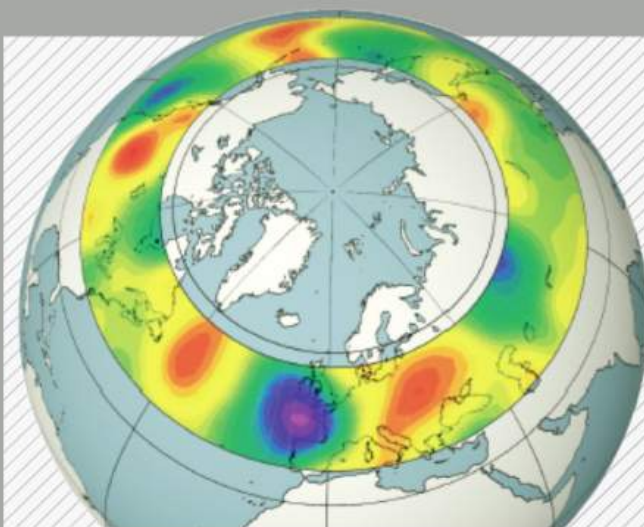
12 failles majeures et un grand nombre de ruptures de plus petite échelle, et connectant deux systèmes de failles distincts", indique Ian Hartling, auteur d'une vaste étude sur le sujet.

Ce surprenant épisode interroge notre connaissance des séismes. "Nos cartographies du risque sismique pourraient, sur un certain nombre de points, être trop rassurantes, juge Ian Hartling. Par exemple, on considère souvent que s'il y a plus de 5 km entre deux failles, cela forme un tampon suffisant ; or, nous avons vu ici des ruptures se propager entre des failles distantes de 15 km !". Y.S.

ÉLEVAGE

Les antibiotiques à bétail ont un effet sur les sols

De véritables bouleversements microbiens sont induits dans les sols par les quantités colossales d'antibiotiques que consomment (et rejettent) les animaux d'élevage (650 t/an en France). Les analyses effectuées par Michael Strickland et son équipe de l'université Virginia Tech sont éloquentes : certaines bactéries augmentent leur effectif de 70 %, d'autres disparaissent. Quant aux champignons, en principe insensibles aux antibiotiques, ils subissent de fortes modifications. Y.S.

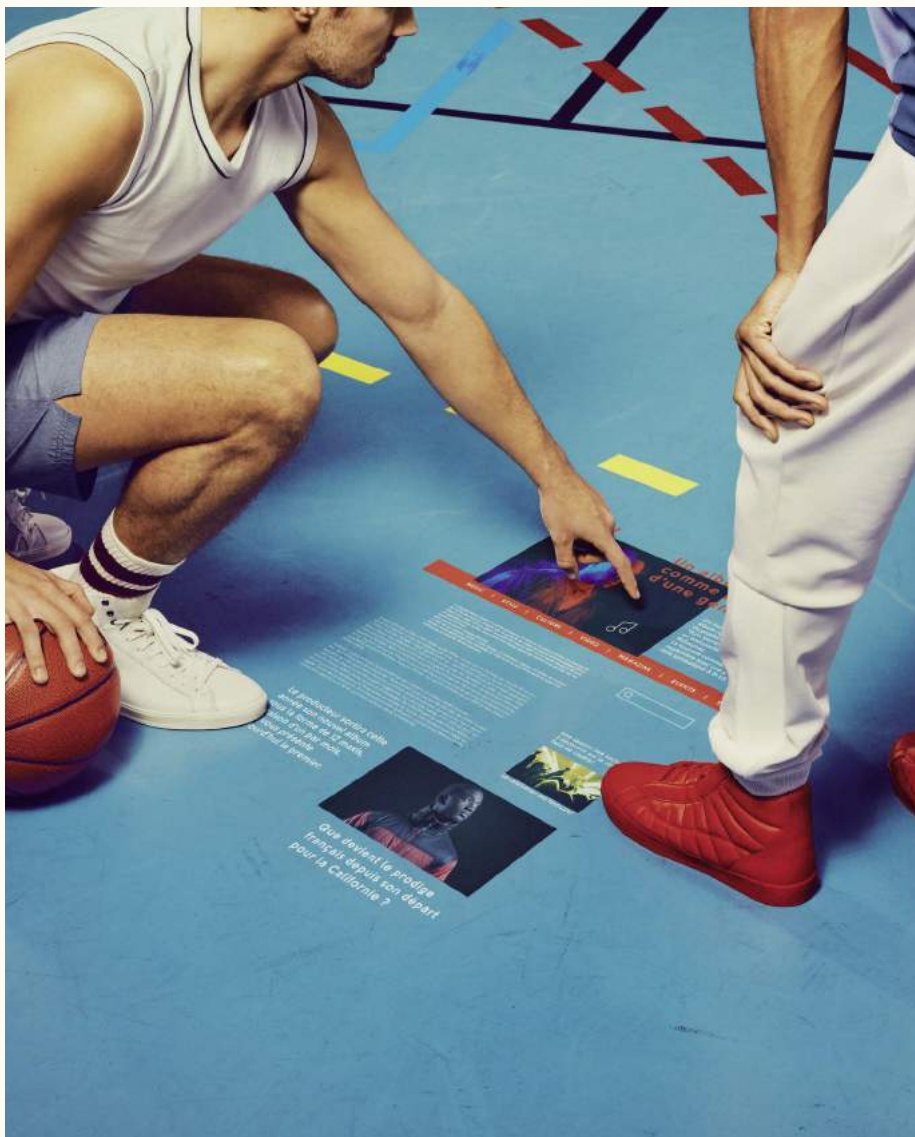


CLIMATOLOGIE

Les calamités sont provoquées par l'atmosphère qui stagne

Stefan Rahmstorf, de l'Institut climatique de Potsdam (PIK), émet une nouvelle hypothèse sur l'aggravation des canicules et inondations en cours. Elle serait aussi liée au ralentissement des jet streams, causé par l'augmentation des températures. Conséquence : les masses d'air stationnent davantage dans notre atmosphère, ce qui multiplie les périodes où le temps reste le même et, mécaniquement, les événements extrêmes. En effet, une dépression bloquée sur un point finit par y provoquer des crues ; et, à l'inverse, trop de jours d'anticyclone d'affilée conduisent à une sécheresse. Y.S.

Où lirez-vous la presse quand les tablettes auront disparu ?



Sur papier, certainement, et sur d'autres supports qui n'existent pas encore.

La presse a déjà beaucoup changé. C'est même le média qui a le plus évolué.

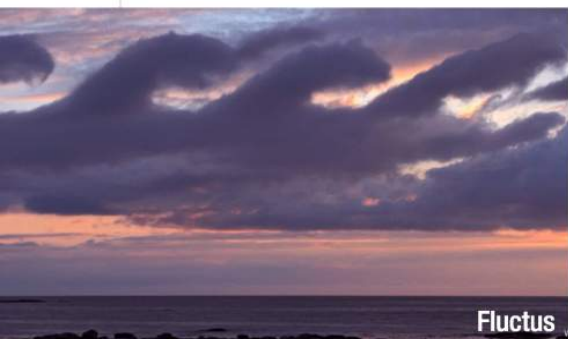
Aujourd'hui, 98 % des Français nous lisent chaque mois, sur papier, ordinateur, tablette ou smartphone*.

Demain, pour vous accompagner, nous évoluerons encore. Mais ce qui ne changera pas, c'est la qualité du travail de nos journalistes. C'est et cela restera notre cœur de métier. Et nous trouverons toujours le moyen de vous rendre accessible une information de qualité qui vous procure du plaisir.

Notre évolution ne se fera pas sans votre avis, exprimez-le sur demainlapresse.com

avec

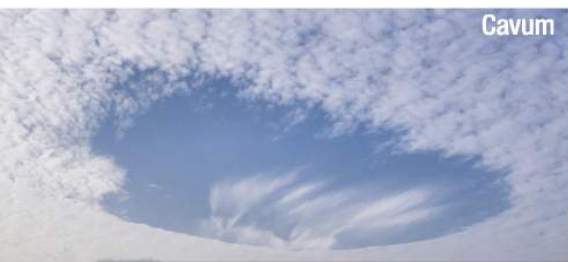
#DemainLaPresse
DEMAINLAPRESSE.COM



Fluctus



Asperitas



Cavum



Homomutatus

ATMOSPHÈRE

ONZE NOUVEAUX NUAGES ONT ÉTÉ RÉPERTORIÉS

Une mer déchaînée, un point d'interrogation, une queue de castor ou une forme indéfinissable mais franchement inquiétante... L'Organisation météorologique mondiale vient de publier son nouvel *Atlas international des nuages*, une classification savante dans laquelle les nuages sont répertoriés par genres, espèces et variétés ; cette formidable

diversité résulte de celle des climats terrestres, des reliefs locaux, de la végétation, de la présence ici d'une chute d'eau, là d'un feu de forêt, ou des inévitables activités humaines (centrale thermique, passage d'un avion de ligne, etc.).

Cette nouvelle édition – la dernière datait de 1984 ! – apporte onze nouveautés, notamment l'espèce *Volu-*

tus, un nuage en rouleau très intrigant, ou encore la variété *Asperitas*, incroyablement chaotique. "Ces nouvelles descriptions permettent d'affiner encore les données d'entrée de nos modèles de prévisions météorologiques", se félicite Sébastien Laflorencie, de l'Ecole nationale de météorologie. Et c'est un régal pour les yeux. **V.N.**

POLLUTION SONORE

Le vacarme des routes stresse les grenouilles

Bruits de roulement et vrombissement des moteurs ne stressent pas seulement l'homme, mais aussi la petite rainette verte. Des chercheurs en écologie de l'université Claude-Bernard de Lyon ont ainsi étudié ces grenouilles dans diverses situations. Chez celles qui étaient exposées au bruit, le taux de corticostérone, une hormone du stress, avait augmenté de presque 65 % ; en outre, leur réponse immunitaire était moins grande, et la couleur de leurs sacs vocaux (révélatrice de leur attractivité sexuelle) avait pâli. "Une altération profonde de la biologie des animaux que l'on ne soupçonnait pas", souligne Thierry Lengagne, chercheur au CNRS. **B.C.**

800 millions

C'est, en tonnes, la quantité de protéines animales qu'engloutiraient chaque année les araignées, d'après une étude de l'université de Bâle. Soit deux fois plus que ce que consomment les humains ! Il est vrai que les araignées, très nombreuses sur Terre, sont toutes d'avidés carnivores : elles mangent en moyenne 10 % de leur poids en insectes par jour. **Y.S.**



SCIENCE & VIE

POUR LA 1^{ÈRE} FOIS !
Un circuit exceptionnel

IRAN LES TRÉSORS DE LA PERSE

Du 11 au 23
octobre 2017

13 jours / 12 nuits

DES VILLES MILLÉNAIRES

Shiraz, capitale
des arts,
la mythique cité
de **Persépolis**,
Yazd, la perle
du désert,
la légendaire
Ispahan,
etc.

LES POINTS FORTS

Découvrez ce pays d'une **rare beauté**,
resté à l'écart du tourisme Grand
Public, terre d'une des plus anciennes
civilisations.

Partez à la rencontre d'un **art de vivre
raffiné** et d'un peuple pour qui accueil et
hospitalité sont une règle de vie !

Partagez des moments exceptionnels
avec : **Mme Jalayerie** de l'Académie
d'astronomie, **Mme Endjavi-Barbé**, une
des 10 femmes les plus influentes du
Moyen-Orient et **M Patrick Rinngenber**,
un éminent spécialiste de l'Iran.

Un encadrement francophone

Un groupe de 25/30 personnes maximum
(Places limitées)

Téléchargez la documentation complète sur
www.croisieres-lecteurs.com/sv

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

INFORMATIONS ET RÉSERVATIONS

01 41 33 57 02

Du lundi au vendredi de 9h30 à 12h00 et de 14h00 à 18h00. Précisez le code : **SCIENCE & VIE**

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE & VIE - CIRCUIT IRAN - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9



OUI, je souhaite recevoir GRATUITEMENT et SANS ENGAGEMENT la documentation complète de ce Circuit Iran proposé par Science & Vie.

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Tél : Email :

☐ Oui je souhaite bénéficier des offres de Science & Vie et de ses partenaires

Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ☐ OUI ☐ NON

Conformément à la loi "Informatique et liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de suppression de ces données par simple courrier. Crédits photos ©ISTOCK. Ce circuit est organisé en partenariat avec SELECTOUR Bleu Voyages (Neige et Soleil Voyages SAS) - IMMATRICULATION IMO38120003 • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766). Science & Vie est une publication du groupe Mondadori France, siège social : 8 rue François Ory - 92543 Montrouge Cedex.

SCIENCE & VIE

CARDIOLOGIE

LE BATTEMENT DU CŒUR A ÉTÉ MIMÉ AVEC UN... ÉPINARD

Des chercheurs de l'Institut polytechnique de Worcester (Etats-Unis) ont pu mimer le fonctionnement du muscle cardiaque à partir d'une feuille d'épinard.

Ils ont d'abord perfusé la feuille avec des solutions chimiques afin d'éliminer les cellules végétales et obtenir une structure constituée uniquement d'un squelette de vaisseaux. *"Les nervures de la feuille d'épinard étant similaires aux veines et artères de notre corps, nous avons décidé d'en tirer parti"*, explique Glenn Gaudette, professeur d'ingénierie biomédicale.

Les chercheurs ont alors "ensemencé" cette armature végétale avec différents types de cellules humaines. Les cellules endothéliales ont colonisé l'intérieur

du réseau vasculaire de la plante, alors que les cellules cardiaques se sont implantées sur sa surface extérieure: les bases d'un cœur humain étaient jetées. Et cette réplique, mi-plante mi-animale, n'a pas tardé à prendre vie. *"Après cinq jours, les cellules se sont mises à battre!"*, se réjouit le directeur de l'équipe.

Cette expérience permet d'envisager de générer de grandes quantités de tissu vasculaire pour créer des portions entières d'organes humains à partir de plantes. *"Plutôt que de greffer un organe entier, nous pourrions remplacer sa partie malade"*, entrevoit Glenn Gaudette. Un enjeu crucial: en France, plus de 21 000 malades étaient en attente de greffe en 2015. **B.C.**



BIOLOGIE

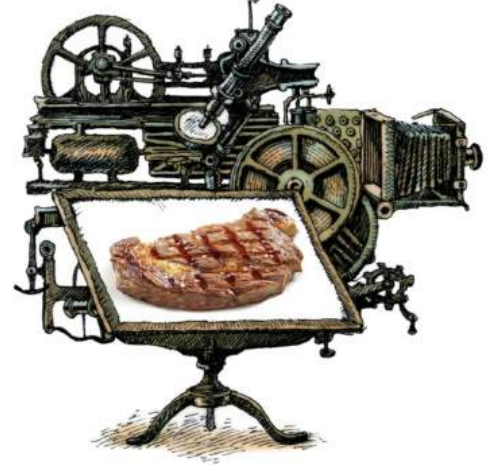
Des plaquettes seraient produites dans les poumons

Inattendu! Des chercheurs de l'Université de Californie ont montré que les poumons sont un centre de production de cellules sanguines, comme la moelle osseuse et la rate. Chez la souris, ils fabriquent 10 millions de plaquettes par heure! Ces organes peuvent également, si la moelle osseuse fait défaut, produire des cellules souches capables de donner naissance, notamment, aux cellules immunitaires. *"En cas d'infection, elles pourraient servir de défense de première ligne"*, projette Emma Lefrançais, qui a participé à ces expériences. **E.A.**

NEUROLOGIE

Des électrodes redonnent de la mobilité à un tétraplégique

Saisir sa fourchette, la porter à sa bouche... Des gestes que Bill Kochevar, un tétraplégique de 56 ans (photo), a pu effectuer à nouveau grâce à des électrodes implantées dans son cortex moteur, et à d'autres placées dans les muscles de ses membres supérieurs. Appliqué à l'humain pour la première fois, *"ce dispositif capte l'activité électrique du cerveau et la traduit en commandes de mouvement qui stimulent les muscles de façon appropriée"*, écrit Abidemi Bolu Ajiboye, l'un des chercheurs de l'université de Cleveland (Etats-Unis) à l'origine de cette prouesse. **C.H.**



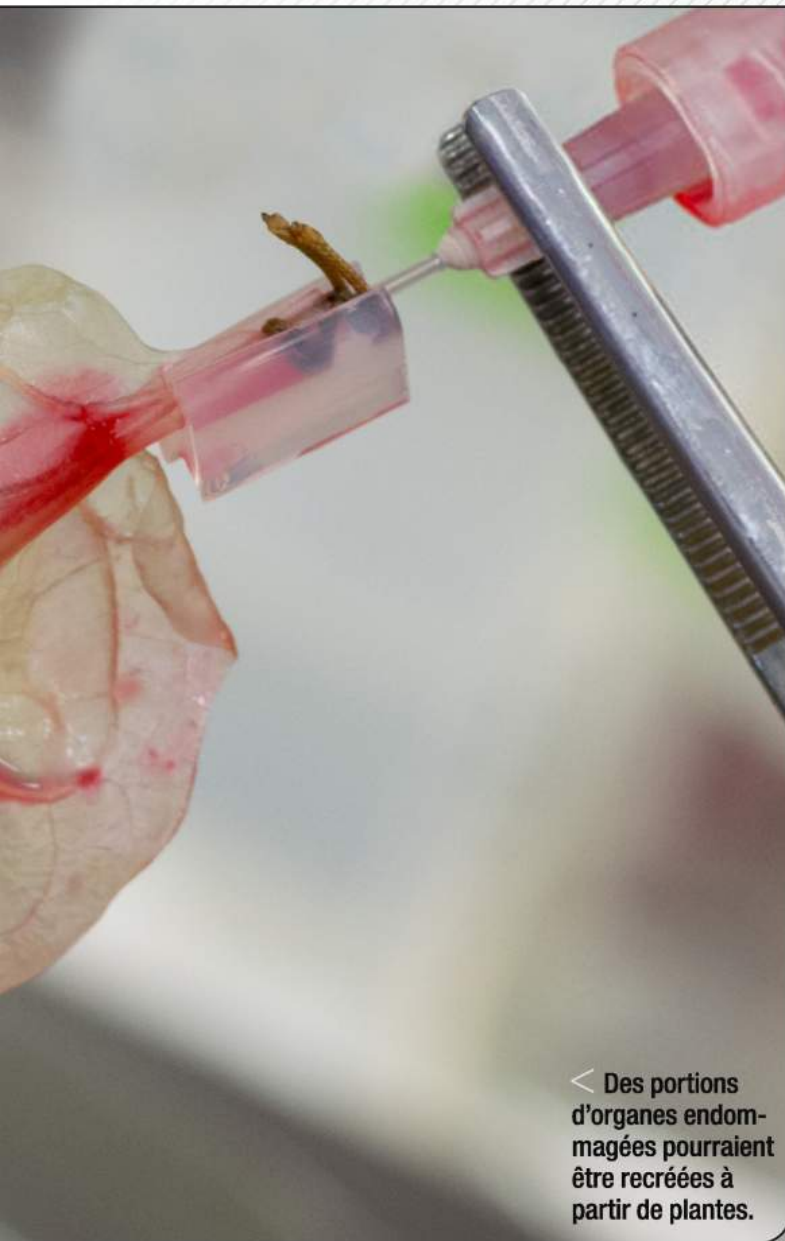
Manger des animaux âgés fait vieillir plus vite

Des chercheurs américains et coréens ont avancé l'hypothèse selon laquelle se nourrir d'animaux âgés accélérerait le vieillissement.

C'est ce que suggèrent les expériences menées sur des levures, mouches et souris, nourries respectivement avec des broyats de levure, de mouches, ou de cerfs plus ou moins vieux. Les sujets nourris à partir d'organismes âgés avaient une espérance de vie 6 à 20 % plus courte que ceux nourris à partir d'organismes jeunes. Un effet cependant pas statistiquement significatif chez les souris mâles, *"probablement parce que nous n'avons pas assez d'animaux pour le mettre en évidence"*, affirme Vadim Gladyshev, qui a dirigé les travaux à la faculté de médecine de Harvard.

Comment la vieillesse se transmettrait-elle ? *"Avec l'âge, des déchets cellulaires s'accumulent dans tous les organismes. Une partie de ceux contenus dans la viande issue d'un animal âgé passe probablement à travers la barrière intestinale, et contribue à endommager les cellules de l'organisme qui s'en nourrit"*, répond Vadim Gladyshev, qui se veut cependant rassurant : *"Ce mécanisme, s'il est à l'œuvre chez l'humain, a probablement peu d'effets."*

E.A.



< Des portions d'organes endommagés pourraient être recréées à partir de plantes.



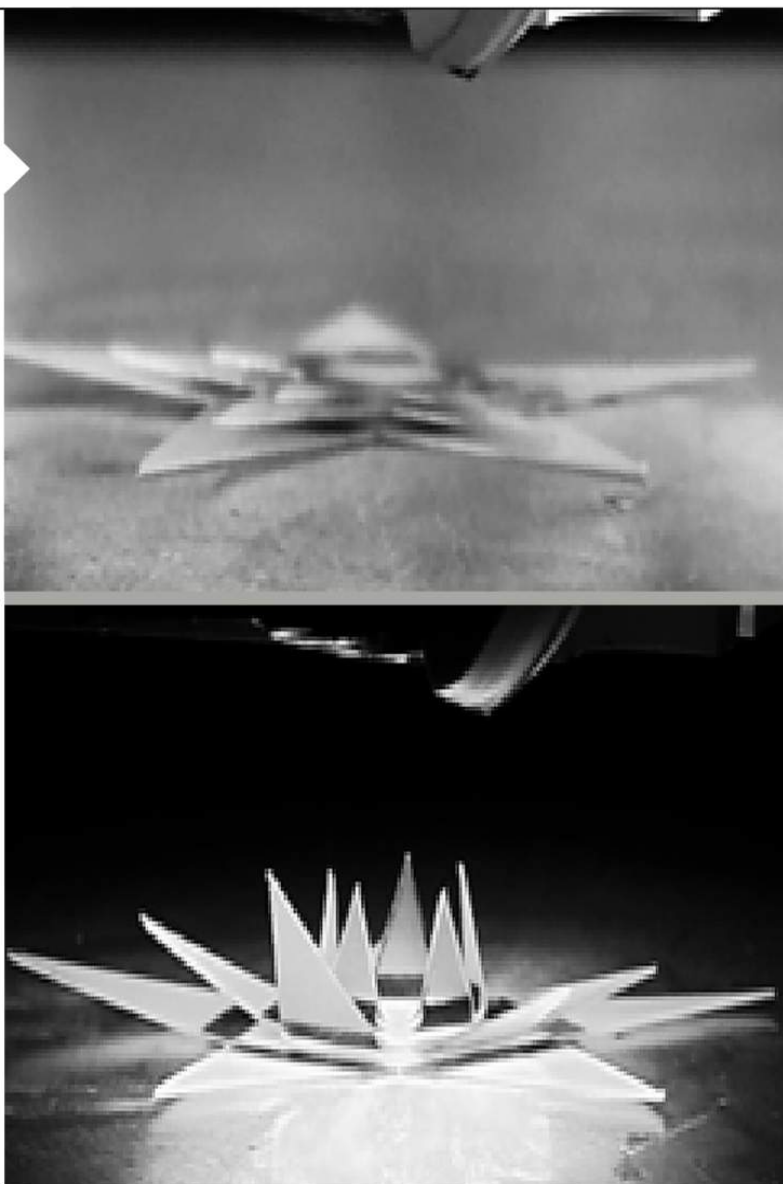
MATÉRIAU

LA LUMIÈRE EST CAPABLE DE PLIER DU PLASTIQUE

Des chercheurs de l'université de Caroline du Nord ont inventé un procédé qui permet à une feuille de plastique de se plier dans un ordre précis pour former une structure en trois dimensions sous l'action de la seule lumière. Leurs travaux ont été publiés dans la revue *Science Advances*. La recette? De l'encre colorée est imprimée aux endroits où l'on souhaite voir apparaître un pli. Lorsque la lumière atteint les charnières définies, l'encre l'absorbe, et le matériau plastique situé en dessous chauffe, entraînant sa contraction, et donc le pliage. *“Afin de définir l'ordre et la vitesse des pliages, on utilise des encres et lumières*

de plusieurs couleurs, car chaque encre absorbe les différentes couleurs d'une manière unique”, explique Michael Dickey qui a participé à l'étude. On peut donc contrôler la séquence de pliage en fonction de l'ordre d'exposition des encres aux couleurs. Par exemple, si une charnière est jaune et l'autre bleue, la lumière bleue sera absorbée par la charnière jaune, qui sera la seule à se plier.

Les applications de cette technologie seraient nombreuses: on pourrait réaliser des emballages automatiques à partir d'un paquet plat qui se transformerait en boîte, ou des autoassemblages d'éléments dans des environnements stériles.**S.F.**



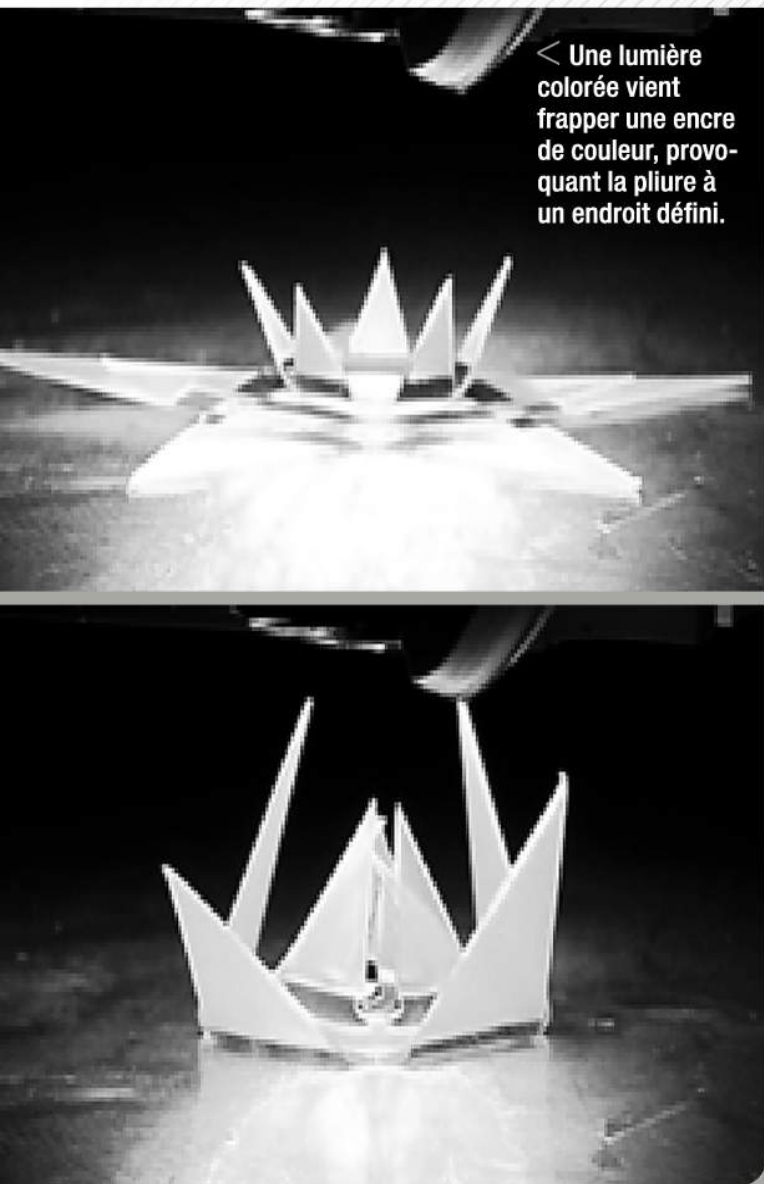
117 mètres

C'est l'envergure que devrait atteindre l'avion Strato-launch, en cours de construction en Californie. Long de 72 m, il sera le plus grand modèle aéronautique jamais construit. A terme, il devrait s'envoler dans la stratosphère pour servir de base de lancement à des mini-fusées, chargées d'envoyer des satellites en orbite basse... Le déploiement est prévu vers 2020. **M.V.**

IMAGERIE

Une caméra pour mieux voir le corps a été mise au point

Un prototype de caméra térahertz (THz – des ondes non destructives, au contraire des rayons X) a été mis au point par le spécialiste i2s en collaboration avec le CEA. Le principe? Chaque pixel correspond à un capteur à infrarouge qui permet de représenter un objet selon sa température d'émission. *“Les ondes viennent frapper chaque point, qui est numérisé puis transformé en niveau de gris”*, détaille l'ingénieur Alexandre Besson. Au-delà des laboratoires, cette caméra THz, la plus sensible au monde, devrait permettre notamment de détecter des cellules cancéreuses. **E.T.-A.**



< Une lumière colorée vient frapper une encre de couleur, provoquant la pliure à un endroit défini.



< Le capteur utilise les ondes térahertz (0,3 à 10 THz).

INTERFACE

Ce robot corrige ses erreurs grâce à la pensée humaine

À l'aide de casques d'électroencéphalographie posés sur des volontaires, des chercheurs de l'université de Boston associés au MIT ont détecté les signaux générés par le cerveau humain lorsqu'il s'aperçoit d'une erreur. Ces signaux, décodés par un algorithme, sont ensuite envoyés au robot pour lui apprendre à réagir en conséquence. Plus concrètement, l'expérience a consisté à observer un robot industriel Baxter, censé trier des bombes de peinture et des bobines de fil électrique dans deux boîtes différentes. Lorsque celui-ci était sur le point de se tromper, les cobayes ont ainsi pu le guider par la pensée pour corriger son erreur dans 70 % des cas. Selon Andrés Salazar-Gomez, qui a coordonné les travaux, *"nul besoin ici de penser à des mots ou à des gestes spécifiques pour produire une commande"*, comme c'est le cas habituellement. Une telle technologie pourrait être utilisée dans l'industrie afin d'améliorer l'apprentissage des robots, ou dans le cadre de la voiture autonome pour l'alerter sur un danger non perçu. **E.T.-A.**

> Les signaux émis par le cerveau humain lorsqu'il s'aperçoit d'une erreur sont reconnus par le robot sur le point de se tromper, qui corrige alors le tir.



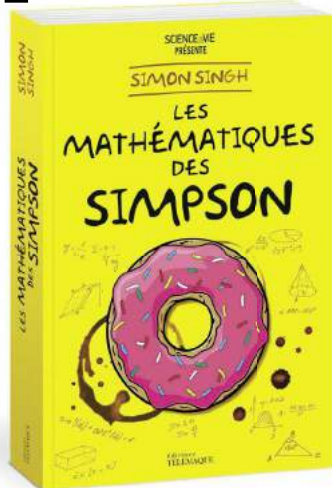
M. DICKEY ET AL. - L. GODART - J. DORFMAN/MIT/CSAIL

Les équations et autres raisonnements logiques... vus par les SIMPSON!

Voici de nouvelles perspectives fascinantes sur la célèbre série télévisée *The Simpsons*, mais aussi son dérivé, *Futurama*. L'auteur explique des concepts mathématiques intrigants et significatifs à travers des épisodes mémorables, de « Bart the Genius » à « Homer³ ». Retrouvez l'équation d'Euler,

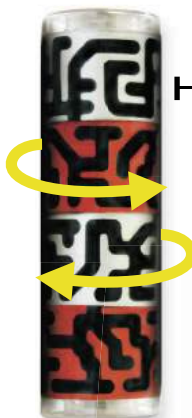
le théorème de Keller, π , le paradoxe de l'infini ou certains problèmes en suspens vus par les Simpson, sous un jour très nouveau. Basé sur des entretiens avec les auteurs de la série et illustré d'images explicatives, fac-similés de scripts, peintures et dessins, cet ouvrage donne un nouvel éclairage sur la série phare de Matt Groening et le sens des maths!

**PARTENARIAT
SCIENCE & VIE**



Les mathématiques des Simpson - 22 €

DIM. 14,5x21,5 cm. 304 pages. AUTEUR : SIMON SINGH. COÉDITIONS TÉLÉMAQUE ET SCIENCE & VIE.



Niveau de difficulté ★★★★★

Ce casse-tête va vous faire tourner en rond!

Grisant, le but de ce labyrinthe cylindrique rotatif est de faire descendre la bille jusqu'à l'extrémité en évitant les pièges, à travers 4 niveaux et sur des axes rotatifs indépendants.

**Déstressant
et ludique!**

**Patience, concentration et dextérité
sont les maîtres mots pour parvenir au bout!**

Labyrinthe cylindrique rotatif - 25,90 €

DIMENSIONS : DIAMÈTRE : 5 cm. HAUTEUR : 18 cm. POIDS : 197 g. MATIÈRE : PVC.

BIEN PLUS QU'UNE MONTRE !

**Sport &
fonctionnalités**



Adoptez cette montre multifonctions équipée d'une boussole, d'un thermomètre et d'un chrono. Elle indique les heures de coucher et de lever du soleil, les phases de la lune et elle est dotée d'un calendrier automatique en plus des alarmes.

Montre Casio Compass

DIAMÈTRE DU BOÎTIER : 47 mm. ÉPAISSEUR DU BOÎTIER : 14 mm. LARGEUR DU BRACELET : 26 mm. ÉTANCHÉITÉ : 100 m (10 bars). MOUVEMENT : QUARTZ. FONCTIONS : RÉTRO ÉCLAIRAGE, BOUSSOLE, THERMOMÈTRE (-10°C/+60°C), AFFICHAGE DES PHASES DE LA LUNE, LEVER ET COUCHER DU SOLEIL, HEURE UNIVERSELLE, 1/100 s - 24 HEURES, COMPTE À REBOURS - 1/1 SEC - 100 MINUTES, ALARME QUOTIDIENNE, BIP HORAIRE, MARCHÉ/ARRÊT BIP SONORE DES TOUCHES, CALENDRIER AUTOMATIQUE, FORMAT DE L'HEURE 12/24 HEURES. BOÎTIER ET BRACELET EN RÉSINE. GARANTIE 2 ANS. 1 PILE. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

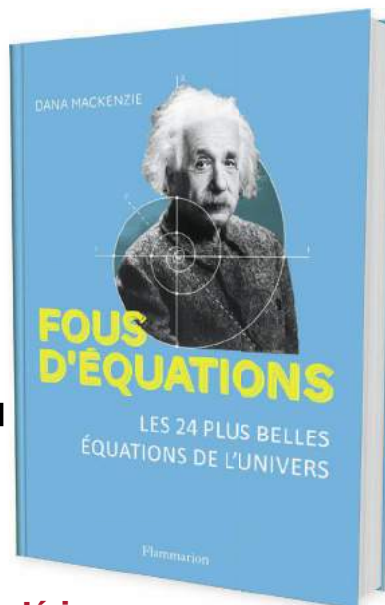
CASIO

99 €
seulement!

OU
3x33 €

LIVRAISON RAPIDE
COLISSIMO OFFERTE

PAIEMENT
3x SANS FRAIS



Mystérieuses et surprenantes équations...

Découvrez vite ce livre illustré dédié à 24 équations mathématiques mythiques, des Égyptiens et Babyloniens à aujourd'hui. Concises ou incroyablement complexes, elles ont toutes une histoire passionnante!

Fous d'équations - 22 €

AUTEUR : D. MACKENZIE. 224 pages. DIMENSIONS : 17,1x24,3 cm. FLAMMARION.

OGM ET SI C'ÉTAIT LE DÉBUT DE LA FIN ?

Vingt ans après leur apparition, les cultures de plantes transgéniques perdent pour la première fois du terrain. Et pour cause ! Rendements décevants, insecticides... Au-delà du débat sur leurs risques, les OGM n'ont pas tenu leurs promesses. Signant la fin d'une époque ? L'enquête d'**Yves Sciamma**.

L'information est passée quasiment inaperçue en France – elle est pourtant majeure, tant elle semble annoncer une nouvelle ère de l'agronomie mondiale. En 2015, pour la première fois, les surfaces plantées en OGM dans le monde ont reculé. Moins 1 %. Un recul certes timide... mais qui correspond à un renversement de tendance totalement inédit.

Il faut dire que depuis leur arrivée sur le marché en 1996, ces semences

transgéniques n'ont connu que l'expansion de leurs surfaces de culture. Aujourd'hui, elles couvrent 1,8 million de kilomètres carrés. Soit 13 % des terres arables mondiales.

"Jamais aucune technologie agronomique n'a connu une progression aussi rapide en champ – en vingt ans, les OGM ont été adoptés par des millions d'agriculteurs", souligne Delphine Guey, responsable du dossier biotechnologies au Groupement

national interprofessionnel des semences et plants (GNIS), défenseur inlassable des OGM.

Et voilà que le mouvement s'inverse. *"La courbe des surfaces OGM ne repartira pas à la hausse",* assure Delphine Guey. Au point que la question se pose : et si c'était le début de la fin pour ces fameux organismes génétiquement modifiés – en tout cas sous leur forme actuelle, dans laquelle une séquence complexe ➔

1996

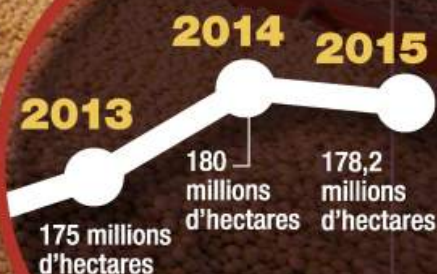
Commercialisation des premières semences transgéniques (1,6 million d'hectares).

1996-2014

Les surfaces de culture OGM (soja, maïs, coton et colza) augmentent pendant près de vingt ans, jusqu'à atteindre **180 millions d'hectares**.

Après l'essor, le déclin...

Après vingt ans de croissance ininterrompue, les surfaces plantées en OGM ont reculé pour la première fois en 2015. Pour rappel, un **organisme génétiquement modifié** est une variété dans laquelle une séquence complexe d'ADN étranger a été introduite (transgénèse), généralement via une bactérie. Les définitions varient selon les pays ; en Europe, les plantes issues d'une mutagenèse (induction de mutations) ne sont pas considérées comme des OGM.



-1,8 million

d'hectares : c'est le recul des surfaces plantées en OGM observé en 2015 (soit - 1 %).

Les 3 promesses non tenues des OGM

Le recul des OGM en 2015 témoigne d'une remise en cause de plus en plus forte de leur utilité. En particulier, trois principaux atouts "vendus" par les industriels ont échoué à convaincre.

1. Les rendements n'ont pas été dopés

C'était l'argument phare des fabricants d'OGM : en boostant les rendements agricoles, leurs semences transgéniques résoudraient rien de moins que la faim dans le monde ! Or, un rapport de l'Académie américaine des sciences a montré en 2016 qu'avec ou sans OGM, la production suivait la même progression... Des données qui corroborent celles de la FAO (voir ci-contre).

→ d'ADN étranger est introduite via un vecteur (voir la définition p. 41) ?

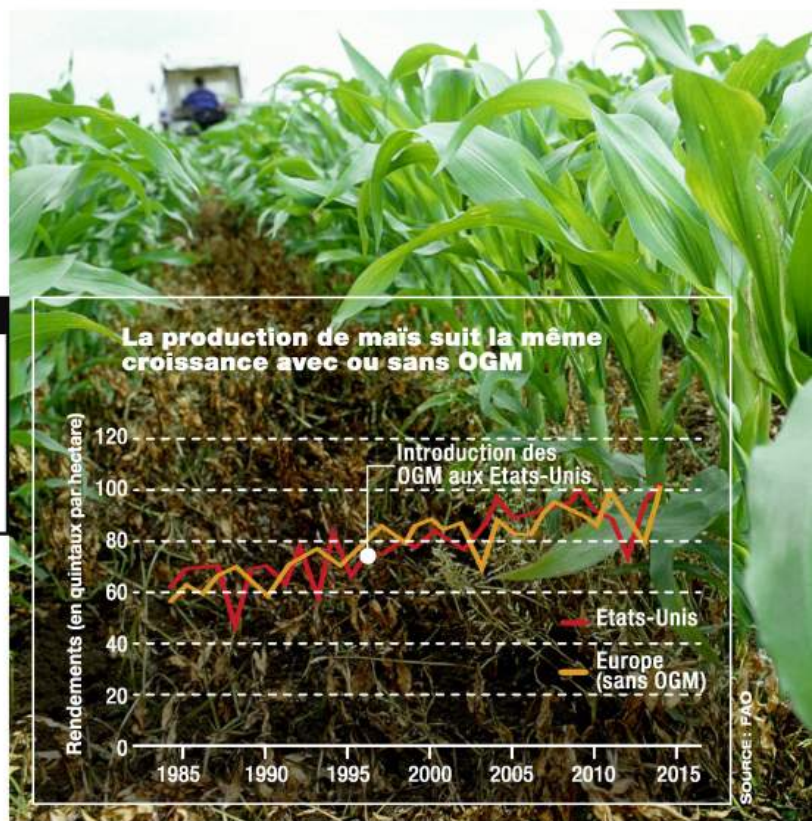
Si l'événement n'a pas fait les gros titres en France, c'est en grande partie parce qu'il n'aura pas de conséquence directe pour les agriculteurs français : soja, maïs, coton ou colza version OGM ne sont pas cultivés en France. Depuis 2009, la culture de tout OGM y est même strictement interdite, sauf pour des essais scientifiques. Pas de culture sur nos sols donc, mais une dépendance tout de même puisque le

monde agricole est tributaire d'importations massives de soja transgénique pour nourrir le bétail.

Ce premier recul des surfaces n'est pas un coup de tonnerre dans un ciel serein. Il traduit en réalité un certain nombre de déceptions induites par cette technologie, qui n'a pas toujours été à la hauteur des promesses des fabricants.

AUCUNE AMÉLIORATION

En témoigne un rapport-bilan publié quelques mois après cette annonce par l'Académie américaine des



sciences (NAS, institution qui a toujours soutenu la transgénèse). Si les conclusions sont plutôt favorables (notamment quant au bilan sanitaire des OGM, lire l'encadré ci-dessous), elles ne montrent cependant aucune amélioration des rendements à la suite de l'introduction d'OGM : avant ou après, notent les experts,

ils ont continué d'augmenter à la même vitesse !

Balayé, l'argument historique des industriels des OGM. Ils n'ont cessé de répéter que leurs semences transgéniques étaient les seules à même de nourrir une planète toujours plus peuplée. Ils ont assuré que, sans leur technologie, il serait impossible de doubler la production alimentaire mondiale d'ici à 2050, comme préconisé par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Et pourtant... Pour la production par hectare, le rapport de la NAS précise noir sur blanc que "les données nationales sur le maïs, le coton et le soja aux États-Unis ne montrent pas de signature significative de la technologie de

L'apocalypse sanitaire n'a pas eu lieu

Si les pro-OGM n'ont pas été avares de promesses, leurs adversaires ont, eux, multiplié les mises en garde sinistres. Or, conclut l'Académie américaine des sciences, "nous n'avons pas trouvé d'élément indiquant que les aliments issus d'OGM posaient davantage de problèmes sanitaires que les autres". Seuls quelques rares travaux contestent la sécurité des OGM, comme ceux menés en 2012 par Gilles-Eric Séralini, dans lesquels des rats nourris aux OGM avaient développé des tumeurs. Mais ces expériences, portant sur trop peu d'animaux et comportant des défauts de conception, n'ont pas convaincu. Quant au risque que des transgènes s'échappent dans la nature et finissent par générer des "super-insectes" ou des "super-mauvaises herbes" incontrôlables par l'homme, il a également fait long feu. Même si le pollen de maïs transgénique s'est révélé capable de voyager beaucoup plus loin que prévu...



x 12

C'est l'évolution de la consommation mondiale de glyphosate entre 1995 et 2015 (825 000 t/an).

2. Les mauvaises herbes ont résisté

Certains OGM ont été conçus pour résister aux épandages massifs de glyphosate (la molécule active du pesticide Roundup) et ainsi faciliter la destruction des mauvaises herbes. Sauf que ces dernières ont développé une résistance au pesticide, réduisant de fait l'intérêt de ces OGM.

3. Les économies sont plus faibles que prévu

D'autres OGM, porteurs de gènes "Bt" (ils produisent une toxine mortelle pour certains insectes), devaient permettre de réaliser des économies drastiques d'insecticides... Elles sont finalement assez modestes, le Bt n'étant pas efficace sur tous les insectes.



-15 %

C'est la réduction d'insecticides liée à l'introduction de coton OGM en Chine.

modification génétique sur la vitesse d'accroissement des rendements". En clair, les OGM n'ont pas dopé la production comme promis.

Dresser ce bilan a été plus difficile qu'il n'y paraît. Car contrairement aux processus industriels, parfaitement contrôlés, énormément de facteurs compliquent la comparaison dans le cas des biotechnologies végétales. "Une comparaison rigoureuse supposerait de confronter d'un côté une variété OGM, de l'autre une variété conventionnelle différant de la première seulement par les gènes modifiés, explique Claude Bagnis, généticien et membre du Haut Conseil des biotechnologies. Sinon, on s'expose à la critique d'avoir tout bêtement comparé une bonne et une

mauvaise variétés ! Mais il est rare de pouvoir faire une telle comparaison : les semenciers font évoluer leurs variétés chaque année, elles 'dérivent' donc, ce qui fait qu'au final on ne sait plus très bien ce qu'on a mis face à face..."

Autre problème, les semences poussent dans des conditions réelles beaucoup plus variables que celles des parcelles expérimentales. "Une culture OGM peut faire mieux qu'une conventionnelle sur une parcelle humide, et moins bien ailleurs. Elle peut mal supporter la chaleur, ou se montrer particulièrement vulnérable face à tel ou tel ravageur, qui n'est pas nécessairement présent partout, ni chaque année", souligne Christian Huyghe, directeur

scientifique adjoint à l'agriculture à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra). Toute étude comparative pourrait donc en théorie donner des résultats différents selon l'année ou la parcelle examinée.

Les conclusions du rapport de la NAS, qui a surmonté ces difficultés grâce à un nombre inégalé de données compulsées, n'en ont que plus de poids. Elles corroborent également les chiffres bruts de la FAO sur la période 1984-2014 (voir la courbe ci-dessus).

UN LOURD BILAN ENVIRONNEMENTAL

Désormais, donc, un consensus scientifique semble se faire autour de l'absence d'intérêt véritable de cette biotechnologie pour les rendements.

Mais ce n'est pas la seule déconvenue... L'avantage conféré par certains OGM dans la lutte contre les mauvaises herbes commence également à s'éroder. Ces plantes sont transformées pour devenir résistantes au glyphosate, la molécule active du célèbre pesticide Roundup. Ce qui permet au cultivateur de "sauter" l'étape du labourage pour désherber, puisqu'il lui suffit d'arroser ses champs avec le pesticide pour détruire toutes les mauvaises herbes sans abîmer sa culture génétiquement modifiée.

Malgré un surcoût d'environ 15 %, le gain de temps associé à ces OGM a convaincu de très nombreux agriculteurs

→ de les utiliser. Mais cet avantage n'est plus aussi net: la littérature scientifique décrit désormais des dizaines d'espèces de "mauvaises herbes" qui se sont adaptées au glyphosate, obligeant à augmenter le nombre d'épandages et les doses, voire à utiliser d'autres produits.

Pour l'environnement, le bilan n'est pas bon non plus: entre 1995 et 2015, la quantité de glyphosate

promettaient de réduire drastiquement les quantités d'insecticides nécessaires, et donc de réaliser des économies à la fois de temps de traitement et d'argent (les pesticides coûtant quelques euros à l'hectare). Elles portent en effet des gènes dits Bt (car issus de la bactérie *Bacillus thuringiensis*), qui leur font produire une toxine mortelle pour certains insectes, mais sans effets sur l'homme.

"Réécrire" le génome, c'est fabriquer des OGM ?

De nouvelles techniques de manipulation du génome (dont la plus connue se nomme CRISPR-Cas9, lire S&V n° 1180) font l'objet d'une recherche active... et promettent d'épineuses controverses. Comment qualifier les plantes issues de ces transformations ? Formellement, ce ne sont pas des OGM, car aucun ADN extérieur n'y a été introduit. Ces techniques permettent des opérations très fines, comme "détruire" un gène ciblé pour empêcher la production d'une substance indésirable. Elles agissent aussi sur des séquences dites "promoteurs" ou "inhibiteurs", des sortes de robinets situés autour des gènes et contrôlant leur expression. La plante pourra ainsi, par exemple, surexprimer des substances qui hâteront sa croissance, ou à l'inverse cesser de produire une molécule servant de porte d'entrée à un virus.

consommée dans le monde a été multipliée par 12 pour atteindre 825 000 tonnes par an. Selon les travaux de l'agronome américain Charles Benbrook, le développement des OGM tolérants au glyphosate est le premier facteur expliquant cette courbe.

Une seconde famille d'OGM voit également son intérêt discuté. Ces plantes

Or, après plus de vingt ans d'utilisation, les cultivateurs constatent que les économies réalisées sont difficiles à estimer. Elles varient énormément selon le parasite dominant dans la parcelle de l'agriculteur: négligeables les années où les principales attaques sont le fait d'insectes suceurs (pucerons, cochenilles, etc.), sur lesquels le Bt est

sans effet), et à l'inverse énormes, jusqu'à 75 %, en cas d'attaques de pyrales, des chenilles très sensibles à la toxine. Une étude récente sur l'introduction du coton OGM en Chine, citée dans le rapport de la NAS, chiffrait à environ 15 % la réduction globale d'insecticides – un avantage certain, donc, mais pas révolutionnaire.

LA FIN DES "VIEUX" OGM

Des rendements décevants, des mauvaises herbes devenues résistantes aux pesticides, des gains de temps et d'argent pas toujours au rendez-vous... Voilà de quoi expliquer que le modèle s'essouffle ! Christian Huyghe ne s'en dit d'ailleurs pas surpris. Le chercheur de l'Inra rappelle qu'il n'y a guère eu de percée innovatrice en transgénèse depuis des années, et que les fabricants se limitent pour l'essentiel à raffiner et combiner de diverses manières ces deux grandes familles d'OGM appliquées aux quatre principales cultures: soja, maïs, coton et colza.

"Le marché sature parce qu'il n'y a pas eu de nouvelle offre et que l'essentiel des cultures éligibles est désormais converti – c'est ce qu'on appelle une technologie mature, en termes économiques, explique-t-il. En l'absence d'innovation, on peut même envisager que les surfaces se mettent à reculer si le service rendu s'atténue, par exemple avec les mauvaises herbes et les insectes qui s'adaptent."

Du côté de Monsanto, le leader mondial des OGM,

on estime que les plantes génétiquement modifiées *"sont encore là pour longtemps, car les agriculteurs comme les filières y sont attachés et les demandent"*, affirme Yann Fichet, directeur France des affaires institutionnelles et financières de la multinationale semencière. Mais, signe qui ne trompe pas: Monsanto indique aussi ne pas mener de recherches sur de nouvelles espèces de plantes OGM... Même dans le futur, son fonds de commerce transgénique restera donc bien limité au quatuor soja-maïs-coton-colza.

Aussi étonnant que cela paraisse, le GNIS (l'organisation professionnelle des semenciers français) admet sans ambages que *"la technique de la transgénèse est un peu vieille et relativement imprécise"*. Delphine Guey, son experte OGM, explique: *"On est en train de voir arriver diverses technologies plus pointues, notamment CRISPR-Cas9 [lire l'encadré ci-contre], qui sont bien plus prometteuses."*

On le comprend, les semenciers n'ont évidemment pas l'intention de sortir des biotechnologies ! Derrière ce déclin des OGM "à l'ancienne" se profile donc surtout un passage à de nouvelles méthodes prévues pour être à la fois plus efficaces et plus propres, au point de rendre caducs les "vieux" OGM. Avec, parions-le, de nouvelles promesses mirifiques, et autant de controverses passionnées...



TOUS LES VOYAGES VOUS CONCERNENT.





$$p(n) \leq \frac{p(n-1) + p(n+1)}{2}$$

$$-3k^2 + k) + \sum_{k=1}^n p(n-4k^2 + 3k) + p(n-4k^2 - 3k)$$

$$(n) = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \left(p\left(n - \frac{3k^2 - k}{2}\right) + p\left(n - \frac{3k^2 + k}{2}\right) \right)$$

$$p(n) = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \left(p\left(n - \frac{3k^2 - k}{2}\right) + p\left(n - \frac{3k^2 + k}{2}\right) \right)$$

$$2(3n\sqrt{24n-1} - 18) \frac{\sqrt{24n-1}}{6}$$

$$\sqrt{72n-3}(24n-1)\pi$$

$$p(n) = \frac{\pi}{2\sqrt{54\left(n - \frac{1}{24}\right)}} \sum_{k=1}^n \frac{A_k(n)}{k^{\frac{3}{2}}} \left(\sqrt{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{n - \frac{1}{24}} \right)$$

$$\sum_{k=1}^n f(k) = c + \int_0^x f(t) dt + \frac{1}{2} f(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{B_{2k}}{(2k)!} f^{(2k-1)}(x)$$

$$p(n) = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \left(p\left(n - \frac{3k^2 - k}{2}\right) + p\left(n - \frac{3k^2 + k}{2}\right) \right)$$

$$F(S_t) = F(0) + \int_0^t F'(S_s) dS_s + \frac{1}{2} \int_0^t F''(S_s) dS_s + \frac{1}{2} \int_0^t F'''(S_s) dS_s$$

$$(-1)^{k+1} \left(p\left(n - \frac{3k^2 - k}{2}\right) + p\left(n - \frac{3k^2 + k}{2}\right) \right)$$

REPENSER LE MONDE

LES 7 FORMULES DU xxi^{e} SIÈCLE

Il y eut le théorème de Pythagore. Il y eut $E = mc^2$. Et tant d'autres formules prodigieuses, d'où le monde sortit à chaque fois transformé ! Mais aujourd'hui ? Et demain ? Car tout n'est pas résolu, loin s'en faut. Qu'il s'agisse du Temps, de la Matière, de la Vie extraterrestre ou encore de l'Intelligence, bien des mystères demeurent. Sept au bas mot ! Or, pour chacun d'eux, voici que des équations détiennent peut-être la solution de l'énigme. Sept "formules magiques" qui, dans leur domaine respectif, possèdent le pouvoir de repenser complètement notre monde en dévoilant ses principes secrets. Avant qu'une seule équation ne donne la clé de Tout ? C'est bien le défi.

PAR ROMÁN IKONICOFF AVEC MATHILDE FONTEZ,
MATHIEU GROUSSON, HERVÉ POIRIER, BENOÎT REY

À LA
UNE

Qu'est-ce que l'intelligence? Pourquoi le temps s'écoule-t-il? Comment se structure l'Univers? Et les particules élémentaires? La complexité du monde? Sa structure? Et la vie ailleurs, dans le cosmos? Les questions fondamentales s'égrènent, encore sans réponse, englobant les grands thèmes de la science d'aujourd'hui. Sept interrogations pour repenser le monde... auxquelles se proposent de répondre sept formules.

Comme par magie?

Dès qu'on parle de formule, en effet, on pense malgré soi "formule magique". Face aux mystères du monde et aux secrets de la vie, l'idée qu'une formule puisse apporter la solution est déjà un baume. Cela vaut aussi pour la science, qui n'a eu de cesse de mettre en équation les phénomènes physiques, le temps et l'espace, et même l'Univers. Que l'on songe à $E=mc^2$. Avant la célèbre formule d'Einstein, temps et espace étaient séparés. Mais depuis, plus personne ne doute de la réalité de cet espace-temps, dont on décrit le destin depuis le big bang!

Mais d'où vient la puissance des formules? Quelle magie, justement, se cache derrière ces signes kabbalistiques beaux et effrayants, ces nombres et ces symboles, ces lettres grecques, ces \int , Σ , \log , π , etc.? Faut-il que tout ce qui existe soit ainsi crypté pour devenir enfin compréhensible? Les mots ne suffisent-ils pas? Finalement, il ne s'agit que de cela: une formule est ni plus ni moins que la traduction d'une déclaration en langage mathématique.

D'ailleurs, les premières équations se passaient de symboles. L'une des plus emblématiques et des plus anciennes, celle de Pythagore, a été formulée en une simple phrase: *"Dans les triangles rectangles, le carré du côté sous-tendant l'angle droit est égal aux carrés des côtés comportant l'angle droit."*

Mais à mesure qu'elle explorait les phénomènes, la science en est arrivée à la conclusion que les mots se révélaient trop imprécis, trop limités pour

constituer une voie efficace vers les plus profonds aspects du réel. Peut-être sont-ils trop teintés de présupposés humains? L'homme a en tout cas éprouvé le besoin de se doter d'un langage plus précis, d'une grammaire à la fois logique et universelle, grâce à laquelle il deviendrait possible de déduire des conséquences de manière systématique. Et de l'organiser autour du signe "=", pierre angulaire de toute mise en équation.

Ainsi, c'est en travaillant sur les expressions mathématiques qu'au XIX^e siècle, le savant écossais James Clerk Maxwell s'est rendu compte qu'électricité et magnétisme étaient liés. *"A partir de quelques calculs simples sur les équations qui décrivaient alors l'électricité et le magnétisme, Maxwell en a trouvé une nouvelle: celle qui décrit les ondes. Il a alors compris que la lumière... est une onde électromagnétique, nous rappelle Ian Stewart, mathématicien à l'université de Warwick et auteur d'un livre sur les équations. Une découverte extraordinaire! Rien avant le calcul par Maxwell ne laissait supposer l'existence d'un lien si fondamental entre la lumière, l'électricité et le magnétisme."*

DIRE LE MONDE... ET LE CHANGER

C'est l'un des exemples les plus convaincants de la puissance du formalisme mathématique: il aurait été quasiment impossible, avec des mots, de penser le lien unissant électricité et magnétisme. Telle est la magie des formules mathématiques. *"Les équations font plus que simplement reformuler les mots en symboles, insiste le mathématicien. Elles placent ces déclarations dans un contexte où des déductions logiques précises peuvent être faites, juste en appliquant certaines*

Le signe "=" est la clé de tout

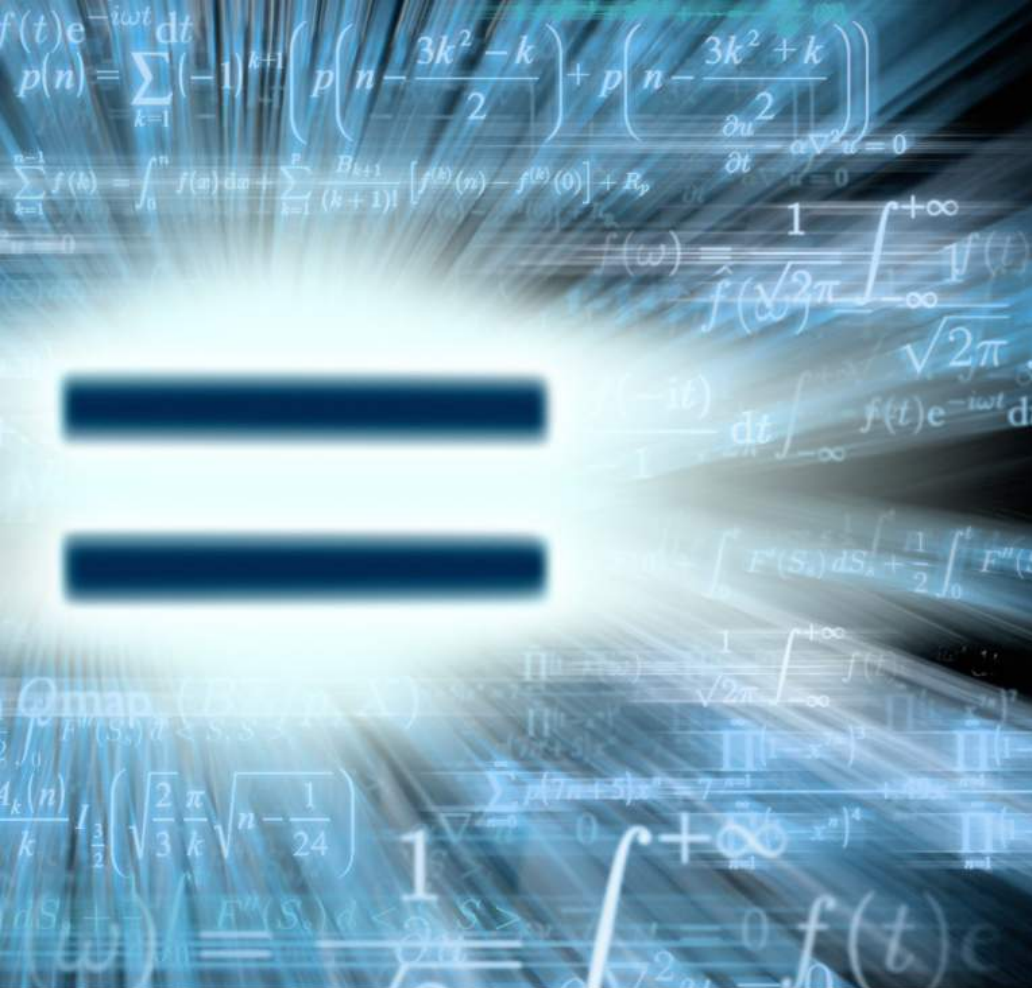
Le signe "égal" a été inventé il y a 450 ans par le mathématicien gallois Robert Recorde, qui choisit ce symbole car *"deux choses ne sauraient être plus égales que deux droites parallèles"*. Pendant plus de 2000 ans, la science a donc dû faire sans, mais le principal était là: l'expression "est égal à". Trois mots qui confèrent à l'équation toute sa force: ils nous disent que des choses en apparence différentes sont en fait identiques. Et c'est l'émergence de ces liens entre objets, entre phénomènes qui fait apparaître les schémas profonds de l'Univers. *"En lisant les histoires racontées par les équations, on dévoile des caractéristiques du monde qui nous entoure"*, résume Ian Stewart, mathématicien à l'université de Warwick.

règles de calcul." Voilà un des beaux paradoxes de la science: c'est en prenant de la distance par rapport au monde, en l'écrivant en langage mathématique, qu'elle parvient à s'en rapprocher jusqu'à l'élucider...

Ainsi, au fil des siècles, formule après formule, le monde s'est-il dévoilé. $a^2+b^2=c^2$; $e^{i\pi}+1=0$; $F=ma$; $E=mc^2$... les grandes équations du passé (lire l'encadré ci-contre) ont révélé la géométrie cachée sous les apparences, décrit la forme des vagues et des ondes, rendu prévisible le mouvement des corps, fusionné l'espace et le temps. Un édifice cohérent s'est constitué grâce à l'unité de ce langage crypté. La lumière de la connaissance a réussi à percer les secrets de la réalité et, dès lors, ouvert la voie à sa compréhension, mais aussi à la possibilité de la changer.

Les sept formules que nous avons sélectionnées promettent de poursuivre l'aventure. Mathématiciens,





Quatre grandes formules du passé

La formule de Pythagore

$$a^2 + b^2 = c^2$$

En décrivant, vers 530 av. J.-C., comment les trois côtés d'un triangle rectangle sont liés, Pythagore (ou l'un de ses disciples) établit un lien fondamental entre géométrie et arithmétique... dont la généralisation conduira notamment à la Relativité générale.

La formule de Newton

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Avant 1687 et la publication par Isaac Newton de ce principe fondamental de la dynamique, le mouvement est encore un concept flou. Grâce à cette formule, on peut désormais décrire toutes les trajectoires : l'accélération d'un objet ne dépend que de sa masse et de l'intensité de la force qu'on lui applique.

La formule d'Euler

$$e^{i\pi} + 1 = 0$$

En reliant cinq nombres emblématiques (0, 1, pi, e et le nombre imaginaire i), cette égalité formulée par le mathématicien suisse Leonhard Euler en 1748 donne corps aux nombres complexes, appelés à bouleverser l'algèbre, la trigonométrie et la mécanique quantique.

La formule d'Einstein

$$E = mc^2$$

Cette formule, écrite en 1905 par le physicien allemand Albert Einstein en marge de sa théorie de la Relativité restreinte, est devenue le slogan de la science. Elle dévoile la quantité faramineuse d'énergie cachée dans la matière, et fusionne l'espace et le temps dans un nouveau concept : l'espace-temps.

biologistes, psychologues, physiciens, neuroscientifiques misent sur elles. Elles sont à l'ébauche. Certaines sont mathématiquement démontrées, mais il reste à comprendre ce qu'elles nous disent précisément du monde. D'autres sont des hypothèses, presque des intuitions, encore à confirmer, ou bien des édifices incomplets qui, sans ajout, ne pourront prétendre révéler la réalité du monde. Le "=" de $E=mc^2$ ne souffre aucune discussion. Pour nos sept équations, tout le travail reste à faire. "=" représente ici l'enjeu du futur... C'est ce qui fait leur intérêt.

Mais pour être "magiques", ces formules ne tombent nullement du ciel. Au contraire ! Toutes se juchent sur les épaules de géants, pour reprendre l'expression de Newton : derrière elles sont tapies des dizaines, des centaines d'autres équations. Elles emportent avec elles une bonne partie des savoirs fondamentaux patiemment constitués dans le passé. Sous l'équation de Boltzmann et sa formule du temps se terrent les équations de la physique statistique, de la mécanique des fluides et de la thermody-

namique du XIX^e siècle (p.50). La formule de l'Univers $ER=EPR$ s'appuie, elle, sur les théories de la Relativité générale et de la physique quantique (p.58). $P=NP$, la formule de la simplicité, s'appuie pour sa part sur toute la théorie du calcul, de l'algorithmique et de l'informatique (p.52). Tandis que la formule de l'intelligence embrasse les théories probabilistes et, peut-être, de la cognition (p.54). Et si le programme de Langlands englobe une grande partie des concepts inventés par les mathématiciens (p.60), la théorie du modèle standard qui formule la matière regroupe ce que l'on sait de la physique des particules et de la cosmologie (p.62). Enfin, l'égalité de Drake sur la vie extraterrestre s'appuie sur la biologie et la planétologie (p.56).

Ce sont bien ces sept formules qui, en ce début de XXI^e siècle, dessinent les contours de l'avenir. Peut-être que parmi elles se cache le prochain $E=mc^2$. Peut-être seront-elles enseignées doctement à nos arrière-petits-enfants. Ils penseront alors, émus, à ce temps où elles étaient si fragiles, si débattues, et si prometteuses. **M.F.**

LA FORMULE DU TEMPS

Il y a un problème avec le temps. Que l'on peut formuler ainsi : à notre échelle, le temps s'écoule. Les phénomènes se déroulent, les fumées se dissipent, les liquides se mélangent, le tout de manière irréversible. Comment est-ce possible alors qu'à l'échelle microscopique, les particules s'agitent de manière aussi désordonnée et aléatoire ? Comment, d'un monde microscopique intemporel et informe, notre monde macroscopique temporel et déterministe peut-il émerger ?

La réponse pourrait se cacher au cœur d'une formule connue depuis 140 ans... Une équation "*assez merdique*", selon les termes de Laure Saint-Raymond (ENS de Lyon), qui l'étudie depuis plusieurs années. Tout comme bien d'autres mathématiciens, dont plusieurs lauréats de la prestigieuse médaille Fields.

Cette équation, dite de Boltzmann, fonctionne comme un travelling arrière au cinéma : à partir d'un plan rapproché de particules qui s'entrechoquent, la caméra s'éloigne, faisant perdre de vue les entités individuelles pour ne plus laisser apercevoir que des volutes gazeuses. Seul ce dernier point de vue nous est familier. La vue rapprochée est, elle, purement imaginaire. Elle a été inventée de toutes pièces par l'Autrichien Ludwig Boltzmann au XIX^e siècle, bien avant que la physique quantique montre que le monde des particules n'a rien d'un jeu de billard.

DEUX "MONDES" CONTRADICTOIRES

Elle demeure pourtant terriblement efficace. De nombreuses autres équations en sont dérivées, toutes validées par l'expérience. De quoi fonder un nouveau domaine : la mécanique statistique, qui englobe circonvolutions des fluides autour des bateaux et physique

des trous noirs.
"D'une certaine manière, Boltzmann 'encode'

beaucoup d'équations de la physique", résume Isabelle Gallagher (Paris VII).

Surtout, cette formule lie le monde microscopique au monde à notre échelle. Comment réalise-t-elle ce tour de force ? Dans les faits, elle se contente de compter le nombre de configurations d'un système de particules pour le lier au niveau de désordre à grande échelle. À droite du signe égal s'agitent les particules. Leur mouvement est réversible, une particule pouvant toujours revenir à sa position initiale ; passé et futur sont symétriques : pour elles, c'est comme si le temps n'existait pas. À gauche s'étend un gaz qui va, par exemple, se dilater pour occuper tout l'espace. Le phénomène est irréversible, le système évolue dans le temps : jamais on ne verra le gaz se reconcentrer spontanément.

Mais à quel niveau de zoom a lieu le passage ? Selon quel principe les lois réversibles des mouvements individuels, dont la base mathématique est l'analyse classique, s'effacent-elles au profit des lois irréversibles de la multitude, reposant sur la statistique et la mathématique des grands nombres ?

Ces deux régimes de lois si différents, voire contradictoires, coexistent forcément dans la nature, puisque toute collection massive de particules (de

*Grâce à cette équation,
on comprend beaucoup
mieux où l'irréversibilité
apparaît*

“
”

LAURE
SAINT-RAYMOND

Mathématicienne à
l'ENS de Lyon,
spécialiste
de la formule


$$S = k_b \log(W)$$

la pomme à la Terre en passant par l'homme) est composée... de particules individuelles. Boltzmann est censé les avoir mariés dans un seul mouvement de travelling, mais voilà : on ne sait pas où. *"On a le plus grand mal à se servir de la formule pour des simulations : dès qu'on tente de la traduire en un algorithme, on ne sait pas si celui-ci reproduit bien ce qu'elle dit*, décrit Laure Saint-Raymond. *Mathématiquement, elle est à la limite du non-sens !"*

Tout porte à croire, ajoute Vincent Ardourel, philosophe de la physique à l'université catholique de Louvain, que *"Boltzmann a, sans le vouloir, injecté de l'irréversible dans son équation"*. Pour la construire, le savant a fait des hypothèses osées, notamment sur la manière dont les particules interagissent, qui contiendraient déjà le principe d'irréversibilité. Dans ce cas, la supposée émergence naturelle de l'irréversible dans l'équation de Boltzmann serait une illusion. L'équation serait bien, *in fine...* *"merdique"*.

Les résultats les plus récents semblent toutefois indiquer que non. *"Avec Laure Saint-Raymond et Thierry Bodineau, nous avons mis en scène les équations du mouvement des particules d'un gaz à l'équilibre"*, rapporte

Isabelle Gallagher. Ils ont pu suivre trente d'entre elles individuellement, et observer *"les prémices mathématiques de ce qui pourrait ressembler au phénomène de transition entre les deux régimes"*. Mais cette expérience de pensée a porté sur un cas très particulier, bien loin de la réalité... *"On comprend beaucoup mieux où l'irréversibilité apparaît*, souligne Laure Saint-Raymond, *mais de là à dire qu'on démontrera la validité de l'équation dans six mois ou dans un siècle... impossible à prévoir."*

En attendant, la nature, qui ignore superbement Boltzmann et nos préoccupations, réussit ce passage du réversible vers l'irréversible. Une provocation permanente, comme un défi lancé aux mathématiciens pour continuer la plongée dans ce qui, à ce jour, est la seule formule du temps qui passe dont ils disposent.

R.I.

COMMENT LA LIRE

S désigne l'entropie d'un système physique macroscopique, soit la mesure de son désordre, qui a tendance à augmenter s'il est laissé libre d'évoluer.

k_b est la constante de Boltzmann, fixée à $1,38 \times 10^{-23}$ joules/kelvin.

log est la fonction mathématique logarithme népérien, qui croît très lentement.

W désigne le nombre d'états dans lesquels peuvent être les particules de ce système.

CE QU'ELLE DIT

La formule relie le monde macroscopique, où les processus naturels sont irréversibles, au monde microscopique des particules, où les processus sont réversibles dans le temps.

D'OÙ ELLE VIENT

Elle a été établie par le physicien et philosophe autrichien **Ludwig Boltzmann** en 1877, en appliquant les lois de la mécanique connues à son époque, celles de Newton.

À LA UNE

LA FORMULE DE LA SIMPLICITÉ

“ P est-il ou non égal à NP ?” Simplissime dans son énoncé, la question fait partie des sept problèmes du millénaire posés par l’Institut de mathématiques Clay en 2000, dotés chacun d’un prix de 1 million de dollars. Mais elle est à part dans cette liste: “*Si quelqu’un découvrait que $P=NP$, il pourrait résoudre tous les autres problèmes!*” affirme carrément Scott Aaronson, l’un des meilleurs spécialistes de la question.

Si ce problème domine les autres, c’est qu’il interroge directement notre difficulté à les résoudre. Il demande en effet si cette difficulté est intrinsèque ou si, avec un peu plus de jugeote, nous serions capables de trouver aisément la réponse.

Une question qui concerne non seulement les mathématiques, mais aussi les théories et modèles physiques, biologiques ou géologiques dont elles sont l’armature, ainsi que les problèmes complexes rencontrés dans l’industrie, les transports, les réseaux, le cryptage, la génétique...

En réglant cette seule question, c’est-à-dire en démontrant soit que $P=NP$, soit que $P \neq NP$, nous saurions enfin si le monde est vraiment aussi complexe qu’il en a l’air...

La formule, en soi, est facile à comprendre. P et NP sont deux classes

de problèmes que l’on peut résoudre par le calcul – soit une grande partie des problèmes scientifiques exprimables par le langage logico-mathématique. P regroupe ceux qui sont faciles à calculer (en termes de temps de calcul), et NP ceux qui sont difficiles à calculer, mais faciles à vérifier.

LA COMPLEXITÉ JUSTE APPARENTE ?

Un exemple: une table est dressée pour des invités placés par ordre alphabétique. Un nouvel invité arrive. Où le faire asseoir? Facile: entre les deux invités dont les noms précèdent et suivent le sien. Ce problème est classé P . Mais si les invités sont placés suivant des critères de compatibilité d’humeur? Une arrivée inattendue oblige à passer en revue toutes les configurations jusqu’à tomber sur une qui respecte les préférences de chacun – si elle existe! Le nombre de combinaisons à tester explose avec le nombre d’invités: c’est un problème NP .

Mais voilà: mathématiquement parlant, personne n’a jamais démontré que les problèmes NP sont difficiles à résoudre en soi. Un petit génie ou un programme d’intelligence artificielle pourrait découvrir un mode de calcul qui trouverait facilement le plan de table parfait. Cela s’est d’ailleurs déjà vu. En 2002, des chercheurs indiens

ont mis au point un test rapide qui permet de savoir si un nombre est premier en court-circuitant la “force brute” des longs calculs (qui consiste à essayer toutes les solutions possibles). “*Toute la difficulté est de prouver que la recherche par force brute est vraiment impossible à court-circuiter... et pas seulement qu’elle nous apparaît ainsi*”, résume Scott Aaronson.

Avouons-le: les avancées dans ce domaine sont parfaitement cryptiques pour les profanes. Mais la possibilité que P soit égal à NP fait planer l’éventualité d’un gros chamboulement calculatoire dans tous les domaines.

Et cela va même plus loin. “*C’est bien plus qu’un problème mathématique*”, explique Scott Aaronson. “*C’est une question qui interroge le raisonnement mathématique lui-même.*” Car le travail d’un mathématicien est un problème de classe NP : la preuve d’un théorème semble souvent difficile à trouver, mais sera toujours facile à vérifier. Cet énoncé formalise donc la rencontre entre le monde et notre

C’est bien plus qu’un problème de mathématiques: c’est une question qui interroge le raisonnement lui-même

“ SCOTT AARONSON

Théoricien de la complexité à l’université du Texas

P=NP

ingéniosité. Et laisse la possibilité, si $P=NP$, d'automatiser la créativité des chercheurs. *"En tout cas, celle dont les fruits peuvent être rapidement vérifiés par des programmes que nous saurions écrire"*, pondère le théoricien.

"Ce serait une grosse surprise, pense Pascal Koiran, au Laboratoire de l'informatique du parallélisme (ENS de Lyon). Nous voyons bien que la démonstration d'un théorème est bien plus difficile que sa vérification. C'est l'un des arguments intuitifs qui nous font pencher du côté $P \neq NP$."

Pour Michel de Rougemont, à l'Institut de recherche en informatique fondamentale, *"tous les mathématiciens croient à cette séparation profonde entre la création d'une preuve et sa vérification. C'est exactement pour cela qu'on cherche la réponse"*.

UNE INTUITION, MAIS PAS DE PREUVE

Les jeux restent ouverts. En 2002, à la suite de la découverte du test des nombres premiers, 9 % des spécialistes de la théorie de la complexité pensaient que $P=NP$, 61 % que $P \neq NP$, 22 % ne se prononçaient pas et 8 % optaient pour des voies alternatives, comme la possibilité qu'il n'y ait pas de réponse à la question... Quinze ans plus tard, la balance continue de pencher en faveur d'une différence entre P et NP . Mais toujours pas de preuve...

"Je n'ai pas l'impression qu'on soit proche de la solution", avance Pascal Koiran. *"On a fait des progrès fulgurants depuis les années 1970, mais je crois qu'il nous manque des idées cruciales"*, avoue Michel de Rougemont. Scott Aaronson le rappelait sur son

blog le 3 janvier: si quelque chose a bien été prouvé, c'est qu'il ne peut y avoir de réponse triviale à la question.

Il ne sera donc pas facile de savoir jusqu'à quel point notre monde est complexe. On pouvait s'en douter... Au moins possède-t-on une formule pour en avoir le cœur net. **R.I.**

COMMENT LA LIRE

P désigne la classe des problèmes qui peuvent être rapidement résolus par un algorithme.

NP désigne la classe des problèmes qui sont *a priori* longs à résoudre, mais dont on peut rapidement vérifier une solution si elle nous est donnée.

CE QU'ELLE DIT

La formule pose la question: ces problèmes **NP** ne seraient-ils pas plutôt des problèmes **P**? Autrement dit, les problèmes qui nous semblent complexes le sont-ils vraiment ?

D'OÙ ELLE VIENT

La question, née au début des années 1970, a pour point de départ les travaux de l'informaticien américain **Stephen Cook** et, en parallèle, de l'informaticien soviétique **Leonid Levin**.

À LA UNE

LA FORMULE DE L'INTELLIGENCE

Et si la capacité des êtres vivants à réagir, à faire des choix, à anticiper, à imaginer, bref, à être intelligent, tenait dans cette petite formule ?

La question semble délirante, presque antinomique – enfermer l'intelligence dans une formule ? Et pourtant, elle passionne de plus en plus de neuroscientifiques, de biologistes et de chercheurs en intelligence artificielle. Comme Pierre Bessière, à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (Paris), qui s'interroge : *“Est-ce un outil mathématique très efficace pour la recherche scientifique, ou carrément un mécanisme fondamental du vivant ? C'est toute la question.”*

Il faut dire que cette formule, dite de Bayes, est désarçonnante de simplicité et d'efficacité. Prenons un exemple. Il y a une épidémie de grippe et vous ressentez des frissons. Mauvais signe, non ? Oui, mais à quel point ? La formule de Bayes, connue depuis plus de 250 ans, permet de le calculer précisément.

La probabilité $P(A/B)$ que vous ayez une grippe sachant que vous ressentez des frissons est égale à la probabilité $P(B/A)$ que vous ressentiez des frissons si vous avez la grippe, multipliée par la probabilité $P(A)$ d'avoir la grippe indépendamment

des signes avant-coureurs (ce qui correspond au taux de malades dans la population), divisée par la probabilité $P(B)$ d'avoir des frissons quelle qu'en soit la cause (froid, grippe, réaction allergique, etc.). En cherchant dans les annales les données nécessaires, vous pouvez alors évaluer numériquement à quel point ces frissons sont mauvais signe – et agir en conséquence.

LE CERVEAU, MACHINE BAYÉSIENNE ?

On qualifie d’“inférence” ce mouvement allant de l'observation d'un effet vers le calcul de la cause, par opposition à la “déduction”, qui procède inversement. Pour la science, c'est un outil de choix. *“Bayes est une béquille au raisonnement qui permet de simuler la manière dont nous actualisons nos connaissances”*, résume Christian Robert, du Centre de recherche en mathématiques de la décision (CNRS, université Paris-Dauphine).

Et la formule reste utilisable face à un phénomène qui procède de milliers de causes entrelacées agissant à des degrés différents – elle devient alors un réseau de formules.

La puissance informatique atteinte dans les années 1990-2000 a ainsi permis de s'appuyer sur ces “réseaux bayésiens” pour réaliser des inférences complexes, par exemple

sur le rôle de multiples gènes impliqués dans le cancer. Et elle connaît depuis un succès foudroyant dans des domaines aussi variés que les sciences cognitives, la médecine, la biologie ou l'astronomie.

Cette efficacité a conduit de nombreux neuroscientifiques à postuler que la pensée elle-même suit un schéma de ce type. La pensée, mais aussi son substrat : le cerveau. *“Il est possible qu'il ait été ‘câblé’ par l'évolution de manière à optimiser les calculs de type bayésien”*, décrit Pierre Bessière, partisan de cette approche.


Le cerveau comme machine probabiliste bayésienne... L'hypothèse a éclaté au grand jour en 2007 lorsqu'un éminent neuroscientifique, Karl Friston, de l'University College de Londres, a présenté sa “théorie du tout” du cerveau, fondée sur le principe que la matière grise effectue des “boucles” bayésiennes : à tout instant, les circuits de neurones encoderaient sous forme de probabilités une représentation du monde (les a priori) qu'ils recalculeraient systématiquement à chaque nouvelle information.

L'idée est d'autant plus convaincante que des travaux en intelligence artificielle avaient déjà montré que cette itération incessante de la formule de Bayes permet de traiter efficacement les informations lorsque les signaux sont très parasités. *“Dans un milieu biologique, où règne un certain chaos, le calcul probabiliste semble être le plus ‘économique’”*, note Pierre Bessière.

L'idée, peu à peu, a pris corps. *“Dans les années 2000, en particulier depuis*

Il est possible que notre cerveau ait été “câblé” par l'évolution afin d'optimiser ce type de calculs

“
PIERRE
BESSIÈRE
Directeur
de recherche
à l'Institut
des systèmes
intelligents et
de robotique


$$P(A/B) = \frac{P(B/A) \times P(A)}{P(B)}$$

la publication de Karl Friston, l'interprétation bayésienne a pris beaucoup de force en neurosciences et en psychologie expérimentale, confirme Chloé Farrer, du Centre de recherche cerveau et cognition (université Toulouse III). Grâce à l'IRM, nous avons même pu identifier une zone particulière, la région médiane du cortex préfrontal, où pourraient s'effectuer les recalculs des a priori en fonction des informations reçues."

AU SEIN MÊME DES NEURONES

Et la petite formule de Bayes ne s'arrête pas là: elle s'invite au cœur du neurone même! De nombreux chercheurs dans le monde, dont les Français Alexandre Pouget et Sophie Denève, travaillent sur l'hypothèse que les neurones (et les circuits neuronaux) effectuent des inférences bayésiennes au niveau moléculaire...

Les neurones, mais aussi d'autres cellules. "Dans notre laboratoire, décrit Pierre Bessière, nous avons modélisé le comportement d'une algue unicellulaire photosensible. L'hypothèse d'un calcul bayésien au niveau de la signalisation cellulaire est la meilleure façon d'expliquer les capacités d'anticipation de cet organisme, par exemple quand il doit 'décider' s'il faut aller vers la lumière pour en tirer

de l'énergie ou au contraire s'en protéger pour ne pas brûler."

Reste à trouver les mécanismes biochimiques qui réalisent ces calculs bayésiens au sein des neurones et autres cellules... "Celui qui répondra aura le Nobel", lâchait Alexandre Pouget à l'époque de la publication de Karl Friston.

Mais tous les bayésiens ne sont pas partisans du tout-bayésien, loin s'en faut! Tel Christian Robert, qui s'en tient à "l'idée que les modèles bayésiens reflètent notre interprétation de la réalité plus que la réalité elle-même". Tout le monde s'accorde cependant sur un point: le débat sur la formule de l'intelligence sera très difficile à trancher.

R.I.

COMMENT LA LIRE

$P(A)$
et $P(B)$

désignent respectivement les probabilités que les événements A et B se produisent.

$P(A/B)$

désigne la probabilité que l'événement A se produise sachant que l'événement B s'est produit.

$P(B/A)$

désigne la probabilité que B se produise sachant que A s'est produit.

CE QU'ELLE DIT

Elle permet de calculer comment l'apport de nouvelles informations transforme notre estimation de la probabilité de certains événements. Autrement dit, elle décrit le changement de nos a priori.

D'OÙ ELLE VIENT

Esquissée par l'Anglais **Thomas Bayes** vers 1760, elle n'a été formalisée qu'en 1812 par le Français **Pierre-Simon de Laplace**.

À LA
UNE

LA FORMULE DE LA VIE EXTRATER

Et le nombre de civilisations dans la Voie lactée est de... 18! A moins qu'il ne s'agisse de... 5 millions. En fait, il est pour l'instant impossible de résoudre l'équation de Drake. Dommage, car cette suite de produits formalise la réponse à la plus simple et la plus fantasmagique des questions : sommes-nous seuls dans l'Univers ? Plus précisément : existe-t-il dans notre galaxie d'autres êtres avec qui nous pourrions communiquer ? La réponse, lorsqu'elle viendra, aura des conséquences considérables, scientifiques mais aussi philosophiques, mystiques...

Et de fait, l'équation de Drake canalise les recherches. Chacun de ses sept termes est un champ d'étude en soi, et les quatre derniers, encore totalement inconnus, s'imposent comme le programme scientifique du XXI^e siècle. *"La formule de Drake permet de prendre cette*

vaste question par un bout, en la divisant en plusieurs petits morceaux plus faciles à résoudre, commente Sean Raymond, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. C'est finalement une façon très physique de s'attaquer au problème."

C'est d'ailleurs dans cet esprit que l'astronome américain Francis Drake, en 1961, a aligné ses sept termes, dont seul le premier était alors connu : le taux de formation d'étoiles dans la Voie lactée par an, estimé aujourd'hui à 10. Depuis la découverte de la première exoplanète en 1995, les télescopes ont pu mesurer le deuxième facteur F_p , ainsi que le troisième, n_e , le nombre moyen de planètes propices à la vie. *"Dans les faits, on a tendance à fusionner ces deux facteurs en un seul, puisque les missions d'observation mesurent les deux à la fois",* explique Sean

Raymond. D'après les données du télescope spatial Kepler (Nasa), le produit ($F_p \times n_e$) vaut entre 0,2 et 0,5. Enfin... tant que la définition de l'habitabilité demeure celle posée depuis vingt ans : une planète qui recèle de l'eau liquide à sa surface.

ULTIME DÉFI : LE 4^e FACTEUR

Car les astronomes sont en train de se convaincre que d'autres corps bien différents pourraient abriter la vie : les lunes Encelade et Europe seraient gorgées d'eau liquide sous leur surface. *"Et si l'on met de côté le chauvinisme eau-carbone, qui a certes sa justification, on peut même imaginer que la vie se développe en l'absence de ces composants",* ajoute Didier Despois, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. Le concept d'habitabilité est actuellement au cœur des questionnements, alors même qu'il n'est qu'une introduction à la vraie question : combien de planètes habitables sont effectivement habitées ?

C'est précisément l'objet du quatrième facteur de l'équation de

$$N = R * F_p \times n_e \times F_l \times$$

RESTRE

Drake : la vie apparaît-elle facilement une fois que sont réunies les conditions propices à son éclosion ? Sur Terre, la découverte de fossiles toujours plus anciens ne cesse d'avancer la date de naissance de la vie sur Terre. *"Oui, il semble que la vie soit apparue rapidement, dans un cheminement chimique de dizaines ou de quelques centaines de millions d'années, confirme Jean-Claude Guillemin, astrochimiste à l'université de Rennes. Mais c'est encore énorme en comparaison des expériences en laboratoires qui essaient de reproduire les processus chimiques."*

La science bute aujourd'hui sur ce quatrième facteur. Et elle n'a pas encore abordé sérieusement les deux suivants, F_i et F_c , qui estiment la probabilité qu'une vie devienne intelligente au point de pouvoir communiquer à travers le cosmos.

Mais les travaux sur l'émergence de la vie sur Terre pointent un paramètre jusque-là négligé, au cœur du dernier terme : le temps. C'est Nicolas Prantzos, de l'Institut d'astrophysique de Paris, qui l'a mis en évidence il

y a quatre ans. Il a fixé les trois premiers termes de l'équation, dits astronomiques, à respectivement 1, 0,1 et 0,1, puis rassemblé les trois suivants, encore inconnus, en un seul paramètre dit "biotechnologique". Cette simple reformulation met en lumière l'importance capitale du dernier terme pour qu'au final, le nombre de civilisations dans la Voie lactée avec lesquelles l'humanité pourrait entrer en contact soit supérieur ou égal à 1.

"Par exemple, si l'on fixe à 0,001 le facteur biotechnologique, c'est-à-dire qu'une civilisation technologique émerge effectivement sur un millième des planètes habitables, cela signifie qu'elles sont à une distance moyenne de plusieurs dizaines de milliers d'années-lumière, détaille-t-il. Alors... il faudrait statistiquement attendre au moins 100 000 ans avant qu'elles entrent en contact !"

L'équation de Drake résout ainsi le fameux paradoxe de Fermi selon lequel nous aurions dû déjà être contactés par des extraterrestres. Et permet de regarder en face le plus vertigineux mystère de notre Univers : y a-t-il quelqu'un, là-haut, qui se pose les mêmes questions que nous ? **B.R.**

COMMENT LA LIRE

- N est le nombre de civilisations dans la Voie lactée avec lesquelles l'humain pourrait entrer en contact.
- R^* désigne le taux de formation d'étoiles dans la galaxie.
- F_p est la fraction des étoiles ayant des planètes.
- n_e est le nombre moyen de planètes habitables.
- F_l est la fraction de ces planètes sur lesquelles la vie est apparue.
- F_i est la fraction de ces planètes où l'évolution a conduit à des êtres intelligents.
- F_c est la fraction de ces planètes dont les êtres sont capables de communiquer.
- L est la durée de vie moyenne de telles civilisations technologiques.

CE QU'ELLE DIT

Elle quantifie la probabilité pour l'humain d'entrer en contact (via des ondes radio) avec une vie extraterrestre.

D'OÙ ELLE VIENT

$$F_i \times F_c \times L$$

En 1961, alors qu'il traquait en vain des signaux radio en provenance d'étoiles proches, le jeune astronome américain **Francis Drake** voulut estimer la légitimité d'une telle démarche... Il définit alors les sept termes qui le rendront célèbre.

À LA UNE

LA FORMULE DE L'UNIVERS

La formule est-elle bonne? *"Personne ne peut encore le confirmer!"*, tranche d'emblée Iosif Bena, de l'Institut de physique théorique (CEA-CNRS), avant d'ajouter: *"Mais c'est une très belle idée."*

La formule a été énoncée en 2013 par deux spécialistes de la théorie des cordes, Leonard Susskind, de l'université Stanford, et Juan Martín Maldacena, de l'Institute for Advanced Study de Princeton. Elle raconte une saga vieille de 80 ans qu'on pourrait intituler "Einstein contre Einstein". Elle n'est pas à proprement parler mathématique: le signe "=" dans son énoncé désigne l'égalité entre deux concepts qui, a priori, n'ont rien à voir.

D'un côté, il y a *EPR*, soit les initiales d'Einstein, Podolsky et Rosen, signataires en 1935 d'un article qui fonde le concept d'intrication en mécanique quantique. Les équations indiquent en effet qu'entre deux particules, peut s'établir un lien tel que si l'on perturbe l'une, l'autre est instantanément impactée, quelle que soit la distance les séparant. Einstein, qui est convaincu que la théorie quantique est incomplète, qualifie ironiquement ce lien de "fantôme".

N'en déplaise au génial savant

(ou à son fantôme), l'intrication est un phénomène réel. Aujourd'hui, la cryptographie ou l'ordinateur quantique s'appuient dessus. Et de nombreux spécialistes la considèrent comme centrale dans l'infiniment petit; *"le plus quantique des phénomènes quantiques"*, selon la belle expression de Leonard Susskind.

RÉCONCILIER LES DEUX MONDES

De l'autre côté, il y a *ER*, initiales des mêmes Einstein et Rosen, qui, la même année, évoquent pour la première fois le concept de "trou de ver", aussi appelé "pont d'Einstein-Rosen". Cet objet que personne n'a encore jamais observé est dérivé des équations de la Relativité générale: c'est une jonction creusée dans la trame de l'Univers entre deux trous noirs, un raccourci *"hors de l'espace-temps"*, comme dit Iosif Bena.

Ce qui concentre les débats, bien sûr, c'est le signe "=". Intrication = trou de ver? A priori, cela a autant de sens que "pomme = bonjour" tant les théories de part et d'autre du signe se réfèrent à des cadres de pensée éloignés – cela fait presque cent ans que mécanique quantique et Relativité générale restent irréconciliables.

La folle audace de la formule vient justement d'un vieux conflit aigu au-

tour des trous noirs, là où, comme le dit Leonard Susskind, *"les phénomènes quantiques et gravitationnels deviennent si intimement liés que ça n'a plus aucun sens de penser à l'un sans l'autre"*.

En 1974, Steven Hawking découvre qu'un trou noir doit s'évaporer en rayonnant des photons jusqu'à disparaître. La Relativité s'en arrange, mais pas la physique quantique, qui n'admet pas que, dans ce processus, l'astre ne restitue pas une "trace" de ce qu'il a avalé, des informations caractérisant l'état quantique de chacune des particules qui s'y est abîmée.

En effet, dans les équations quantiques, rien ne ressemble à une destruction d'informations: celles-ci peuvent se diffuser, se mélanger, devenir inextirpables mais certainement pas disparaître. *"Sauf à trouver où passe l'information, résume Iosif Bena, les trous noirs violent les lois de la mécanique quantique."*

C'est en cherchant un moyen de lever le blocage que Maldacena et Susskind ont découvert *ER=EPR*. Ils ont procédé à une expérience de pensée plutôt extrême: ils ont "récolté" les particules du rayonnement de Hawking constitué de photons intriqués avec l'intérieur du trou noir, puis les ont concentrées à tel point que la densité d'énergie a créé un second trou noir, quantiquement intriqué avec le premier. Ils ont alors montré que le lien entre ces deux trous noirs pouvait être décrit simultanément par un trou de ver et par une intrication quantique. Autrement dit, ces deux étranges liens spatio-temporels sont

*On a prouvé l'équivalence
dans un cas particulier.
Notre postulat est qu'on peut
l'étendre à notre Univers*

**JUAN
MALDACENA**
Physicien à
l'Institute for
Advanced
Study de
Princeton

ER = EPR

COMMENT LA LIRE

ER sont les initiales des physiciens Einstein et Rosen, qui ont les premiers imaginé le concept de "trou de ver" entre deux trous noirs.

EPR sont les initiales d'Einstein, Podolsky et Rosen, qui ont conceptualisé l'intrication quantique entre deux particules.

CE QU'ELLE DIT

En affirmant que ces deux liens spatio-temporels sont identiques, la formule bouleverse notre vision de l'espace, du temps et de la gravitation.

D'OÙ ELLE VIENT

Elle a été énoncée en 2013 par deux spécialistes de la théorie des cordes, **Leonard Susskind** (université Stanford) et **Juan Martín Maldacena** (Institute for Advanced Study, Princeton).

a été intégrée par les physiciens", constate Leonard Susskind.

Alors ? **ER=EPR** ? La formule pourrait bien finir au "cimetière des bonnes idées", comme le dit Bena. Mais elle pourrait devenir la formule magique qui révèle que l'étoffe de notre Univers est fondamentalement tissée à partir du lien qu'Einstein qualifiait de "fantôme". **R.I.**

un seul et même phénomène vu par deux théories différentes.

ER=EPR ! Mais attention : cette expérience de pensée et sa conclusion ne sont valables que dans un modèle d'Univers (et de trous noirs) simplifié, dit modèle anti-de Sitter. "On a prouvé l'équivalence dans un cas particulier d'Univers non réel, confirme Juan Maldacena. Notre postulat est qu'on peut l'étendre à notre Univers."

LE "FANTÔME" D'EINSTEIN

Cette généralisation reste à établir. "ER=EPR est une belle intuition, juge Iosif Bena, mais en l'état elle n'est pas adossée à un édifice théorique qui permettrait de faire des calculs." Il manque un cadre mathématique qui aiderait à réinterpréter tous les résultats quantiques et relativistes connus.

Mais si elle est avérée, la formule aurait des conséquences prodigieuses. Elle résoudrait le paradoxe de l'information, car "dans ce cas, concède Iosif Bena, on pourrait dire que l'information sort par le trou de ver".

Surtout, toutes les intrications quantiques entre particules – élec-

trons, photons, protons et neutrons – formeraient des microtrous de ver (dits "planckiens"), faisant de notre espace-temps un lieu criblé de ces raccourcis cosmiques. "La physique quantique telle que nous la concevons aujourd'hui présuppose l'existence d'un espace-temps fixé, précise Juan Maldacena. Or, ce que nous avons montré avec Susskind, c'est que les corrélations quantiques peuvent provoquer un changement dans la structure de cet espace-temps."

Des physiciens ont même tiré encore plus loin la formule en faisant de l'espace et du temps un simple phénomène émergeant d'un vaste réseau de corrélations quantiques. "L'intrication-comme-fabrique-de-l'espace-temps", résume d'un slogan Charles Cao, du California Institute of Technology, un des coauteurs de ce dernier article. "J'ai été surpris de la facilité avec laquelle l'hypothèse

À LA UNE

LA FORMULE DE L'ABSTRACTION

"C'est une absolue surprise, d'une beauté sidérante."

Reconnaissons-le: l'émotion exprimée par Alain Genestier, mathématicien à l'université de Lorraine, face à cette formule dite de Langlands n'est pas facile à ressentir pour le profane.

$L_{gal} \subset L_{aut}$? Les initiés pourtant l'assurent: ces signes ésotériques bouleversent l'architecture des mathématiques par leurs vertigineuses capacités d'abstraction. *"Arithmétique, géométrie, algèbre, analyse... On a ici un programme qui, s'il était réalisé, permettrait d'articuler des domaines considérés comme autonomes ou aux liens circonstanciels"*, souligne Daniel Parrochia (université Jean-Moulin, Lyon).

Pas étonnant que tous les experts interrogés en parlent au superlatif: *"un des plus fabuleux énoncés*

de toutes les mathématiques", *"un miracle!"*. Mais de quoi parle donc cette formule pour enthousiasmer à ce point? Tout simplement d'arithmétique. Des types de relations que les nombres entiers tissent entre eux lorsqu'on les additionne ou qu'on les multiplie. Une vieille histoire...

Il y a 2500 ans, c'est en étudiant ces relations entre les entiers que Pythagore et ses disciples fondèrent leur école – inaugurant la science mathématique. Ils ne tardèrent pas à déterminer un premier concept vertigineux: les nombres irrationnels, comme $\sqrt{2}$.

Mais le plus beau était à venir. Formellement, les défis pythagoriciens se ramènent à la résolution des équations dites "diophantiennes", comme $x^2 = 2$, $x^2 + 3x - 1 = 0$ ou $xyz + 27y^2z - 4z^3 = 1$, le but étant de trouver les valeurs satisfaisantes des inconnues x ou y .

Longtemps, les seules équations non triviales que les mathématiciens surent résoudre de façon générale étaient celles du second degré à une inconnue. Il fallut attendre le XVI^e siècle pour qu'il en aille de même avec le troisième et le quatrième degrés – une prouesse qui inspira la notion de nombres complexes, appelée à un grand avenir.

L'INVENTION DÉCISIVE DE GALOIS

Mais ce fut sur le cinquième degré que survint l'invention décisive qui précipita les mathématiques dans l'ère moderne. En 1832, dans sa dernière lettre avant sa mort, le jeune Evariste Galois proposa un nouveau point de vue, structuraliste: plutôt que d'essayer de calculer les solutions, il étudia les relations que ces solutions tissent entre elles. Et démontra que la structure de ces relations détermine la façon dont l'équation peut se résoudre.

Fulgurante abstraction! Car dès lors, il n'y eut plus besoin que de quelques lignes pour régler le cas des équations de degré cinq et plus. La structure de leur "groupe de Galois" en atteste: il sera à tout jamais impossible de

Les philosophes auraient tout intérêt à se pencher sur cette formule, qui pourrait leur inspirer une nouvelle vision du monde

DANIEL PARROCHIA

Philosophe et épistémologue à l'université Jean-Moulin (Lyon)



$L_{gal} \subset L_{aut}$

trouver des formules générales pour exprimer les solutions.

Il fallut plusieurs décennies pour que cette audace s'impose. Et plusieurs générations de mathématiciens pour tenter d'appliquer la vision structurelle de Galois à toutes les équations diophantiennes, y compris celles à plusieurs inconnues. Jusqu'à ce que le mathématicien canadien Robert Langlands esquisse, en 1967, sa formule.

Pour éclairer les relations entre les nombres, elle empile les abstractions issues de tous les domaines mathématiques. Elle part d'une équation diophantienne, tirée d'un défi arithmétique. Grâce à une construction géniale d'Alexandre Grothendieck, elle associe à cette équation une fonction définie sur les nombres complexes. Cette dernière, notée L_{gal} , est un produit infini de termes qui peuvent être calculés à partir du groupe de Galois de l'équation de départ. Elle appartient donc au quatrième grand domaine des mathématiques, l'analyse.

Or, la formule de Langlands l'affirme: L_{gal} correspond exactement à des fonctions que les mathématiciens étudient pour les remarquables qualités de symétrie qui y sont associées, les "fonctions L automorphes", notées L_{aut} .

Et le "miracle" s'opère: des propriétés algébriques obscures du côté de L_{gal} deviennent des propriétés limpides du côté de L_{aut} . La formule permet donc de mobiliser toutes les forces mathématiques pour éclairer le défi arithmétique d'origine.

"C'est un pont jeté entre les domaines, résume Alain Genestier. Un dictionnaire entre les objets de la géométrie algébrique et de l'analyse qui permet de lire certaines propriétés arithmétiques très profondes."

Le problème, c'est de prouver la formule. *"Au début, le programme de Langlands avait quelque chose d'écrasant, raconte le mathématicien. Il a fallu tout un travail peu gratifiant de refondation et de nettoyage. Mais à partir du milieu des années 1990, il y a eu de manière indépendante plusieurs avancées décisives, en particulier les travaux d'Andrew Wiles sur le dernier théorème de Fermat et ceux de Laurent Lafforgue. Aujourd'hui, le programme mobilise de nombreux mathématiciens, avec de nouvelles approches enthousiasmantes."*

Restera aussi à en tirer les leçons sur notre vision du monde. *"A chaque étape de l'histoire, la mathématique a inspiré la philosophie, qui en a extrait des éléments pour constituer une théorie générale du monde, souligne Daniel Parrochia. Les philosophes auraient donc tout intérêt à se pencher sur le programme de Langlands. Ils aboutiraient à une mise en relation de secteurs du réel qu'on a tendance à considérer comme entièrement séparés, et qui peuvent relever aussi bien des sciences exactes que des sciences sociales."*

Bref, face une formule aussi profonde, nous ne sommes pas au bout de nos émotions... **H.P.**

COMMENT LA LIRE

L_{gal} désigne des structures très abstraites issues de la géométrie algébrique, les "fonctions L associées à une représentation d'un groupe de Galois".

L_{aut} désigne des structures issues du domaine de l'analyse, les "fonctions L associées à une forme automorphe".

CE QU'ELLE DIT

La formule fusionne les grands domaines des mathématiques en affirmant que les objets algébrique-géométriques peuvent aussi être vus comme des objets purement analytiques.

D'OÙ ELLE VIENT

La formule résume le programme que le mathématicien canadien **Robert Langlands** a esquissé en 1967, dans une longue lettre écrite au mathématicien français André Weil. Elle s'appuie en particulier sur les travaux monumentaux de géométrie algébrique élaborés par **Alexandre Grothendieck** dans les quinze ans qui ont précédé.

À LA UNE

LA FORMULE DE LA MATIÈRE

C'est un monument. Toutes les particules qui peuplent l'Univers et toutes les forces qui agissent sur elles tiennent en cette formule. Ces quatre lignes de symboles dont le nom, "lagrangien du modèle standard", est aussi technique que célèbre, condensent à elles seules tout ce que nous savons de l'Univers matériel. Rien de moins que *"le fondement complet et probablement définitif de la biologie, de la chimie, de la science des matériaux et de la plupart des phénomènes astrophysiques"*, selon Frank Wilczek, du MIT, prix Nobel de physique 2004.

La formule ultime de la matière ? Justement non, car elle recèle une petite fissure qui la fragilise au niveau de sa dernière ligne, liée au boson de Higgs, une particule censée donner leur masse à toutes les autres. Et c'est là, espèrent les physiciens, que se trouvent les derniers pans de la réalité matérielle non encore explorés. A commencer par la fameuse matière noire...

Cette formule n'a pas la beauté formelle d'un $E=mc^2$, mais elle constitue le succès le plus édifiant de l'idée réductionniste selon laquelle, sous d'innombrables apparences, la matière résulte des arrangements possibles de quelques briques

élémentaires. *"C'est une équation à la fois simple et grandiose"*, scande Géraldine Servant, du groupe théorique Desy, à Hambourg. *"Le lagrangien du modèle standard résume le contenu de l'Univers et les symétries mathématiques auxquelles ces ingrédients obéissent"*, reprend Christophe Grojean, du même groupe. *C'est un point de départ à partir duquel on peut obtenir les équations du mouvement d'une particule ou encore calculer la probabilité d'observer un processus."*

UN BOSON DE HIGGS PROBLÉMATIQUE

Elle se fonde sur une idée si simple qu'elle a l'apparence de l'évidence : l'état d'un objet en un endroit donné ne dépend pas de ce qui se passe en un autre lieu. La nature est locale.

Une fois traduit mathématiquement, ce principe permet quasi automatiquement d'écrire les équations auxquelles obéissent les douze particules de matière et les trois particules de force connues... et de dérouler les deux premières lignes du lagrangien du modèle standard. *"La façon dont ces deux lignes, d'une beauté mathématique écrasante, sont déduites, est d'une très grande élégance, s'étonne presque Alvaro De Rujula, ex-directeur de la division théorique du Cern. C'est terriblement simple!"* Simple sur le

papier, et en parfait accord avec toutes les expériences réalisées jusqu'ici...


Sauf qu'il y a un hic. Lorsque ces équations s'appliquent à la soupe de particules massives qui constituait l'Univers dans sa prime jeunesse, ces deux lignes du modèle standard deviennent folles : voici qu'elles divergent à l'infini ! A moins, comme l'ont montré Peter Higgs et une poignée de théoriciens, de parachuter un ingrédient supplémentaire : une hypothétique nouvelle particule, le boson de Higgs, qui fait son entrée dans l'équation sous la forme de deux nouvelles lignes. Lesquelles, en prime, justifient la masse des particules via une interaction avec le boson de Higgs.

A partir de là, *"la suite n'a été que constats expérimentaux"*, résume Alvaro De Rujula. Jusqu'en 2012, avec la découverte du fameux boson par le LHC, au Cern. Une splendide validation de la formule.

Le problème, c'est qu'en sauvant l'équation du modèle standard, le Higgs a mis au jour ses limites. *"C'est la partie la plus laide"*, lâche carrément le théoricien. Ainsi, si la troisième ligne lie les masses des particules au Higgs, rien n'indique pourquoi celles-ci sont ce qu'elles

Cette équation est au fondement de la biologie, de la chimie, de la science des matériaux et de l'astrophysique

FRANK WILCZEK
Physicien au MIT, prix Nobel 2004



$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\psi}\not{D}\psi + h.c. \\ & + \bar{\psi}_i\gamma_{ij}\psi_j\phi + h.c. \\ & + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$

COMMENT LA LIRE

sont. En particulier, *“nous n’avons aucune explication au fait qu’elles soient si différentes d’une particule à l’autre”*, rappelle Géraldine Servant.

Quant à la quatrième ligne, elle implique que la masse du Higgs n’est pas constante. Cet aspect, l’un des plus problématiques du modèle standard, concentre aujourd’hui les plus gros efforts de la part des théoriciens. *“C’est elle qui fait sonner la machine, réagit John Ellis, à la division théorique du Cern. Elle rend l’équation beaucoup plus intéressante.”*

ET LA MATIÈRE NOIRE ALORS ?

“Cette ligne concentre un formidable potentiel de découverte”, renchérit Christophe Grojean. Elle est là, la brèche par laquelle les physiciens s’engouffrent pour tenter d’aborder les questions laissées sans réponse. Car le lagrangien ne dit rien de cette matière noire dont les astronomes observent les effets à toutes les échelles du cosmos et qui compterait pour 85 % du contenu en matière de l’Univers. Pas plus qu’il n’intègre la force responsable de l’expansion accélérée du cosmos.

Les physiciens ont essayé de développer une théorie complète, la célèbre supersymétrie, qui postule l’existence

d’un partenaire pour chaque particule connue. De quoi engendrer de nouveaux termes dans les équations afin de stabiliser la masse du Higgs... Sauf qu’aucune trace de tels grains de matière supersymétrique n’a pour l’instant été détectée, obligeant à penser de nouvelles pistes.

“L’une d’elles consiste à imaginer que la masse du Higgs résulte d’un mécanisme associé à l’évolution de l’Univers depuis sa création”, explique Géraldine Servant. Autre piste : ne pas toucher à la formule, mais régler “à la main” l’intensité des termes responsables de son instabilité, afin qu’ils s’annulent les uns les autres. Travaux en cours... L’équation de la matière est encore une ébauche. Le lagrangien du modèle standard n’a pas fini de grandir. **M.G.**

D’OÙ ELLE VIENT

Sa genèse remonte à 1928, lorsque **Paul Dirac** écrit la première équation à la fois quantique et relativiste. Sous sa forme définitive, elle est le fruit de quarante ans de travaux.

\mathcal{L} est le lagrangien du contenu en matière de l’Univers, une fonction qui en décrit l’évolution.

$$-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

représente les trois interactions fondamentales agissant sur les particules de matière.

$$i\bar{\psi}\not{D}\psi + h.c.$$

décrit l’échange de particules de force lors de ces interactions.

$$\bar{\psi}_i\gamma_{ij}\psi_j\phi + h.c.$$

décrit comment l’interaction avec le boson de Higgs affecte une masse aux particules de matière.

$$|D_\mu\phi|^2 - V(\phi)$$

confère au boson de Higgs ses propriétés.

CE QU’ELLE DIT

Elle permet de calculer l’évolution, la disparition ou l’apparition de toute particule élémentaire dans n’importe quel processus microscopique.

À LA UNE

7 FORMULES

Et si, derrière la diversité de ces formules qui explorent les frontières de la connaissance, se cachait une autre, encore plus fondamentale? Une sorte de formule du savoir suprême. Délirant? Pas tant que cela...

Sept formules pour repenser et même changer le monde, c'est à la fois peu... et beaucoup.

De fait, chacune des équations que nous présentons dans ce dossier interroge une – et une seule – facette fondamentale de notre monde. Quelle est la trame de l'Univers? D'où vient la matière? Pourquoi le temps s'écoule-t-il? Qu'est-ce que l'intelligence? Les choses sont-elles vraiment complexes? Quelle est la puissance de l'abstraction? Sommes-nous seuls à se poser ces questions?

Oui, mais le monde est Un. Plutôt que sept formules, ne faudrait-il donc pas en chercher une seule?

La question n'est pas aussi folle qu'elle le paraît. Car les sept formules qui touchent toutes des frontières de nos connaissances ne sont pas si éloignées les unes des autres. Univers, intelligence, complexité, abstraction... il y a d'étranges liens entre elles. Comme autant de pistes qui mèneraient à leur fusion, pour aboutir à une sorte de formule ultime pour décrire le monde. La formule du Tout? Vieille histoire...

Capter l'essence du monde dans un seul signe ou un seul geste – un

chiffre kabbalistique, une manipulation alchimique... Entre nombre d'or et harmonie universelle, ce désir d'unifier existait bien avant la science moderne. Par la suite, ce rêve s'est joué exclusivement sur le terrain mathématique, seul terreau qui garantit la cohérence de la pensée. D'ailleurs, le simple fait de poser que les phénomènes sont décrits par des lois est une démarche unificatrice. *"L'idée que les phénomènes ne sont pas indépendants est à la base de la démarche scientifique,"* explique Jean Iliopoulos, physicien théoricien à l'Ecole normale supérieure, à Paris. *"Si vous avez une loi pour la chute des pommes et une autre pour la chute des poires, vous n'avez pas une théorie! Dès qu'on fait de la physique, on vise automatiquement l'unification."*

Gloire au signe "=" qui rend équivalentes les chutes des pommes et des poires! Ce terreau s'est avéré fertile – plus particulièrement en physique fondamentale, là où le monde est

sondé jusque dans ses tréfonds les plus infimes. La dynamique historique est impressionnante avec, d'un côté, la fusion du mouvement de la pomme et de la Lune (Newton, 1687), puis celle de cette gravitation avec l'espace et le temps (Einstein, 1905 et 1915), et, de l'autre, la fusion du magnétisme et de l'électricité (Maxwell, 1864), enfin de cet électromagnétisme avec les forces nucléaires faible et forte, dans le cadre du modèle standard des particules dans les années 1960 et 1970.

VERS L'ULTIME ÉQUATION

Restait cependant aux physiciens à faire le dernier pas: raccorder ce modèle standard de l'infiniment petit avec les grandes échelles de la relativité générale. En un mot: décrire à

6 DE TROP?

A y regarder de près, les sept formules ont des liens troublants

partir d'une seule formule fondamentale tous les phénomènes de la nature, depuis les interac-

tions entre constituants élémentaires jusqu'à l'évolution de l'Univers tout entier. Car la nature ne saurait avoir deux natures différentes...

Les théoriciens de la physique ont pensé être près de ce but prométhéen. Dans les années 1980, ils se sont passionnés pour une formule qui semblait pouvoir unifier toutes les échelles. C'est la célèbre théorie des cordes, cette construction mathématique qui postule qu'à son niveau le plus fondamental, le monde est constitué de minuscules objets à une dimension.

Durant les années 1990, ce fut l'émulation. Des dizaines d'ébauches

de théories unificatrices de la physique naissaient pour concurrencer ces cordes, comme la gravitation quantique à boucles, élaborée directement à partir de la relativité d'Einstein... Et tous espéraient que le grand accélérateur LHC, au Cern, près de Genève, viendrait confirmer une des visions unifiées de la nature.

On connaît la suite. Le LHC n'a – pour l'instant – pas donné de piste. Les cordes sont de plus en plus critiquées (*"aucune expérience ne peut l'infirmar"*, déplore-t-on). Quant aux boucles, elles attendent toujours l'observation qui les mettra au premier plan.

La théorie du Tout est-elle dans l'impasse? Justement... En dépassant le cadre strict de la physique fondamentale, les sept formules semblent aujourd'hui esquisser une nouvelle direction. Car à y regarder de près, il apparaît que ces sept slogans ont d'étranges liens, de drôles de points communs.

Un exemple frappant: Scott Aaronson affirme que *"l'intérieur d'un trou noir est protégé par une armure de complexité calculatoire"*. Ce spécialiste en théorie de la complexité algorithmique fait ainsi le lien entre les formules de la simplicité ($P=NP$, voir p.52) et de l'Univers ($ER=EPR$, voir p.58).

Leonard Susskind, l'un des inventeurs de la formule $ER=EPR$, abonde dans ce sens. *"La théorie de la com-*

plexité est un sujet qui vient de la science informatique, mais elle trace maintenant son chemin dans la physique des trous noirs. En particulier, il y a sa connexion avec la flèche du temps à l'intérieur d'un trou noir." Ainsi, la théorie de la complexité pourrait... *"donner aux théoriciens une toute nouvelle façon d'unifier les deux branches de leur science"*.

LA FORMULE DE L'INTELLIGENCE ÉCLAIRE CELLE DE L'UNIVERS

Autre lien troublant: celui entre $ER=EPR$, toujours, et le monde de probabilités décrit par la formule de l'intelligence (formule de Bayes, voir p.54). Ce rapprochement est même l'une des cogitations théoriques considérées comme les plus prometteuses: il existe une... "théorie quantique bayésienne". Elaborée dans les années 2000 par trois quanticiens, Carlton Caves, Christopher Fuchs, et Rüdiger Schack, ce "QBism" (pour Quantum Bayesian, prononcer "cubisme") réinterprète la mécanique quantique comme une théorie de l'information probabiliste. Cette théorie décrirait non pas la nature elle-même mais l'information, souvent partielle, qu'en reçoit l'observateur. Intrigant...

$ER=EPR$, $P=NP$, Bayes. Des liens étranges... Et ce n'est pas fini. *"On voit des cousinages mystérieux entre les outils de la théorie des nombres qui sont au cœur du programme de Langlands et les théories fondamentales de la physique"*, ajoute Alain Genestier, mathématicien à l'université de Lorraine. Les pures abstractions de géométrie algébrique de la formule de Langlands (voir p.60) sont ainsi →

À LA UNE

→ nécessaires à l'écriture de... la principale extension de la formule de la matière (le modèle standard des particules, voir p.62): la théorie des cordes.

Et l'équation du temps (de Boltzmann, voir p.50) s'invite aussi dans la danse des liens latéraux entre formules. Déjà, elle est liée à Bayes par sa nature probabiliste. Mais elle ouvre également des vertiges cosmiques, comme l'atteste Vincent Ardourel, chercheur en histoire et philosophie de la physique de l'Université catholique de Louvain. *"Ce qui est déroutant, dans le travail mathématique sur l'équation de Boltzmann de Laure Saint-Raymond et d'Isabelle Gallagher, est que leur dérivation de l'équation conduit à une 'anti-2^e loi de la thermodynamique'. Une piste pour éviter ce problème consiste à mettre l'origine temporelle du système étudié le plus loin possible dans le passé, voire aux origines mêmes de l'Univers."* Autrement dit, pour que la démonstration des mathématiciens ne contredise pas la physique, il faut ancrer l'équation de Boltzmann... au big bang!

Ne manque à l'appel que la formule de Drake (de la vie extraterrestre, voir p.56). Disons qu'elle nous permet d'estimer les probabilités de pouvoir demander à un cerveau extraterrestre ce qu'il en pense, si ces questionnements sont du côté de la science objective ou s'il s'agit d'une pure lubie humaine...

FAIRE SON DEUIL POUR MIEUX AVANCER

Il faut le reconnaître: ces liens sont souvent vagues, seulement entr'aperçus, encore fantomatiques – tout simplement parce qu'ils ne sont pas encore vraiment compris! Force est cependant de constater qu'ils tournent autour du même thème: la présence de plus en plus marquée, dans les théories physiques, biologiques, cognitives, mathématiques, des concepts de probabilité et d'information.

Ces notions circulent entre les formules et alimentent un débat sourd mais présent depuis longtemps. Quand il introduisit les probabili-

Et si c'était l'ordinateur qui trouvait la formule du Tout?

Que la machine soit plus pertinente que l'homme pour trouver des solutions, le mathématicien de l'université de Warwick Ian Stewart y croit: *"Les équations cèdent le pas aux algorithmes."* Depuis que le traitement massif des données (les fameuses *big data*) a fait irruption dans la recherche scientifique, l'ordinateur est en effet devenu un résolveur de problèmes scientifiques en tous genres. Sur la base d'algorithmes statistiques, physiciens, médecins, astronomes, neurologues exhument de nouveaux phénomènes à partir de monceaux de données brutes. Par des calculs probabilistes pointant des proximités statistiques, ils découvrent des liens inédits entre gènes et cancers, substances chimiques et pathologies, voire entre... formules physiques. L'ordinateur sera-t-il capable de formuler, tout seul, des théories fondamentales? De distinguer les schémas cachés qui mèneraient à une théorie du tout? Impossible de répondre aujourd'hui, mais nombre de chercheurs pensent qu'il faudra compter avec lui.

tés dans ses équations au XIX^e siècle, Boltzmann s'était vu accusé de "subjectiviste" – la pire insulte pour un physicien. Ses pairs refusaient qu'on puisse décrire un phénomène physique objectif en introduisant dans son équation la connaissance de l'observateur – en l'occurrence son ignorance. *"Il y a une ambiguïté avec les théories probabilistes qui provient du fait qu'une probabilité peut être interprétée comme un état de connaissance et en même temps comme un processus physique"*, souligne Anouk Barberousse, philosophe de la physique à l'université de Lille.

La théorie quantique bayésienne est la tentative la plus aboutie à ce jour pour dépasser cette tension et objectiver cette notion d'information a priori totalement subjective. Elle prolonge le point de vue hérité de l'intuition du physicien John Wheeler, pour lequel l'information est au fondement du monde physique, ce qu'il exprimait par cette belle formule: *"it from bit"* – tout est information. l'espoir étant de réussir à en faire émerger les lois relativistes de l'espace-temps.

"Le problème, pointe Anouk Barberousse, c'est que le concept d'information est pour l'heure mal défini en physique." En effet, où est-elle, cette

information pure? Aucun détecteur n'en a jamais exhumé un atome...

Mais l'idée radicale se répand: et s'il fallait ne pas décrire la réalité du monde mais la manière dont notre esprit s'efforce d'en percer les mystères?

Parions que ce changement de point de vue sera au cœur de la science du XXI^e siècle. Pas seulement en physique, mais aussi en biologie, en neurologie, en mathématiques...

Au travers des sept formules, les questionnements les plus en pointe sur la matière, le temps, l'Univers, la complexité, l'intelligence et l'abstraction, le chuchotent: sans doute faudra-t-il faire le deuil de cette théorie du Tout matérialiste traquée depuis si longtemps.

La formule ultime pour repenser le monde, si elle existe, serait celle de la connaissance. La formule du savoir.

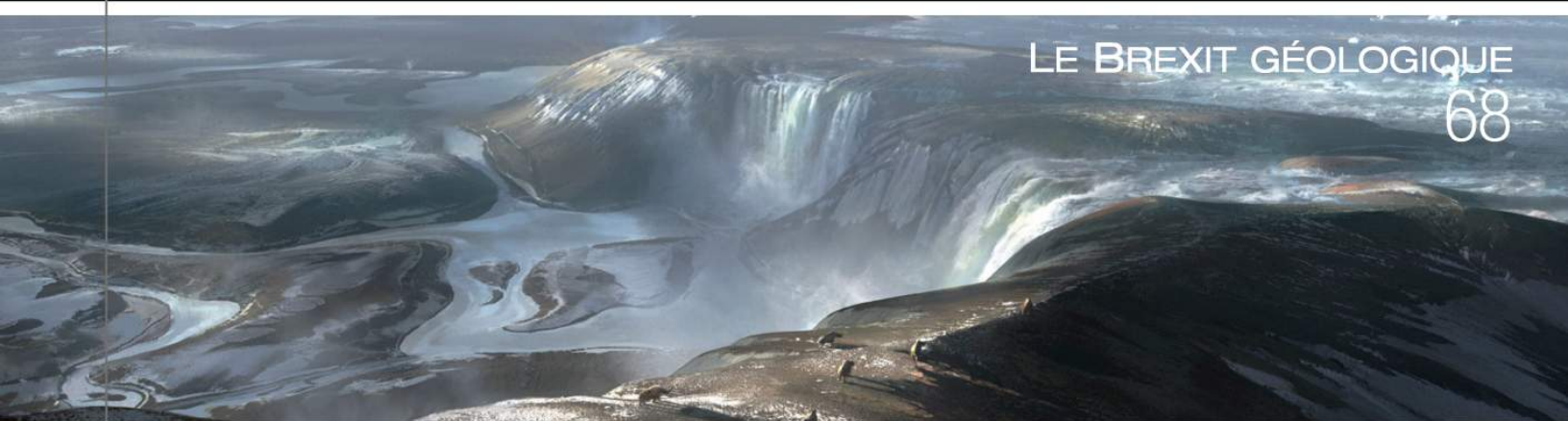


A lire: le livre d'Ian Stewart sur 17 grandes équations du passé; les nombreux articles et dossiers consacrés à chacune des sept équations dans nos archives; les diverses études citées.

EN
SAVOIR
PLUS

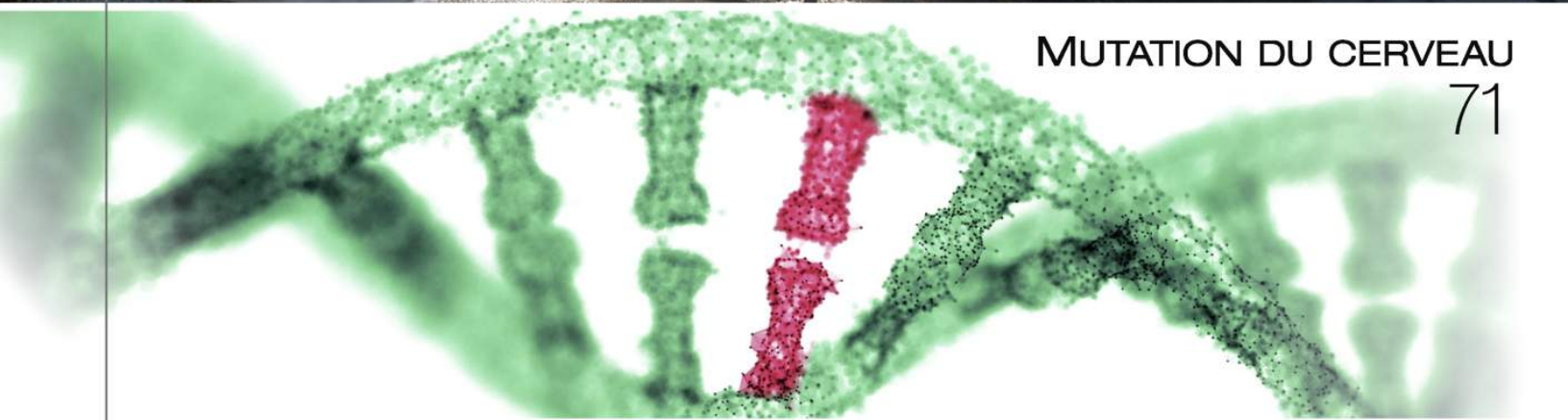
science-et-vie.com

& Science découvertes



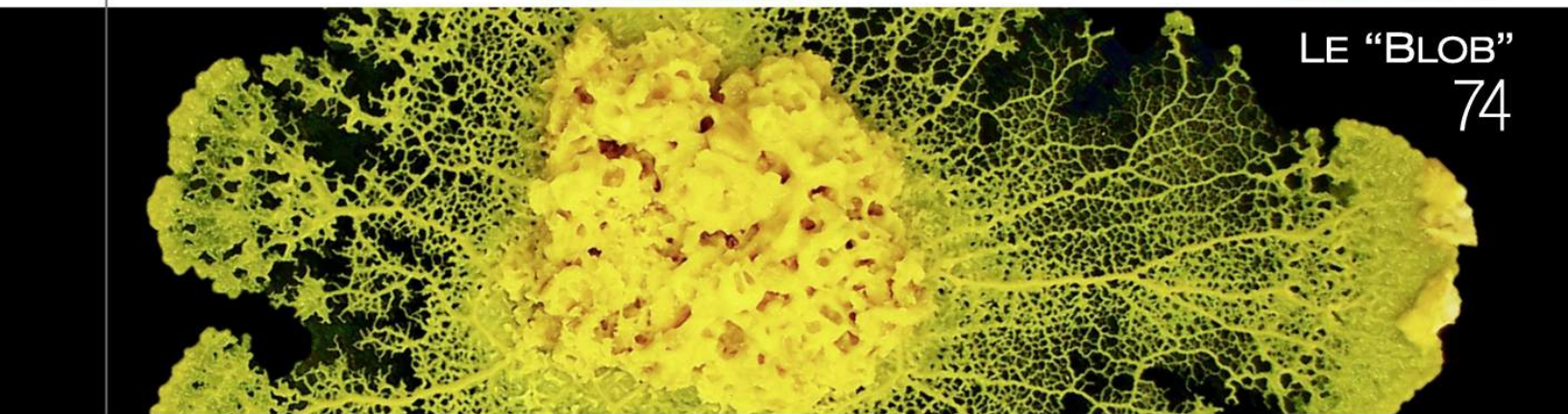
LE BREXIT GÉOLOGIQUE

68



MUTATION DU CERVEAU

71



LE "BLOB"

74



PROXIMA B

80

Il y a 450 000 ans

Le Brexit géologique

Avant d'être une île, la Grande-Bretagne était une presqu'île, reliée au continent par un pont naturel large de quelques kilomètres. Qui finit par céder sous des masses d'eau : un scénario cataclysmique que nous raconte **Thomas Cavaillé-Fol**.



Reconnaissez-vous ce paysage ? Vous êtes sur les falaises de Calais, dans le nord de la France, il y a quelque 450 000 ans.

La Manche n'existe pas encore, ce n'est qu'une vallée traversée de fleuves, comme la paléo-Seine. Et la Terre que vous devinez au loin est aujourd'hui connue sous le

nom de Grande-Bretagne. Entre elle et vous, un pont naturel de 40 km de long, une crête reliant les villes de Calais et Douvres, "haute d'au moins une centaine de mètres et large, selon les âges, de quelques kilomètres à moins de 500 m", précise Sanjeev Gupta, professeur de sciences de la Terre à l'Imperial College de Londres.

La Grande-Bretagne n'est donc pas encore une île : elle est accessible à pied aux humains ancestraux et aux bêtes qui peuplent alors le continent. Plus pour longtemps : voyez cet énorme lac qui s'étend à droite. Il commence à déborder, à passer par-dessus la bande de terre en provoquant d'énormes cascades, et cela marque le début du

processus de séparation. "En seulement 300 000 ans, le lien s'est brisé, la Manche s'est formée et la Grande-Bretagne est devenue une île. C'est le 'Brexit' originel, la séparation géologique qui a forgé notre identité insulaire, et de ce fait, impacté tant de nos décisions. Aujourd'hui, nous avons enfin pu retracer son scénario", s'enthousiasme Sanjeev Gupta.

Cette séparation racontée par son équipe, s'est déroulée en deux temps, dans l'usure puis la violence. Il y a 450 000 ans, la Terre est en pleine ère glaciaire, et une énorme calotte polaire s'étend pratiquement sur toute la mer du Nord, recouvrant le nord du Danemark, de l'Angleterre, et bien sûr la Suède, la Norvège et la Fin-

Contexte

La Manche a gagné son niveau d'eau actuel sous l'effet de la fonte des calottes polaires, après la fin de la dernière ère glaciaire il y a 15 000 ans. Mais c'était d'abord un fleuve, alimenté entre autres par la paléo-Seine, dont la formation violente a définitivement coupé la Grande-Bretagne du continent, il y a environ 160 000 ans. Avant cette date, la Manche n'existait pas : il n'y avait alors qu'une vallée.



COMMENT LA MANCHE S'EST OUVERTE

Alimentée par plusieurs fleuves, l'eau du lac intérieur, bloquée au nord par la calotte, fait pression sur la barre rocheuse jusqu'à la briser, se déversant alors au sud, pour, *in fine*, former la Manche.

lande. *"Mais le climat se réchauffe, décrit Sanjeev Gupta. La calotte fond et il se forme un énorme lac qui est pris en étau entre la glace au nord et cette maigre bande de Terre reliant Calais à Douvres, qui agit alors comme un barrage, au sud."*

DES Puits VERTIGINEUX

Alain Trentesaux, professeur à l'université de Lille, continue: *"Les fleuves Rhin et Tamise, ainsi que la fonte de la calotte, viennent alimenter ce lac. Or, l'eau ne peut s'évacuer vers le nord, où elle est bloquée par la glace. Le lac finit donc par déborder, provoquant d'immenses chutes d'eau qui viennent inonder cette vallée qu'était la Manche autrefois."*

La preuve? Des puits vertigineux creusés dans le plan-

cher marin par la puissance des cascades, quasiment alignés entre Calais et Douvres, le long de l'ancien lien, donc. L'équipe en a décrit sept avec précision. Ces *"marmites de géants"*, dont beaucoup sont aujourd'hui remplies de sédiments, sont profondes d'environ une centaine de mètres. L'une d'entre elles fait même jusqu'à 4 km de largeur, ce qui en dit long sur la taille que pouvaient avoir les chutes. *"Elles devaient faire au moins 100 m de hauteur"*, confirme Alain Trentesaux. Deux fois plus hautes que les chutes du Niagara, donc, et sans commune mesure en largeur.

Ces trous creusés par la simple force de l'eau ont été découverts pour la première fois dans les an-



Avant 450 000 ans



Entre 450 000 et 160 000 ans



Après 160 000 ans

→ nées 1980, lors de la construction du tunnel sous la Manche. *"Le tracé du tunnel a même dû être modifié à cause d'eux",* relate Philip Gibbard, professeur de géologie à l'université de Cambridge, en Angleterre. *"A l'époque, le géologue Alec Smith avait déjà suggéré que des cascades avaient pu être à leur origine, mais rien ne permettait de le prouver. L'équipe de Sanjeev Gupta a utilisé les*

Sanjeev Gupta. On observe que les fosses sont allongées du sud-ouest au nord-est, cela correspondant à un retrait des cascades et donc à la réduction de la largeur du cordon de terre. Celle-ci est d'au moins 4 km en certains points!" Peu à peu, le large passage s'est donc transformé en maigre crête.

Et ensuite? Le deuxième événement s'est produit. *"Le barrage a fini par céder",*

le passage était ouvert il y a 160 000 ans : on observe, à partir de cette époque, des changements caractéristiques dans la composition des sédiments transportés." C'est ainsi qu'est né le fleuve Manche.

LE TRACÉ DU TUNNEL

"La Grande-Bretagne est alors une île au sens strict, commente Sanjeev Gupta. Elle ne devient accessible à pied que lors des grandes périodes glaciaires, où le niveau de la mer est suffisamment bas pour permettre une traversée (voir encadré)."

"Ce n'est bien sûr pas la première fois que la Grande-Bretagne s'est séparée ou connectée au continent, précise Brigitte Van Vliet-Lanoë. Ce détroit entre Calais et Douvres s'était déjà ouvert il y a 58 millions d'années, se refermant par la suite, sous l'effet du mouvement des plaques tectoniques. Mais cette séparation d'il y a 160 000 ans est bien la dernière en date."

Il est amusant de constater que le tracé du tunnel sous la Manche suit celui de cette crête vertigineuse qui reliait, il y a des centaines de milliers d'années, la France et la Grande-Bretagne. La différence notable étant que nous passons sous l'eau, quand nos ancêtres passaient par-dessus.

Homo britannicus, victime du Brexit 1.0?

Pour Chris Stringer, anthropologue au Muséum d'histoire naturelle de Londres, cette séparation a eu un rôle dans la colonisation de la Grande-Bretagne par les pré-humains: *"Alors que des sites datés de -400 000 ans laissent penser que des humains ancestraux peuplent la Grande-Bretagne, les traces diminuent dans le temps. Et après la séparation définitive, l'île semble vide de toute présence humaine durant 100 000 ans!"* Avec le fleuve Manche, la colonisation n'est plus possible. Il faut attendre -60 000 ans pour que le niveau de l'eau baisse assez et permette l'arrivée de Neandertal. Mais que sont devenus les premiers Britanniques, qui avaient traversé avant? *"C'était une période extrêmement froide, explique Chris Stringer, peut-être sont-ils morts?"*, coincés sur l'île glacée sans retour possible...

techniques actuelles de géologie pour sonder les fonds marins, et ce en dépit de la dangerosité de cette zone où le trafic maritime est très important. Pour moi, cette étude apporte une vraie réponse, et ces interprétations sont solides."

Des milliers d'années durant, les cascades ont ainsi creusé les fosses, leur force variant selon le niveau du lac, lui-même soumis au rythme des ères glaciaires. *"Mais ces chutes d'eau ont aussi eu un autre effet : elles ont fragilisé le lien de terre entre la France et la Grande-Bretagne, révèle*

lâche Brigitte Van Vliet-Lanoë, géologue et directeur de recherche CNRS à l'université de Bretagne occidentale. Impossible de quantifier la violence de l'inondation qui a suivi, mais le débit devait être phénoménal. Et le lien de terre a été coupé en deux. "Peut-être que le cordon, fragilisé, n'a pas résisté à la simple pression de l'eau ; ou bien un énorme bulldozer flottant, de la glace détachée de la calotte, est venu s'écraser contre lui et l'a totalement éventré, il est impossible de le savoir. Mais ce qui est sûr, c'est que



A lire : l'étude citée dans l'article.
A regarder : les vidéos explicatives réalisées par l'équipe (en anglais).

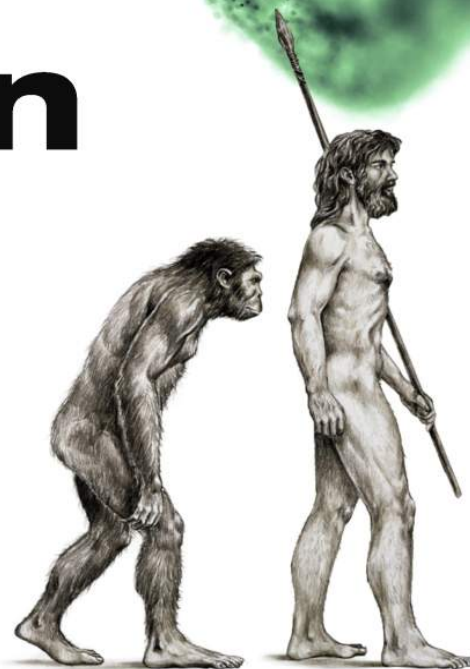


EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

La mutation qui a fait grossir notre cerveau

Un *bug* infinitésimal combiné au plus grand des hasards : voilà ce qui nous aurait fait gagner une quantité exceptionnelle de neurones. **Thomas Cavallé-Fol** a révisé l'évolution de notre alphabet génétique.



Juste un C qui se transforme en G, quelle merveilleuse petite erreur ! Un jour, il y a longtemps, pendant les divisions de la cellule-œuf qui a donné naissance à l'un de nos ancêtres, ou peut-être dans les gamètes de ses parents, un minuscule accroc dans la répllication des 3 milliards de lettres de notre ADN (lire Repères) a

échappé à la vigilance des mécanismes cellulaires de correction. Et cet infime événement a eu des conséquences titanesques : il a incroyablement augmenté le nombre de neurones de notre cerveau !

Cette expansion est un cas unique dans l'évolution. En quelque 7 millions d'années, la taille du cerveau au sein de la famille humaine a quasiment quadruplé, passant de 350 cm³ pour Toumaï, l'un des premiers représentants de notre lignée, à 1 350 cm³ en moyenne chez *Homo sapiens* – ce qui fait de nous l'animal dont le poids du cerveau rapporté à celui du corps est le plus élevé. Comment expliquer cette singulière expansion, qui a entraîné l'apparition

de la spiritualité, la fabrication d'outils, la maîtrise du feu et autres merveilles d'ingéniosité ?

“Pendant nos millions d'années d'évolution, il y a eu des phases de croissance cérébrale et d'autres de réorganisation, commente Antoine Balzeau, paléoanthropologue au musée de l'Homme. Mais ce qui est sûr, c'est que cette évolution n'a pas été linéaire, elle s'est faite par paliers.”

Or, au terme d'une impressionnante enquête de paléogénétique cognitive, Wieland Huttner et son équipe de l'Institut Max-Planck de Dresde, en Allemagne, viennent de désigner l'origine d'un de ces principaux paliers : *“C'est une seule petite mutation dans la*

Repères

L'information génétique contenue dans notre ADN correspond à une succession d'environ 3 milliards de lettres (TAGCGGTAC...), chacune représentant un nucléotide, nommé d'après sa base azotée : C pour cytosine, G pour guanine, T pour thymine et A pour adénine. Ce long texte contient les séquences de nos quelque 23 000 gènes, l'enchaînement des lettres traduisant chacun en protéine spécifique.

L'effet domino d'une unique mutation

1. Une des lettres de la séquence d'un gène mute

Dans le gène ARHGAP11B du chromosome 15 (en rouge, à gauche), une erreur de réplication a transformé un nucléotide C (cytosine) en guanine (G). Par ricochet, l'ARN messager correspondant est amputé de 55 nucléotides.

→ *séquence d'un gène, une cytosine remplacée par une guanine, qui a tout changé.*

Cela s'est joué sur un gène porté par le chromosome 15, connu sous le nom savant d'ARHGAP11B. Un gène qui n'existe que chez l'être humain, et dont la fonction est d'augmenter le nombre de neurones du néocortex, siège des fonctions cognitives supérieures et 80 % du poids total de notre cerveau. *"Cette fonction très spécifique résulte de l'unique substitution d'une lettre de sa séquence, assure Wieland Huttner. La protéine pour laquelle il codait a ainsi perdu son effet initial, pour en gagner un nouveau qui n'existait pas jusqu'alors."*

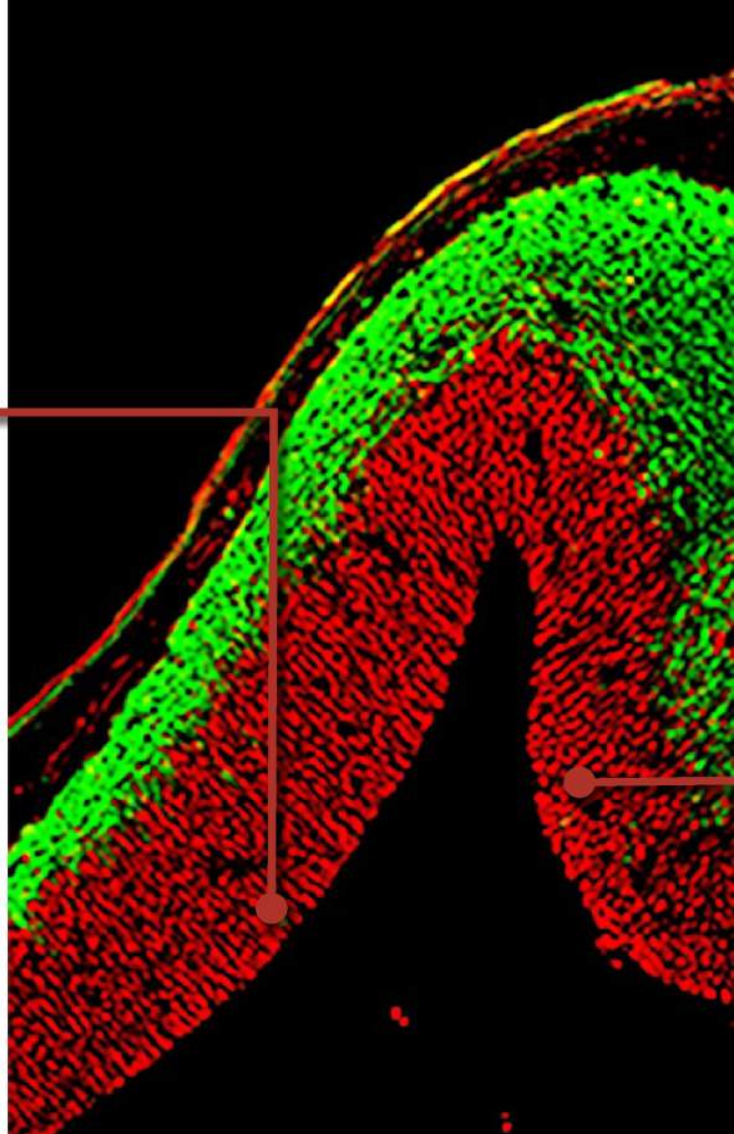
Et quel effet ! L'équipe l'a quantifié en provoquant son expression chez des souris génétiquement modifiées, au stade fœtal. Par rapport à des souris "contrôles", les modifiées présentaient près du double de progéniteurs basaux. *"Or, ces cellules se divisent ensuite en neurones qui migrent vers le néocortex", explique le chercheur.*

Juste une cytosine en guanine, et le cerveau humain n'était plus le même. L'im-

probabilité de notre évolution n'est-elle pas incroyable ? Laure Ségurel, chercheuse en génétique humaine et évolution au Muséum national d'histoire naturelle, confirme : *"C'est une très jolie histoire. Le risque pour un nucléotide de muter est seulement de 1 sur 100 millions environ par génération ! Les mutations créant de nouveaux gènes, qui plus est à la fonction complètement différente, comme ici, sont donc extrêmement rares."*

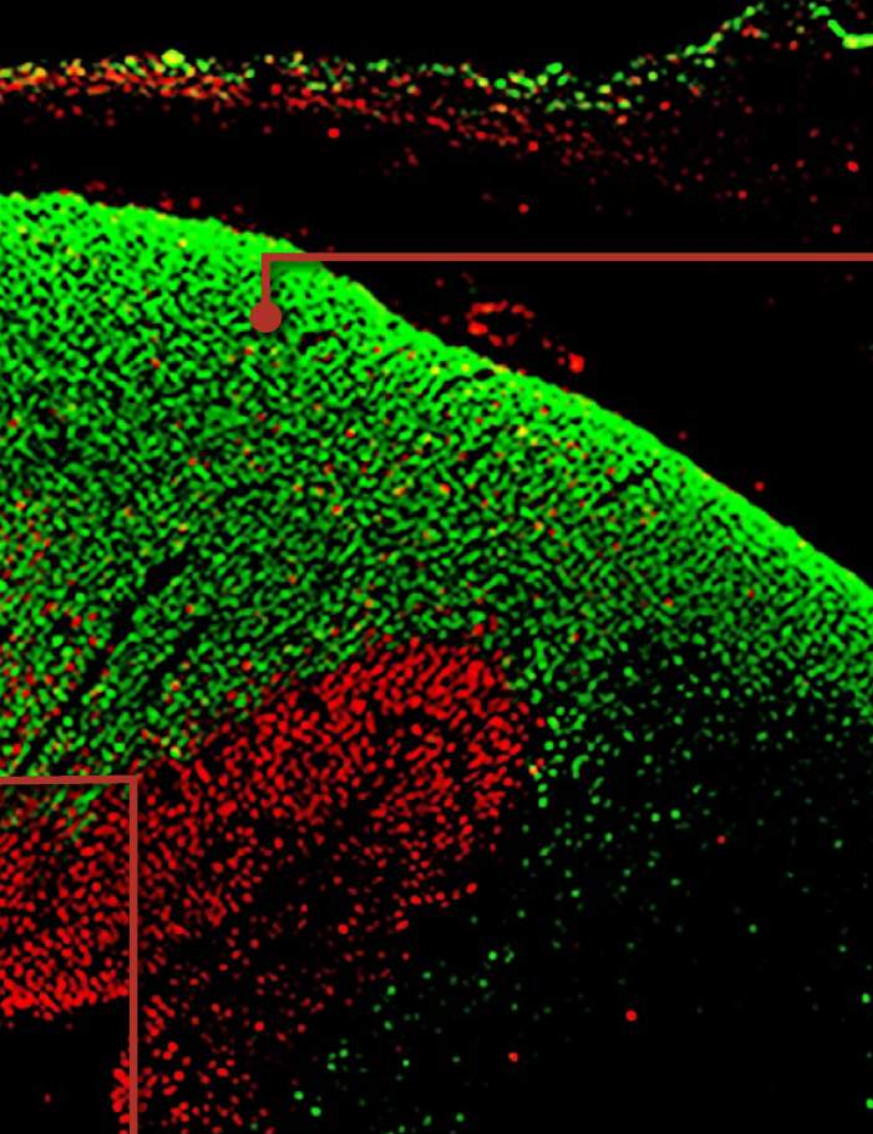
D'ABORD, UNE DUPLICATION

Mais pour ce faire, l'évolution dispose d'une petite astuce. *"ARHGAP11B provient de la duplication d'un autre gène, ARHGAP11A", révèle Wieland Huttner. ARHGAP11A est, lui, répandu au sein du règne animal, et sa fonction n'a rien à voir avec l'expansion du néocortex : sa protéine provoque l'apoptose des cellules dont l'ADN est altéré. Le chromosome 15 l'a tout d'abord copié, les deux exemplaires codant alors pour la même protéine. Puis, suite à la mutation, la version B a perdu sa fonction initiale, gagnant ce pouvoir unique de prolifération neuronale.*



"Le fait que le gène en question s'était dupliqué auparavant rend cette étude encore plus intéressante, s'enthousiasme Laure Ségurel. Ainsi, la réplique a pu muter et perdre sa fonction primaire sans que cela altère le fonctionnement de l'organisme, le gène initial assurant toujours ce rôle. Cela vient appuyer une hypothèse selon laquelle le principal intérêt évolutif de la duplication des gènes serait de créer de nouvelles fonctionnalités."

Cette mutation aurait-elle pu se produire chez plusieurs individus, en différents lieux et différents âges ? *"C'est peu probable", répond Laure Ségurel. Elle est sûrement apparue chez un seul individu, lors des premières divisions de l'œuf, ou chez les parents lors de la*



3. La densité du néocortex explose

Une fois matures, les neurones nouvellement formés migrent vers la plaque corticale pour former le futur néocortex (ici en vert), qui s'étend et se plisse, formant les sillons et circonvolutions si caractéristiques de notre cerveau.

2. Les neurones immatures prolifèrent

Ce nouvel ARN messager produit maintenant une toute nouvelle protéine, exprimée par des cellules spécialisées de la zone ventriculaire du cerveau, haut lieu de la neurogenèse fœtale (ici en rouge sur ce cerveau de souris). Cette protéine provoque la prolifération des progéniteurs basaux, stade intermédiaire des neurones, dans la zone sous-ventriculaire, qui se divisent ensuite en neurones.

fabrication des gamètes dont il est issu. Nous ne pouvons pas le savoir, même si ce sont les spermatozoïdes qui portent le plus de mutations, en fonction de l'âge du père."

Reste à découvrir quand cette merveilleuse erreur a eu lieu. "Déjà, nous savons que ARHGAP11B était présent chez les hommes de Neandertal et de Denisova, car nous avons pu

séquencer leurs ADN, répond Wieland Huttner. Cela veut dire qu'il est apparu il y a au moins 500 000 ans, date vers laquelle nos lignées se sont séparées. Il est par contre absent dans tout le reste du règne animal, même chez les grands singes ; il est donc plus jeune que notre séparation d'avec ceux-ci, il y a une dizaine de millions d'années."

Même si le génome d'un *Homo habilis* ou d'un *Erectus* ne peut être séquencé, vu la vitesse de dégradation de l'ADN, l'équipe du chercheur a pu aller encore plus loin : "Nous estimons l'époque de la duplication à environ 5 millions d'années, en nous basant sur les différences entre les deux gènes ARHGAP11A et ARHGAP11B, qui dépendent du taux de mutation en fonction du temps." La mutation a donc eu lieu il y a entre 500 000 ans et 5 millions d'années.

UN HASARD INCROYABLE

Parfois, le plus probable reste tout bonnement incroyable. Ainsi, un jour, sûrement en Afrique, un individu, femelle ou mâle, est né avec cette mutation. Et son cerveau, plus fourni en neurones, s'est davantage plissé et réorganisé que celui de ses congénères.

Cette personne a-t-elle eu des maux de tête ? A-t-elle profité de capacités cognitives supérieures ? Elle aurait pu finir entre les crocs d'une bête sauvage ; ou mourir d'une maladie ; ou naître stérile... Non, elle a atteint l'âge adulte et s'est reproduite, transmettant sa précieuse mutation à ses enfants (avec une chance de 50 %). Et son succès a été tel qu'aujourd'hui, avec nos gros crânes et nos cerveaux tout plissés, nous en sommes les descendants. Une belle histoire, non ?



A lire : les diverses études menées par Wieland Huttner ainsi qu'une vidéo explicative de ses recherches (en anglais).

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

UNE STRUCTURE SINGULIÈRE

Le Blob – alias *Physarum polycephalum* – est constitué d'une seule cellule remplie de millions de noyaux et parcourue par un réseau vasculaire agité de convulsions.

DES DIMENSIONS INÉDITES

Cette cellule grossit à une vitesse pouvant atteindre 4 cm par heure et s'étend parfois sur une surface de plus de 10 m².

UN COMPORTEMENT INTELLIGENT

Le Blob résout des problèmes de maths. Il est capable d'apprendre de nouvelles informations puis de les transmettre.

UN MÉTABOLISME ÉTRANGE

Il peut "ressusciter" et affiche dans son génome plus de 700 sexes différents.

Le “Blob”

La créature qui affole les biologistes

Ce n'est ni un végétal, ni un animal. Juste une simple cellule, unique, mouvante et... intelligente ! **Vincent Nouyrigat** a ausculté ce véritable prodige de l'évolution.

Cela ressemble à une grosse blague de biologiste. Imaginez un organisme ni animal, ni végétal, ni champignon, formé d'une unique cellule gigantesque – susceptible de couvrir 10 m², voire plus – raffolant de flocons d'avoine et de blancs d'œuf. Drôle. Imaginez maintenant que cet être unicellulaire rampant et baveux soit capable de

résoudre sans effort des problèmes de mathématiques, d'apprendre de nouveaux comportements et même de transmettre ces enseignements à ses congénères ; en clair, une sorte de moisissure savante. Très drôle...

Mais non, pas drôle du tout : “*Cet organisme, Physarum polycephalum, existe bel et bien sur Terre depuis au moins 500 millions d'années et prospère dans les sous-bois*”, tance Audrey Dussutour, la spécialiste mondiale de cet ovni au Centre de recherche sur la cognition animale (université Paul-Sabatier, Toulouse). “*Nous l'appelons entre nous 'Blob', en référence à un film d'horreur américain de 1958 qui faisait de Physarum le personnage principal cherchant à*

envahir la planète.” “*C'est un organisme totalement fou, incroyable, fascinant*”, souffle Carsten Janke, spécialiste des eucaryotes à l'Institut Curie (Paris).

Aussi chevronnés soient-ils, les biologistes qui se sont penchés sur le Blob l'ont toujours trouvé furieusement étrange : horriblement difficile à placer sur l'arbre du vivant – il vient seulement d'être classé parmi les amibozoaires –, bizarrement organisé avec cette seule cellule comprenant des millions de noyaux baignant dans le même cytoplasme, franchement envahissant avec sa tendance à déborder des boîtes de Petri du jour au lendemain à une vitesse de croissance pouvant atteindre 4 cm par heure. Sans parler de sa faculté à “ressusciter” après avoir subi une franche dessiccation ou de ses comportements alimentaires et sociaux très variables d'une souche à l'autre ; “*Ces cellules montrent des personnalités bien différentes*”, sourit Audrey Dussutour.

Contexte

Depuis une décennie, les recherches en cognition ont élargi la notion d'intelligence aux invertébrés et aux plantes, capables de comportements étonnamment sophistiqués. Mais ces organismes pluricellulaires – sans cerveau – ne sont peut-être pas les seuls êtres pensants : les scientifiques se tournent désormais vers des créatures encore plus primitives.

Or, une nouvelle excentricité vient de s'ajouter à la liste : les dernières expériences dirigées par la chercheuse française montrent que cette créature primitive jaunâtre serait tout bonnement... intelligente.

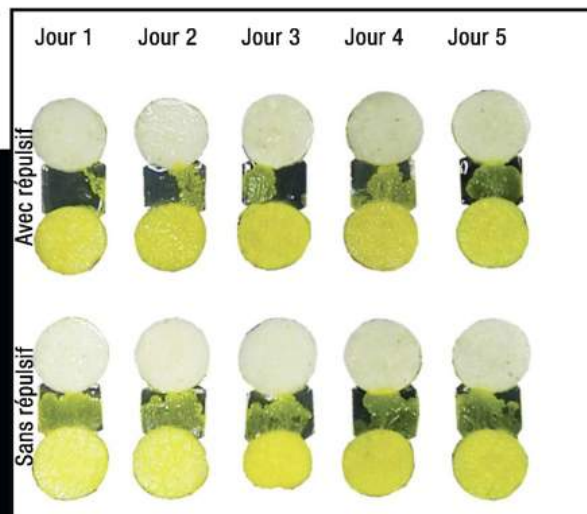
Intelligente, c'est-à-dire capable de résoudre des problèmes ? Difficile à croire alors que *Physarum* est constitué d'une seule cellule et donc dépourvu du moindre neurone ou système nerveux. "Vu de l'extérieur, il ressemble à un système stationnaire et

inerte, reconnaît Christopher Reid, expert en systèmes naturels complexes à l'université de Macquarie (Australie). Mais sa véritable nature se révèle au

UNE CELLULE INTELLIGENTE

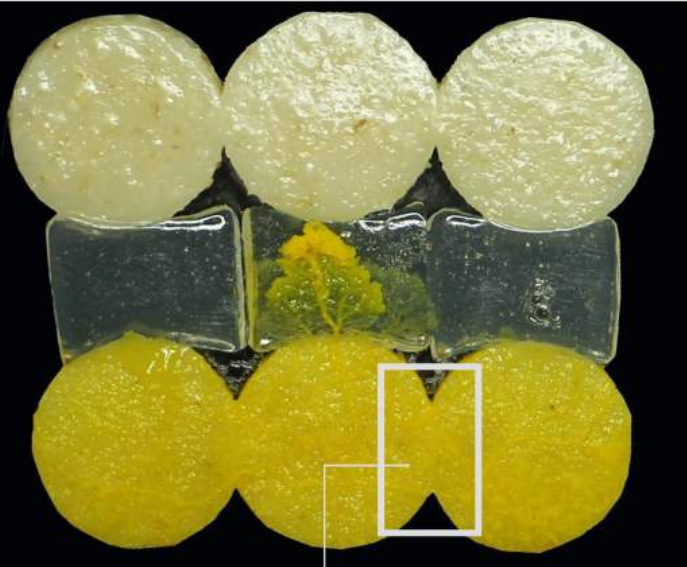
Le Blob est capable d'apprentissage

Dans une expérience publiée en avril 2016, 210 *Physarum polycephalum* (en jaune) ont été exposés chaque jour, à la même heure, à de la nourriture (en blanc) séparée par une substance répulsive – mais inoffensive. D'abord hésitantes, les cellules franchissent de plus en plus facilement ce pont ; elles ont donc appris que le produit était sans danger – et s'en sont souvenu le lendemain.



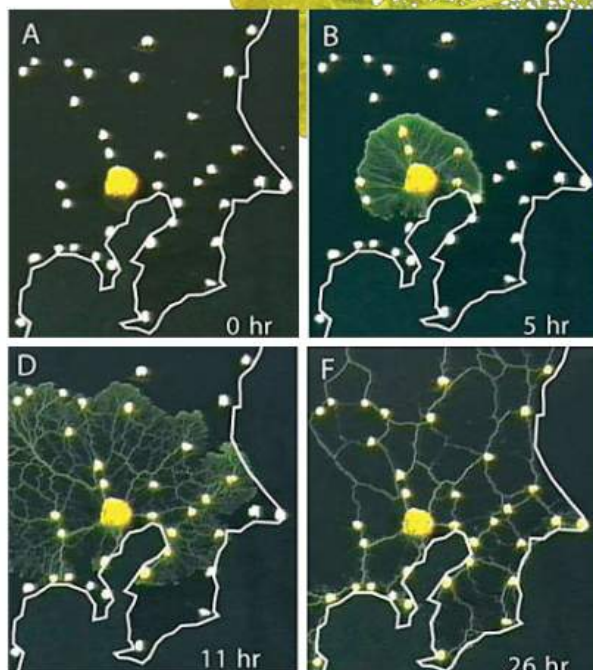
Il stocke et transmet des informations

Autre expérience, fin décembre 2016 : des *Physarum polycephalum* éduqués à la quinine fusionnent avec des créatures "naïves" et leur transmettent leur apprentissage.



microscope : on y voit un réseau hautement complexe et dynamique de tubulures, à travers lesquelles circule le contenu de la cellule à un rythme soutenu, accompagné parfois de brutales accélérations." *Physarum* est en fait constamment agité de

contractions, qui s'accroissent en présence d'un signal alimentaire ou social intéressant puis se propagent au reste de la cellule. "Ces ondes



Il réalise des calculs sophistiqués

Exposé à 36 sources de nourriture figurant des gares ferroviaires de Tokyo (points blancs), *Physarum* est parvenu à former un réseau au moins aussi efficace que celui conçu par les ingénieurs – et moins coûteux.

coopèrent de sorte qu'elles déplacent la masse cellulaire dans une direction bien précise, un peu comme un intestin ou de la 'matière active'", complète Marc Durand, physicien au laboratoire Matière et systèmes complexes (université Paris 7). Chacune des parties du Blob réagit ainsi aux conditions locales en suivant des règles simples, et fait émerger, de proche en proche, un comportement général comparable à celui des colonies d'insectes sociaux et leur intelligence collective.

Depuis maintenant dix ans, les scientifiques s'amuse à soumettre cet organisme primitif à des franchissements

Jargon

L'habituation

est la forme la plus simple d'apprentissage. Ce comportement doit satisfaire neuf critères, dont la décroissance du temps de réponse à la stimulation et la réaction propre à un stimulus bien spécifique.

d'obstacles, des labyrinthes, des casse-tête, et à la résolution de problèmes d'optimisation de réseaux très ardues comme le système ferroviaire de la métropole de Tokyo. À la manière d'un réseau vasculaire, "*Physarum réalise de véritables calculs corporels*", lance Toshiyuki Nakagaki, l'un des pionniers du sujet au laboratoire d'éthologie mathématique et physique de l'université d'Hokkaido (Japon). Toutes ces épreuves remportées haut la main ont valu au Blob plusieurs publications dans *Annals of Improbable Research* et, en 2010, un Ig Nobel, destiné aux travaux scientifiques qui font rire.

Pourtant, le Blob mérite d'être pris au sérieux ! En avril 2016, l'équipe d'Audrey Dussutour publiait les résultats d'une expérience autrement plus pertinente : 210 *Physarum* ont été séparés de leur nourriture par un pont enduit de quinine ou de caféine, deux substances amères inoffensives mais très répulsives pour eux. Résultat : réticents au début, les spécimens ont

petit à petit intégré que l'endroit était sans danger, formant des ramifications vers le garde-manger, et ne montrant plus aucune hésitation lorsqu'ils étaient confrontés une nouvelle fois à ces substances. "*Ils ont répondu aux critères très précis de ce que l'on appelle l'habituation* [voir Jargon, ci-contre] : une forme simple mais indéniable d'apprentissage", s'enthousiasme Audrey Dussutour.

IL ÉDUQUE SES CONGÉNÈRES

Ce n'est pas tout : l'équipe de chercheurs toulousains mettait ensuite en évidence, après six mois d'expériences méticuleuses, que ces créatures pouvaient se transmettre entre elles ce nouvel acquis ! Après être entré en contact avec un spécimen éduqué à la quinine, un Blob "naïf" n'avait plus aucune objection à franchir la zone répulsive ; ce nouveau comportement adaptatif intervenait à partir de trois heures de contact, le temps pour les Blobs de former une tubulure entre eux.

Un choc ? À vrai dire, de nombreux travaux ont révélé,

→ ces dernières années, les capacités d'apprentissage des invertébrés (voir *S&V* n°1144) et même de certains végétaux (voir *S&V* n°1146). Après tout, il est parfaitement logique qu'un organisme puisse s'adapter aux conditions fluctuantes de son environnement s'il veut survivre. Mais la question restait jusqu'ici beaucoup plus débattue pour les êtres vivants les plus simples

l'on percevait jusqu'ici comme très sophistiqués peuvent être résolus par des mécanismes relativement simples", souligne Simon Garnier, spécialiste de l'intelligence collective à l'université Rutgers (Etats-Unis). *"Cela démontre clairement que les comportements intelligents ne sont pas l'apanage des animaux pourvus d'un cerveau, mais qu'ils sont accessibles à des formes*

hypothèses sont en cours de test, dont celle de l'épigénétique. Selon ce scénario, des récepteurs de la membrane du Blob – qui restent à découvrir – réagiraient au stimulus et entraîneraient une cascade de réactions moléculaires modifiant l'expression de certains gènes; l'équivalent biochimique du déferlement électrique qui se produit entre les neurones d'un cerveau "ordinaire".

"Nous sommes en train de tester sur Physarum des formes plus complètes d'apprentissage, comme celui par association, à l'image du chien de Pavlov, confie Audrey Dussutour. Nous voudrions aussi tester si le Blob est capable d'intégrer et transmettre deux informations à la fois... Vous n'imaginez pas le nombre de chercheurs qui nous soumettent leurs hypothèses ou nous suggèrent de nouvelles expériences. Le Blob ne nous appartient plus!"

"Etudier ces organismes à la marge est très précieux, défend Carsten Jancke. Les biologistes se sont jusqu'ici concentrés sur quelques mammifères, drosophiles, vers ou levures, mais nous manquons encore d'une vision large des possibilités offertes par l'évolution." Des possibilités qui peuvent parfois paraître délirantes ou anecdotiques, mais qui finissent par faire réfléchir...

A quoi pourrait bien servir le Blob ?

Physarum polycephalum n'est pas qu'un sujet de fascination. "On nous reproche de consacrer du temps à cette créature, mais je suis convaincu que ce genre d'étude peut être utile à la science appliquée", soutient le biologiste Carsten Jancke. Exemple: une équipe de biophysiciens de l'université de Brême (Allemagne) s'appuie sur le réseau de tubulures formé par le Blob pour étudier et combattre l'afflux sanguin au sein de tumeurs cancéreuses. Autre créneau envisagé, la bio-informatique: la structure de la créature inspire en effet à certains chercheurs de nouvelles architectures de calcul informatique.

et élémentaires qui soient sur Terre, les unicellulaires. *"Les expériences menées sur les bactéries ne sont toujours pas convaincantes, car plusieurs générations se succèdent durant la manipulation, marquant les effets de la sélection naturelle plutôt que l'adaptation d'un individu", argumente Audrey Dussutour.*

Le cas de *Physarum* ne fait, lui, pas de doute. *"Ces expériences sont très bien menées, convaincantes et élégantes", réagit par exemple Philippe Vandenkoornhuyse, chercheur au laboratoire Ecosystèmes, biodiversité, évolution (université Rennes 1). "Le cas du Blob montre que des problèmes que*

de vie de tous horizons", évoque Christopher Reid. A ce titre, Physarum témoignerait d'une des formes originelles de l'intelligence, apparue bien avant les premières ébauches de systèmes nerveux. "Il faut sortir de l'opinion stupide que les organismes primitifs sont stupides!", lance à son tour Toshiyuki Nakagaki.

DES RÉACTIONS EN CHAÎNE

Merveilleux. Mais comment font ces organismes pour apprendre, réfléchir, prendre des décisions? Quelle partie du Blob serait susceptible de traiter et transmettre l'information? Et où pourrait bien se loger sa mémoire? Plusieurs



A lire : *Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le Blob sans jamais oser le demander*, d'Audrey Dussutour, éd. Equateurs. A voir : une conférence TED, en français, sur le Blob.



EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

52^e SALON INTERNATIONAL DE L'AÉRONAUTIQUE & DE L'ESPACE

PARIS - LE BOURGET



23 - 25
JUIN 2017
de 8H30 à 18H
www.siae.fr

Proxima b Premier portrait de notre voisine

Depuis sa découverte l'été dernier, cette petite planète concentre tous les regards. À quoi ressemble-t-elle ? Une chose est sûre : ce n'est pas une "autre Terre". Pour autant, est-elle habitable ? **Benoît Rey** passe en revue toutes les possibilités.

Est-ce qu'un désert de sable aride recouvre sa surface ? Ou est-elle entièrement englobée dans un profond océan ? A moins qu'elle ne soit congelée sur une face, et recouverte d'une jungle luxuriante sur l'autre ? A quoi ressemble notre plus proche voisine ? Depuis la découverte, en août dernier, d'une petite planète autour de Proxima

du Centaure, l'étoile la plus proche du système solaire, des dizaines d'astronomes ont mis de côté leurs recherches en cours pour se concentrer sur sa physionomie...

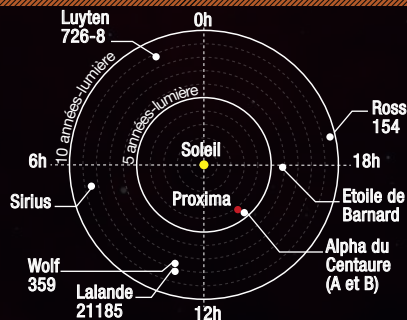
Un sacré défi. Car même à cette "courte" distance de 4,27 années-lumière, les télescopes actuels ne suffisent pas à l'observer directement. Elle est trop petite ! Trop proche de son étoile ! Si, au moins, elle pas-

sait de temps en temps devant elle, comme les sept planètes de Trappist-1 (voir encadré p. 86), on pourrait en tirer des informations précieuses sur sa teneur en eau, par exemple, ou son atmosphère...

Mais non. En décembre dernier, David Kipping, de l'université Columbia à New York, a publié ses observations du système Proxima réalisées avec le satellite canadien Most

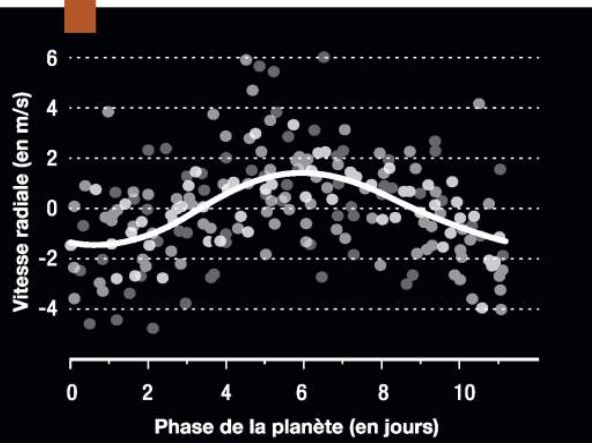
Contexte

Proxima b tourne autour de Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche de nous, à 4,27 années-lumière (al) du Soleil seulement. Les deux autres étoiles du système, Alpha du Centaure A et B, se situent 0,09 al plus loin. C'est la seule planète confirmée dans un rayon de 10 al de la Terre, et la seule qui gravite dans la zone habitable de son étoile...



16 ANS POUR CAPTER L'INFIME SIGNAL QUI A RÉVÉLÉ PROXIMA

Tous les 11 jours, 4 h et 27 min, la luminosité de l'étoile Proxima du Centaure varie. La méthode de la vitesse radiale permet d'en déduire qu'elle s'approche et s'éloigne de nous à 5 km/h et que, par conséquent, quelque chose tourne autour : une planète, dont l'orbite est située dans la zone d'habitabilité.

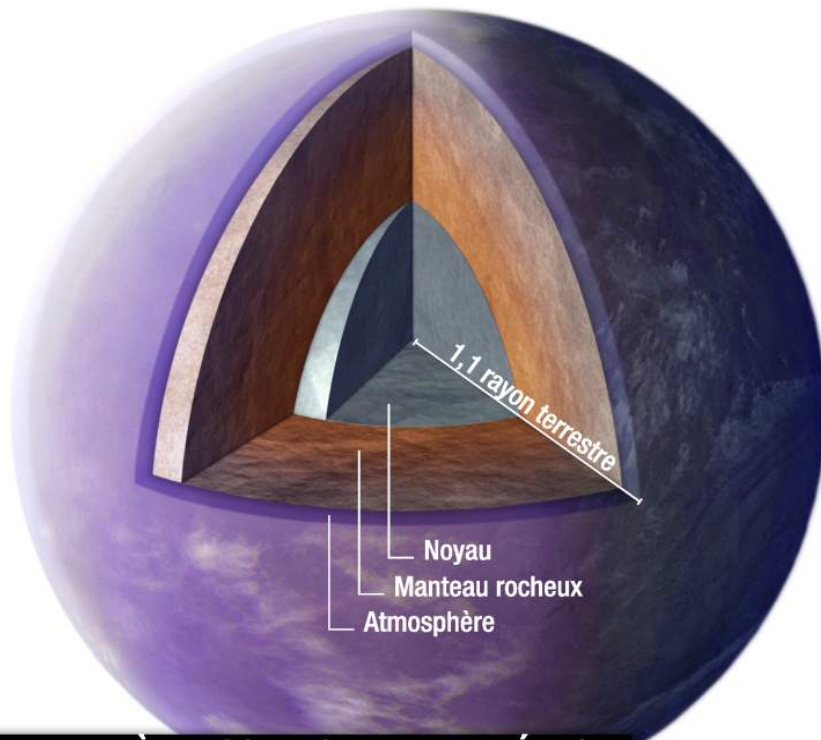


→ et les télescopes de l'hémisphère Sud Hartsouth... C'est définitif : Proxima b ne transite pas. Les deux meilleures techniques de caractérisation des exoplanètes, l'imagerie directe et la méthode des transits, sont donc inopérantes.

Alors ? Reste la troisième : la méthode de la vitesse radiale. Elle consiste à mesurer les infimes décalages de fréquence de la lumière de son étoile (voir graphique ci-dessus). Le problème, c'est que ce petit soleil rouge est en permanence

On ne connaît que sa masse : l'équivalent de 1,6 Terre... au moins

parcouru de soubresauts de lumière, des éruptions qui rendent sa luminosité très variable. Voilà pourquoi vingt ans ont été nécessaires pour entériner l'existence de la planète ! Vingt ans pour finir par



UNE PLANÈTE ROCHEUSE DE TYPE VÉNUS ?

Probabilité : moyenne

A quoi ressemble-t-elle ?

Proxima b est un enfer : l'atmosphère y est suffocante depuis que les océans se sont évaporés et que l'effet de serre s'est emballé, il y a des milliards d'années. La planète est incapable de réguler son atmosphère où s'accumule encore le CO₂ craché par les volcans.

A-t-elle une chance d'être habitable ?

Une pression écrasante, une température de plusieurs centaines de degrés : la vie n'est pas la bienvenue ici. Sauf à imaginer une couche en altitude où des conditions tempérées permettraient à des gouttelettes d'eau de se former...

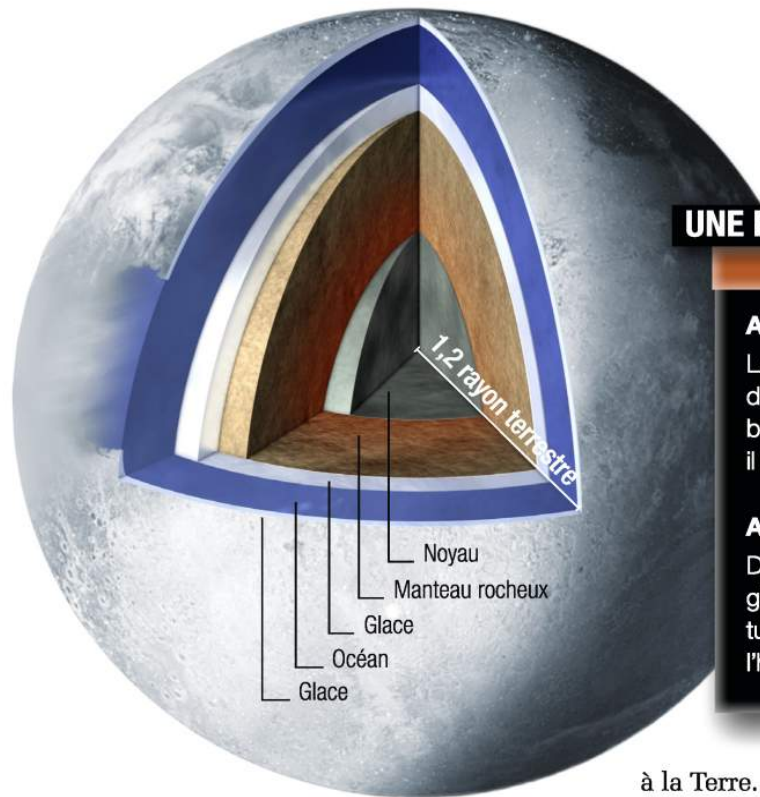
établir quelques maigres données : l'étoile s'éloigne et se rapproche de nous à 5 km/h avec une période de 11,186 jours, ce qui signifie qu'une planète d'au moins 1,27 masse terrestre lui tourne autour.

Au moins, car la vitesse radiale ne donne accès qu'à une limite inférieure de la masse, et c'est là son point faible. Daniel Apai, de l'université d'Arizona, a calculé en février que la valeur réelle doit tourner autour de 1,6 masse terrestre.

Mais Martin Turbet, du Laboratoire de météorologie dynamique à Paris, n'est pas convaincu. Pour lui, il ne

s'agit là que d'un calcul statistique, qui ne permet pas d'exclure une masse de 5 fois celle de la Terre. Et ça changerait tout ! Proxima b serait gazeuse comme Neptune, au lieu d'être rocheuse comme la Terre. *"C'est tout de même peu probable, tempère-t-il. Je dirais qu'il y a 10 % de chances."*

Proxima b a donc plus de chances d'être rocheuse. Elle orbiterait à 7,5 millions de km de son étoile. Soit 20 fois plus près que la Terre ne l'est du Soleil ! Mais pas de quoi être chauffée à blanc par les rayons de son étoile. Celle-ci est en effet une naine rouge, 10 fois moins massive et... 650 fois



UNE PLANÈTE GLACÉE DE TYPE ENCELADE ?

Probabilité : forte

A quoi ressemble-t-elle ?

La planète est recouverte d'une immense banquise... sauf du côté de son soleil, où elle laisse apparaître son océan à travers un trou béant d'au moins 1000 kilomètres de diamètre. Depuis l'espace, il donne l'impression étrange d'un œil qui fixe son étoile.

A-t-elle une chance d'être habitable ?

De l'eau liquide affleure à sa surface : par définition, la Proxima b glacée est donc habitable. Les astronomes imaginent une structure interne semblable à celle d'Europe, cette lune de Jupiter dont l'habitabilité est considérée comme de plus en plus probable.

moins brillante que notre Soleil. Inutile d'ailleurs de la chercher dans le ciel, elle est absolument invisible à l'œil nu. Comme toutes les autres naines rouges qui pourtant pullulent autour de nous : ce sont les étoiles les plus communes de la galaxie.

Ainsi, la planète Proxima b se trouve dans la zone d'habitabilité, exactement à la bonne distance de son étoile pour que la présence d'eau liquide à sa surface ne soit pas impossible. D'où l'impact de sa découverte en août dernier. Est-ce à dire qu'elle est parcourue par d'abondantes rivières d'eau fraîche et cristalline qui se jettent dans de profonds océans aux reflets turquoise ? On ne sait pas...

Ignasi Ribas, de l'Institut des sciences de l'espace à Barcelone, a établi que dans sa prime jeunesse, l'étoile Proxima était autrement plus virulente. Elle aurait irradié la planète fraîchement formée de rayons X et ultraviolets 150 fois plus intenses que ce qu'inflige aujourd'hui le Soleil

à la Terre. Suffisamment pour souffler dans l'espace l'équivalent d'un océan terrestre ! Et laisser la planète sèche comme un caillou ? *"C'est simple, tout dépend de combien elle possédait d'eau au départ, répond le chercheur. C'est là la clé de toute cette histoire. Hélas, on n'en a pas la moindre idée !"*

TEMPÉRÉE OU GLACÉE

Pour tâcher d'en savoir plus, Yann Alibert, de l'université de Berne, a programmé des simulations de formation de planètes autour des naines rouges. Dix fois moins massives que le Soleil, celles-ci s'entoureraient d'un disque protoplanétaire proportion-

nnellement 10 fois moins massif que celui à partir duquel se sont formées les planètes du système solaire. Au sein de ce disque, la pression serait inférieure, et la température aussi. Au final, le disque serait considérablement plus riche en glace. *"Nos modèles concluent qu'il y a plus de 50 % de chances pour que Proxima b ait à l'origine été très riche en eau : jusqu'à 100 fois plus que sur Terre."* C'est largement assez pour immerger intégralement les continents. Et un océan terrestre de plus ou de moins, peu importe.

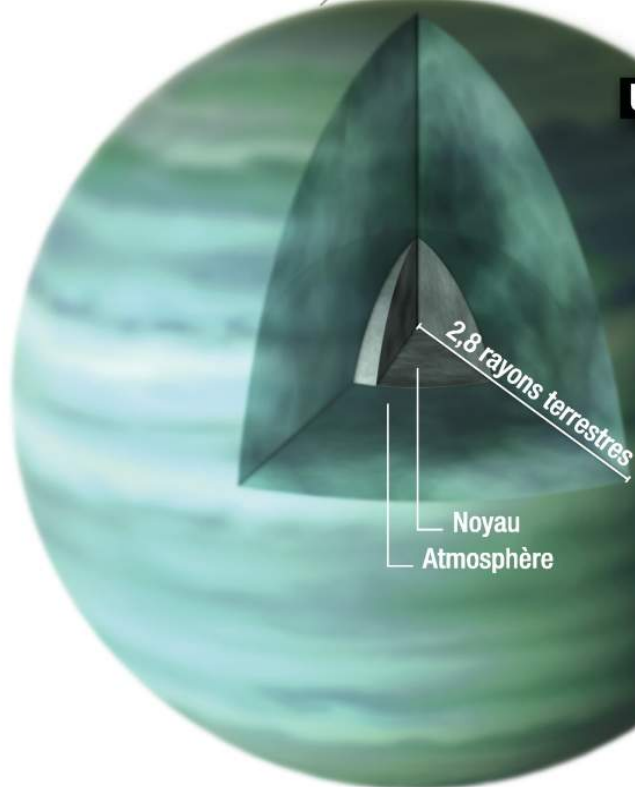
"Ce qui importe en revanche, c'est la rotation de la planète sur elle-même", signale Martin Turbet. A une distance si courte



MARTIN TURBET

Laboratoire de météorologie
dynamique de Paris

Il s'agit d'établir si Proxima b possède une atmosphère, et si celle-ci est fine ou épaisse



UNE PLANÈTE GAZEUSE DE TYPE NEPTUNE ?

Probabilité : très faible

A quoi ressemble-t-elle ?

Proxima b est née massive : plus de deux fois plus grosse que la Terre. Son atmosphère a donc pu résister aux puissants ultraviolets irradiés par son étoile dans sa prime jeunesse. Elle apparaît aujourd'hui sous la forme d'une gigantesque boule de gaz au teint bleu-vert, peut-être truffée d'un cœur rocheux.

A-t-elle une chance d'être habitable ?

Sans surface, impossible d'abriter un océan liquide... Quelques exobiologistes envisagent la possibilité de vie en suspension, mais si elle est gazeuse, Proxima b sera considérée comme inhabitable.

→ de son étoile, une planète ne peut orbiter que de deux manières possibles. Soit, comme Mercure autour du Soleil, elle fait trois tours sur elle-même en deux orbites, auquel cas un jour sur Proxima durerait trois semaines terrestres... et une année, onze jours terrestres ! Soit elle est verrouillée gravitationnellement et montre toujours la même face à son étoile, comme la Lune à la Terre. Alors, le jour serait infini d'un côté, et la nuit éternelle de l'autre !

Les deux cas de figure ont des conséquences sur les conditions climatiques régnant sur

la planète. Dans le premier cas, la planète pourrait être entièrement recouverte de glace, chose impossible dans le second, où la région où l'étoile est perpétuellement au zénith serait forcément tempérée. *"Il est encore impossible de départager les deux cas de figure, qui sont équiprobables, explique Martin Turbet. Cela dépend d'une part de l'excentricité de l'orbite de la planète, à savoir, si elle est elliptique ou parfaitement circulaire, et d'autre part de sa triaxialité, c'est-à-dire de la répartition plus ou moins uniforme de sa masse à l'intérieur de la planète. Deux critères auxquels nous n'avons pas encore accès."*

Il resterait de toute façon une foule d'autres critères à

prendre en compte. La planète pourrait très bien avoir été desséchée par le passé, mais, comme la Terre, avoir subi ensuite un bombardement massif de comètes qui l'aurait réalimentée en eau ! Il suffirait pour cela que le système stellaire soit entouré d'une sorte de nuage d'Oort, et que celui-ci ait été perturbé par... quelque chose, le passage rapproché d'une étoile par exemple.

IMPOSSIBLE À DATER

Ça tombe bien, Ignasi Ribas croit avoir détecté dans le spectrographe de l'étoile Proxima la présence d'un tel nuage. Des observations sont en cours avec l'interféromètre Alma au Chili, pour le confirmer. Et puis, en décembre dernier, Pierre Kervella, de l'université du Chili, a confirmé que Proxima est gravitationnellement liée à ses deux voisines, Alpha du Centaure A et B. Non seulement cela renforce l'hypothèse d'un rapprochement passé, mais cela fournit également une estimation de l'âge de Proxima !

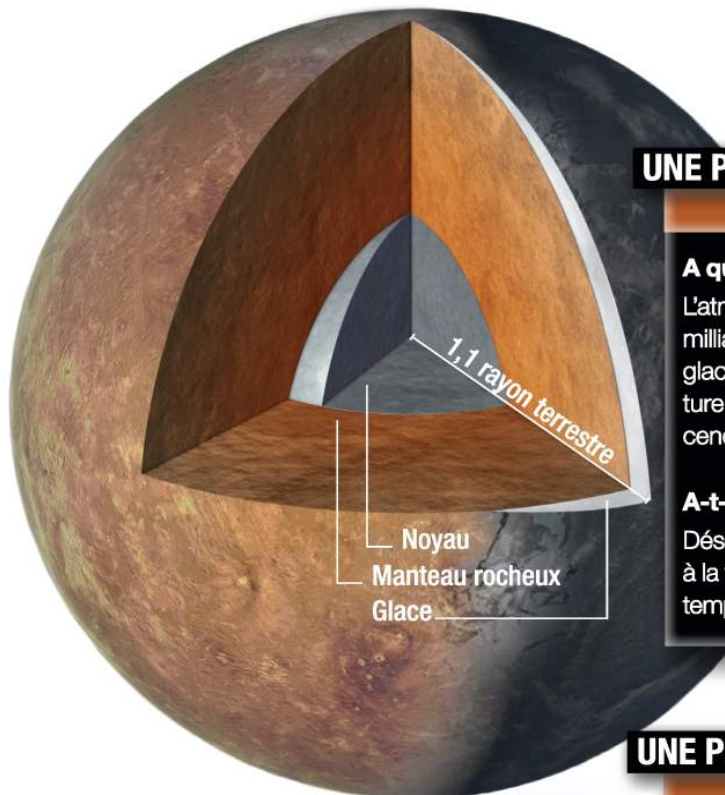
En effet, la naine rouge est impossible à dater, à cause de ses fameuses éruptions. Mais si elle forme un système triple



IGNASI RIBAS

Institut des sciences de l'espace de Barcelone

L'eau est la clé de cette histoire, et tout dépend de combien Proxima b en possédait au départ



UNE PLANÈTE ROCHEUSE DE TYPE LUNAIRE ?

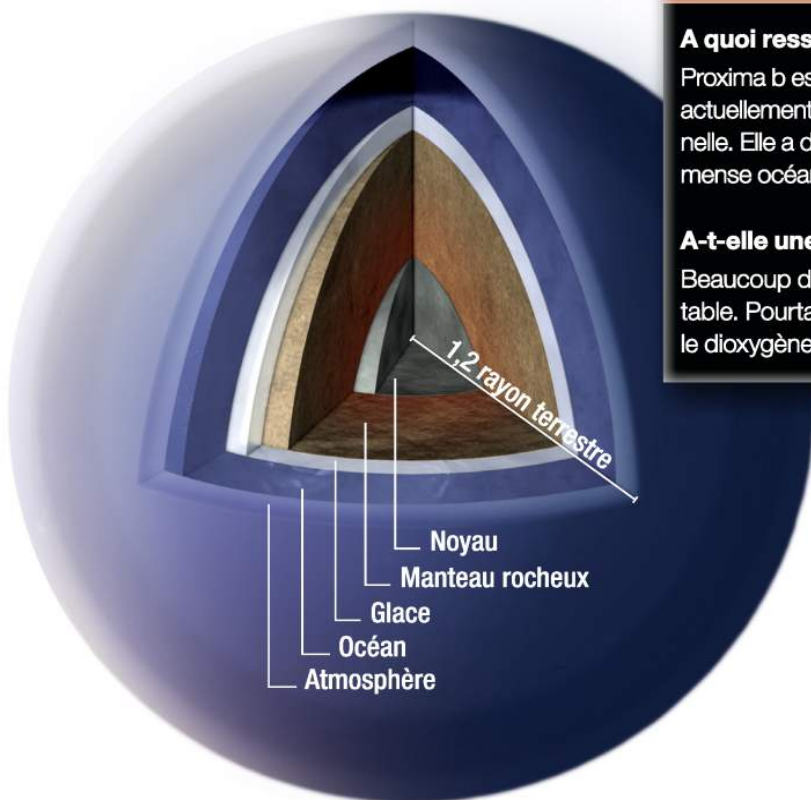
Probabilité : forte

A quoi ressemble-t-elle ?

L'atmosphère de Proxima b s'est volatilisée dans l'espace il y a des milliards d'années. Seule une partie est restée piégée sous forme de glace du côté opposé au Soleil, où la nuit est éternelle et la température ne dépasse pas les -230°C . De l'autre côté, le mercure ne descend jamais en dessous de 60°C .

A-t-elle une chance d'être habitable ?

Désert aride ou nuit glaciale : cette planète n'a rien d'accueillant. Mais à la transition entre les deux faces, la température pourrait être assez tempérée pour que la glace fonde et que des rivières s'écoulent.



UNE PLANÈTE OcéAN D'UN NOUVEAU GENRE ?

Probabilité : faible

A quoi ressemble-t-elle ?

Proxima b est née beaucoup plus loin de son étoile qu'elle ne l'est actuellement, puis elle a migré au hasard d'une interaction gravitationnelle. Elle a donc pu conserver 100 fois plus d'eau que la Terre : l'immense océan qui la recouvre est profond de centaines de kilomètres.

A-t-elle une chance d'être habitable ?

Beaucoup d'eau, climat tempéré : l'aquaplanète Proxima b est habitable. Pourtant, les rayons UV de son étoile pourraient concentrer le dioxygène dans son atmosphère, la rendant peu propice à la vie.

Enfin, même si les étoiles Alpha ne se sont pas approchées suffisamment pour perturber l'orbite de Proxima b, elle pourrait avoir été poussée là par... une seconde planète, plus massive, que personne n'aurait jamais encore découverte ! Spéculation ?

Certes, les simulations de Yann Alibert montrent qu'il est peu probable qu'une géante gazeuse puisse se former autour d'une naine rouge. Et si l'éventualité de la trace d'une seconde planète, qui orbiterait en 200 jours autour de l'étoile Proxima, a été annoncée en août 2016, elle a ensuite été infirmée dès janvier 2017 par une étude de



avec ses deux voisines, cela veut dire qu'elle est née en même temps que ces dernières. Or, on connaît l'âge d'Alpha du Centaure A et B : 6 milliards d'années... soit 1,5 milliard d'années de plus que la Terre !

Proxima b serait donc une vieille planète, ce qui augmente la probabilité qu'au

cours de sa vie, elle ait pu migrer depuis une zone plus éloignée jusqu'à celle où elle se situe aujourd'hui, au hasard des interactions gravitationnelles avec Alpha A et B. Dans ce cas, nul besoin de réservoir de comètes glacées : son eau aurait été épargnée, et elle serait aujourd'hui une planète océan.

→ Mario Damasso, de l'observatoire astrophysique de Turin (Italie).

Mais selon Ignasi Ribas, rien n'est encore joué. *"Cette étude, comme quasiment toutes les autres, est basée sur le même signal qui a permis la découverte de la planète. Tant que de nouvelles observations n'auront pas été effectuées, on ne pourra donc pas écarter ces scénarios."*

Celles-ci devraient avoir lieu grâce au fameux *James Web Spatial Telescope (JWST)* de

verte d'eau liquide, de glace, d'une couche de nuages, etc.

Martin Turbet n'est pas le seul à avoir pris les devants. Victoria Meadows, de l'université de Washington, a quant à elle analysé la photochimie possible de la haute atmosphère: si les futurs télescopes détectent de l'acide sulfurique, cela évoquerait la présence de volcans. S'ils captent du méthane et de l'eau, c'est que la planète est certainement habitable. Si, en revanche, ils ne détectent que

cours tant qu'on ne l'aura pas calibré pour ces observations."

En attendant, les astronomes misent sur l'instrument Espresso. Ce spectromètre est en train d'être installé sur l'un des quatre télescopes du VLT au Chili: c'est le successeur de Harps, celui-là même qui a permis de découvrir la planète!

BIENTÔT LES "EXTRÊMEMENT GRANDS TÉLESCOPES"

Il devrait fournir des informations sur l'excentricité de l'orbite et la présence d'autres planètes dans le système... Et permettre de patienter avant l'arrivée des "extrêmement grands télescopes" des années 2020. Si ceux-ci ne seront toujours pas capables d'obtenir plusieurs pixels de Proxima b, ils pourront au moins séparer la lumière de la planète de celle de l'étoile, et donc analyser directement sa lumière.

Pour une image digne de ce nom, il faudra attendre la génération suivante... ou se rendre sur place! C'est le projet fou de l'équipe de Breakthrough Starshot, financée par le milliardaire russe Yuri Milner (voir *S&V* n°1188, p.40): envoyer là-bas des nanosondes, qui nous dévoileront enfin le vrai visage de Proxima b. Il a fallu vingt ans pour la découvrir, il faudra encore vingt ans pour la démasquer.

Trappist-1 et ses 7 planètes, l'autre voisine prometteuse

"Nous allons pouvoir sonder leur atmosphère et rechercher la présence de vie!" se réjouit Michael Gillon. Pas moins de sept planètes ont été découvertes par l'astronome belge et son équipe autour de la petite étoile Trappist-1. Toutes sont de taille comparable à celle de la Terre. Parmi elles, trois au moins se situent dans la zone habitable. Mais voici le plus remarquable: situées à seulement 40 années-lumière de la Terre, elles passent devant leur soleil à chaque révolution. Dès 2018, le télescope JWST pourra donc analyser la lumière de leur étoile filtrée par leur atmosphère et en déduire la composition de celle-ci. "Ce système va devenir incontournable", prédit Emeline Bolmont, spécialiste du sujet au CEA de Saclay.

M.F.

la Nasa et de l'ESA, dont le lancement est prévu en octobre 2018. *"Il ne verra pas directement la planète, mais établira si elle possède une atmosphère, et si celle-ci est fine comme sur Mars ou épaisse comme sur Vénus", promet Martin Turbet.*

De son côté, il a déjà tracé une esquisse des courbes de phase thermique attendues, selon que la planète est recou-

du tétraoxygène (O_4), c'est que les océans ont été intégralement évaporés et que l'atmosphère est devenue un poison pour toute forme de vie...

Mais ces mesures prendront du temps, peut-être des années. *"JWST est tellement attendu par la communauté d'astronomes qu'il sera probablement pris d'assaut... craint Martin Turbet. Et le problème, c'est qu'il ne nous sera d'aucun se-*

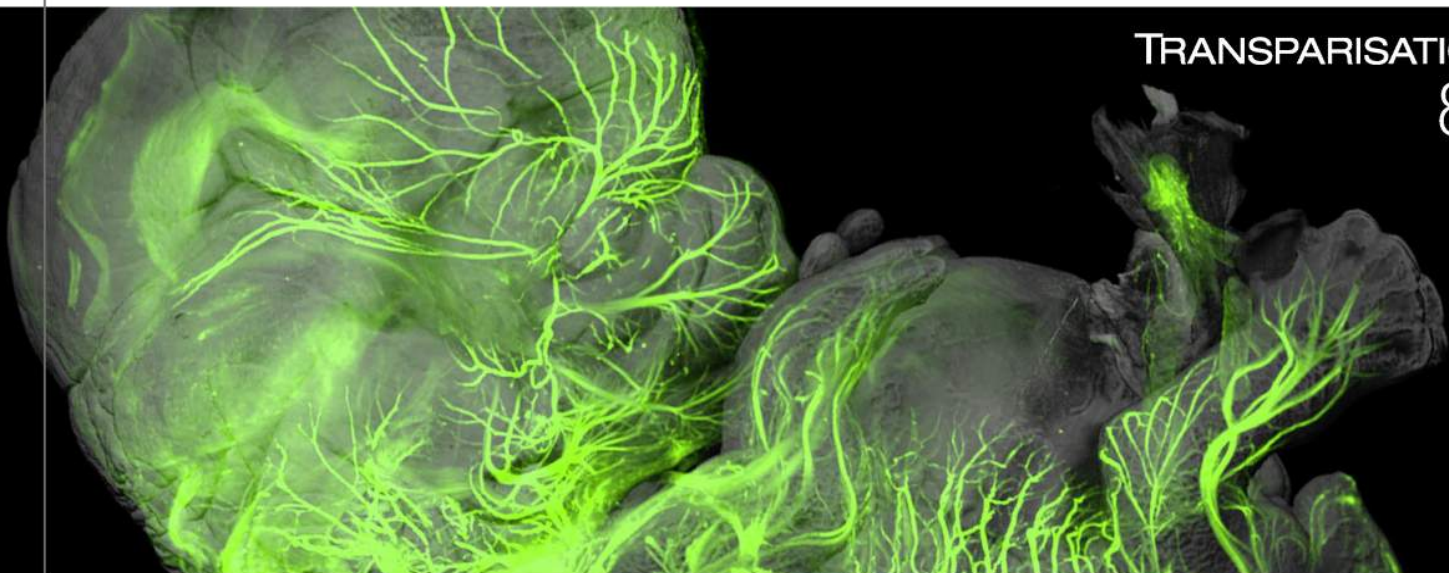


A consulter: la publication de la découverte de la planète; un site qui recense la majorité des recherches sur le sujet.

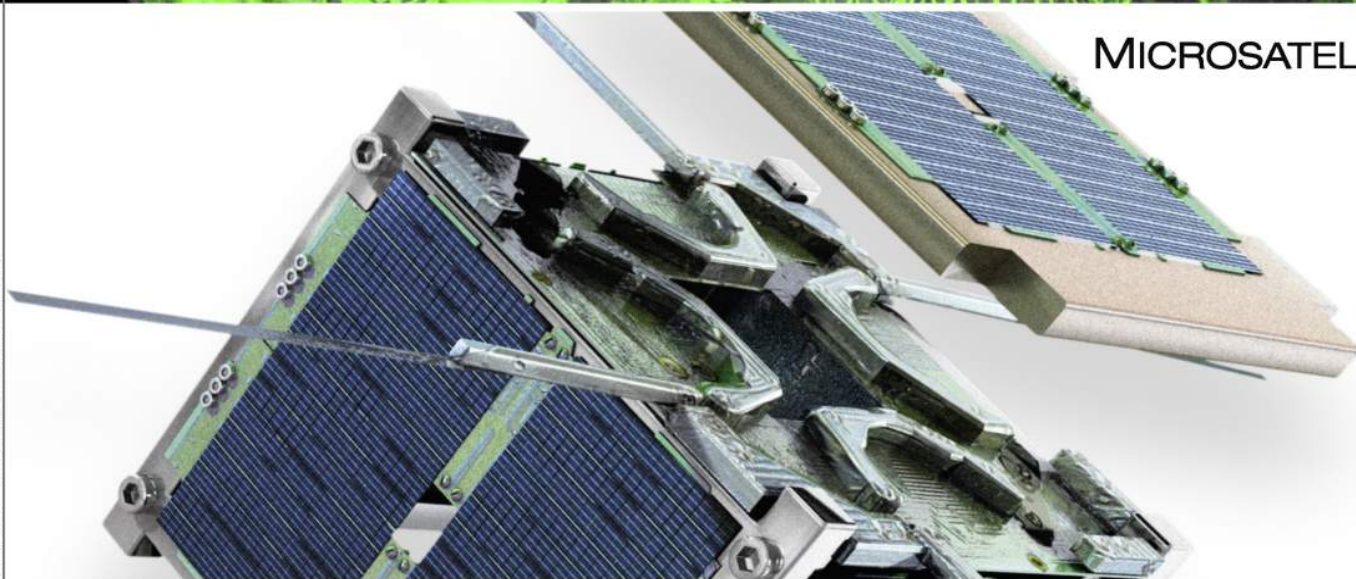
EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

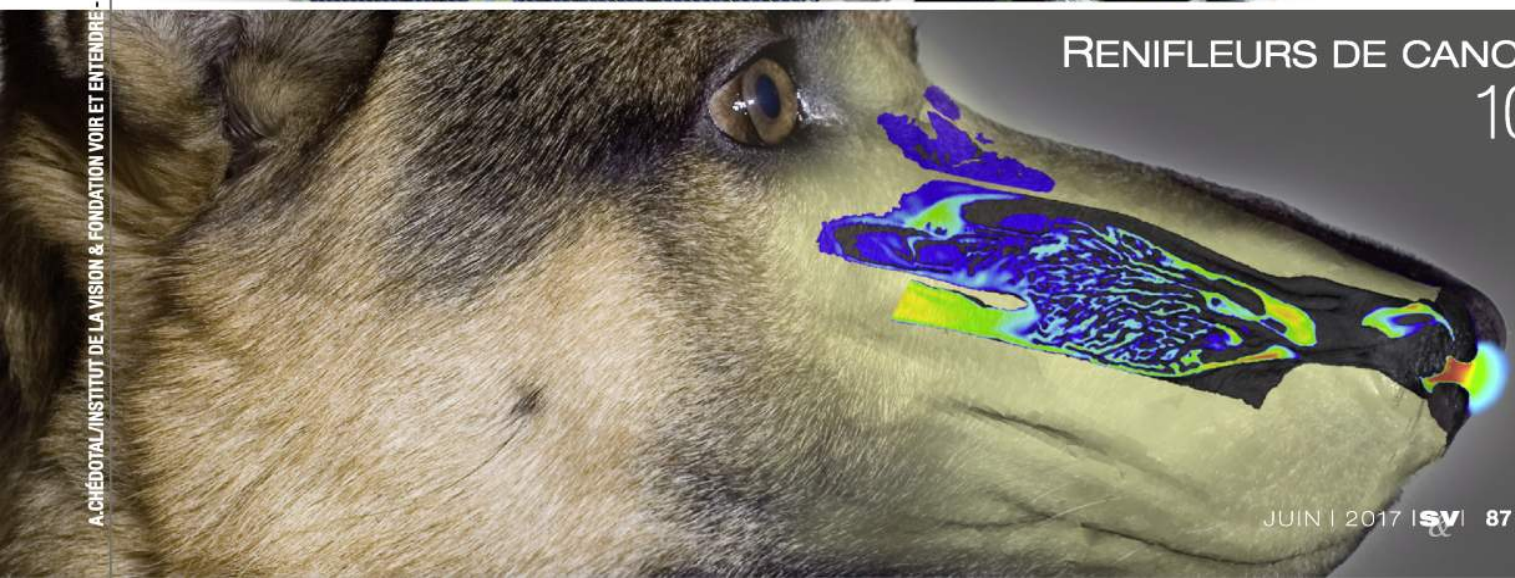
& Science techniques



TRANSPARISATION
88



MICROSATELLITES
96

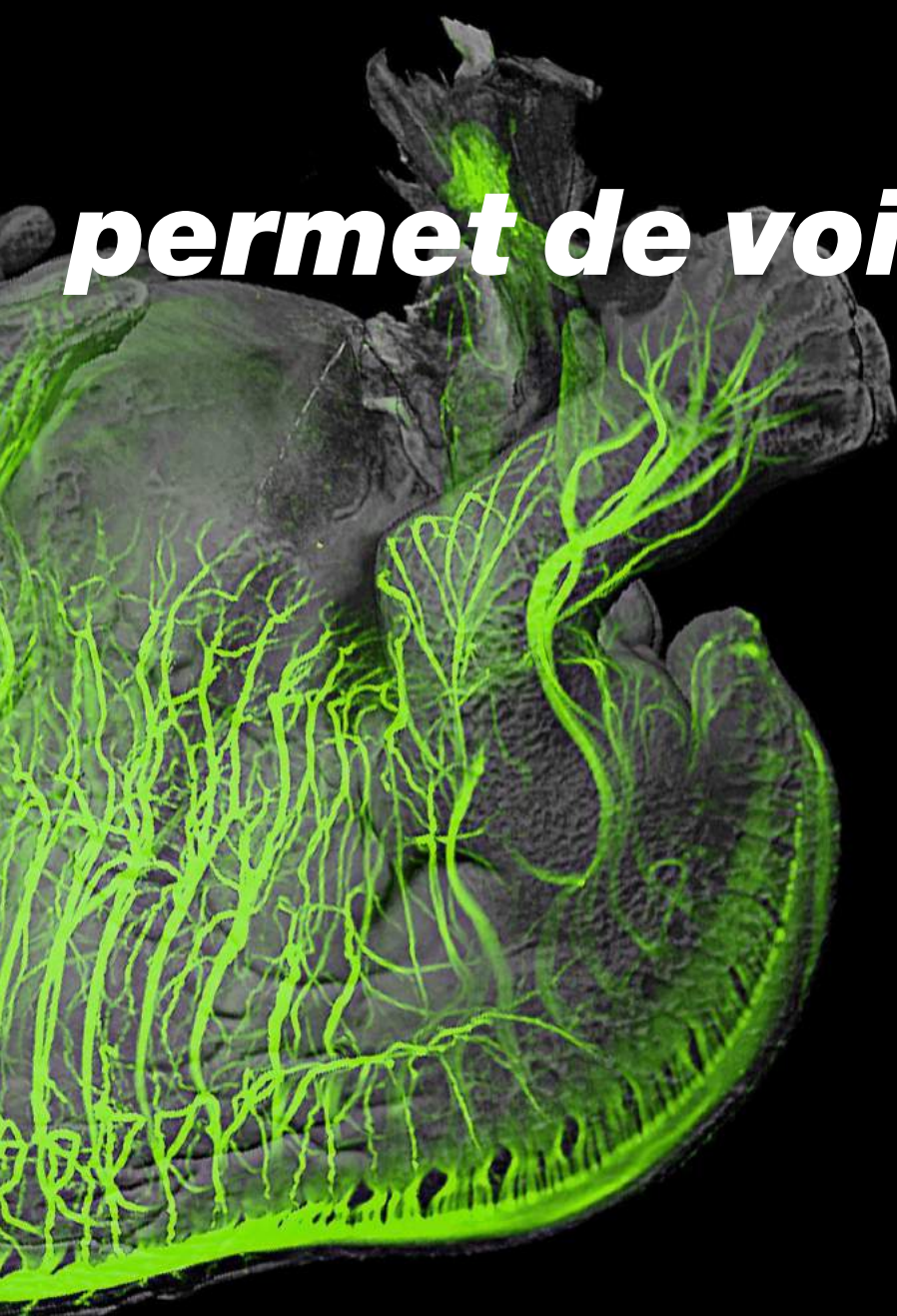


RENIFLEURS DE CANCER
100

Les débuts de la transparence

“**Notre technique à travers des fœtus**”

^ Ce fœtus de huit semaines a été rendu translucide, puis son système nerveux périphérique a été marqué en vert, à l'aide d'anticorps reliés à des molécules fluorescentes.



permet de voir



ALAIN CHÉDOTAL/INSTITUT DE LA VISION & FONDATION
VOIR ET ENTENDRE - CHRISTOPHE HARGOUES

ALAIN
CHÉDOTAL

Inventeur de la technique
de transparençation

Rendre un fœtus transparent afin de visualiser ses différents tissus avec une folle précision : **Elsa Abdoun** a rencontré Alain Chédotal, l'inventeur de cette nouvelle technique qui révolutionne l'imagerie intra-utérine. La preuve en sept images commentées.

Ce sont les tout premiers instants de la vie. Ou les derniers avant qu'elle ne commence, selon le point de vue. Ce sont en tout cas des instants cruciaux que la transpiration permet d'observer avec une précision inédite : durant le développement embryonnaire, le programme génétique se met en branle, les cellules se différencient... bref, l'organisme s'organise.

Jusqu'à présent, pourtant, l'étude des embryons et fœtus humains, que des femmes ayant avorté acceptent de léguer à la science, reposait sur des techniques vieilles de plus d'un siècle. *"On utilise la même méthode depuis 1890 : les embryons et fœtus sont plongés dans la paraffine, puis les scientifiques procèdent à des coupes de quelques micromètres d'épaisseur, pour les observer une à une au microscope"*, détaille Alain Chédotal, directeur de recherche à l'Institut de la vision, à Paris. Une méthode qui ne permet pas de voir l'organisme dans toute sa profondeur.

Repères

Le développement embryonnaire correspond aux huit premières semaines après la fécondation. Ensuite, lorsque tous les organes internes sont formés, on parle de développement fœtal. Les neuf mois passés *in utero* sont cruciaux pour la santé de l'enfant et du futur adulte. La plupart des fausses couches ont lieu au premier trimestre de gestation.

Certes, l'amélioration des techniques de microscopie et de traitement des données permet depuis peu de reconstituer des formes tridimensionnelles à partir de coupes superposées. Mais *"cela peut entraîner une déformation par rapport à la réalité, et nécessite surtout des années de travail"*, affirme Alain Chédotal. De plus, *"à partir de la neuvième semaine, c'était un peu la boîte noire, car les fœtus humains devenaient trop gros pour être étudiés de cette façon. On se servait donc souvent d'embryons de poulets ou de souris comme référence, car ils sont plus petits."*

Mais le chercheur et son équipe ont récemment développé, en collaboration avec la société Keen Eye Technologies,

La réalité d'un fœtus humain en trois dimensions, enfin observable

une méthode permettant, enfin, d'étudier le fœtus humain dans ses trois dimensions, de manière très simple et d'un seul coup d'œil. Leur secret : ils les rendent translucides !

"Nous utilisons des solvants qui éliminent les lipides présents dans la membrane des cellules qui rendent le corps opaque, mais sans pour autant abîmer le reste des molécules ni déformer les tissus", explique Alain Chédotal. Ne reste plus ensuite qu'à faire fluorescer les tissus ou cellules que les chercheurs souhaitent étudier. Pour cela, ces derniers attachent des molécules fluo-

rescentes à des anticorps, qui sont des protéines du système immunitaire dont la propriété est de pouvoir s'accrocher de manière spécifique aux différentes molécules présentes dans le corps. En choisissant des anticorps s'accrochant à celles présentes uniquement sur certains types cellulaires, les chercheurs peuvent observer les tissus ou organes qui les intéressent, à l'intérieur du corps, sans aucune déformation.

DES "PAYSAGES" INÉDITS

"On peut enfin observer la réalité, et pas seulement une reconstitution", s'enthousiasme Alain Chédotal. A condition, cependant, que le fœtus ne soit pas trop gros : *"Au-delà de 2,5 cm d'épaisseur, les objectifs de nos microscopes ne suivent plus"*, reconnaît le chercheur. Qui a tout de même pu étudier des organes fœtaux jusqu'à la limite légale de 14 semaines. En effet, *"cette technique nous permet de réduire de 30 à 50 % la taille des tissus, sans les déformer"*, précise Alain Chédotal.

Une variante de ce nouvel outil de recherche a récemment été utilisée pour étudier des souris adultes (voir *S&V* n° 1168, p. 94). Mais, appliquée à l'humain, la transpiration ouvre alors une fenêtre bouleversante sur l'origine de chacun de nous. Muscles du pied, nerfs du visage, vaisseaux sanguins de la main... en couleur ou en noir et blanc... Tour d'horizon de ces paysages organiques inédits, guidé par celui qui a contribué à leur donner naissance.

ALAIN CHÉDOTAL/INSTITUT DE LA VISION & FONDATION VOIR ET ENTENDRE



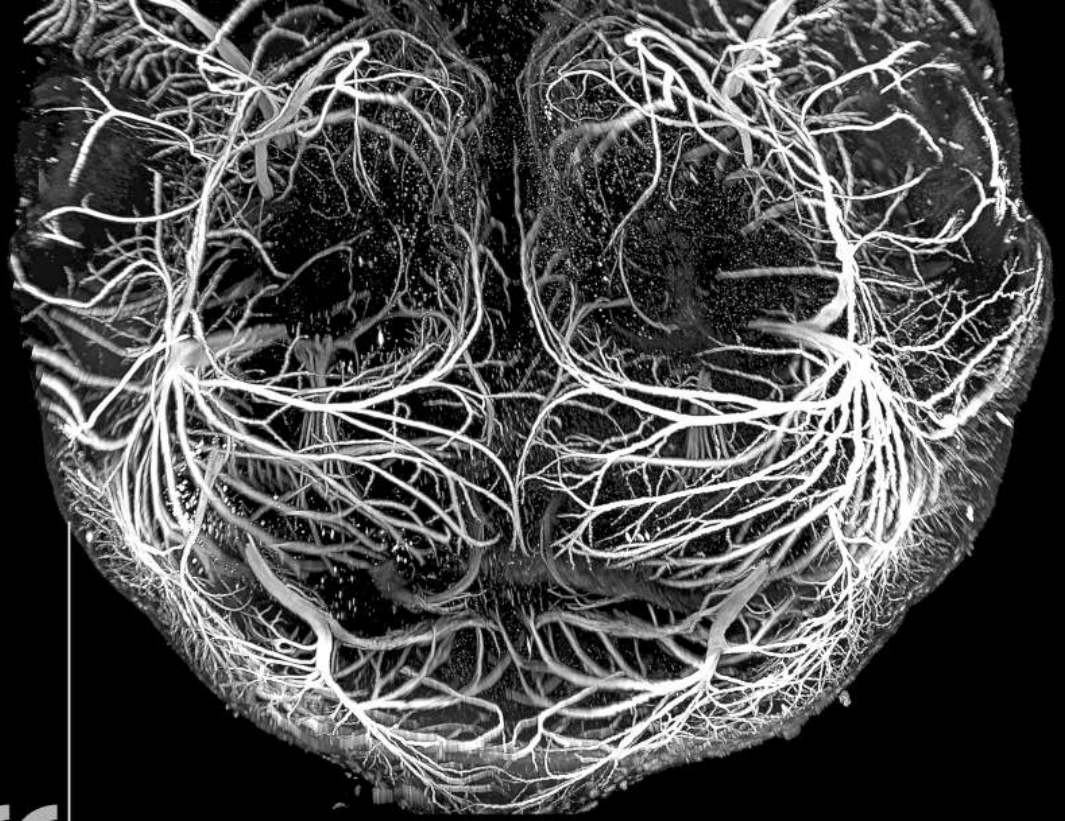
“

“La couleur bleue marque les cellules qui vont plus tard former les muscles, tandis que le rouge colore les nerfs moteurs auxquels ces muscles seront connectés. On voit bien, sur ce pied droit d'un fœtus de 10 semaines et demie, qu'il y a un lien entre les deux : les futures cellules musculaires prolifèrent plus fortement à l'extrémité des nerfs.”



“

“On parle beaucoup du système nerveux entérique, le fameux ‘deuxième cerveau’. On voit ici, en rose, tous les neurones connectés à l’intestin d’un fœtus de 13 semaines. Cette technique va enfin nous permettre de les compter précisément. Le nerf vague, qui relie l’intestin au cerveau, est quant à lui marqué en vert.”



“On voit ici les nerfs sensitifs de la peau du visage d’un embryon de 8 semaines. Cette innervation, déjà très complexe, n’avait jamais été observée avec une telle résolution auparavant.”



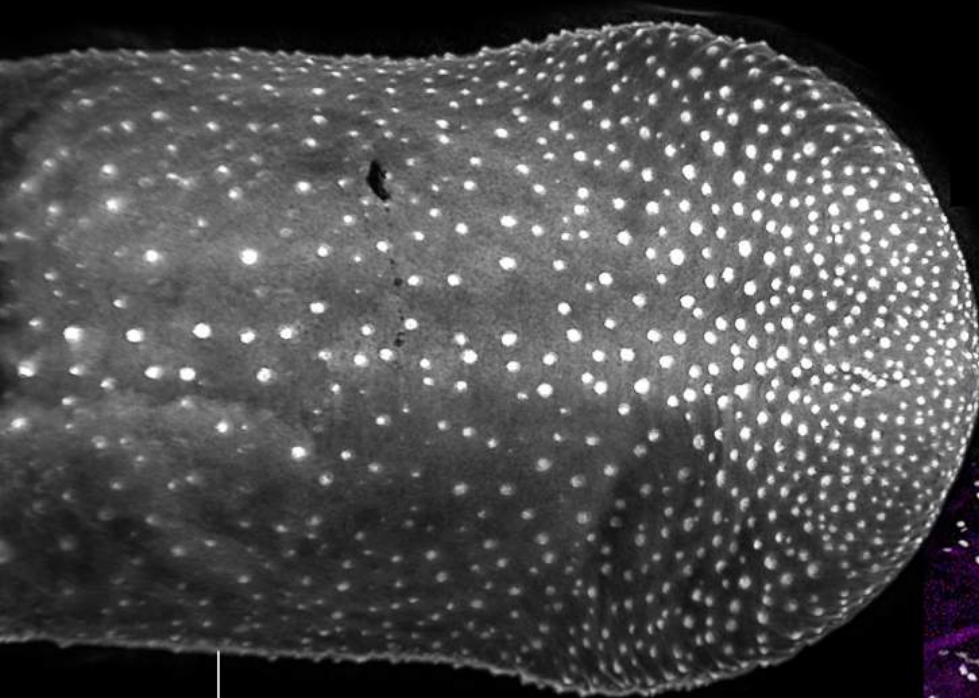
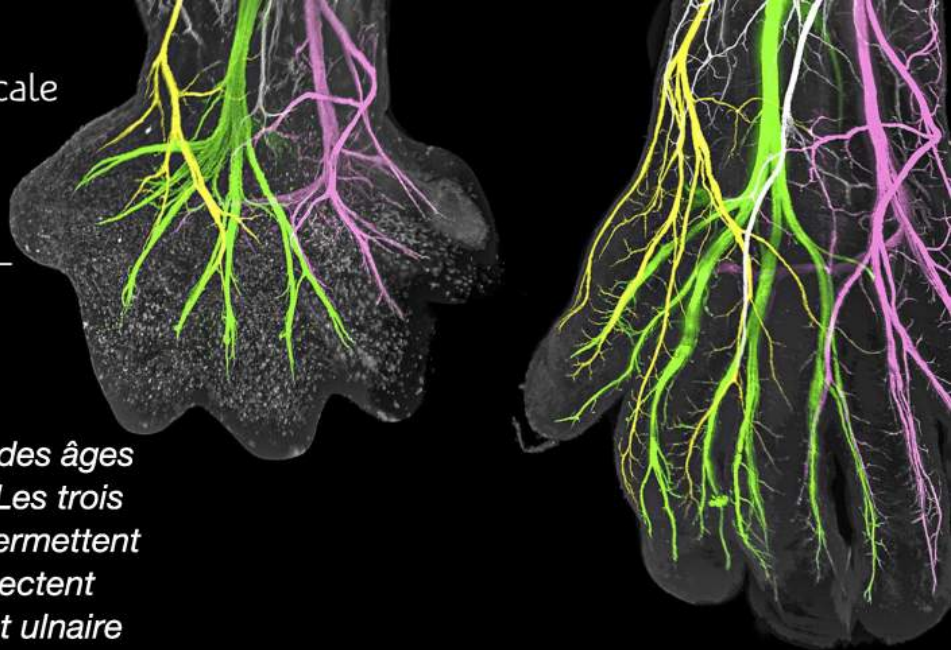
ALAIN CHÉDOTAL / INSTITUT DE LA VISION & FONDATION VOIR ET ENTENDRE

“La vascularisation de la main de cet embryon de 8 semaines est très différente de celle d’une main adulte. Les cellules endothéliales, qui vont former la paroi des vaisseaux, couvrent presque toute la surface de la main... mais elles ne sont pas encore connectées au cœur!”

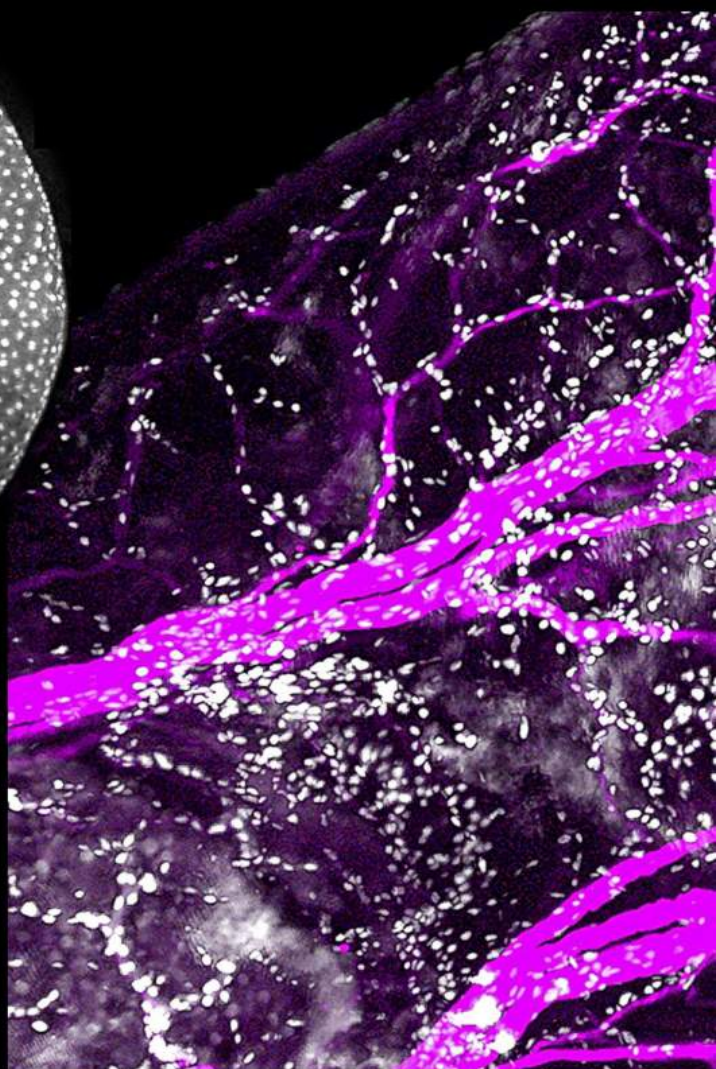


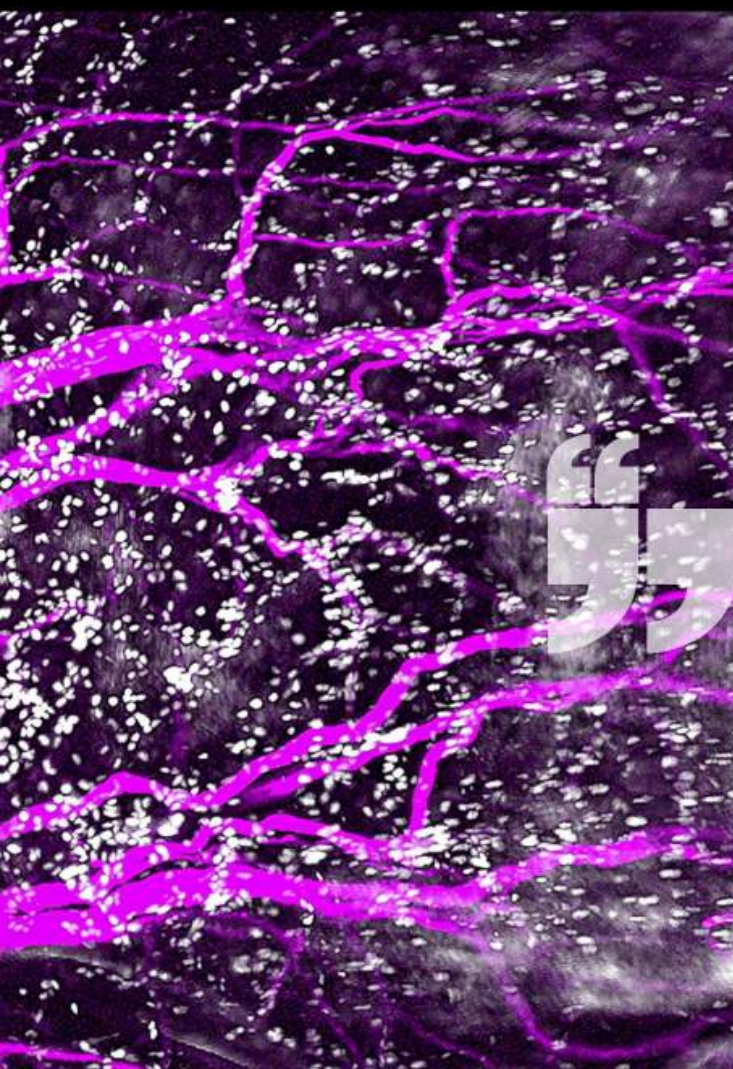
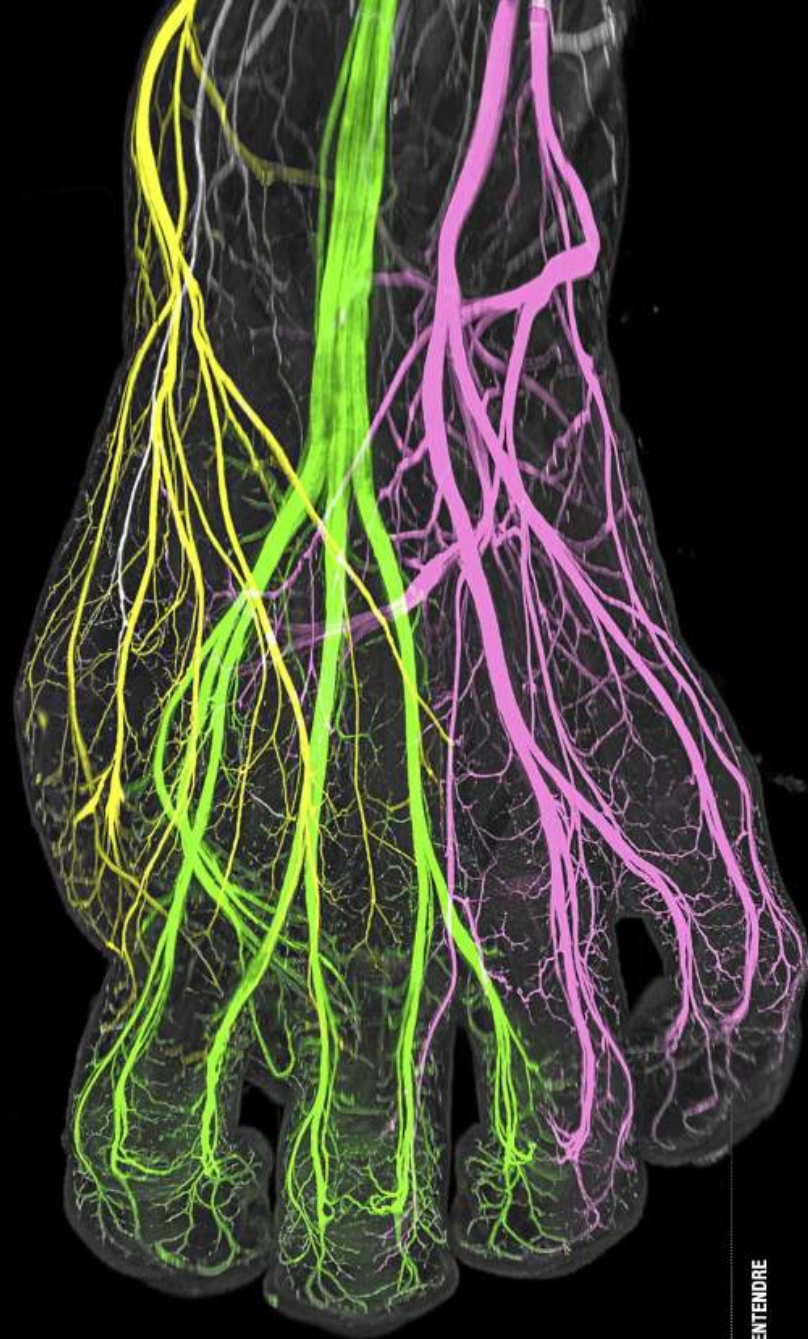
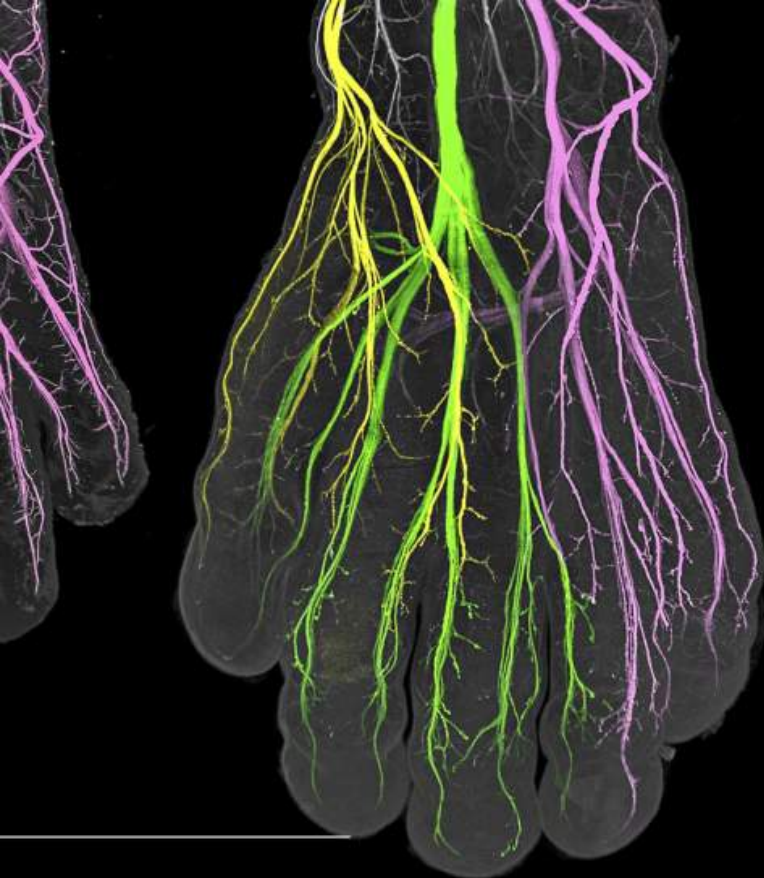


“Ces quatre mains correspondent à des âges différents : 7, 8, 9,5 et 11 semaines. Les trois couleurs, ajoutées artificiellement, permettent de distinguer les trois nerfs qui connectent la main au cerveau : radial, médian et ulnaire (de gauche à droite). Si nous avons procédé à des coupes, nous n’aurions pas pu distinguer l’origine des toutes les branches nerveuses.”



“Chaque point, sur cette langue d’un fœtus de 10 semaines, est composé de nombreux points plus petits : ce sont les cellules souches qui formeront plus tard les papilles gustatives.”





“Cette photo a été prise dans le pied d’un fœtus de 9 semaines. Autour des nerfs sensitifs, en rose, on observe de nombreux points blancs : les futures cellules de Schwann, qui vont plus tard se coller aux nerfs afin d’améliorer l’influx nerveux. Elles sont ici en train de migrer, depuis la moelle épinière où elles sont nées jusqu’au bout de chaque nerf du corps.”



A lire : la publication décrivant la réalisation technique de ces images. A consulter : un site regroupant des images de fœtus obtenues par cette technique.

ALAIN CHÉDOTAL/INSTITUT DE LA VISION & FONDATION VOIR ET ENTENDRE

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

La révolution des microsatsellites

Les missions spatiales ne nécessitent pas toutes de gros satellites, uniques et... chers. Aussi de nouvelles machines, miniaturisées et standardisées, sont mises au point, observe **Simon Devos**, rendant ce marché accessible à tous, ou presque.

Le 15 février dernier, à 9 h 28, heure locale, au Centre spatial de Satish Dhawan, dans le sud-est de l'Inde, l'agence spatiale indienne établissait un nouveau record un peu fou : lancer 104 satellites d'un seul coup – le record était jusqu'ici de 39.

Repères

En octobre 1957, en pleine Guerre froide, l'URSS frappe fort en lançant le tout premier satellite artificiel Spoutnik 1. Depuis, ce domaine n'a cessé de se développer : plus de 6 000 satellites ont été envoyés en orbite. D'ordinaire extrêmement coûteux, de l'ordre de plusieurs centaines de millions de dollars, le développement de ces engins spatiaux connaît aujourd'hui une véritable révolution, qui les rend petit à petit accessibles à tous.

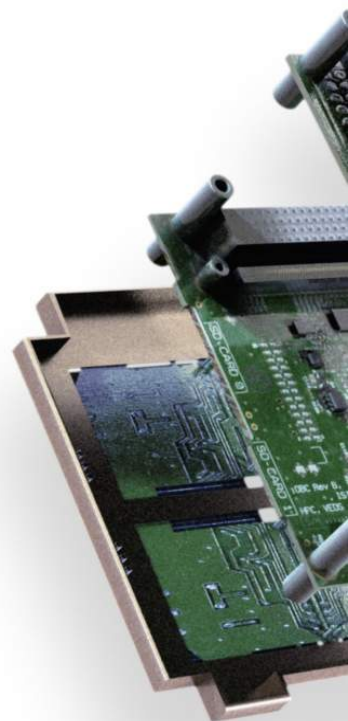
Comment ont-ils réalisé cette prouesse ? C'est simple : parmi ces 104 satellites lancés simultanément, il y en avait un assez costaud qui pesait 714 kg... et 103 autres tout petits, dont la masse cumulée s'élevait à seulement 664 kg !

Ce record est une puissante illustration de la révolution qui gagne le domaine spatial depuis une dizaine d'années : celle de l'arrivée de nouveaux satellites dont la taille, le poids et le prix s'avèrent sans commune mesure avec ceux de leurs prédécesseurs. Alors que les satellites étaient jusqu'ici d'énormes appareils pesant plusieurs centaines de kilos, voire plusieurs tonnes, les nouveaux "microsatellites" ne dépassent pas les 150 kg. Des versions encore plus légères, dénommées "nanosatellites", passent sous la barre des 10 kg. Ils sont parfois si compacts que les versions les plus modernes tiennent dans la main !

"Ce changement est analogue à celui qu'a connu le monde de la téléphonie depuis une vingtaine d'années, affirme Christophe Bonnal, expert à la direction des lanceurs du Centre national d'études spatiales (CNES). La miniaturisation d'un grand nombre de composants électroniques permet aujourd'hui d'embarquer toujours plus d'instruments performants dans un volume de plus en plus restreint."

UN CUBE DE 10 CM DE CÔTÉ

Pour l'expert, la clé du succès des microsatsellites et nanosatellites tient à la standardisation et à l'industrialisation de leur processus de fabrication. *"Le bus, c'est-à-dire la structure qui permet au satellite de fonctionner, s'est standardisé à un point tel qu'aujourd'hui, quiconque développe un satellite en achète un prêt à l'emploi et ne s'occupe plus que de la charge utile, où se*



La structure Ce squelette métallique cubique (10x10x10 cm aujourd'hui, encore plus petit demain) est à la fois robuste, léger et résistant à des températures extrêmes (de -40 °C à +80 °C). Il est possible d'emboîter plusieurs unités les unes sur les autres pour augmenter ce volume.

Le système de communication

Cette carte permet de décrypter les communications reçues par la Terre, et d'encoder les données à renvoyer. Les communications se font par ondes radio de très haute ou d'ultra-haute fréquence (de 100 à 2 500 MHz).

L'antenne Généralement composé de deux ou de quatre bras pouvant mesurer jusqu'à 55 cm de longueur, ce système d'antennes qui permet de communiquer avec la Terre se déploie une fois le satellite en orbite.

Les panneaux solaires

Fixés contre la paroi du cube au moment du lancement, les panneaux solaires se déploient peu après l'éjection du satellite de sa fusée de lancement. En délivrant une puissance de 2,3 W, ils permettent de recharger la batterie et de faire fonctionner la partie électronique du satellite.

Le système de contrôle de l'orientation Selon les besoins de la mission, les ingénieurs peuvent mettre en marche, depuis la Terre, des bobines électromagnétiques. L'interaction du champ magnétique ainsi créé avec celui de la Terre génère des forces de réaction qui permettent de contrôler l'orientation du satellite.

La batterie Il s'agit généralement d'une batterie lithium-ion classique (avec une charge inférieure à 100 watts-heure). Elle est nécessaire pour que le satellite fonctionne même lorsque les rayons du Soleil sont cachés par la Terre.

L'ordinateur de bord Cette carte contenant un processeur et un petit système de stockage de données est nécessaire pour traiter les commandes du satellite et piloter les différents composants de sa charge utile.

Les 7 composants d'un kit spatial prêt à l'emploi

Des projets comme le CubeSat (10 cm de côté) puis le PocketQube (5 cm) ont standardisé les structures qui permettent aux microsatsellites de fonctionner. Ne reste plus qu'à y faire entrer la "charge utile" à satelliser (caméra, capteurs, etc.).

→ *concentre tout le matériel qui constitue le cœur de la mission (caméra, télescope, etc.).*

Le mouvement s'est enclenché à la fin des années 1990, quand l'Université polytechnique de Californie et l'université Stanford (Etats-Unis) ont mis au point le CubeSat, un nanosatellite dont le format va servir de standard pour la majorité des missions futures. Ce cube de 10 cm de côté contient tous les composants d'un bus classique, c'est-à-dire les éléments nécessaires au fonctionnement d'une petite mission spatiale (voir schéma, page précédente). On peut aussi empiler plusieurs cubes comme des Lego si la charge utile nécessite plus de place.

Au fil des années 2010, alors que ce format a été éprouvé à de nombreuses reprises au cours de missions spatiales diverses, plusieurs start-up, comme ISIS Space, aux Pays-Bas, se sont spécialisées dans la vente de nanosatellites au

format CubeSat – la partie bus uniquement – et de tous leurs composants à l'unité. *“Alors qu'il y a quelques années, seules les grandes agences comme la Nasa avaient un budget suffisant pour se lancer dans le développement de satellites, ces derniers sont désormais financièrement accessibles pour des entreprises privées, ou bien des universités”,* note Nicolas Rambaux, enseignant-chercheur à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

SATELLITES À LA CHAÎNE

La fabrication d'un satellite passe ainsi de la manufacture méticuleuse au travail à la chaîne. *“Dès l'année prochaine, nous pensons être capables de produire jusqu'à deux microsatsellites par jour”,* garantit Ralph Heinrich, de l'entreprise Airbus Defence and Space, chargée dans les prochains mois d'assembler plus de 600 satellites pour l'entreprise OneWeb, qui envisage de fournir partout un



accès internet. *“Notre logique de production est complètement modifiée : avec plusieurs centaines de satellites, nous n'allons pas, comme nous le faisons d'ordinaire, tester individuellement chaque composant de chaque appareil. Si l'un d'eux s'avère défectueux, nous serons en mesure de le remplacer beaucoup plus rapidement sans problème.”*

Autre atout : la rapidité de développement. *“Vu la taille d'un nanosatellite, une seule équipe suffit généralement pour mettre la mission en place, là où les gros satellites impliquent souvent plusieurs dizaines d'équipes d'horizons divers”,* atteste Christophe Bonnal. Il est dès lors possible de monter une mission de satellite en trois ans, alors que les gros satellites demandent facilement une quinzaine d'années de développement. Résultat : alors que le coût de ces derniers s'élève

Faits & chiffres

Depuis 1957, plus de **6 000** satellites ont été envoyés en orbite par une cinquantaine de pays. **1 459** circulent toujours au-dessus de nos têtes. Parmi ceux-ci, la part de microsatsellites ne cesse de grimper. Alors qu'ils n'étaient que 300 il y a trois ans, plus de **430** lancements sont prévus pour 2017.

Un nouveau danger spatial ?

Lancé à 8 km/s, même le plus modeste des nanosatellites affiche une énergie dévastatrice. Or, indique Andrew Abraham, chercheur chez Aerospace Corporation, *“cent nanosatellites représentent une plus forte probabilité de collision qu'un satellite classique de surface équivalente. Surtout, ces ‘essaims’ multiplient le nombre de croisements dangereux avec d'autres vaisseaux ou débris spatiaux”*. Résultat : les opérateurs pourraient crouler sous des dizaines de millions de signaux d'alerte. *“Le risque est de ne pas pouvoir repérer les alarmes les plus pertinentes !”* confie Brian Weeden, ancien contrôleur spatial pour l'armée américaine. Les experts planchent sur des mesures contraignantes : suivi ultra-précis des nanosatellites à l'aide de réflecteurs radar embarqués, motorisation, mise en orbite basse pour assurer une retombée rapide... V.N.



généralement à plusieurs centaines de millions d'euros, celui d'un nanosatellite de type CubeSat revient en moyenne à 30 000-50 000 €!

De quoi envisager toutes sortes d'applications nouvelles, que les géants d'autrefois étaient incapables de réaliser, comme les lancers par centaines. Lancer un satellite devient même à la portée des étudiants! Nicolas Rambaux, à l'université Pierre et Marie Curie, organise par exemple un cursus pour développer un microsatellite capable de détecter les météores depuis l'espace.

Autre exemple: l'année prochaine, la Nasa lancera la mission InSight, au cours de laquelle deux nanosatellites de 10 cm de côté chacun seront placés en orbite de Mars. "Le but de cette mission est avant tout de montrer que les nanosatellites sont viables pour des missions interpla-

nétaires, admet Andy Klesh, du Jet Propulsion Lab de la Nasa. Si tel est le cas, je pense que l'exploration spatiale de notre système solaire pourrait connaître un nouvel âge d'or."

UNE ORBITE AU HASARD

Malgré tout, microsatellites et nanosatellites n'aspirent pas à prendre la place de leurs ancêtres de plusieurs tonnes. "Certaines choses ne peuvent pas se faire avec des petits satellites, reconnaît Volker Gass, directeur du Swiss Space Center de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse). Par exemple, une observation extrêmement précise de la Terre requiert d'embarquer un très grand objectif, qui ne rentrera jamais dans un CubeSat. Les deux formats sont et resteront complémentaires."

Seul un point pose encore vraiment problème: le lancement. "Pour l'instant, les

ingénieurs n'ont que deux solutions, admet Christophe Bonnal. Soit leur microsatellite 'fait du stop' et embarque sur un lancement en compagnie d'un gros satellite dans lequel il reste de la place; soit une mission charter est organisée pour lancer un grand nombre de microsatellites en même temps." Dans les deux cas, il est impossible de choisir précisément l'emplacement de l'orbite de chaque microsatellite, la plupart ne possédant pas de moyen de propulsion.

Mais tous les spécialistes du domaine s'accordent: le règne des satellites miniatures ne fait que commencer. "Nous travaillons d'ores et déjà sur l'après-CubeSat, avec un concept appelé PocketQubes: un cube de 5 cm de côté seulement, pesant moins de 1 kg!", conclut Jasper Bouwmeester, de l'Université de Delft (Pays-Bas). Bientôt, l'ère des "pico-satellites"?

^ Pour construire un microsatellite, les opérateurs n'ont plus qu'à placer la charge utile dans un ou plusieurs CubSat.



A voir: une vidéo de l'ESA.

A consulter: une base de données sur les missions de nanosatellites.

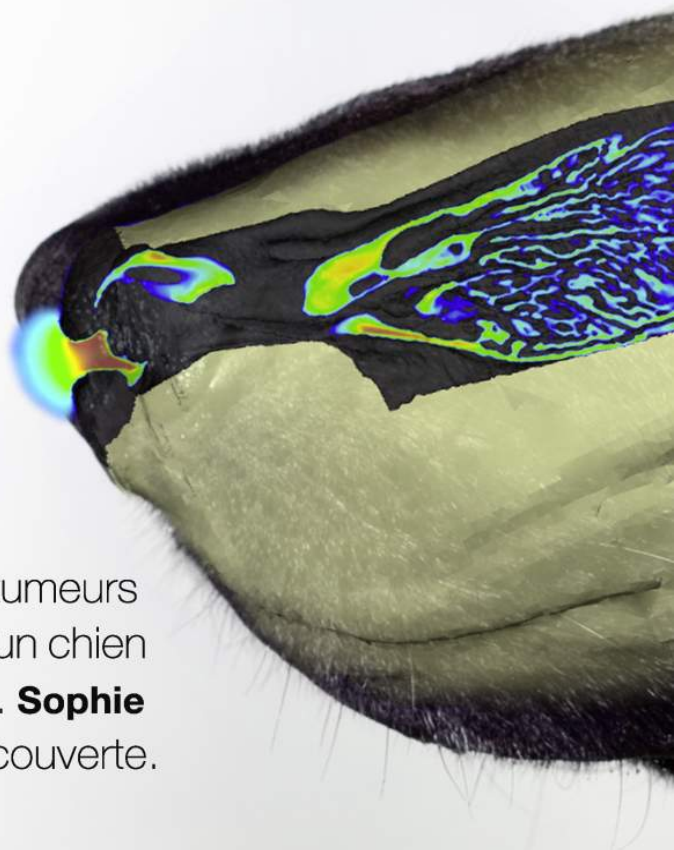
EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Dépistage du cancer du sein

Le flair incroyable des chiens

Après la drogue, voici les chiens renifleurs de tumeurs cancéreuses ! Car celles-ci ont une odeur, qu'un chien dressé détecte avec une remarquable fiabilité. **Sophie Komaroff** explore les pistes qu'ouvre cette découverte.



Le cancer a-t-il une odeur ? La réponse est oui, selon une étude totalement inédite menée à l'Institut Curie (Paris) par l'équipe d'Isabelle Fromantin, à la fois infirmière et chercheuse. Baptisée KDog, elle consiste à démontrer la fiabilité de l'incroyable flair du chien pour repérer l'empreinte olfactive des tumeurs du sein. Ses premiers résultats sont surprenants !

Enjeux

Près d'une femme sur neuf sera concernée par le cancer du sein au cours de sa vie, ce qui fait de cette affection le cancer féminin le plus répandu. Son diagnostic passe notamment par la mammographie et les prélèvements (biopsies). La détection à l'aide de chiens viendrait potentiellement renforcer, ou même parfois remplacer ces méthodes.

Les avantages espérés de cette méthode encore expérimentale ? Des tests indolores, sans exposition aux rayons et non invasifs, qui représenteraient une solution alternative ou un complément aux examens traditionnels. Ce serait en outre une opportunité d'accès à la détection des cancers pour les pays en voie de développement, mais aussi pour certaines personnes en situation de handicap, pour lesquelles la mammographie est inadaptée.

Si l'utilisation du chien pour détecter une tumeur peut paraître insolite, ce n'est pas la première fois que ses capacités intriguent les oncologues. Dès la fin des années 1980, de premières observations fortuites laissent penser que les chiens seraient capables de déceler des molécules émises

par certaines tumeurs (lire l'encadré p. 101). Mais jusqu'à présent, aucune étude n'avait validé scientifiquement ces observations par une technique standardisée de reconnaissance.

Comment des cellules cancéreuses – qui n'ont aucune odeur pour nous – peuvent-elles émettre un assortiment de molécules repérable par les chiens ? *"Nous savons qu'une affection dans l'organisme, comme la formation d'une tumeur cancéreuse, entraîne une modification du métabolisme avec la production par l'organisme de composés, dont la plupart sont volatils, c'est-à-dire circulant in fine dans le sang, l'haleine, l'urine ou encore la sueur"*, explique José Dugay, de l'Ecole supérieure de physique et de chimie in-



Ces atouts qui font du chien un champion de l'odorat

Le chien peut distinguer une très grande variété d'odeurs, dans de très faibles concentrations. Voici ce qui fait de lui un champion de l'odorat:

- ✓ Une circulation différenciée de l'air dans sa cavité nasale: le flux dirigé vers l'épithélium olfactif ressort très lentement de cette zone (bleu foncé) par rapport à l'air expiré des poumons (vert-jaune).
- ✓ Ses narines mobiles se plient lorsqu'il renifle, pour envoyer l'air directement vers l'épithélium olfactif.
- ✓ 33% de son cerveau interprète des odeurs (contre seulement 5% pour le cerveau humain).

dustrielle (ESPCI) de Paris et membre du projet KDog. Or, certains de ces composés organiques volatils (COV) sont odorants! *"Mais dans le cas du cancer du sein, nous ne savons rien ou presque sur la nature de ces biomarqueurs, poursuit José Dugay. De plus, les seuils de ces composés sont parfois trop bas pour être mis en évidence par les techniques chromatographiques actuelles."*

En revanche, ils ne résistent pas au flair du chien! Pour lui, le développement d'une tumeur du sein semble clairement s'accompagner d'une émission de COV odorants spécifiques, de quoi former un biomarqueur idéal.

Comment cet animal parvient-il à sentir une telle odeur alors que, dans la même situation, notre système olfac-

tif pourrait être comparé à un aveugle incapable de percevoir les images qui l'entourent? *"La prédominance de son odorat classe le chien parmi les espèces macrosomatiques, indique le Dr Kirsten Gnirs, qui préside le groupe d'étude en neurologie de l'Association française des vétérinaires pour animaux de compagnie. A l'inverse, les espèces microsomatiques, dont l'homme fait partie, présentent un faible développement de la partie du cerveau dédiée à l'odorat."*

DES MILLIONS DE PETITS CILS

La supériorité du nez du chien ne se joue pas uniquement à ce niveau. C'est aussi une histoire de circulation de l'air dans sa truffe, avec notamment une distinction entre olfaction et respiration. La cavité nasale

du chien est en effet divisée en deux zones par un pli de tissu: l'une est dédiée à la respiration, l'autre à l'olfaction: cette région possède 300 millions de cellules réceptrices olfactives, contre 5 millions chez l'homme. Et contrairement à ce dernier, qui inspire et expire par le même passage, le chien expire par les fentes latérales de la truffe, générant ainsi des tourbillons qui contribuent à amener davantage de molécules odorantes, ce qui est optimisé par le reniflement: *"Ce mouvement, effectué à grande*

→ vitesse et avec une amplitude importante, permet d'envoyer les molécules au niveau de l'épithélium olfactif", détaille Delphine Clero, enseignante à l'unité de médecine de l'élevage et du sport de l'Ecole vétérinaire d'Alfort et également associée au projet KDog. Cette muqueuse est munie de récepteurs olfactifs, des millions de petits cils qui détectent les molécules gazeuses odoriférantes, baignés dans un mucus qui dissout ces dernières. Sa surface est équivalente à la taille de la peau de l'animal, tandis que chez nous, elle équivaut à celle d'un timbre.

UNE PIÈCE DE TISSU SUFFIT

De plus, *"la forme des substances odoriférantes détermine leur adaptation aux récepteurs du nez, un peu comme une bonne clé permet d'ouvrir une porte*, décrit Franck Rosell, spécialiste du comportement animal, dans son ouvrage *L'Incroyable Odorat du chien* (éd. Ulmer). *La formule chimique des substances odoriférantes et leur schéma vibratoire déterminent l'odeur. Certaines substances peuvent avoir une formule chimique très similaire, mais une odeur très différente*".

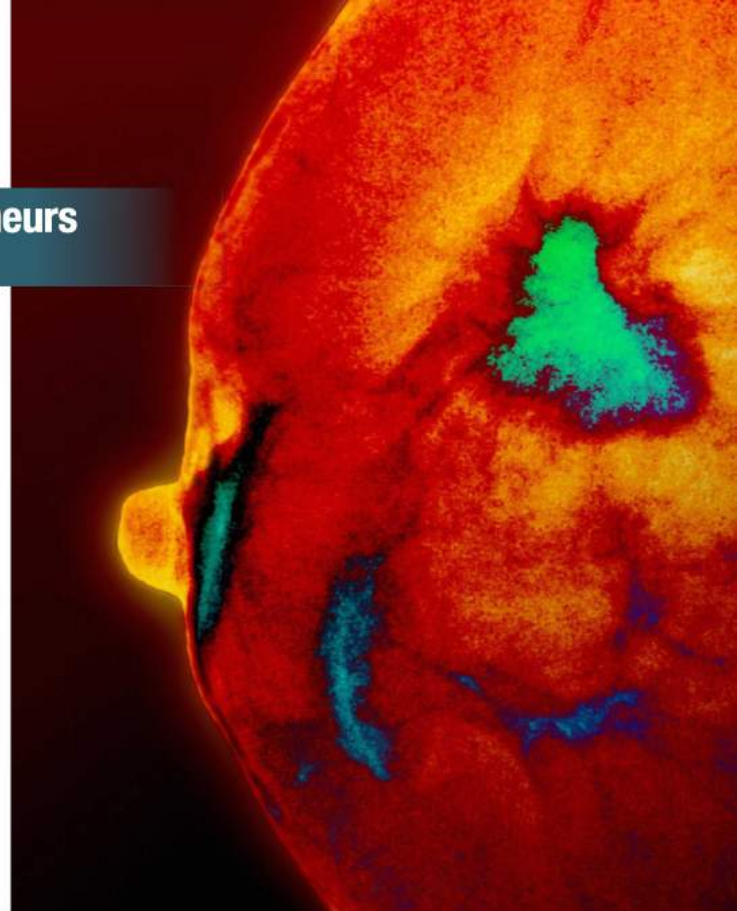
L'animal se révèle ainsi en mesure de distinguer et de se souvenir d'une grande variété

La détection des tumeurs en 3 étapes

d'odeurs spécifiques, dans des concentrations jusqu'à 100 millions de fois inférieures à ce que le nez humain est capable de détecter. Voilà tout ce qui le rend sensible aux quelques COV émis par les tumeurs.

Dans le détail de l'étude KDog, il n'a même pas été nécessaire de mettre en contact les patientes avec les animaux. De simples pièces de tissu, portées plusieurs heures contre leur poitrine, ont suffi. Elles ont été imprégnées de l'odeur émise par la peau, notamment par la sueur de ces femmes volontaires pour participer à l'essai, sachant que certaines étaient porteuses d'une tumeur déjà dépistée par les médecins.

Ces échantillons, mis sous vide dans des bocaux, ont ensuite été envoyés à un centre d'analyses cynophiles, spécialisé dans le dressage des chiens pour débusquer des explosifs en tout genre. Jacky Experton y a formé deux malinois – Nykios et Thor – pendant six mois. Dans son principe, la formation n'est pas radicalement différente de celle des chiens policiers. Il s'agit d'habituer les animaux à distinguer une odeur parmi de nombreuses



1 La tumeur cancéreuse produit des composés organiques volatils, qui se retrouvent dans la sueur des sujets atteints.

autres et à signaler sa présence par un comportement précis (arrêt, aboiement...).

Deux méthodes d'entraînement ont été testées : le premier chien a été exposé à des tissus préalablement posés sur des prélèvements biologiques de tumeurs tandis que le deuxième n'a travaillé qu'avec des linges imprégnés de l'odeur de la peau des patientes. Puis des échantillons issus de volontaires non touchées par la maladie ont été intégrés progressivement dans les séances de dressage. Il s'agissait de savoir si l'imprégnation au contact de la peau était suffisante à l'animal pour mémoriser l'odeur, sans qu'il soit besoin d'utiliser des prélèvements de tumeurs pour le dressage.

"Les femmes qui ont participé sont celles pour qui la chirurgie était prescrite en première intention, précise Aurélie Thuleau, chef de projet KDog. *Il importait qu'elles n'aient pas reçu de traitement destiné à réduire la taille de la*



JOSÉ DUGAY

Ecole supérieure de physique et de chimie industrielle de Paris

Dans le cas du cancer du sein, nous ne savons rien ou presque sur la nature de ces odeurs

2 Les échantillons de tissus imprégnés de sueur seront soumis au chien.

3 Si le chien repère une molécule "anormale", il s'arrête. Le tissu est détecté positif.



tumeur, pour ne pas influencer l'émission d'odeurs. De même, au bloc opératoire, certains gaz halogénés anesthésiants n'ont pas été utilisés."

L'ODEUR, UN "CODE-BARRES" ?

Lors de la dernière étape de dressage, le premier passage des chiens devant les tissus a abouti à plus de 90 % de réponses positives (28 échantillons "cancer" identifiés sur 31)... et 100 % pour le second ! Un résultat équivalent pour les deux chiens et comparable à celui obtenu par des chiens dressés sur d'autres substances (drogue, explosifs...). "Dans la mémoire du chien, on peut comparer la liste des différents COV odorants de la tumeur à

des codes-barres, renchérit le Dr Delphine Clero, l'animal ne se fixe pas sur un élément mais en associe plusieurs et intègre au cours de l'apprentissage qu'il y a différents profils qui ne sont pas la normalité."

D'où l'importance, lors du dressage, de mettre les chiens en présence des différents échantillons de tumeurs existants. La réponse de l'animal étant binaire face à un échantillon (cancer ou non), on peut penser qu'il détecte non pas une odeur, mais un bouquet. "Le chien marque quel que soit le type de tumeur, souligne Aurélie Thuleau. Mais il ne sait pas s'il s'agit d'un carcinome canalaire ou lobulaire, par exemple."

Une découverte fortuite

En 1989, deux médecins anglais du King's College publient le premier article sur un lien entre la détection des cancers et le flair des chiens. Ils avaient été intrigués par le récit d'une patiente dont le chien s'agitait autour d'une lésion de la peau, en fait un mélanome malin. Depuis, une dizaine d'études sur la question ont été publiées. En 2004, Carolyn Willis et son équipe en Angleterre ont cherché à savoir si les chiens pouvaient détecter le cancer de la vessie dans des échantillons d'urine. En Norvège, entre 2006 et 2009, le cancer du poumon a fait l'objet d'expériences de détection canine par l'air expiré. L'étude française sur le cancer du sein montre qu'une détection par la sueur d'une tumeur profonde semble possible.

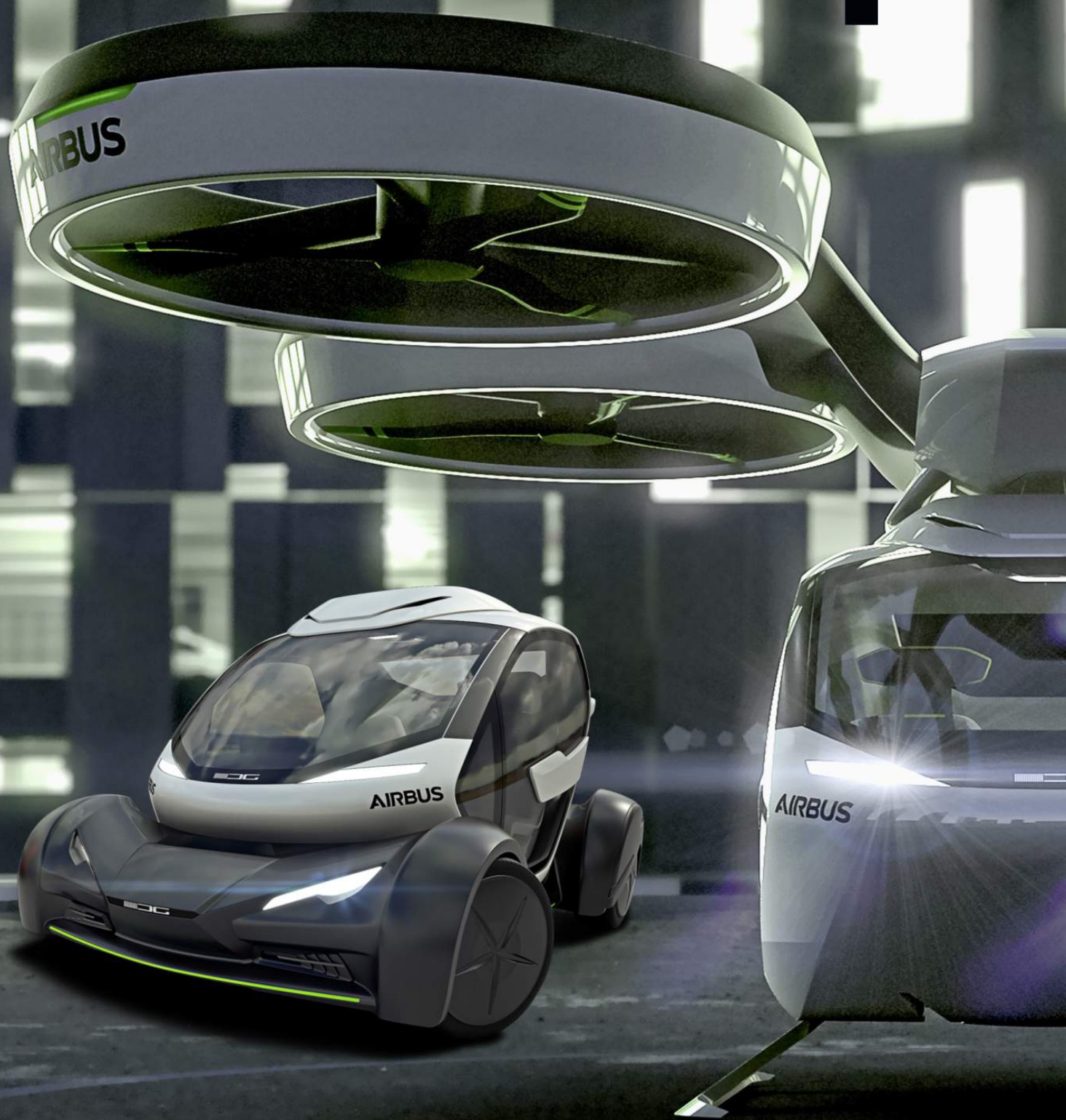
La prochaine étape du projet KDog sera une véritable étude clinique menée sur trois ans (2018 à 2020) intégrant mille femmes volontaires (via plusieurs centres de dépistage), quatre chiens et de nouveaux experts cynotechniques. Il faudra ensuite valider le stade à partir duquel une tumeur est détectable et comparer sa fiabilité avec l'imagerie médicale classique à ce stade. En effet, pour l'instant, l'enjeu de la détection portait sur la précision, pas sur la précocité du diagnostic (toutes les tumeurs repérées étaient diagnostiquées). Il faudra également savoir si le taux de réussite de 100 % se confirme avec d'aussi grandes quantités d'échantillons.

Reste que la route est encore longue pour arriver à standardiser le dépistage par des chiens : ils vieillissent, se fatiguent, leurs performances baissent. Pour l'instant, le flair de l'animal ne détrônera pas les appareils d'imagerie médicale... Le chien versus la machine, la recherche ne fait vraiment que commencer.



A lire : la première publication sur le cancer et les chiens dans *The Lancet*.
A consulter : le site de l'étude KDog.

science-et-vie.com



> Multimodal, le taxi urbain Pop.Up pourra se fondre dans le trafic routier ou emprunter la voie des airs selon les besoins.



GENÈVE (SUISSE)

Le concept du **taxi volant** se dévoile

Voici la proposition d'Airbus et du cabinet Italdesign pour désengorger le trafic dans les grandes villes : un véhicule autonome et électrique capable de se déplacer à la fois sur route et dans les airs. Baptisé Pop.Up et dévoilé au dernier salon de l'automobile de Genève, ce concept de taxi sans chauffeur – à réserver via une appli – se compose d'une capsule deux places pouvant se fixer soit sur un châssis en fibre de carbone, soit sous un module intégrant huit rotors pour un décollage vertical. Il sera aussi possible de passer de l'un à l'autre en cours de trajet, sur simple commande... La vitesse maximale

annoncée est de 100 km/h, l'autonomie de 100 à 130 km selon le module. Airbus envisage aussi de placer son Pop.Up sur les trains ou les Hyperloop (projet de navettes à très grande vitesse). Mais pour Olivier Orfila, chercheur à l'Institut français des sciences et technologies des transports (Ifsttar), des obstacles restent à lever : faire décoller l'engin sans vider les batteries, éviter les collisions en l'air, former les passagers à réagir en cas de pépin et définir des couloirs aériens sans personne dessous. Car la loi interdit pour l'instant de faire voler même un petit drone en zone urbaine en France! **e.s.**

AIRBUS



CALIFORNIE (ÉTATS-UNIS)

Un **robot marmiton** va être déployé dans les **fast-food**

Flippy est un robot sur roues développé par la société américaine Miso Robotics. Grâce à un bras articulé et à des capteurs lui permettant de percevoir l'environnement, il peut s'emparer d'un steak cru, le cuire à point et s'occuper de la friture – mais un employé doit ajouter la salade ou le fromage. Flippy est doté d'une intelligence artificielle qui lui permet d'apprendre à utiliser de nouveaux ingrédients (oignon, bacon, etc.). D'ici deux ans, il devrait être déployé dans une cinquantaine de magasins de restauration rapide en Californie. **S.F.**

BERLIN (ALLEMAGNE)

La Lune aussi aura bientôt son propre **réseau 4G**

Alors que l'ultime module des missions Apollo s'y était posé en 1972, la vallée lunaire de Taurus-Littrow devrait accueillir, dès 2018, une antenne relais 4G de dernière génération. Elle permettra des communications sans latence entre la Terre et son satellite naturel, tout en n'utilisant que très peu d'énergie. Les premiers bénéficiaires de la technologie seront deux rovers d'exploration, déposés par un module baptisé Alina. Après alunissage, ce dispositif se transformera alors en relais de télécommunications, chargé de transmettre vers la Terre les images haute définition prises par les robots. Cette prouesse est promise par la start-up berlinoise Part-Time Scientists, en collaboration avec de grands noms tels que Vodafone, Audi ou encore SpaceX. Les futurs touristes de la Lune peuvent-ils déjà espérer pouvoir y emporter aussi leur smartphone ? **B.C.**



TOULOUSE (HAUTE-GARONNE)

Autonome 8 heures d'affilée, un **drone solaire** promet de **scruter l'environnement**

On pourra bientôt confier à des drones solaires la surveillance de la biodiversité, l'aide à l'agriculture de précision ou l'inspection des grandes infrastructures (lignes électriques...). La start-up toulousaine Sunbirds développe le SB4-Phoenix, un drone à énergie solaire capable de voler en autonomie pendant 8 heures (contre 3 heures pour ses concurrents actuels). D'un poids de 3 kg, il est doté de 3 m d'envergure de voilure fixe couverte d'une quarantaine de cellules photovoltaïques, dont le poids et les performances ont été optimisés avec l'aide du Commissariat à l'énergie atomique. Ce bolide sera commercialisé en 2020. **A.V.**



Idée neuve



“INJECTER LES VACCINS D'UN SIMPLE PSCHITT DANS LA BOUCHE”

Kiana Aran, spécialiste en systèmes médicaux à l'Institut Keck, en Californie

Comment faciliter l'administration des vaccins et éviter la sensation désagréable de la piqûre pour les patients ? Kiana Aran et ses collègues de l'Université de Californie à Berkeley ont conçu le Mucojet, un système qui pourrait apporter une réponse à ces questions. De la taille d'une pilule, il envoie les molécules biologiques qui composent le vaccin à travers la muqueuse buccale, sans aiguille ni piqûre. Il suffit de presser à l'intérieur de la bouche une capsule pour libérer un gaz inoffensif, lequel pousse un minipiston et éjecte le vaccin à travers les tissus. La sensation serait comparable au jet d'eau du dentiste. Il existe déjà des vaccins oraux, mais ils créent des réponses immunitaires faibles. *“D'après nos données, le Mucojet provoque une réponse robuste, même en absence d'adjuvant”*, souligne Kiana Aran. De plus, des pharmaciens pourraient aisément réaliser ces actes, voire des patients adultes seuls en cas de pandémie. La réponse immunitaire doit encore être évaluée, mais des tests pourraient démarrer chez l'homme d'ici deux ou trois ans. **A.V.**

MISO ROBOTICS - AUDI VODAFONE - D.R.



SALZGITTER (ALLEMAGNE)

Grâce à l'hydrogène, le train sera bien plus écologique

Le premier train de voyageurs alimenté par une pile à hydrogène a passé avec succès un test à 80 km/h, et devrait bientôt rouler à la vitesse de 140 km/h. Par rapport au diesel, outre de moindres nuisances sonores, l'avantage de cette technologie est le respect de l'environnement : la pile à hydrogène produit de l'énergie en rejetant de la vapeur d'eau, sans aucune émission de particules ou de CO₂. De plus, les ressources en hydrogène étant abondantes et la densité énergétique de ce gaz trois fois supérieure à celle du diesel, cette technologie est aussi économiquement viable. Elle pourrait s'étendre à d'autres moyens de transport, métro ou tramway.

G.D.

MONTROUGE (HAUTS-DE-SEINE)

L'affichage urbain n'aura plus de limite

Big Wall Vision, le panneau d'affichage du futur ? Sans limite de taille, il est composé non pas de pixels, mais de cubes de polycarbonate transparent, contenant chacun un ruban enroulé où est imprimé un nuancier de 500 couleurs. Un moteur de 3,5 V déroule la bande afin d'afficher la bonne nuance, et l'assemblage des cubes forme l'image voulue. *"Le tout pour une consommation électrique très faible, annonce Didier le Gall, qui a développé le système. Un panneau de 100 m² (ou plus) peut ainsi revêtir une façade, alimenté par un panneau solaire de 4 m²".*

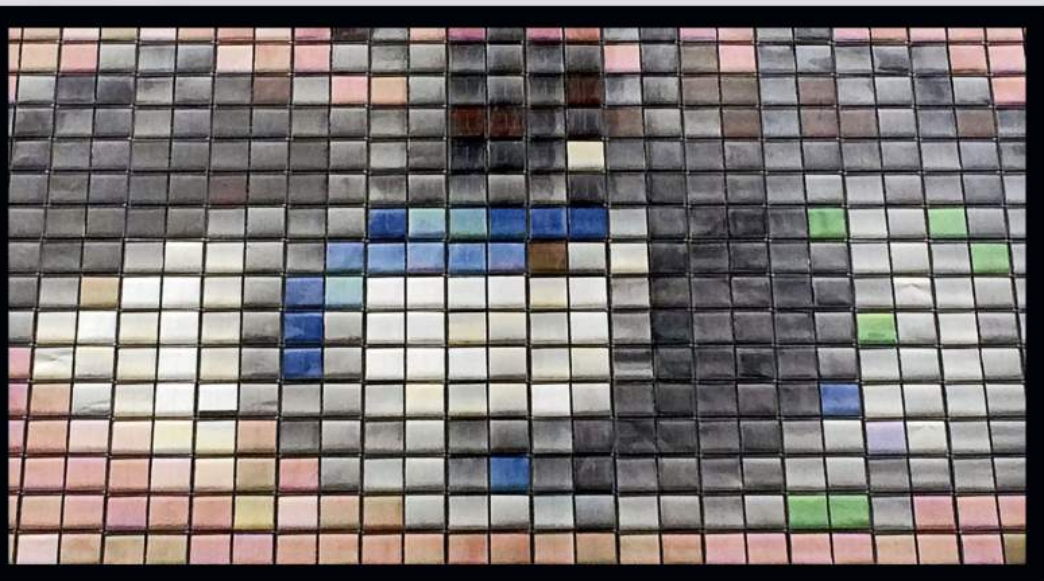
F.G.

OLONNE-SUR-MER (VENDÉE)

Un avion hybride vise la traversée transatlantique

Conçu par le navigateur Raphaël Dinelli (fondation Océan Vital), Eraole veut gagner le pari de soutenir des vols au long cours avec un moteur entièrement décarboné, indépendamment de la météo. Il allie biocarburants et photovoltaïque, avec un design plus résistant que celui de l'avion Solar Impulse. Ses ailes de biplan (14 m d'envergure) portent 1 728 cellules photovoltaïques à haut rendement (24 %), tandis que sa coque en fibre de carbone a été fuselée après sept ans de recherches. Il peut ainsi planer de longues heures avec des batteries chargées en permanence. Consommation : 3 l de carburant par heure. Le premier vol transatlantique, de 60 heures, est prévu pour 2018!

F.G.



Rendez-vous en...
2050

UN PARC ÉOLIEN GÉANT PRÊT À SURGIR DES ÎLES ARTIFICIELLES DE LA MER DU NORD

Colossal. Le North Sea Wind Power Hub est le projet d'une gigantesque centrale électrique offshore, 100 % renouvelable, distribuant l'électricité à 70 à 100 millions d'Européens des six pays du pourtour de la mer du Nord (Pays-Bas, Danemark, Allemagne, Belgique, Royaume-Uni et Norvège). L'idée est de profiter de la faible profondeur de l'eau (15 à 36 mètres) du Dogger Bank, un immense banc de sable situé à mi-chemin entre la Grande-Bretagne et le Danemark, à 100 km des côtes. Idéal pour y placer un réseau de quelque 7 000 éoliennes, dont l'énergie serait concentrée sur une ou plusieurs îles artificielles couvertes de panneaux solaires (6,5 km² chacune), construites de manière modulaire. L'énergie serait convoyée vers les côtes par des câbles sous-marins, et fournie également aux plateformes d'extraction de gaz et pétrole. La puissance totale estimée du réseau serait de 70 à 100 gigawatts ! L'entreprise néerlandaise TenneT, qui a signé un accord avec son homologue allemand et le partenaire danois Energinet, pour développer le projet, estime commencer les travaux en 2035, pour un coût de 1,2 milliard d'euros. De quoi contribuer à la transition énergétique européenne. F.G.

SINGAPOUR

Il est né, le gratte-ciel écosystème

A Singapour, deuxième Etat le plus dense du monde, la verdure manque cruellement. Woha, un cabinet d'architectes local, a donc livré l'Oasia Downtown, un gratte-ciel doté de son propre écosystème: il abrite 33 espèces d'arbres et arbustes sur les terrasses, et 21 espèces de plantes grim-pantes en façade. Ces végétaux ont attiré d'autres organismes vivants. *"Nous avons observé des papillons, des oiseaux, des abeilles et des écureuils. Il y a des indices qu'un écosystème vertical prospère"*, se réjouit Serena Khor, du cabinet Woha. L'immeuble aurait multiplié par 11 la biodiversité du quartier d'affaires de la cité-Etat. Les bénéfices environnemen-taux sont en cours d'évaluation, mais il est possible de les observer sur place: l'Oasia Downtown n'est pas un immeuble privatif, mais un hôtel! **A.V.**



K. KOPFER/WOHA

LA SCIENCE & LA VIE

112

Réseaux sociaux, e-mails...

Non, internet ne nuit pas au cerveau

124

Technofolies

Un drone amphibie pour filmer les fonds marins

128

Questions/Réponses

Pourquoi les dinosaures étaient-ils si grands?

Science & société

112

Science & vie pratique

120

Science & culture

126

Réseaux sociaux, e-mails...

Non, internet ne nuit pas au cerveau

"Tabac à chauffer"

Est-il vraiment moins nocif?

Ecosystèmes

La France veut leur donner un statut de "personne légale"

Transports

Les Européens passent 9 h 35 par semaine à se déplacer

Bon à savoir

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

Technofolies

Un drone amphibie pour filmer les fonds marins; un kit complet pour analyser de l'ADN chez soi; la télé ultrafine déguisée en toile de maître; insensible au vent, voici le briquet sans flamme...

Questions/Réponses

Pourquoi les dinosaures étaient-ils si grands? Les plantes ont-elles mal? Le cancer peut-il être contagieux?...

A voir/A lire

L'exposition "Venenum, un monde empoisonné", à Lyon

Il y a... 70 ans

L'affaire Roswell lance la vogue des ovnis

K. SYNATZSCHKE/PLAINPICTURE - D.R.
- SHUTTERSTOCK

Réseaux sociaux, e-mails...

Non, internet ne nuit pas au cerveau

Consultation de mails à toute heure, envois de tweets en rafales, messages permanents sur Facebook tout en regardant la télé... En quelques années, la grande majorité d'entre nous s'est vue happée par les immenses possibilités d'ultra-communication et d'ultra-information offertes par internet. 74 % de la population française y accède quotidiennement, pour une durée moyenne de 18 heures par semaine.

Evidemment, ce n'est pas la première fois qu'une nouvelle technologie de la

communication s'immisce dans notre quotidien. Mais jamais aucune ne s'est propagée aussi vite – en une génération à peine! – et aussi largement. *“L'omniprésence d'internet et des nouveaux médias numériques constitue un changement de société majeur. Cela aura forcément des impacts sur notre cerveau”,* commente Francis Eustache, au laboratoire Inserm Neuropsychologie et neuroanatomie fonctionnelle de la mémoire humaine, à Caen.

Au point de réorganiser nos encéphales? *“Non, il est peu probable que l'usage d'internet modifie le câblage même de notre cerveau et que l'on voie apparaître, par exemple, une nouvelle aire cérébrale dédiée au Net. En effet, les facultés mises à contribution par son usage (vision, lecture...) ne sont pas*

nouvelles”, précise Jean-Philippe Lachaux, spécialiste de l'attention au Centre de recherche en neurosciences de Lyon.

LA SCIENCE PREND DU RECUL

“En revanche, cette pratique modifiera forcément le fonctionnement du cerveau, avec par exemple une mobilisation différente des processus neuronaux impliqués dans la mémoire ou la concentration”, prévient le chercheur.

Mais les possibles effets de notre vie hyperconnectée

seront-ils forcément négatifs pour nos facultés cognitives? Dès l'émergence du web dans notre vie, plusieurs chercheurs l'ont pointé du doigt et des études ont montré que ce nouvel outil pourrait affaiblir notre mémoire, diminuer notre attention, réduire nos performances intellectuelles, ou encore favoriser des troubles du comportement comme la dépression, le narcissisme ou l'insociabilité.

Oui, mais voilà, plus le temps passe et plus la science prend du recul.



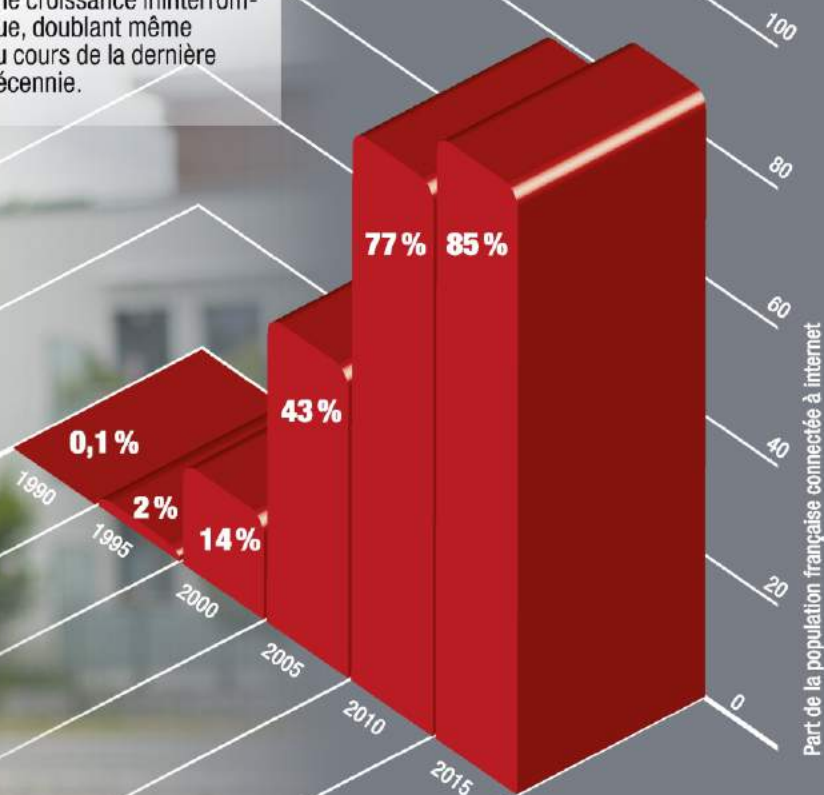
LE RAPPEL DES FAITS

Le web fait désormais partie de nos vies : **9 Français sur 10** utilisent internet et **56 %** sont inscrits sur au moins un réseau social, où ils passent en moyenne **1 h 16** chaque jour ; **92 % des lycéens** ont un profil sur les réseaux sociaux.

K. SYNNATZSCHKE/PLAINPICTURES - D.R.

Les Français sont massivement connectés

La part de la population française connectée à internet a connu en 20 ans une croissance ininterrompue, doublant même au cours de la dernière décennie.

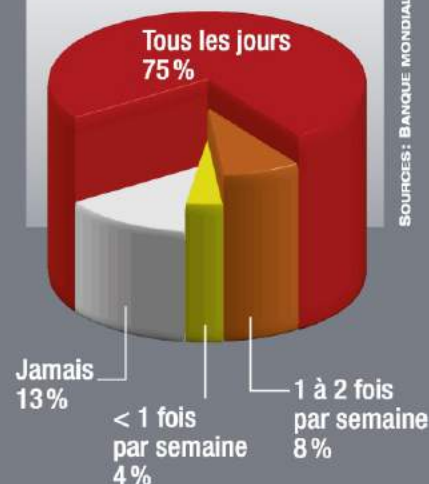


56

C'est le pourcentage des Français qui sont inscrits sur au moins un réseau social.

La connexion, un geste quotidien

Les trois quarts des Français se connectent ou naviguent sur internet chaque jour.



SOURCES: BANQUE MONDIALE - CRÉDOC

Désormais, *“plusieurs chercheurs déplorent le caractère exagéré de ces inquiétudes, compte tenu des données scientifiques existantes”*, souligne le neurobiologiste Kep Kee Loh (Institut cellules souches et cerveau, Inserm, Lyon), auteur d'un article publié fin 2016, intitulé *“Comment l'internet a-t-il transformé la cognition humaine?”*. Après enquête, il s'avère même que, par certains aspects, internet pourrait se révéler très bénéfique pour notre cerveau...

Prenons le cas de la mémoire. Le web ne l'affaiblit pas toujours. Pourtant, l'une des craintes les plus fortes vis-à-vis d'internet et des réseaux sociaux est qu'à force de compter sur eux pour trouver une information au lieu de faire

l'effort de la mémoriser, nous finirions par apprendre et surtout par retenir moins d'informations. C'est ce que la psychologue américaine Betsy Sparrow a appelé *“l'effet Google”*.

Or, surfer sur le Net pourrait en réalité augmenter

les performances de l'une des composantes de notre mémoire: la mémoire de travail visuelle. C'est elle qui permet de stocker et de manipuler des images perçues à court terme. Cela aurait pour résultat de nous permettre de



KEP KEE LOH

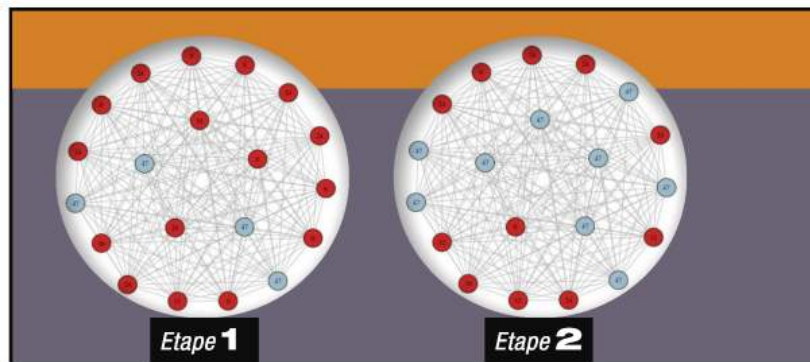
Neurobiologiste à l'Institut cellules souches et cerveau (Inserm, Lyon)

Compte tenu des données existantes, on peut déplorer le caractère exagéré des inquiétudes suscitées par le web

Comment le web agit sur nos capacités cognitives

Les réseaux sociaux pourraient nous aider à prendre de bonnes décisions en permettant de propager les solutions de problèmes complexes. L'expérience ci-contre montre le phénomène de propagation d'un bon résultat au sein d'un réseau de volontaires (représentés par des ronds) soumis à un test mathématique. Internet pourrait aussi améliorer certaines de nos facultés cognitives en agissant directement sur le niveau d'activation du cerveau (2^e expérience ci-contre).

SOURCES : JOURN. OF THE ROYAL SOCIETY INTERFACE, J.F. BONNEFON 2014, AM. JOURN. OF GERIATR. PSYCHIATRY, GARY W. SMALL 2009



→ suivre plus d'objets en même temps sur un écran (30 % en plus, selon certaines études). En effet, plusieurs travaux sur des joueurs de jeux vidéo suggèrent qu'être exposé à des activités multitâches – ce qui est le cas quand on surfe sur internet – est associé à une meilleure mémoire visuelle.

UN BON "EFFET GOOGLE"

Pour Patrick Lemaire, docteur en psychologie à l'université d'Aix-Marseille, comme pour un nombre croissant de chercheurs, "l'effet Google" doit être relativisé : "Il se peut effectivement qu'on intègre moins d'informations de façon intentionnelle. Mais on n'a pas attendu l'arrivée du web pour ne plus apprendre par cœur la liste des départements français ! De plus, mémoriser moins d'informations de façon volontaire

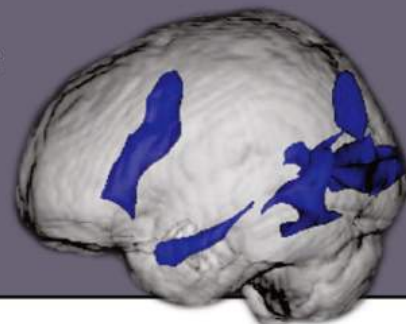
ne va pas faire disparaître cette faculté. Enfin – et surtout –, on continue à stocker des informations de façon non intentionnelle. Or, au moins 80 % de ce qui est dans notre mémoire à long terme – prénoms, dates anniversaires, etc. – a été stocké via ces apprentissages non intentionnels."

Pour notre cerveau, il existe aussi un effet collatéral bénéfique à ces économies sur la mémorisation. "S'appuyer sur la technologie en tant que source de mémoire externe permet de libérer des ressources cognitives supplémentaires pour d'autres opérations prioritaires, comme la réflexion ou la prise de décision", explique Kep Kee Loh.

De quoi renforcer toutes nos capacités cognitives ? L'hypothèse est confortée par des observations réalisées dans le cas du vieillissement cognitif. "Nous

IL AMPLIFIE L'ACTIVITÉ CÉRÉBRALE

Lors d'une recherche internet, le cerveau des habitués du web (à dr.) montre une activité plus intense que celui des sujets inexpérimentés. Les zones concernées sont impliquées dans le raisonnement complexe, la prise de décision, etc.



savons que celui-ci peut être contré par des activités cognitives de haut niveau, comme le raisonnement ou la communication, ou l'exposition à des contenus culturels diversifiés et nombreux, explique Patrick Lemaire. Or, toutes ces situations sont potentiellement favorisées par internet et les réseaux sociaux."

Une étude américaine parue en 2009 suggère ainsi que la recherche d'informations sur internet pourrait réduire le vieillissement cognitif chez les seniors.

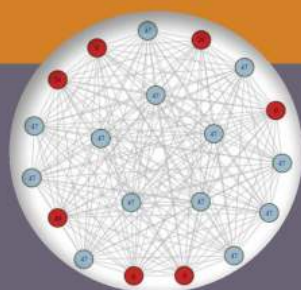
L'équipe du psychiatre Gary Small (université de Californie) a observé, grâce à la technique d'IRMf, le cerveau de 24 adultes âgés de 55 à 78 ans utilisant (fréquemment ou non) internet. Résultat : "Lors de tests de recherches sur internet, les personnes inexpérimentées présentaient une activation cérébrale similaire à celle se produisant lors de la lecture sur papier. En revanche, le groupe habitué au Net a montré, lui, une augmentation significative d'activité dans des régions supplémentaires contrôlant la prise de décision, le raisonnement complexe et la vision : cortex frontal, région temporelle antérieure, hippocampe...", précise Gary Small. D'où l'idée que le Net pourrait aider à améliorer les fonctions de raisonnement et de prise de décision chez les seniors.

D.R. - G.W. SMALL ET AL. - J.P. BONNEFON

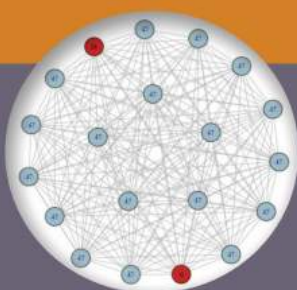


PATRICK LEMAIRE
Docteur en psychologie
à l'université d'Aix-Marseille

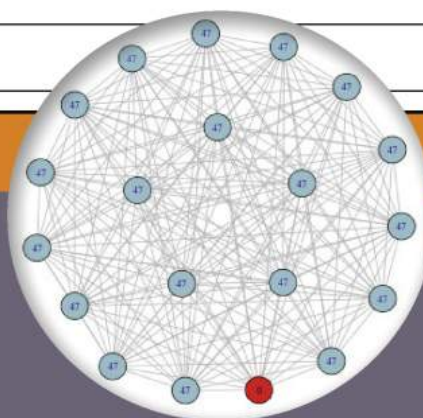
On peut contrer le vieillissement par le raisonnement, la communication ou l'exposition à des contenus culturels



Etape 3



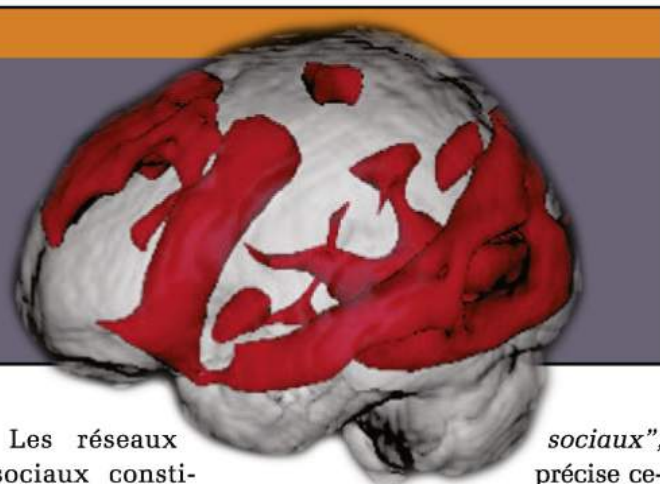
Etape 4



Etape 5

IL AMÉLIORE LA PRISE DE DÉCISION

Plus le résultat exact (rond bleu) d'un problème mathématique circule sur le réseau, plus les participants réalisent leurs erreurs (ronds rouges) et décident de modifier leur réponse en adoptant le bon résultat.



Les réseaux sociaux constitueraient aussi une aide pour les plus jeunes. Des travaux menés sur 100 étudiants et publiés en 2014 par le psychologue toulousain Jean-François Bonnefon et ses collègues suggèrent qu'à court terme, les réseaux sociaux ont un effet positif pour la prise de décision.

Dans une expérience en cinq étapes, les volontaires, mis en réseau, ont pu trouver la bonne solution à un problème mathématique; surtout, le réseau a permis la propagation de ce résultat exact parmi les utilisateurs... Ces contagions de résultats sont intéressantes pour la prise de décision, "à condition d'apprendre par la suite comment arriver par soi-même à la bonne réponse, pour ne pas être dépendant des réseaux

sociaux", précise cependant Jean-François Bonnefon.

"SWITCH" ATTENTIONNEL

Enfin, l'une des idées le plus largement répandues à propos de notre hyperconnexion, c'est qu'elle éroderait nos capacités à focaliser notre attention. "L'attention est un processus biologique qui a évidemment ses limites", insiste le neuroscientifique Jean-Philippe Lachaux. Oui, mais "certaines de

ces limites peuvent être partiellement dépassées, et nos capacités attentionnelles augmentées via des apprentissages", rétorque Patrick Lemaire. C'est le cas, par exemple, lorsque nous apprenons à conduire: au début, nous devons faire attention à chaque fois que nous passons une vitesse; puis, peu à peu, les gestes s'automatisent et nous les effectuons sans réfléchir. Dans le cas d'internet, "à force d'effectuer certaines tâches en ligne, il est possible que nous parvenions également à les automatiser; ce qui nous permettrait d'avoir plus d'attention pour d'autres activités et d'en réaliser plusieurs en parallèle, comme discuter avec une personne en face de soi tout en répondant de temps à temps à des messages instantanés", poursuit le chercheur marseillais. Internet

pourrait également améliorer la flexibilité attentionnelle, un mécanisme de l'attention qui permet de passer d'une activité à une autre en restant concentré. En effet, "il est très probable qu'à force de 'switcher' fréquemment lors de la navigation sur internet ou sur les réseaux, nous augmentions – encore une fois, dans une certaine mesure – l'efficacité des mécanismes de 'switching' attentionnel".

En fait, "seul un mauvais usage d'internet et des réseaux sociaux, notamment leur utilisation à forte dose, pourrait poser problème, recadre Patrick Lemaire. Il faut arrêter de se faire peur avec internet, notre cerveau a finalement beaucoup de choses à en attendre". **Kheira Bettayeb**

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

Des réseaux qui rendent plus sociable ?

Facebook et les autres réseaux sociaux limitent-ils les contacts "réels"? Une enquête réalisée par Olivier Martin et Eric Dagiral à l'université Paris-Descartes indique tout le contraire, du moins chez les jeunes encore étudiants. Ils ont analysé l'usage de Facebook de 1 102 étudiants de 18 à 25 ans. Il en ressort que ce réseau social favorise et enrichit en fait leur sociabilité! Les discussions y sont souvent le prolongement d'échanges entamés dans la "vraie" vie. "Plus de 9 jeunes sur 10 utilisent Facebook pour organiser leurs activités ou discuter avec des proches vus dans la journée", précisent les sociologues.

“Tabac à chauffer”

Est-il vraiment moins nocif ?

“Fumer nuit gravement à la santé.” Imaginez un monde dans lequel cet avertissement sanitaire n’aurait plus lieu d’être. Utopie, diront certains; ineptie, s’insurgeront même d’autres. Peut-être... Mais les industriels du tabac, eux, y croient et développent de nouveaux produits présentés comme étant “à risque modifié” ou “à potentiel de risque réduit”.

Partant de l’idée que c’est la combustion, et non le tabac ni même la

nicotine, qui constitue le plus gros risque, leur proposition consiste tout bonnement à chauffer le tabac... sans le brûler. C’est le principe de l’iQos, commercialisé par Philip Morris – mais d’autres produits similaires existent, comme la Glo de British American Tobacco, l’Eclipse de Reynolds American, etc.

“D’après nos analyses, dans la vapeur générée par l’iQos, les niveaux de composés potentiellement nocifs – à l’exclusion de la nicotine – sont réduits en moyenne de 90 à 95 % par rapport à la fumée de cigarette, indique Tommaso Di Giovanni, chez Philip Morris. Nous avons également mené des études cliniques dans lesquelles trois groupes ont été suivis : le premier a continué d’utiliser des cigarettes classiques, le deuxième a arrêté de fumer et le troisième a remplacé les



cigarettes par l’iQos. Résultat : les niveaux d’absorption de composés toxiques du groupe utilisant l’iQos se rapprochent très fortement de ceux du groupe ayant arrêté de fumer.”

PAS D’ÉTUDE INDÉPENDANTE

Pour l’instant, pas d’élément de comparaison avec la vapeur de l’e-cigarette (qui, on le rappelle, ne contient pas de tabac). Surtout, aucune recherche indépendante ne confirme ces résultats.

CECI N’EST PAS UNE E-CIGARETTE...

Un stick de tabac (en blanc) est glissé dans un appareil électronique (à dr.) qui produit de la chaleur et de la vapeur grâce à une lame métallique chauffée à moins de 350 °C (sous le seuil de combustion). L’appareil est rechargé par une batterie (à g.).

“Si par le passé, l’industrie du tabac a falsifié des données, la recherche produite ces dernières années par Philip Morris me semble transparente, estime Jean-François Etter (université

LE RAPPEL DES FAITS

Le groupe **Philip Morris Int. (Marlboro)** s’apprête à lancer en France l’iQos. Déjà commercialisée dans 24 pays, cette “cigarette” d’un nouveau genre chauffe le tabac au lieu de le brûler. Moins dangereux, aux dires du fabricant...



EN
CHIFFRES

84

C’est, selon les calculs du MIT, le nombre de décès prématurés par an en France dus aux émissions d’oxydes d’azote masquées par Volkswagen, pour les seuls véhicules vendus en Allemagne. Dans toute l’Europe, le bilan s’élèverait à 1 200 morts par an. o.b.

15 %

C’est le taux de Français qui s’estiment suffisamment informés par les autorités sanitaires en cas d’épidémie infectieuse, d’après une étude de la Commission européenne. La moyenne des huit pays consultés (Italie, Danemark, Irlande...) est de 29 %. c.t.

de Genève). Et même si ce chiffre de 90 % est peut-être exagéré, il paraît logique que si on supprime la combustion, on supprime aussi un grand nombre de substances cancérogènes... d'où une réduction des risques."

Un avis que ne partage pas du tout le pneumologue Bertrand Dautzenberg: "Il n'y a aucune preuve clinique de l'innocuité, ni même de la moindre nocivité, du tabac à chauffer. Il est possible que ce soit

moins dangereux, mais l'industrie du tabac avait déjà invoqué cet argument pour vendre ses cigarettes 'light' ou avec filtre, qui se sont finalement révélées aussi nocives." Surtout, ajoute-t-il, "comme les cigarettes classiques et contrairement aux patchs ou à l'e-cigarette, le tabac à chauffer se fume en cinq minutes, produisant un pic de nicotine dans le sang. C'est ce 'shoot' qui est responsable de l'addiction. L'industrie du tabac cherche ni plus ni moins à entretenir ou créer la dépendance".

Si Philip Morris destine le tabac à chauffer à ceux qui sont déjà fumeurs et se défend de vouloir cibler les jeunes, il est évident que son industrie n'est pas viable si les nouvelles générations ne se convertissent pas au tabac. L'addiction constitue donc bel et bien son fonds de commerce. Mais représente-t-elle en soi un risque? Les pouvoirs publics doivent-ils lutter contre la dépendance au tabac – considérée comme un trouble mental par la psychiatrie – ou tenter par tous les moyens, y compris ceux fournis par l'industrie du tabac, de réduire la mortalité chez les fumeurs? Question épineuse... **Coralie Hancock**



**BERTRAND
DAUTZENBERG**

Pneumologue à la Pitié-Salpêtrière

Comme les cigarettes classiques, le tabac à chauffer produit un pic de nicotine qui entretient l'addiction

10

C'est le nombre de maladies pour lesquelles le test ADN 23andMe, autorisé à la vente par l'Agence américaine du médicament (il est disponible sur internet pour moins de 200 dollars), prédit le risque. En France, de tels tests sont interdits. **C.T.**



**C'EST UNE
PREMIÈRE**



La France veut donner à des écosystèmes le statut de "personne"

En Nouvelle-Calédonie, la province des îles Loyauté est sur le point d'accorder à certains de ses écosystèmes le statut de personne légale. "Ce serait la première collectivité française à prendre cette mesure de protection forte, alors que les réglementations environnementales existantes ont montré leurs limites, soulève Victor David, de l'Institut de recherche pour le développement, à Nouméa. Une pollution pourrait dès lors être interprétée par un tribunal comme une atteinte à l'intégrité physique d'une personne!"

Cette initiative n'est pas un cas isolé: en 2008, l'Equateur avait déjà inscrit dans sa Constitution les droits de la Terre-Mère; en 2012, l'Etat néo-zélandais reconnaissait le fleuve Whanganui comme une entité vivante à protéger; et le 20 mars dernier, la Haute Cour de l'Etat indien de l'Uttarakhand attribuait au Gange et à son affluent Yamuna une personnalité juridique.

Au pays de Descartes, où la sensibilité animale vient seulement d'être reconnue par le Parlement, attribuer à la nature des droits humains peut surprendre. "Je trouve ces décisions très rafraîchissantes et j'espère qu'elles contribueront à développer le débat sur le statut des entités dites 'naturelles', encore considérées comme sans valeur intrinsèque et utilisables à merci", réagit Michel Loreau, directeur du Centre de théorie et modélisation de la biodiversité.

Personnaliser l'environnement sonne comme l'ultime recours pour préserver une nature en danger. Reste à en évaluer l'efficacité...

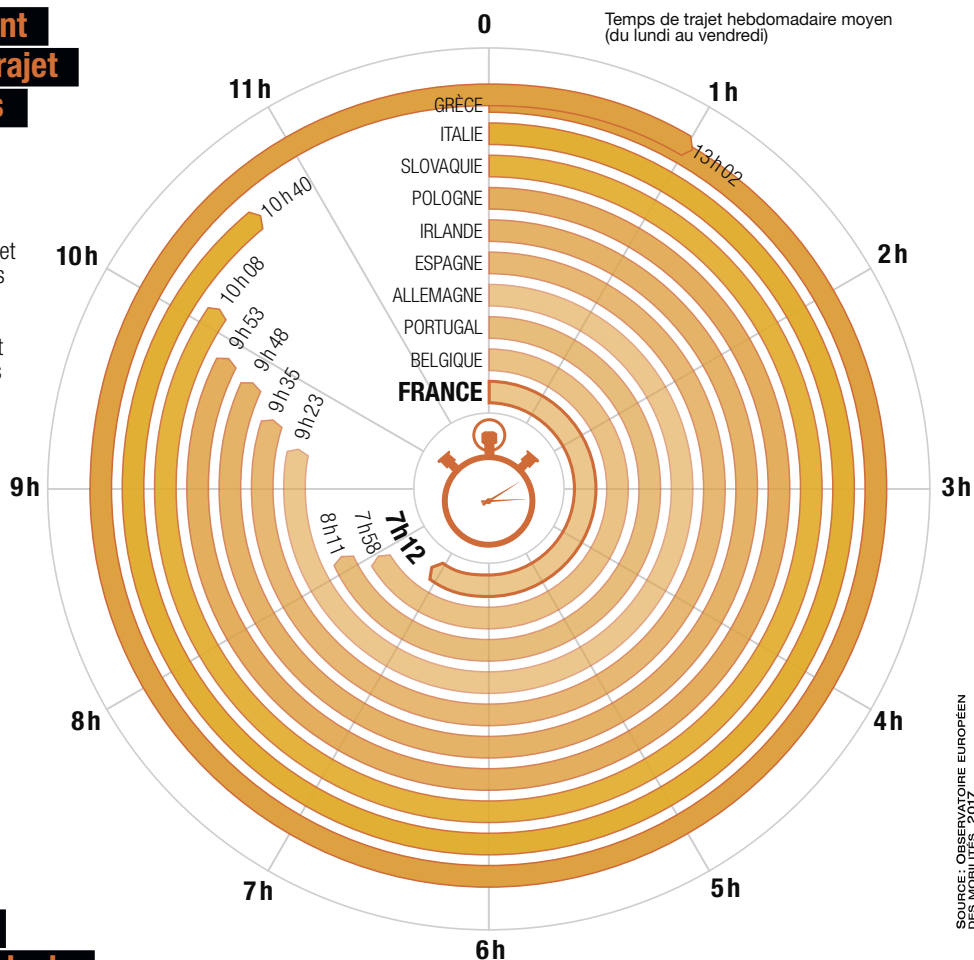
Vincent Nouyrigat

Transports

Les Européens passent 9 h 35 par semaine à se déplacer

Les Français ont les temps de trajet les plus courts

Selon une étude de l'Observatoire européen des mobilités portant sur plus de 10 000 personnes, le temps de trajet quotidien des Européens (hors week-end) est en moyenne de 1 h 55, tous modes de transport confondus. Les Français y consacrent 7 h 12 chaque semaine, soit presque deux fois moins que les Grecs.



La voiture est le principal mode de déplacement en Europe

65 % des Européens empruntent leur véhicule pour se rendre sur leur lieu de travail. Parmi eux, 66 % envisageraient de l'utiliser moins souvent si les investissements dans les transports en commun étaient plus importants.



3 h 58



3 h 18



1 h 40



39 min

M. KONTENTE

Répartition du temps de trajet hebdomadaire moyen selon les modes de transport

Abonnez-vous à **SCIENCE&VIE**

et recevez la clé USB 3.0 **EMTEC** 32 Go

12 n°



6 HS



59,90€ seulement
au lieu de ~~117,90€*~~

1 an - 12 numéros
+ **6 hors-séries**
+ **la clé USB 3.0**
EMTEC 32 Go

49%
de réduction

10X plus rapide qu'une clé USB 2.0 !



PRIVILÈGE ABONNÉ

Votre magazine
vous suit partout !

BULLETIN D'ABONNEMENT à compléter et à retourner dans une enveloppe affranchie au service abonnements :
SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE ET VIE - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Disponible sur
Kiosquemag.com

SV1197



49%
de réduction

☐ **OUI, je m'abonne à SCIENCE&VIE :**
1 an (12 numéros) + 6 hors-séries
+ la clé USB 3.0 EMTEC 32 Go
pour **59,90€** au lieu de ~~117,90€*~~. 930339

☐ Je peux acquérir 12 numéros
pour 37,90€ au lieu de 54€.*
☐ Je commande uniquement
la clé USB 3.0 EMTEC 32 Go au prix de 30€.

Près de
30%
de réduction

930347

930354

> J'INDIQUE MES COORDONNÉES

Nom/Prénom :

Adresse :

Code Postal : Ville :

Tél : Grâce à votre numéro, nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement.

Votre email est indispensable pour créer votre accès à l'abonnement numérique sur notre site www.kiosquemag.com

Email :

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

> JE CHOISIS MON MODE DE PAIEMENT

☐ Je règle par chèque postal ou bancaire à l'ordre de Science&Vie.

☐ Je règle par CB :

Expire fin

Date et signature obligatoires :

Cryptogramme (les 3 chiffres au dos de votre CB)

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

*Prix de vente en kiosque. Offre valable en France métropolitaine jusqu'au 31/07/2017. Je peux acquérir séparément chacun des numéros de Science&Vie au prix de 4,50€, chacun des hors-séries pour 5,50€ et chacune des Editions spéciales au prix de 5,95€ frais de port non inclus. Votre abonnement et votre clé USB vous seront adressés dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement. En cas de rupture de stock, un produit d'une valeur similaire vous sera proposé. Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine ou de la clé USB en notifiant clairement votre décision à notre service abonnements ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CSV sur le site www.kiosquemag.com. Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à Mondadori Magazines France pour la gestion de son fichier clients par le service abonnements. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent en écrivant à l'adresse d'envoi du bulletin. J'accepte que mes données soient cédées à des tiers en cochant la case ci-contre : ☐

L'AUTISME NE SERAIT PAS LIÉ AUX ANTIDÉPRESSEURS

Si des études ont montré un lien entre la prise d'antidépresseurs chez la femme enceinte et le risque d'autisme chez l'enfant, une nouvelle analyse de l'ensemble des données disponibles montre que c'est plutôt la présence d'une dépression chez la mère qui augmenterait ce risque. "JAMA Ped.", avril 2017



DICTER SES SMS AU VOLANT RESTE RISQUÉ

Une étude a consisté à demander à des volontaires d'écrire des SMS devant un simulateur de conduite. Résultat : même avec un système de commande vocale, l'attention baisse et le temps de réaction augmente d'une demi-seconde. "Journ. of Hum. Fact. and Erg. Soc.", mars 2017

NOS DÉCISIONS DÉPENDENT BEAUCOUP DES AUTRES

Lors de jeux d'argent supposant une prise de risque ou un effort physique, une étude montre que le comportement des sujets s'aligne sur celui d'un joueur virtuel observé auparavant. Cet effet d'imitation nous permet d'affiner nos stratégies. "Comp. Biolo.", mars 2017

SI VOS LACETS SE DÉFONT, C'EST FINALEMENT NORMAL

Des chercheurs américains de l'université de Californie, à Berkeley, ont observé des lacets à l'aide d'une caméra rapide fixant la chaussure d'un coureur sur un tapis roulant. Pour affiner l'analyse, ils ont ensuite étudié le comportement de lacets sur un pendule reproduisant les mouvements d'une chaussure lors de la marche. D'abord, le nœud se desserre peu à peu à cause du balancement répété de la jambe combiné à l'impact de la chaussure sur le sol, les bouts de lacets libres "tirant" alors sur le centre du nœud. Puis, lorsque les bouts libres deviennent suffisamment longs pour rendre la situation critique, le nœud s'ouvre d'un seul coup, irréversiblement. "Proc. of the Roy. Soc.", avril 2017

L'ACTIVITÉ PHYSIQUE DES ENFANTS DÉCLINE BIEN AVANT L'ADOLESCENCE

C'est ce qui ressort d'une étude anglaise qui a suivi des enfants sur huit ans, mesurant leur niveau d'activité physique et leur pratique du sport pendant une semaine à 7, 9, 12 et 15 ans. Les chercheurs ont constaté que la quantité d'activité physique globale diminuait régulièrement chez tous les enfants, filles et garçons, dès l'âge de 7 ans, même chez les 20 % de garçons qui poursuivaient une pratique sportive régulière. Ces résultats montrent qu'il est nécessaire de veiller à maintenir une activité physique pour les enfants dès le plus jeune âge : aller à l'école à pied, monter les escaliers... A l'adolescence, les bonnes habitudes sont déjà perdues ! "Brit. Journ. of Sports Med.", mars 2017



SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES - P. TURPIN/PHOTONONSTOP



MIEUX VAUT LAISSER UN INCONNU CHOISIR LA PHOTO DE VOTRE CV

Pour choisir une photo inspirant la confiance et reflétant de bonnes compétences, on n'est jamais mieux servi que par... d'autres que soi-même. C'est la conclusion étonnante d'expériences menées par des chercheurs australiens sur plus de 600 internautes, qui devaient choisir des photos d'eux-mêmes, ou d'inconnus, pour illustrer leurs profils sur différents sites web (réseau social, réseau professionnel ou site de rencontres). Les photos étaient ensuite jugées par d'autres internautes sur différents critères (charme, fiabilité, assurance...). Résultat : les photos qui avaient été choisies par des inconnus donnaient une meilleure impression de compétence et de sérieux que celles sélectionnées par les individus figurant eux-mêmes sur les photos. "CRPI", avril 2017

LES TABLETTES NUISSENT AU SOMMEIL DES BÉBÉS

L'étude de 715 bébés montre que chaque heure passée sur une tablette numérique est associée à 30 minutes de sommeil nocturne en moins. Mais les auteurs rappellent qu'à faible dose, les tablettes auraient des bénéfices psychomoteurs. "Sci. Rep.", avril 2017

LA MIGRAINE FRAPPE PLUS LES OBÈSES ET LES MAIGRES

La migraine est plus fréquente aux deux extrêmes de la courbe de poids, selon l'analyse de 12 études portant sur près de 300 000 personnes. Pour des raisons inconnues, l'obésité augmente le risque de 21 %, la grande maigreur de 12 %. "Neurology", avril 2017

SE METTRE AU FRAIS PRÉVIENDRAIT LE DIABÈTE

La sensibilité à l'insuline augmente de 43 % en restant 6 h par jour à 15°C pendant 10 jours. Le froid stimule la production de graisse brune, d'où un moindre risque de diabète et d'obésité. Alors, à vos thermostats : l'effet est efficace dès 19°C. "Build. Res. and Inform.", avril 2017

NON, MANGER SALÉ NE DONNE PAS SOIF

Chez des personnes dont l'apport quotidien en sel a été renforcé, la quantité de boisson consommée en 24 heures n'augmente pas. Au contraire, elle diminue, et l'urine est alors plus concentrée en ions sodium et chlorure. Pour expliquer ces observations contre-intuitives, les chercheurs ont poursuivi leurs travaux sur des souris. Ils ont montré qu'un régime riche en sel augmente la production d'urée par le foie et les muscles. Celle-ci s'accumule ensuite dans les reins, ce qui limite la perte d'eau. Avec cependant, à la clé, une augmentation du taux d'hormones stéroïdiennes qui, s'il est trop élevé, favorise le diabète et l'ostéoporose. "Journ. of Clin. Invest.", avril 2017



Un kit complet pour analyser de l'ADN chez soi

La révolution de la "biologie de garage" est lancée et ses premiers outils arrivent sur le marché. Tel le Bento Lab, un mini-laboratoire d'analyses ADN pour débutant conçu par deux chercheurs de l'University College de Londres. Lequel, vu son prix, s'adresse plutôt aux associations de sciences, sans être non plus hors de portée de particuliers motivés.

Cette boîte de la taille d'une console de jeu

contient tout le matériel nécessaire (habituellement réservé aux labos) pour réaliser une PCR, l'opération essentielle pour étudier du matériel génétique. On y trouve une centrifugeuse pour extraire l'ADN d'un échantillon biologique, un thermocycleur pour démultiplier les séquences recherchées, et une unité de visualisation de l'ADN afin d'interpréter les résultats. Le tout est livré avec des réactifs non toxiques et des guides (en anglais) pour réaliser

les expériences. Le kit de démarrage propose notamment de quoi s'essayer à la détection de viande de cheval dans les steaks hachés, ou à la recherche de plantes OGM dans son environnement. Rappelons toutefois que les tests génétiques sur l'humain sont interdits en France, hors cadre légal ou médical.

A.V.

Prix : env. 1 120 €
Rens. : www.bento.bio

6. Le transilluminateur met en évidence la migration de l'ADN dans le gel.

1. La pipette automatique prélève quelques millilitres d'échantillon biologique.

△ Le généticien amateur pourra, par exemple, détecter si son steak haché contient de la viande de cheval.



Insensible au vent, voici le briquet sans flamme

Ce briquet baptisé Plazmatic (de la société américaine éponyme) est 100 % électrique. En appuyant sur le bouton, vous déclenchez le passage d'un courant entre quatre électrodes, ce qui a pour effet d'ioniser l'air entre celles-ci. Le plasma ainsi créé dégage une température de 900°C, suffisante pour allumer cigarette, bougie ou bâton d'encens. Émettant une lumière violette, il est totalement insensible au vent. Le briquet se recharge en une heure via un port USB. Chaque charge permet, selon le fabricant, de l'allumer une centaine de fois.

S.F.

Prix : 35 €. Rens. : www.plazmatic.com

< Au lieu d'une flamme, c'est un plasma à 900°C qui allume la cigarette.



3. La centrifugeuse permet de récupérer l'ADN extrait de l'échantillon.

4. Le thermocycleur PCR multiplie les séquences.

5. La plaque sert à couler et à récupérer le gel d'électrophorèse.

2. Les tubes permettent de mélanger le matériel biologique et les réactifs.

LE COIN DES PROTOTYPES

Des lunettes qui ajustent la correction en temps réel

Avis aux presbytes qui n'aiment ni les verres progressifs, ni les doubles foyers : ces lunettes autofocus pourraient être commercialisées d'ici trois ans. Carlos Mastrangelo, professeur en ingénierie à l'université de l'Utah, a monté, à la place des verres, des lentilles composées de deux membranes flexibles enfermant de la glycérine. Un capteur sur la monture envoie des impulsions infrarouges afin de calculer la distance avec l'objet observé, déclenchant des actionneurs mécaniques qui font varier la courbure des membranes, pour faire le point. Le tout en moins de 14 millisecondes. **E.T.-A.**

Rens. : <https://unews.utah.edu/i-can-see-clearly-now>



Le GPS multifonction qui se fixe au guidon

Malgré son interface lumineuse simpliste de 25 LED, le boîtier Smart-Halo concentre de nombreuses fonctionnalités. Connecté en Bluetooth au smartphone, il indique le chemin en brillant dans la direction à suivre, signale les appels et les SMS, active automatiquement le phare avant, déclenche une alarme en cas de tentative de vol et transmet tout un tas de données à l'application associée – distance

des trajets, vitesse, dénivelé, calories brûlées... Il est étanche et se fixe sur la plupart des guidons. Sa batterie (lithium-polymère) dure trois semaines, à raison d'une heure d'utilisation par jour. **G.S.**

Prix : env. 170 €
Rens. : www.smarthalo.bike



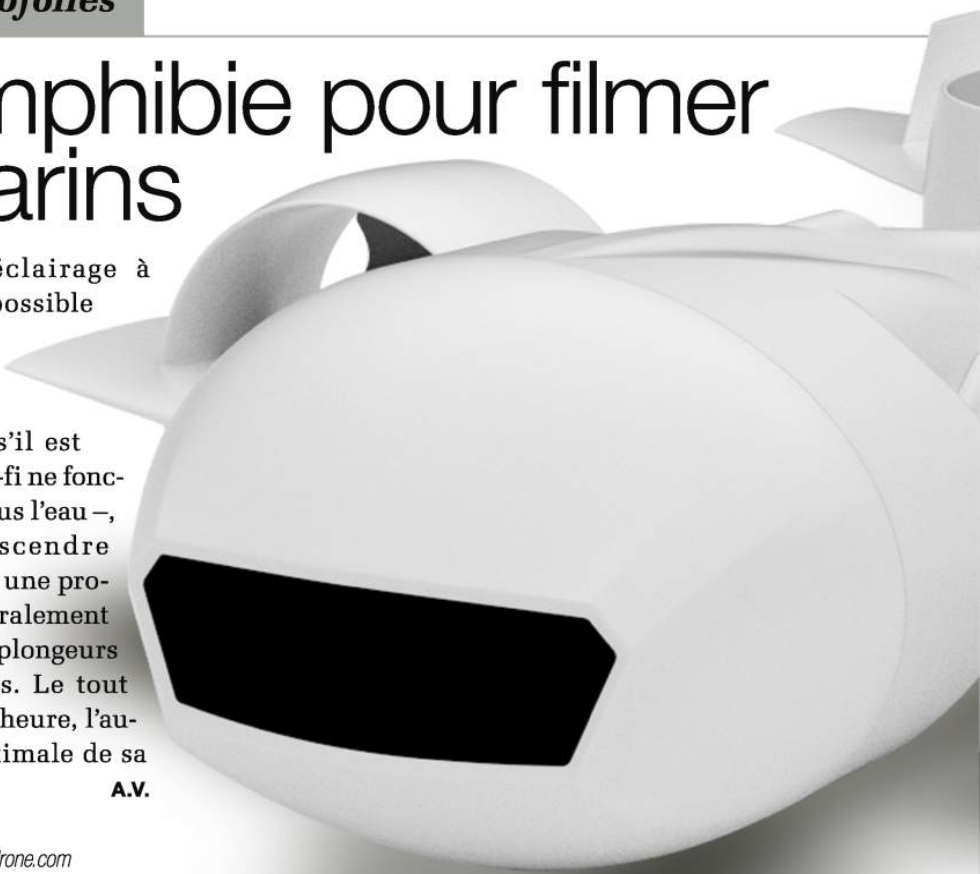
Un drone amphibie pour filmer les fonds marins

Si les drones sous-marins sont longtemps restés la chasse gardée des militaires, des versions grand public débarquent cet été dans nos eaux. C'est le cas du drone Fathom – mot anglais pour “brasse”. Ce robot sous-marin peut vous faire visiter les mondes aquatiques à bonne allure (5 km/h) grâce à sa caméra 1080 pixels. Maniable, il se contrôle à partir d'une simple application dédiée sur smartphone. Grâce à un

système d'éclairage à LED, il est possible de rendre visite aux poissons de nuit. Même s'il estfilaire – le wi-fi ne fonctionne pas sous l'eau –, il peut descendre jusqu'à 45 m, une profondeur généralement réservée aux plongeurs expérimentés. Le tout pendant une heure, l'autonomie maximale de sa batterie.

A.V.

Prix : env. 550 €
Rens. : <http://fathomdrone.com>



Le radio-réveil à tout faire, même donner l'état du trafic routier

Bonjour! C'est le nom de ce radio-réveil de chez Holi qui, grâce à son intelligence artificielle et à la reconnaissance vocale, peut dialoguer avec tous les membres de la famille. Mais aussi avec les objets connectés de la maison : lampes, thermostat Nest... Principal intérêt : personnaliser plus facilement ses alarmes. Bonjour permet

par exemple de consulter l'état du trafic routier et d'adapter l'heure de réveil en fonction. Il peut aussi se connecter à un agenda électronique, vous indiquer la température de la maison ou encore vous réveiller au son de vos airs préférés via Spotify ou Deezer.

E.T.-A.

Prix : env. 250 €
Rens. : www.holi.io

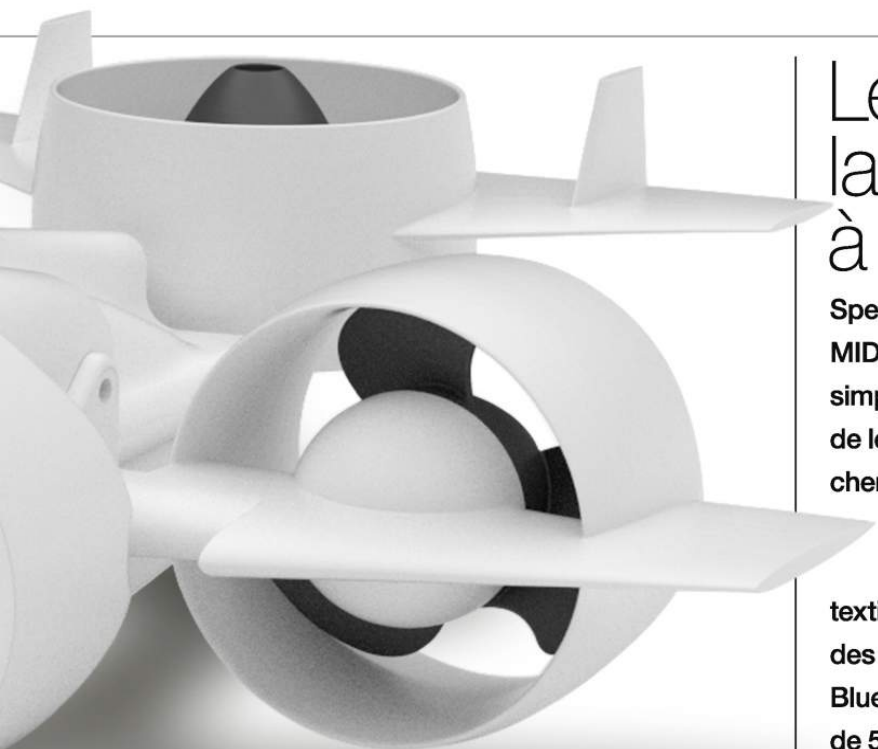
Gonflable, cette sous-couette refait toute seule le lit

Smartduvet est une innovation au service des flemmards! Le système repose sur une structure alvéolaire souple et légère qui se place entre la couette et sa housse. Une fois le lit défait, à l'heure programmée sur l'application (Android et iOS), le gonfleur placé sous le lit envoie assez d'air dans la structure gonflable pour qu'elle se rigidifie, se déroule, et replace la couette bien à plat!

B.P.

Prix : env. 250 €. Rens. : www.smartduvet.com





△ Le Fathom se pilote, au bout d'un fil, grâce à une appli sur smartphone.

Le gant qui contrôle la musique à distance

Specktr est un gant contrôleur MIDI qui, par des gestes simples, permet de régler le son, de le moduler ou encore de déclencher des dizaines de notes ou de samples par contact entre les doigts. Pour cela, le gant se compose de deux parties. Celle en textile contient des capteurs interprétant la position des doigts. Une autre, détachable, transmet par Bluetooth les ordres ainsi donnés. La réactivité est de 5 millisecondes et l'autonomie de 8 heures. S.F.



Prix : de 330 € à 450 € (pro) la paire. Rens. : <http://specktr.com>

La télé ultrafine déguisée en toile de maître

Qui a décrété qu'un téléviseur devait forcément ressembler à un grand rectangle noir au beau milieu du salon ? Samsung met en vente une télévision QLED (dérivée de l'OLED) ultrafine (quelques centimètres) au concept singulier. Baptisée The Frame, elle peut être accrochée au mur comme un tableau, grâce à un système de fixation qui ne laisse que 5 mm d'espace entre le mur et l'appareil. De plus, les contours du téléviseur sont recouverts d'un cadre en bois interchangeable. La magie opère réellement une fois la TV en veille, lorsque l'utilisateur en-

clenche le mode "Art" sur sa télécommande : en lieu et place de l'écran noir, une toile de maître s'affiche sur l'appareil. L'effet est bluffant : avec son cadre en bois, sa très faible épaisseur et l'absence des multiples fils remplacés par un unique câble optique quasi invisible, la télévision – 55 ou 65 pouces – ressemble véritablement à une œuvre d'art. Le tout est paramétrable : on peut choisir l'image parmi une sélection, ou importer ses propres photos. Reste le prix, pas loin, lui non plus, d'une œuvre d'art. S.D.

Prix : à partir de 2600 €
Rens. : www.samsung.com



Les plantes ont-elles mal?

Question d'Alexandre Voegele & Francis Vandermeersch, Hale (R.-U.)

Si l'on s'en tient à la définition classique de la douleur, la réponse est non. *"Chez les animaux, on définit la douleur comme une expérience sensorielle désagréable suite à la perception d'une blessure ou d'une agression par des récepteurs dits nociceptifs"*, explique Catherine Lenne, botaniste à l'Université Clermont Auvergne (Clermont-Ferrand). Ces récepteurs émettent alors un signal électrique, qui se propage dans des nerfs jusqu'au système nerveux central. Ce dernier va, en retour, ordonner une réponse rapide, comme par exemple fuir ou retirer sa main de la source de chaleur.

"Si l'on transpose cette définition aux végétaux,

alors cela ne fonctionne pas, conclut la chercheuse. Les plantes n'ont ni récepteurs nociceptifs, ni nerfs... ni système nerveux central."

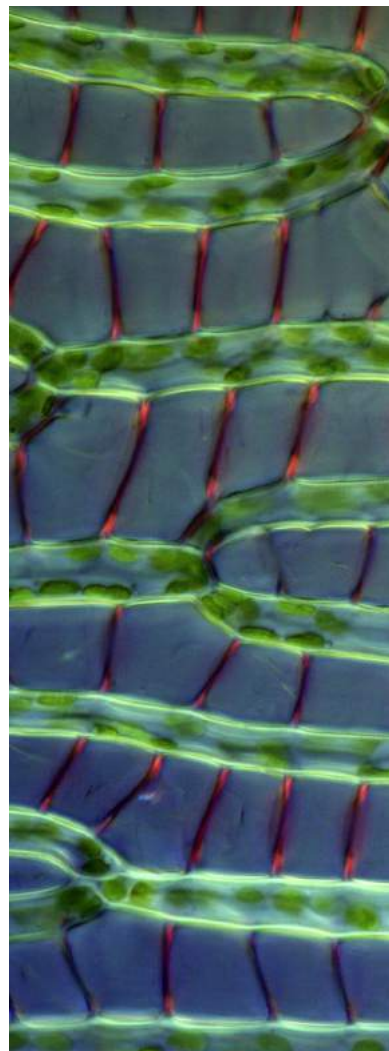
SENSATIONS ET RÉACTIONS

Pour autant, de nombreuses expériences montrent que les plantes perçoivent beaucoup de choses de leur environnement. Elles sentent la lumière du soleil, l'ombre de leurs voisins, voire leur simple présence. Elles perçoivent l'inclinaison de leur tige sur la pente du terrain où elles poussent, ou encore les agressions qu'elles subissent de la part des herbivores (voir *S&V* n°1146, p.50). De quoi, d'ailleurs, commander des réactions: quand leurs feuilles sont

mangées, certaines plantes produisent par exemple des substances chimiques qui leur donnent mauvais goût.

"Quand on coupe une plante, qu'on l'écrase ou qu'on croque dedans, elle le perçoit, c'est certain, ajoute Catherine Lenne. De là à parler de souffrance... je n'irais pas jusque-là. Il manque, de mon point de vue, l'élément essentiel qu'est le système nerveux central." Mais certains spécialistes ne sont pas aussi catégoriques, arguant que les sens des plantes constitueraient un autre genre de système nerveux: un système nerveux diffus. Certains vont même jusqu'à parler de "neurobiologie des plantes".

C.H.



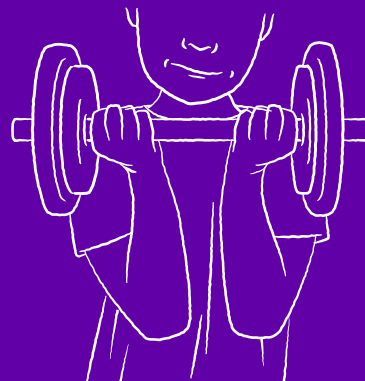
La musculation freine-t-elle la croissance?

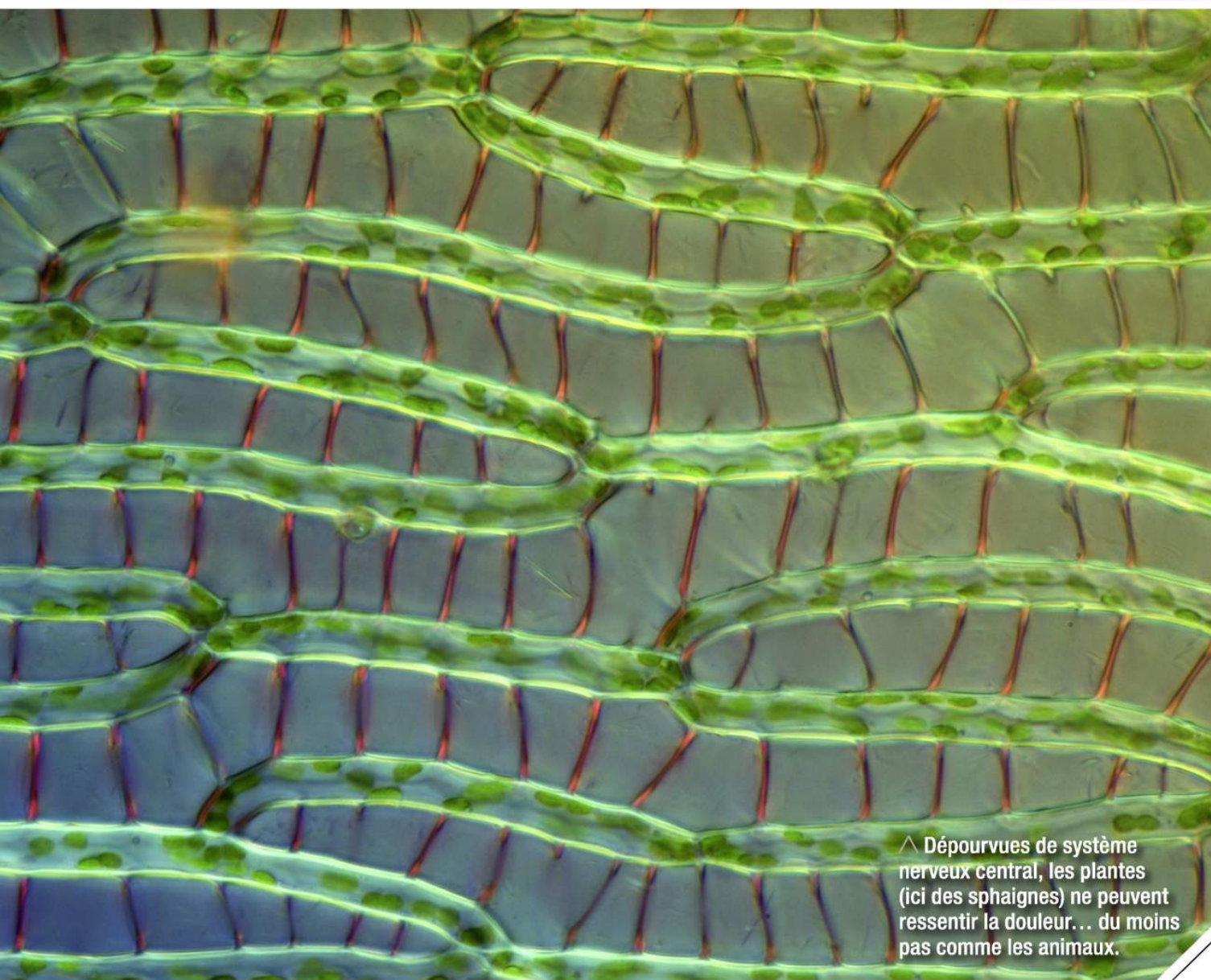
Question d'Alexis Girod, Morbier (39)

En non, c'est une idée reçue! *"Les programmes de musculation appropriés n'ont aucun effet négatif apparent sur la croissance"*, recadre ainsi l'Académie de pédiatrie américaine. Il est vrai que cette activité peut provoquer des fractures au niveau de lames de cartilage situées aux extrémités des os longs (humérus, fémur, tibia) chez les enfants. Et qu'une lésion de cette zone souple, qui n'est ossifiée complète-

ment que vers 20 ans, peut induire un raccourcissement de l'os et perturber ainsi la croissance... Mais de telles lésions peuvent survenir dans n'importe quel sport. Surtout, elles ne se produisent qu'en cas de mauvaise pratique: lors d'une *"utilisation abusive du matériel, de technique inappropriée ou de manque de supervision"*, précise une équipe du Johns Hopkins Hospital de Baltimore.

K.B.





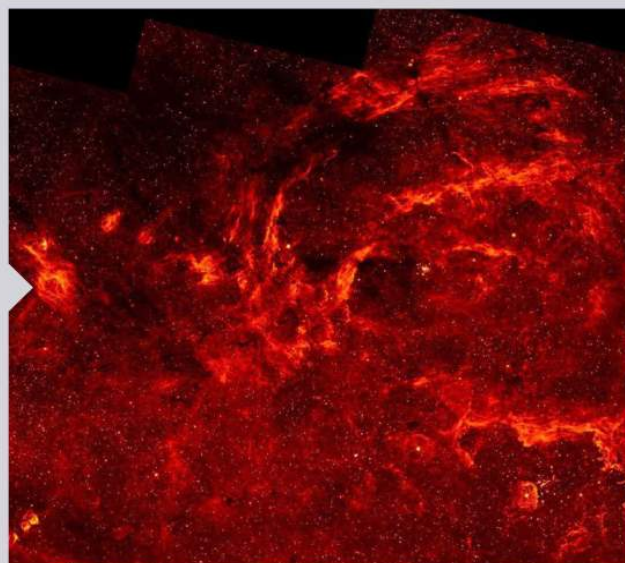
^ Dépourvues de système nerveux central, les plantes (ici des sphaignes) ne peuvent ressentir la douleur... du moins pas comme les animaux.

Quelle température fait-il dans l'espace ?

Mathilde Rineau, St-Sébastien-sur-Loire (44)

"La température correspond à l'agitation des molécules. Or, dans l'espace, il y a très peu de molécules: c'est le vide, explique Michel Viso, astrophysicien au CNES. Il n'y a donc pas de température ambiante!" Mais on peut mesurer la température des surfaces qui y gravitent: de 150°C au soleil et -150°C à l'ombre sur la Lune; de -210°C à -240°C sur Pluton... Et, en dehors de toute lumière venant d'une étoile, on s'approche du zéro absolu, soit -273°C... Sauf que l'espace a gardé l'empreinte de la chaleur du big bang, qui le maintient au minimum à -270°C.

C.H.



MARK MIS/SCIENCE PHOTO LIBRARY - HUBBLE - A.DAGAN

Les aliments chauffent-ils pareil dans un micro-ondes et dans un four traditionnel ?

Question de G. Gambier, Alincthun (62)

Non. D'abord, le micro-ondes ne dépassant pas 100°C, il ne peut dorer les aliments comme le four classique. Mais même à basse température, les phénomènes physiques en jeu sont très différents. *“La cuisson classique implique un transfert de chaleur qui correspond, au niveau microscopique, à une agitation de molécules se transmettant de proche en proche,*

physicien au Laboratoire Kastler Brossel, à Paris. Au micro-ondes, l'agitation des molécules est induite par les ondes partout en même temps.” (Voir infographie.) Cette différence est si fondamentale qu'elle se ressent au niveau du goût.

L'étude de référence à ce sujet a été réalisée en 1991 par deux Américains, Helen Yeo et Takayuki Shibamoto, qui ont comparé la cuisson de différents mets pour en

conclure qu'au micro-ondes ils ont tendance à être moins savoureux qu'au four classique. Les chimistes ont mesuré que les aliments cuits au micro-ondes sont plus riches en substances aux saveurs désagréables comme l'aigre, l'âcre ou la saveur de poisson (2-méthylpyridine, 4,5-diméthylloxazole, etc.); et en revanche plus pauvres en d'autres composés donnant, eux, des saveurs agréables de noisette,

de rôti ou de popcorn (pyrazines, furanes, thiazole...).

Des données confirmées par des tests gustatifs. Par exemple, il s'est avéré que les gâteaux cuits au micro-ondes *“manquaient de goût de noisette et de caramel”*, et avaient *“des saveurs de légumes verts”*. Le micro-ondes est même accusé de détruire certains éléments bons pour la santé tels les vitamines ou les antioxydants... Mais à ce jour, précise Jean-Michel Courty, *“aucune étude n'a démontré ces affirmations”*. **K.B.**

Pourquoi les dinosaures étaient-ils si grands ?

Question de Marc Rigole, Saint-Nicolas-de-Véroce (74)

Il est vrai qu'à l'exception notable de la baleine bleue, les dinosaures sont les plus grands animaux que la Terre ait portés. Le diplodocus faisait 27 m de longueur, et l'*Amphicoelias fragillimus*, dont la taille a été estimée à partir de quelques vertèbres, pourrait avoir atteint 58 m, pour un



pois de 120 tonnes ! Rien de comparable avec les 6 t de l'éléphant, le plus gros animal terrestre actuel.

C'est la surenchère entre herbivores et carnivores qui explique ces records. *“L'accroissement de la taille permet aux herbivores de s'abriter de leurs prédateurs”*, explique Véronique Barriel, paléontologue au Muséum national d'histoire naturelle. Pour pouvoir les chasser, les carnivores grandissent et, pour échapper à ces derniers, les herbivores croissent à leur tour... Une compétition limitée car *“plus on est gros, plus on a besoin de manger”*, souligne la chercheuse. Mais à l'ère secondaire, le climat chaud et humide favorisait une végétation luxuriante. La compétition a donc pu se poursuivre jusqu'à donner des géants. **C.H.**

Le cancer

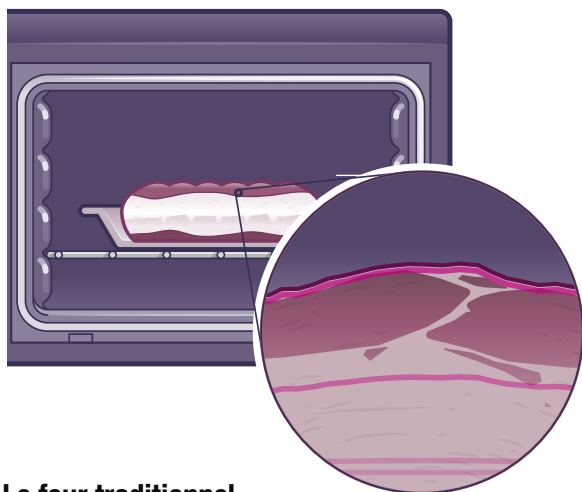
Question de Lucas Foures,

Oui ! Plusieurs cas, chez l'animal, sont d'ailleurs très connus. En particulier le cancer facial du diable de Tasmanie, qui débute par des lésions autour de la bouche avant de gagner tout le corps de l'animal : cette tumeur se transmet par morsure des animaux entre eux, à tel point qu'elle est en train de décimer l'espèce.

Un autre cancer contagieux souvent cité est la tumeur vénérienne transmissible du chien, contagieuse lors des accouplements.

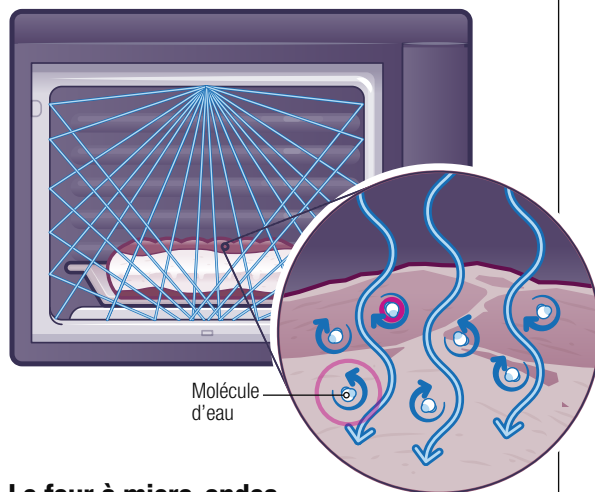
Et en 2015, une équipe américaine a identifié un troisième cas : une sorte de

Le four chauffe la surface des aliments, le micro-ondes le cœur



Le four traditionnel

La chaleur est produite par des résistances électriques, transmise à l'air contenu dans le four, puis aux aliments. Elle se propage ensuite par conduction, de proche en proche, depuis la surface vers l'intérieur de l'aliment à cuire.



Le four à micro-ondes

Les micro-ondes libérées dans le four agitent les molécules d'eau présentes dans l'aliment. Celles-ci s'alignent sur le champ électrique, qui alterne 2 milliards de fois par seconde. L'agitation moléculaire et les frictions en résultant élèvent la température au sein de l'aliment.

peut-il être contagieux ?

Woimbey (55)

leucémie, la "néoplasie disséminée", dont les cellules tumorales se transmettent via l'eau entre les coquillages d'une même espèce, la mye commune. Lors d'une étude publiée en juin 2016, une équipe internationale a même découvert que cette tumeur est transmissible entre différentes espèces de coquillages (palourde jaune et palourde poulette). Un premier cas inquiétant de cancer contagieux entre espèces... Pourrait-il un jour "sauter" jusqu'à la nôtre ? "Cela n'est pas totalement impossible, mais je ne pense pas que ce soit un risque

réel, estime le cancérologue Olivier Delattre (Institut Curie/Inserm). Car nous possédons un système immunitaire plus complexe que ces coquillages, qui nous permet de mieux nous défendre contre les cellules tumorales d'autres espèces."

L'IMMUNITÉ AGIT

Il est vrai qu'en général, les cellules cancéreuses ne se transmettent pas d'un individu à un autre. Et quand celles d'une autre personne arrivent dans notre corps, via une transfusion par exemple, "comme toutes cellules étrangères, elles sont reconnues et détruites par notre système immuni-

taire, explique le chercheur. Si l'on est en bonne santé, ces cellules tumorales ne survivront donc pas dans notre organisme."

Ainsi, c'est seulement dans des circonstances très exceptionnelles qu'une contagion du cancer a été observée chez l'humain : lors d'une greffe, quand l'affaiblissement de l'immunité du receveur par les médicaments antirejet peut favoriser la survie des cellules cancéreuses ; entre mère et fœtus ; ou entre vrais jumeaux *in utero*. Dans ce dernier cas, il peut arriver qu'un des fœtus développe un cancer du sang et transfère des cellules tumorales à

son jumeau via les échanges sanguins au niveau du placenta. Or, comme les deux fœtus sont très semblables, ces cellules cancéreuses peuvent ne pas être reconnues comme étrangères et détruites. La première description d'un tel cas remonte à 1882. Cela dit, de telles "infections" sont très rares : lors d'une étude de 2003, une équipe britannique n'en a comptabilisé que trois entre 1958 et 1998, en Suède. "Ces transmissions tumorales entre humains ne constituent pas une menace pour la santé publique, conclut Olivier Delattre. Elles sont absolument exceptionnelles." **K.B.**

"Venenum, un monde empoisonné"

Sous le signe du poison

Arsenic, curare, belladone, cyanure... Des mots qui effrayent, autant qu'ils fascinent! L'ambiance sombre et volontairement un peu glaçante de l'exposition "Venenum", au Musée des Confluences de Lyon, nous entraîne dans un périple scientifique et historique sur le thème du poison.

TOXIQUES OU BÉNÉFIQUES

A peine entré, le visiteur se retrouve nez à nez avec une pomme écarlate, sous laquelle sont projetées des volutes numériques hypnotiques. Comment ne pas penser à la pomme maléfique dans *Blanche Neige*? Le ton est donné: on plonge immédiatement dans le récit des grands empoisonnements, de l'Antiquité à nos jours. Si les poisons furent très longtemps utilisés de façon ponctuelle, le XX^e siècle vit l'apparition des empoisonnements de masse avec l'utilisation du gaz moutarde lors de la Première Guerre mondiale. L'utilisation des gaz toxiques, comme le très volatil gaz sarin, subsiste encore aujourd'hui: un panel de vidéos saisissantes en témoigne.

La suite de l'exposition se concentre sur les poisons présents dans la nature

avec une profusion de bêtes venimeuses vivantes, qu'il vaut mieux ne pas rencontrer dans d'autres circonstances. Une grosse mygale saumonée bien velue, un serpent liane aux crochets venimeux, de dangereuses méduses... Un peu plus loin, on découvre les usages des poisons naturels par différentes sociétés humaines, pour la chasse (à l'aide de flèches empoisonnées), la pêche (par empoisonnement des rivières), ou pour des rituels initiatiques censés tester la résistance des jeunes hommes.

Ensuite, sur la base d'interviews filmées, des experts évoquent les poisons modernes, comme les perturbateurs endocriniens, l'amiante, mais aussi... les pesticides. Or, à cet endroit de l'exposition, on peut encore apercevoir au loin la pomme rouge du début du parcours. Elle n'apparaît alors plus comme la pomme du célèbre conte de Grimm, mais comme un simple fruit de supermarché, poison du quotidien.

La visite s'achève sur une volte-face: les substances toxiques peuvent aussi servir en tant que... remèdes! Elles entrent en effet dans la



► **Venenum**
 ► Jusqu'au 7 janvier 2018
 ► Musée des Confluences
 ► 86, quai Perrache, Lyon 2^e
 ► Entrée: 9-6 €



composition des médicaments: tout est question de dosage.

À la croisée des sciences naturelles, de la toxicologie, de la pharmacologie, de l'ethnologie, de l'histoire



◀ Cyanure dissimulé dans une chevalière, complot, pomme empoisonnée... Malgré les apparences, le poison ne nous veut pas toujours du mal!



ou des beaux-arts, l'exposition se veut interdisciplinaire, grand public mais pas simpliste, sans encombrer le spectateur de longs textes et avec de nombreux supports audiovisuels. Une belle occasion de découvrir un "monde empoisonné" sous toutes ses facettes.

Gautier Depambour

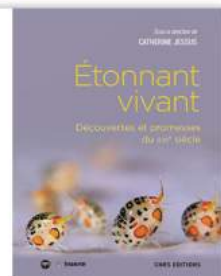


LIVRE

► **Etonnant vivant - Découvertes et promesses du XXI^e siècle**

► Sous la direction de Catherine Jessus

► Ed. CNRS
► 328 pp., 20 €



Ecrit dans un langage simple par des chercheurs et illustré par leurs images de sciences les plus remarquables, cet ouvrage est une plongée au cœur de la recherche fondamentale des sciences du vivant. Un domaine qui a connu des bouleversements incroyables ces dernières décennies ! Découverte des intraterrestres cachés dans les profondeurs de la terre, révélation autour de l'apparition des êtres pluricellulaires, remise en question des frontières immunologiques entre le "soi" et le "non-soi"... La liste est longue et la lecture se révèle la plupart du temps passionnante.

C.T.

EXPOSITION

► **L'Expo Astronautes**

► Jusqu'à décembre 2018

► Cité de l'espace, avenue Jean Gonord, Toulouse



Que ressent-on à bord de la station spatiale internationale (ISS) ? Le visiteur de la Cité de l'espace est invité à se glisser dans la peau d'un astronaute. Il peut entendre les bruits qui résonnent dans l'ISS, attraper une balle avec un gant pressurisé de combinaison spatiale, ou s'exercer à garder ses repères dans un lieu où haut et bas n'ont plus de sens. Au-delà de ce parcours sensoriel déstabilisant, l'exposition rassemble des documents vidéo sur la vie des astronautes qui ont déjà séjourné sur place (le stress, la toilette, les repas, le recyclage...). Un vrai voyage !

M.V.

“

CHRISTIAN SERMET

Commissaire de l'exposition *Venenum* au Musée des Confluences de Lyon

"A terme, les poisons sauveront plus de vies qu'ils n'en prendront !"

S&V : Depuis quand les poisons sont-ils utilisés en tant que remèdes ?

Christian Sermet : Dans l'Antiquité déjà, Mithridate avait compris que l'on pouvait s'immuniser contre un poison en le consommant régulièrement, par petites doses. Il créa ainsi une formule antidote composée d'une soixantaine d'ingrédients. Puis, du Moyen Age à la fin du XVIII^e siècle, les apothicaires expérimentaient des cocktails de substances toxiques en faibles

quantités, avec de potentiels effets bénéfiques. A partir du XIX^e siècle, la chimie s'est développée et a permis la synthèse de molécules utiles à la médecine, comme la morphine.

S&V : Quelles sont les applications médicales actuelles de ces substances ?

C.S. : Aujourd'hui, les venins d'animaux, comme ceux de certaines araignées ou de certains serpents servent, selon leurs effets respectifs, à traiter

des maladies cardio-vasculaires, des cancers, ou à confectionner des antalgiques. Côté végétal, on utilise par exemple une substance contenue dans les aiguilles de l'if pour lutter contre les cancers du sein.

S&V : Quel avenir pour ces poisons médicaments ?

C.S. : Des recherches sont en cours pour tenter de mettre au point un anesthésiant à partir de toxines de mygales, pour les douleurs intenses. De même, le venin issu du serpent "fer de lance" permet déjà de traiter l'hypertension artérielle et les insuffisances cardiaques. A terme, les poisons sauveront potentiellement plus de vies qu'ils n'en prendront !

Propos recueillis par G.D.

Juin 1947

L'affaire Roswell lance la vogue des ovnis

Kenneth Arnold n'en croit pas ses yeux lorsque, ce 25 juin 1947, il aperçoit neuf objets brillants en forme de soucoupe volant à grande vitesse au-dessus du mont Rainier, au nord-ouest des Etats-Unis. Il les chronomètre à près de 1 200 miles/heure (presque 2 000 km/h). A un journaliste de l'*East Oregonian*, il ajoutera le lendemain s'être entretenu avec un homme de l'Utah qui prétend avoir vu des objets similaires.

Dans les jours qui suivent, les journaux publient des témoignages, toujours plus nombreux, de disques volants aperçus aux quatre coins de l'Amérique. Les journalistes interrogent les scientifiques, déterrent les projets de proto-

types volants de l'armée. Mais rien de connu ne ressemble à ces soucoupes.

Le 8 juillet, un communiqué explosif est envoyé par la base aérienne de Roswell, dans le Nouveau-Mexique: l'armée aurait récupéré les restes de l'un de ces vaisseaux! Un fermier a trouvé dans son ranch, à proximité de la base, d'énigmatiques débris faits d'adhésif cou-vert de motifs étranges, de papier aluminium, papier kraft et baguettes... Il n'y a pas prêté attention, jusqu'à ce qu'il entende parler des disques volants. Il s'est alors confié au shérif, qui a prévenu la base. Les débris, prestement transportés au quartier général, sont déjà, ce 8 juillet, en cours d'expédition vers la base militaire

de Fort Worth, au Texas. Laquelle diffuse, ce même jour, un nouveau communiqué: la "soucoupe volante" n'est qu'un banal ballon-sonde... L'incident est oublié. Mais des témoins continuent, durant des années, d'apercevoir des soucoupes dans toute l'Amérique.

ÉVITER LA PANIQUE

Déstabilisée, l'US Air Force lance le programme d'étude Sign: les témoignages sont analysés à la base de Wright Field, dans l'Ohio. La priorité, pour l'armée, est d'éviter toute panique. Le 27 avril 1949, elle remet donc un premier rapport: hormis quelques cas de canulars, la plupart des témoins semblent avoir été abusés par des phénomènes

astronomiques ou météorologiques inhabituels.

Cette thèse, le militaire et journaliste Donald Keyhoe n'y croit pas. Il martèle que ces soucoupes sont des engins extraterrestres, que les militaires en ont la preuve, mais qu'ils ont pour consigne de garder le secret.

Dans son sillage, l'ouvrage du journaliste-écrivain Franck Scully, *Behind the Flying Saucer* ("Derrière les soucoupes volantes"), qui défend une hypothèse similaire, fait un tabac.

En 1969, l'Air force abandonne officiellement toute enquête sur les ovnis qui, affirme-t-elle, ne présentent ni intérêt scientifique ni menace pour la sécurité des Etats-Unis. Mais elle continue, comme le montreront

SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

1951 LA PASSION DES OVNIS

"Cet article nous a été demandé par de très nombreux lecteurs", écrit S&V avant de livrer son premier compte rendu sur les soucoupes qui fascinent le public depuis quatre ans. Et de rappeler: "Nous ne prétendons nullement apporter une solution". Des personnalités interrogées parlent déjà de "psychose collective". S&V n° 403



1984 UNE VIE EXTRA-TERRESTRE EST POSSIBLE

"L'obsession de l'extraterrestre" a fait naître une nouvelle science, "l'exobiologie, dont l'objet est l'étude de la vie sous toutes ses formes dans l'univers". Avec l'idée que "des êtres vivants pourraient exister qui, sans avoir la même chimie que nous, auraient une structure aussi complexe que la nôtre". S&V n° 799





plus tard des documents déclassifiés, de s'intéresser ponctuellement à ces mystérieux objets. Cacheraient-elle de lourds secrets? Les chasseurs d'ovnis, réunis en associations, en sont de plus en plus convaincus. ➔

➤ ^ L'officier Irving Taylor présente à la presse les débris d'une "soucoupe volante". En fait, un ballon-sonde, comme l'annonce l'US Air Force dans la presse le lendemain (à dr.).



1997 LE CAS ROSWELL ENFIN CLOS?

"Le mythe fondateur de l'ufologie" s'écroule. Dans un rapport de 231 pages, l'US Air Force avoue elle-même que "l'engin était un ballon atmosphérique" et conclut que "L'affaire de l'ovni de Roswell est définitivement close". Est-ce la fin de cinquante années de mystification? S&V reste lucide: "Des centaines de démentis n'annuleront jamais une seule fausse nouvelle martelée pendant cinquante ans." S&V n° 959

→ Une rumeur, en particulier, se développe à partir de 1978 : l'objet qui s'est écrasé près de Roswell en 1947 ne serait pas un ballon-sonde. En 1980, l'expert en ovnis William Moore publie un premier ouvrage sur "l'incident de Roswell". Il y détaille l'existence d'un complot, destiné à cacher la découverte d'un vaisseau extraterrestre et de ses occupants. Sept ans plus tard, il présente un document attestant l'existence d'un programme secret, mis en route par le président Truman, après la découverte d'un engin écrasé près de Roswell et des cadavres de quatre extraterrestres. Mais les experts en documents administratifs pointent, sur l'une des pièces, la signature présidentielle manifestement contrefaite.

L'analyse de véritables documents déclassifiés permettra, au début des années 1990, d'affirmer qu'il s'est bien passé quelque chose de secret à Roswell. Mais les amateurs d'ovnis



△ Le film de la prétendue autopsie pratiquée sur un extraterrestre en 1947 à Roswell ? Après examen, ce document a tout du canular.

en seront pour leurs frais. En octobre 1945, un océanographe confie en effet au chef d'Etat-Major qu'il a découvert un "couloir sonique" dans l'océan, et qu'il doit en exister de similaires dans l'atmosphère.

LA MANIE DU SECRET

En plaçant des capteurs sur des ballons-sondes, on doit pouvoir détecter des explosions de bombes ou des lancements de fusées sur toute la planète, notamment en URSS. Le projet, codé Mogul, est classé "top secret".

Dotés de multiples cibles radar, ces ballons secrets ont été conçus en 1947 avec un matériau nouveau, le polyéthylène, et pour partie fournis par un fabricant de jouets (d'où les motifs sur les adhésifs). Lancés par des militaires ignorant tout de leur fonction, ils se sont écrasés près de Roswell, où ils ont été récupérés par d'autres militaires aussi peu au courant. *"La légende de Roswell résulte moins d'un délire que de la manie du secret de l'armée américaine"*, écrit en 1996 le sociologue

Pierre Lagrange dans un livre-enquête fouillé sur la "rumeur de Roswell".

Le 8 septembre 1994, l'Air Force confirme que l'armée a tenté de dissimuler le projet Mogul en évoquant des ballons météo qui, lâchés à partir de 1947, ont pu être à l'origine d'une partie des témoignages de soucoupes.

Fin de l'histoire ? Non, car moins d'un an après, une nouvelle rumeur circule : l'autopsie d'un extraterrestre, prétendument réalisée en 1947 sur la base de Roswell, aurait été filmée. Un producteur aurait racheté des bobines oubliées afin d'en revendre les droits de diffusion à des chaînes de télévision, dont TF1. Vraie autopsie ou canular ? Les éléments en faveur du second s'accumulent vite. L'affaire paraît entendue. Pourtant, soixante-dix ans plus tard, des sceptiques continuent de croire que quelque chose d'inavoué s'est produit, durant l'été 1947, à proximité de la base de Roswell... **E. Monnier**

AGENCE MARTIENNE

SCIENCE & VIE en parlait encore

1999 OVNIS ET EXOPLANETES

La quête des soucoupes volantes se mêle à l'exobiologie. *"Toumant capital dans l'étude des ovnis : des scientifiques de toutes disciplines ont récemment admis qu'il n'était pas illégitime de les examiner sans a priori. La quête des civilisations extraterrestres prend dès lors une nouvelle ampleur"* : treize exoplanètes ont déjà été dénombrées, "autour d'étoiles distantes de moins de 150 années-lumière." **S&V n°976**



2015 LES "ABDUCTIONS" ÉLUCIDÉES

Des psychologues ont étudié des "abductés", ces personnes qui "disent avoir été kidnappées par les extraterrestres : en 2004, des tests ont montré que l'impact des 'enlèvements' sur les victimes était réel." Le coupable ? "La paralysie du sommeil. Laquelle s'accompagne d'un cortège de manifestations, certes tout à fait naturelles, mais assurément traumatisantes". **S&V n°1175**



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com



Innovation
that excites

NISSAN  INTELLIGENT MOBILITY

NOUVELLE NISSAN MICRA. COMPLICE DE TOUTES VOS AUDACES.



À PARTIR DE

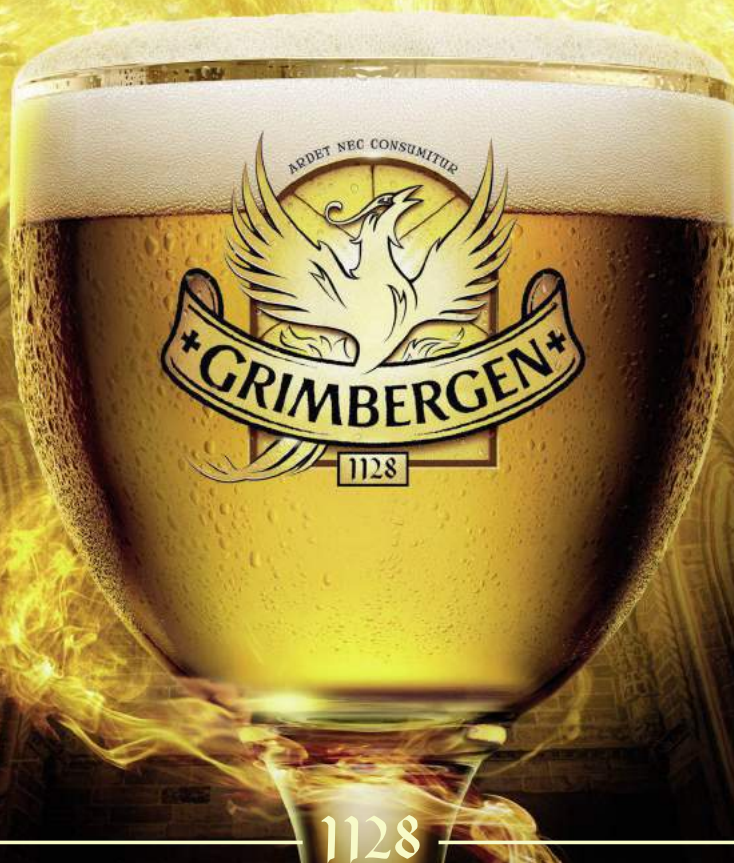
139 € /MOIS⁽¹⁾

**SANS APPORT⁽²⁾
SANS CONDITION**



Innové autrement. Fabriquée en France. (1) Exemple pour une Nouvelle Nissan MICRA VISIA 1.0L 71 neuve en Location Longue Durée sur 49 mois, 40 000 km maximum, 1^{er} loyer de **2 107 €** (2) puis 48 loyers de **139 €**. **Modèle présenté** : Nouvelle Nissan MICRA IG-T 90 TEKNA avec option peinture métallisée Orange Racing et feux de route LED, 1^{er} loyer de **2 642 €** (2) pris en charge par votre concessionnaire Nissan, puis 48 loyers de **238 €**. Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable jusqu'au 30 juin 2017 chez les Concessionnaires NISSAN participants. NISSAN WEST EUROPE SAS : nissan.fr. **Consommations gamme cycle mixte (l/100km) : 3,2 - 4,6. Émissions CO₂ (g/km) : 85 - 104.**

+ L'INTENSITÉ +
D'UNE LÉGENDE*



1128
+ GRIMBERGEN +
BIÈRE D'ABBAYE - ABDIJBIER

BLONDE

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