

SCIENCES ET AVENIR

Sciencesetavenir.fr

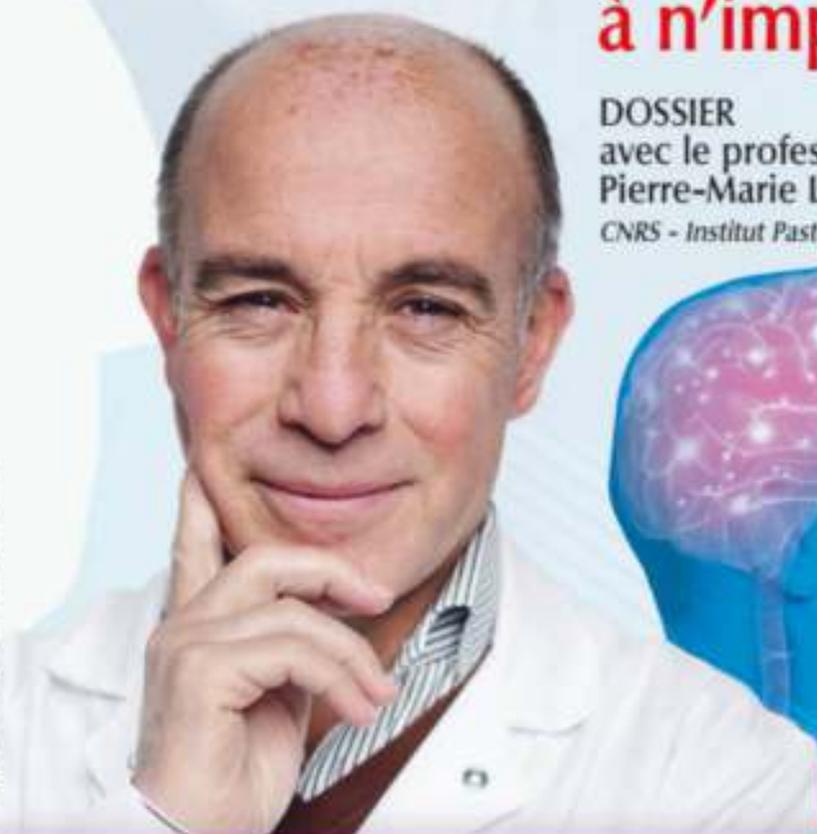
PRIX ABEL 2017
Yves Meyer
Mathématicien
des ondelettes
p.46



Comment se fabriquer des neurones

à n'importe quel âge

DOSSIER
avec le professeur
Pierre-Marie Lledo p.32
CNRS - Institut Pasteur



Astronomie **Pourquoi les planètes ne sont pas rondes** p.42

SCIENCES ET Avenir - N° 843 - MAI 2017 - COMMENT SE FABRIQUENT DES NEURONES



© P. KHALIL BARTHELEMY POUR S.A. - VOSTOK 118 -
ISSN 1120-1018 / 1120

MAI 2017 - N° 843 - ALLEMAGNE 5,20 € / AUTRICHE 5,40 € / BELGIQUE 5,40 € / CANADA-USA 7,50 \$ / ESPAGNE 5,20 € / ITALIE 5,20 € /
LUXEMBOURG 5,20 € / MAROC 4,50 MAD / TOM 7,90 NPF / TOM (AVANT) 1400 NPF / PORTUGAL 3,20 € / RUSSIE 7,70 CHF / TUNISIE 6,50 TND / DOM 5,20 €

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

LA FORCE NE FAIT PAS TOUT.
PARFOIS, SI.

V6 TDI



Nouvelle gamme Amarok à partir de 249 € TTC / mois* en LLD. Non assujetti à la TVS ni au malus.

Nouvelle gamme Amarok, nouveau moteur V6 3,0 I TDI jusqu'à 244 ch et jusqu'à 550 Nm de couple, transmission intégrale 4MOTION permanente, et boîte de vitesses automatique 8 rapports. Maintenant, faut-il encore avoir le courage de l'essayer. **Le nouvel Amarok. Accélérateur d'émotions.**



**Véhicules
Utilitaires**

Modèle présenté : Amarok Aventura 224 ch V6 3,0 I TDI avec option peinture métallisée en Location Longue Durée sur 48 mois et 80 000 km, 1^{er} loyer majoré

9 521 € TTC, 47 loyers de **349 € TTC**. Cycle mixte (l/100 km) : 7,8. Rejets de CO₂ (g/km) : 203-204.

*Exemple pour un Amarok DC Confortline 204 ch 4MOTION en location Longue Durée sur 80 000 km, 1^{er} loyer majoré 7400 € TTC suivi de 47 loyers de 249 € TTC. Cycle mixte (l/100 km) : 7,5-7,8. Rejets de CO₂ (g/km) : 196-204. Offre réservée aux professionnels, hors loueurs et flotte, jusqu'au 31/07/2017, dans le réseau participant, sous réserve d'acceptation du dossier par Volkswagen Bank GmbH (SARL de droit allemand - Capital 318 279 200 € - Succursale France : Bâtiment Ellipse 15 av. de la Demi-Lune 95700 Roissy en France - RCS Pontoise 451 618 904). Mandataires d'assurance et d'intermédiaire d'assurance ORIAS : 08 040 267.

Volkswagen Group France SA au capital de 7 750 000 € - 11, avenue de Boursonne Villers-Cotterêts - RCS SOISSONS B 602 025 538.

Volkswagen Véhicules Utilitaires recommande **Castrol EDGE Professional**.



BERNARD MARTINEZ

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Stimulant !

Une pouponnière (ou plutôt deux) dans le cerveau. Et à tout âge. L'annonce a de quoi réjouir en ce milieu de printemps. Bien plus en tout cas qu'une vision de cimetière, telle qu'elle a relevé à tort pendant presque tout le xx^e siècle, comme ne manque pas de le rappeler notre spécialiste Elena Sender dans le dossier de ce mois-ci (pp. 32-41). Sous la calotte crânienne, en effet, ne se cachent pas seulement plusieurs dizaines de milliards de neurones connectés, destinés pour beaucoup à s'étioler au fil de la vie avant que de disparaître, vision tragique. Longtemps dissimulées aux regards des scientifiques, apparaissent désormais dans notre cerveau humain deux zones particulièrement fertiles, sises à l'intérieur d'une structure elle-même enfouie dans le système limbique, dont le nom très grec lui a déjà conféré une certaine célébrité : l'hippocampe. Connue pour jouer un rôle fondamental dans la mémoire, il mérite qu'on se souvienne de lui ! Et ce, à plusieurs titres. Non seulement il est impliqué dans la formation des souvenirs, mais il

fait plus : il recèle des cellules souches qui se transforment en jeunes neurones. Encore un petit effort de langage et de mémoire ! On veut ici rendre hommage à ces deux lieux d'importance au sein de l'hippocampe : le gyrus denté et la zone sous-ventriculaire. Les voici, les deux pouponnières cachées qui permettent à notre cerveau de « demeurer vif, réactif et prompt à élucider les nouveaux problèmes », comme l'explique le neurobiologiste Pierre-Marie Lledo. De quoi rendre optimiste. Mais une pouponnière, ça se respecte. Mieux, il faut lui prodiguer quelques cajoleries. Voilà pourquoi le dossier de ce mois-ci, consacré à des découvertes fondamentales en neurogenèse, devait aussi préciser le code de bonne conduite qui va avec. La neurogenèse a ses exigences, d'où les six conseils (pp. 34-37) distillés par le Pr Lledo pour la favoriser. Nous n'en retiendrons qu'un seul ici, à coup sûr truisme pour vous lecteurs : « À bas la routine, soyez à l'affût de la nouveauté ! » À l'heure où il est de bon ton de rabâcher une certaine peur du futur, notre cerveau lui-même apporte

la preuve qu'il peut s'y préparer, par son renouvellement partiel. Il est frappant que les chercheurs émettent même l'hypothèse d'une corrélation entre dépression et baisse de la neurogenèse (p. 39). Reste qu'il leur faut encore beaucoup travailler pour compenser notre grande vulnérabilité, à nous humains. Ainsi, comment mettre pleinement au service de l'ensemble du cerveau — tout particulièrement de ses régions lésées ou dégradées (pp. 40-41) — ces jeunes neurones apparus dans une autre zone ? C'est à cette question, très audacieuse, que les spécialistes se sont déjà attaqués depuis une dizaine d'années. Ils comptent une fois encore sur les ressources des cellules-souches, mais refusent de crier au miracle. Il faudra au moins une ou deux décennies avant d'avoir mis au point les bonnes techniques, estiment-ils prudemment. C'est ainsi que la science avance, quand on donne aux chercheurs les moyens de découvrir les mécanismes les plus fondamentaux de la nature. Avant que de les maîtriser.

@dominiqueleglu



Abonnements Tél. : 03.28.38.47.69 - CS 90006 - 59718 Lille Cedex 9 - abonnements@sciencesetavenir.fr
Pour joindre la rédaction : 41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.00.
 E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes
Andreina DE BEL (photo-icongraphie) - 01.55.35.56.31
Stéphane DESMICHELLE (pôle digital) - 01.55.35.56.24

Direction artistique
Thierry VERRÉT (conception)
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chef de rubrique
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grand reporter (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27
Olivier HERTEL (technologie, futur) - 01.55.35.56.03
Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs
Brigitte BÉGUE, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction
Isabelle RUDI-HOUET - 01.55.35.56.30 - irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro
J. O. BARUCH, F. COSTES, C. COUMEAU, C. DELUZARCHE, S. EUSTACHE, F. GALÉRON, I. JOUSSEN, P. KALDY

Secrétariat de rédaction
Frank MIETTON (1^{er} secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-icongraphie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Illustration
Betty LAFON - 01.55.35.56.37

Pôle digital
Erwan LECOMTE (chef de rubrique) - 01.55.35.56.56
Lise LOUME (rédactrice santé) - 01.55.35.56.39
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Anne-Sophie TASSART (rédactrice animaux) - 01.55.35.56.41
Sarah SERMONDADAZ (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.23

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (chef de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14

Fabrication
Christophe Perrusson

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS, VENTE AU NUMÉRO
Isabelle RUDI-HOUET 01.55.35.56.50/56.30
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements :
France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.

Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 - www.viapresse.be
VENTES Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris et aux dépôts) **0.800.24.69.33**

PUBLICITÉ
MediaObs, 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale : Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26
Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88.97.58

Directeur commercial : Valéry SOURIEAU
Opérations spéciales : Joëlle HEZARD
Directeur des abonnements
Luc BONARDI
assisté de Lina QUACH 01.55.35.56.63
Relations extérieures : France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL
Secrétaire général : Jean-Claude Rossignol
Multimédia : Sciences et Avenir, 41 bis avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél. : 01.55.35.56.00.
Imprimerie SEGO-Taverny. Distribution Prestalis.



Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec Sciences et Avenir, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend un encart CREACONTACT jeté sur couverture sur la totalité de la diffusion des abonnés, ainsi qu'un tout-en-un et un catalogue « Objets du Mois », un message L'Express, un message Auto Moto et un tout-en-un Sophia Publications jetés sur couverture en diffusion partielle des abonnés. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Prestalis.

1664

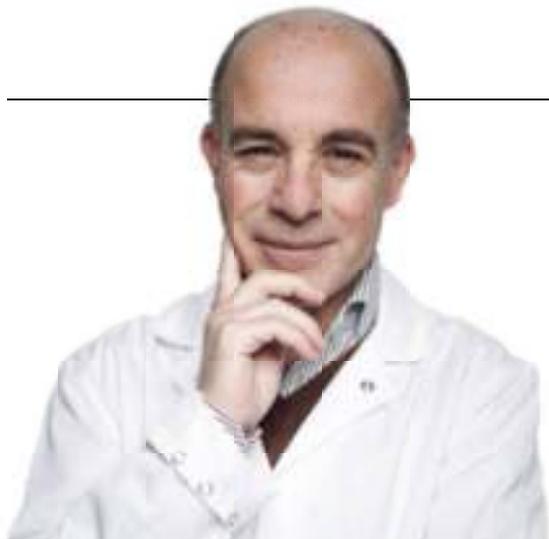
OUVERTE À TOUS LES GOÛTS*



Suggestion de présentation: BK, RCS Savene 7/5 614 308 - HEREZIE

* Le goût unique de la 1664 peut accompagner des recettes, de l'apéritif au repas.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.



BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET Avenir

DOSSIER P. 32

6 conseils pour se fabriquer des neurones à n'importe quel âge

Pour entretenir et stimuler la production de nouveaux neurones tout au long de notre vie, le neuroscientifique Pierre-Marie Lledo énonce six règles d'or.

- 5 Édito par Dominique Leglu
- 9 Courrier

ÉVÉNEMENT

- 10 Maladie de Lyme : le scandale des pseudo-traitements

SCIENCES FONDAMENTALES

- 14 **ACTUALITÉS** / Un « soleil artificiel » produit de l'hydrogène / Une atmosphère autour d'une exoplanète rocheuse
- 42 L'astre le plus rond de l'Univers
- 46 Portrait : Yves Meyer, prince des ondelettes
- 48 L'élection présidentielle sous influence numérique
- 51 Un trou noir se promène, solitaire, dans l'espace
- 51 Livres

HISTOIRE

- 16 **ACTUALITÉS** / Une épave des Croisades livre des florins d'or / Voici les plus grandes empreintes de dinosaure au monde / Neandertal avait un œil d'esthète
- 52 L'alcool, accélérateur de l'évolution humaine
- 56 Le premier visage de Pompéi
- 59 Des gènes de l'homme de Denisova chez les Inuits
- 59 Livres

NATURE

- 20 **ACTUALITÉS** / Trois capitales accentuent la lutte contre la pollution / La loutre de mer utilise des outils / Le chat préfère les humains aux croquettes
- 60 La forêt française étend son emprise
- 64 Les mystères de l'hippocampe
- 66 Cette île artificielle produira de l'énergie

- 66 Livres
- 67 Citizen sciences : tout savoir sur la vie des plantes

SANTÉ

- 24 **ACTUALITÉS** / Un implant cérébral contre la dépression / Une peau artificielle rend le sens tactile / Le premier appareil génital féminin sur puce
- 68 L'anorexie, une addiction au plaisir de maigrir
- 72 Le cancer, au hasard des mutations
- 74 Nutrition : encore plus de fruits et légumes
- 76 Des embryons humains génétiquement modifiés
- 76 Livres
- 78 Dossier spécial : se faire du bien au grand air

HIGH-TECH

- 28 **ACTUALITÉS** / Baptême de l'eau pour le navire à hydrogène / États-Unis : les robots ont détruit 670 000 emplois
- 88 Ces technologies inspirées de la nature
- 92 Les machines prennent la parole
- 95 La première synapse artificielle
- 95 Livres

SCIENCE PRATIQUE

- 96 Sûreté nucléaire de l'EPR : depuis quand EDF et Areva savaient-ils ?
- 98 Test : les smartphones « tout-terrain »
- 102 Le ciel de mai
- 104 Rendez-vous
- 106 L'info en continu sur sciencesetavenir.fr



BIOSMOS

Maladie de Lyme : enquête sur des traitements non validés scientifiquement p. 10



BRUNO FERT/PICTURETANK

Le mathématicien Yves Meyer, lauréat du prestigieux prix Abel 2017 p. 46



F.LEVILLAIN/SIGNATURES

La forêt française a vu sa surface presque doubler en un siècle p. 60

NOUVEAU FORD KUGA

Trend 1.5 EcoBoost 120 ch

249€ /mois*

LOA 48 MOIS. 1^{ER} LOYER DE 2840 €,
COÛT TOTAL SI ACHAT : 21 472,99 €.



SYNC



BLUETOOTH®



JANTES ALLIAGE 17"



Une autre façon de voir la vie.

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

*Exemple de location avec option d'achat d'un Nouveau Kuga Trend 1.5 EcoBoost 120 ch BVM6 4x2 Type 01-17. Prix maximum au 01/04/17 : 23 950 €, Prix remis : 20 450 € avec Pack Style Plus, **47 loyers de 248,70 €**. Kilométrage 10 000 km/an. Option d'achat : 6 946 €, Assurances facultatives, Décès dès 16,36 €/mois en sus du loyer. Coût de l'assurance : 785,28 €, Produit « Assurance Emprunteur » assuré par FACL, SIREN 479 311 979 RCS Nanterre, et FICL, SIREN 479 428 039 RCS Nanterre. Si acceptation par Ford Credit, RCS Versailles 392 315 776, ORIAS N° 07 009 071, Délai légal de rétractation. Offre non cumulable réservée aux particuliers pour toute commande de ce Nouveau Kuga neuf, du 01/05/17 au 31/05/17, dans le réseau Ford participant. **Modèle présenté** : Kuga ST-Line 1.5 TDCi 120 ch 4x2 avec options au prix remis de 30 850 €, **1^{er} loyer de 2 840 €**, option d'achat de 11 008 €, **coût total si achat : 33 347,80 €**, **47 loyers de 414,90 €/mois**, **Consommation mixte (l/100 km) : 4,4**, **Rejets de CO₂ (g/km) : 115** (données homologuées conformément à la Directive 80/1268/EEC amendée).

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

ford.fr



Go Further



Comment le feu a façonné l'homme moderne

Sciences et Avenir n° 842, avril 2017

Ancêtres et pionniers

En lisant (avec un grand plaisir) le dernier numéro de *Sciences et Avenir*, le titre d'un article a attiré mon attention : « Comment le feu a façonné l'homme moderne » (page 54). Il y est dit que les premiers feux maîtrisés par l'homme en Europe dateraient de -500 000 ans. Or j'avais lu que l'homme dit moderne ne descendrait pas de cette lignée qui aurait disparu, mais d'une autre venue en Europe il y a 40 000 ans.

Christian Barthet (courriel)

S. et A. : Oui, il est exact de dire que les hommes modernes sont nés en Afrique et n'ont pris pied

en Europe qu'il y a 40 000 ans (on les appelle Cro-Magnon). En conséquence, les *H. sapiens* ne descendent pas des pionniers du premier feu européen (daté de -500 000 ans) qui ont bel et bien disparu, vous avez raison. Toutefois, les ancêtres africains des hommes modernes maîtrisaient le feu, tout comme les pionniers partis à la découverte du continent européen. Les premières traces de feu datent d'ailleurs de -1 à -1,5 million d'années et sont africaines. Les ancêtres de *H. sapiens* sont simplement restés plus longtemps au « berceau » africain, mais ont développé sur place toute une culture et une technologie du feu qui ont façonné leur évolution. Jusqu'à ce qu'ils deviennent des hommes modernes. Dans ce sens, le titre notre article est donc justifié.

un milliardième de s/j), ce qui se traduit bien au sol par une détermination sur la position à 30 cm près. En effet, en un milliardième de seconde, la lumière — qui se déplace à la vitesse de 300 000 km/s — produit cette indétermination de 30 cm.

Attention : cette précision s'entend dans l'absolu, c'est-à-dire si la Terre n'avait pas d'atmosphère et si la lumière se déplaçait dans le vide. Cela explique que les GPS qui équipent nos voitures n'aient qu'une précision métrique — et non centimétrique — car le signal est ralenti, et en quelque sorte dégradé, en fonction de l'humidité de l'atmosphère. D'ailleurs, l'imprécision du GPS est utilisée par les météorologues pour déterminer l'humidité de l'air

Mars habitable ?

Dans le numéro 842 d'avril, j'ai lu, dans l'article « Un bouclier magnétique pour Mars », page 18, que des « scientifiques » imaginaient un dipôle qui serait immobile à l'endroit de l'espace où les gravités respectives de Mars et de la Terre se compensent. Ont-ils pensé que leurs révolutions sont différentes et que le Soleil est parfois entre elles ?

François Beaufeist (courriel)

S. et A. : Vous l'aurez compris, « terraformer » Mars, ce qui signifie rendre cette planète habitable, nécessite un ensemble de projets « fous » que seule la Nasa aborde pour l'heure dans le cadre des futures idées d'exploration. Or le point que vous soulevez a été abordé et utilisé comme une variation du champ magnétique créé. Mais nous en sommes encore très loin...

Précision

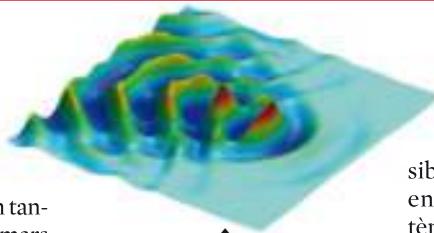
Dans l'article « Le poumon produit des cellules sanguines » (*Sciences et Avenir* n° 842, p. 28), il fallait lire que les plaquettes sanguines sont produites par la moelle osseuse et non par la moelle épinière comme indiqué par erreur.

Hauteur de vague

Dans votre numéro de février (n° 840), vous indiquez que la plus haute vague a été mesurée à 19 m tandis que dans le numéro de mars (n° 841) vous dites qu'une vague scélérate mesure 20 à 30 m de haut. Qu'en est-il ?

Pierre Grumiaux (59)

S. et A. : En réalité, les deux affirmations sont justes ! Dans le premier cas, il s'agit d'une mesure, effectuée en pleine mer par une bouée. Cette vague de 19 m est ainsi la plus haute jamais enregistrée dans une succession de vagues. Dans le second cas, il s'agit d'un phénomène très dif-



Modélisation de la formation d'une vague extrême.

férent : la vague scélérate est une vague unique, qui ne dure que quelques secondes. Il ne s'agit donc pas d'une vague au sens classique du terme.

Instruments de mesure

Dans *Sciences et Avenir* n° 842 d'avril 2017, vous présentez un tableau titré « Des ins-

truments de mesure de plus en plus précis ». Ce tableau m'est incompréhensible. Vous faites le parallèle entre la précision d'un système de mesure de temps (en secondes par jour) et la précision au sol qu'il induit. Ensuite, vous indiquez que « notre position est connue à 30 cm près avec le GPS ». Actuellement, la précision du GPS est métrique, certainement pas centimétrique. D'où tenez-vous ces 30 cm ?

Jean-Marc Deluy (13)

S. et A. : Concernant votre première question, la précision de l'horloge GPS est de 10^{-9} s/j (soit

Maladie de Lyme

Le scandale des pseudo-traitements

« Captations photoniques », tests non officiels, essai clinique illégal... Notre enquête a mis au jour des pratiques non validées scientifiquement, voire dangereuses, proposées à de nombreux malades à qui la médecine officielle n'offre que peu ou pas de solutions.

Par Olivier Hertel

POUR NATHALIE, Les résultats du test sur la machine « d'électrophotonique » ont constitué une excellente nouvelle : « J'ai pu enfin corrélérer tous mes symptômes avec la maladie de Lyme ! », affirme cette femme de 37 ans qui cherchait une explication à son mal-être depuis... plus de vingt ans. En effet, les « captations photoniques » (sic) de ses

dix doigts, réalisées par la société Électrophotonique Ingénierie à Brens (Tarn), indiqueraient bien la présence de la bactérie *Borrelia*, l'agent transmis par les piqûres de tiques responsable de la pathologie. Or, jusque-là, les deux tests de dépistage officiels qu'elle avait effectués (Elisa et Western Blot) avaient été négatifs. Résultat : une longue « errance »

pour tenter d'expliquer et soulager ses douleurs persistantes et la consultation vaine de près de vingt médecins.

Le cas de Nathalie est celui de dizaines de milliers d'autres malades, acculés dans cette impasse thérapeutique car déclarés eux aussi négatifs par les tests (*lire l'encadré p. 11*). Avec parfois pour seule issue les remèdes « miracles » de médecins et thérapeutes peu scrupuleux.

33 000

nouveaux cas par an en France en 2015.

Estimation de la prévalence :

300 000 à 600 000 cas pour la maladie de Lyme et l'ensemble des affections transmises par les tiques.

De graves dérapages lors de conférences publiques

Les « captations photoniques » dont se réjouit aujourd'hui Nathalie sont l'un des risques auxquels sont exposés les malades. Cette technique repose sur l'analyse d'étranges photos révélant un « halo » entourant le bout des doigts du patient. Selon Georges Vieilledent, le P-DG de la société Électrophotonique Ingénierie, « la présence ou l'absence de lumière sur certaines zones de ce halo sont révélatrices de la présence de la bactérie dans le corps ». Ainsi, le pouce signalerait le microbe au niveau



PATRICK ALLARD/REA

La prise d'antibiotiques est aujourd'hui le seul traitement éprouvé contre la maladie.

Les points photoniques racine...

Aux racines photoniques des dysfonctionnements organiques

Main droite



Main gauche



du cerveau et l'index serait en relation directe avec le rectum ! Cet examen, facturé 250 € par la société tarnaise, permettrait, selon ses concepteurs, de dépister presque 100 % des patients atteints de la maladie de Lyme ! Il est, en outre, couplé à un traitement dit d'électrothérapie délivré par un appareil appelé Vital Harmony, conçu lui aussi par la société de Georges Vieilledent et vendu aux malades près de 700 euros. Il consiste à délivrer des microcourants grâce à

deux électrodes tenues en main par le patient. Pour tenter de prouver l'efficacité de ses deux machines, Georges Vieilledent a réussi à lancer fin 2015 une « étude » (en cours) auprès de quelque 400 malades, supervisée par le Pr Christian Perronne, du CHU de Garches (Hauts-de-Seine), et le Dr Raouf Ghozzi, du centre hospitalier de Lannemezan (Hautes-Pyrénées). Ces deux médecins sont très appréciés des malades de Lyme car ils ont été parmi les premiers hos-

Les captations photoniques des doigts

(ci-dessus) effectuées par la société Électrophotonique Ingénierie sont censées, selon son P-DG, Georges Vieilledent (ici lors d'une conférence en 2016), dépister la maladie. Pour la guérir, celui-ci vend près de 700 € la machine Vital Harmony (ci-contre).



IPSN 2016 - BICSHOS

DIAGNOSTIC

Des tests officiels très contestés

Avec près de 70 symptômes possibles, en outre peu spécifiques, le diagnostic de la maladie de Lyme est difficile à poser. Ce, d'autant plus que l'efficacité des deux tests de dépistage officiels (Elisa et Western Blot) est très contestée. Ces tests sont en effet menés sur des échantillons de sang. Or *Borrelia*, la bactérie responsable de l'infection, s'y trouve très rarement. En outre, les tests sur le marché détectent plusieurs espèces de *Borrelia*... mais pas toutes. Ils ignorent aussi les autres pathogènes transmis par les tiques et impliqués dans la maladie, comme la bactérie *Bartonella* ou encore des rickettsies et le parasite *Babesia*. Dans le cadre du « plan Lyme », lancé en 2016 par le ministère de la Santé, de nouveaux protocoles de diagnostics et de soins devraient être recommandés d'ici à la fin de l'année.

pitaliers à braver les recommandations en ignorant les résultats « négatifs » des tests officiels pour administrer de longues cures d'antibiotiques, traitement donnant aujourd'hui les meilleurs résultats. Mais en cautionnant de fait l'étude d'Électrophotonique, n'ont-ils pas commis une erreur de jugement ? Au cours de notre enquête, nous avons pu en effet visionner des conférences publiques données par Georges Vieilledent et relever de graves dérapages. Celui-ci affirme par exemple que le Vital Harmony est « au moins aussi bon que les cures d'antibiotiques » pour ▶

ANALYSES DE SANG

Le test non validé du professeur Montagnier



GUTNER/SPA

Le Pr Luc Montagnier lors d'un colloque organisé par l'association Lyme sans frontières.

Sur une ordonnance datant de 2010 que nous nous sommes procurée auprès d'un malade de Lyme, le médecin a inscrit : « *Test Montagnié* » (sic), suivi des coordonnées d'un laboratoire d'analyses médicales. Contacté, celui-ci nous a expliqué expédier les échantillons de sang prélevés sur les malades à Jamal Aissa, collaborateur du professeur Luc Montagnier au sein de la société Nanectis (Yvelines), dont le prix

Nobel 2008 est le P-DG. C'est là que le test est réalisé, suivant le principe jamais démontré de la « mémoire de l'eau » qui affirme qu'une molécule peut être détectée dans un échantillon d'eau, même si elle n'y est plus, grâce à son rayonnement électromagnétique. Luc Montagnier prétend ainsi détecter la présence de la bactérie *Borrelia*, à l'origine de la maladie de Lyme, à partir des ondes électromagnétiques émises

par son ADN dans le sang du patient. Or ce test n'a jamais fait la preuve de son efficacité. Et serait facturé au malade entre 300 et 400 € selon différents témoignages. Mais selon Luc Montagnier, il s'agirait d'un « don libre » accordé à sa fondation, l'Institut de recherche Luc-Montagnier, et donc en partie déductible des impôts. Un montage financier singulier qui n'explique pas comment la société Nanectis finance ces tests depuis 2010.

► traiter la maladie de Lyme. Pire ! il affirme que son traitement est efficace « à 100 % contre la sclérose en plaques », qu'il détruit « tous les pathogènes » et devrait bientôt « remplacer les injections d'insuline des diabétiques et les chimiothérapies des cancéreux ».

Nous avons montré ces enregistrements à Christian Perronne et Raouf Ghozzi, qui reconnaissent n'avoir jamais eu connaissance de tels propos. « Nous avons effectivement des doutes sur la machine de dépistage, explique Raouf Ghozzi. Mais, concernant le Vital Harmony, nous nous sommes fiés à la parole

des patients qui nous ont rapporté une amélioration de leurs symptômes. Ces retours étaient positifs pour plus de 30 % d'entre eux, soit un effet supérieur à ce que l'on accorde au placebo. C'est ce qui nous a poussé à accepter de superviser cette étude. » Une appréciation biaisée par une confusion sur l'effet placebo, comme l'explique Nicolas Pinsault, chercheur au laboratoire Techniques de l'ingénierie médicale et de la complexité de l'université Grenoble-Alpes. « Cette règle de 30 % n'existe pas. L'effet placebo est présent chez 100 % des per-

sonnes testées puisqu'il est lié au fait de recevoir un traitement, que celui-ci soit efficace ou pas. Même lorsque l'on teste un « vrai » médicament, une partie de ses effets est due à la molécule active, mais une autre au placebo. » D'où l'importance dans un essai clinique de toujours comparer le traitement à un placebo, ce qui n'est pas le cas dans l'étude menée par la société de Georges Vieilledent. Il sera donc impossible de déterminer si le Vital Harmony est plus efficace... qu'un granule de sucre. Et à y regarder de près, les allégations d'Électrophotonique Ingénierie ne relèvent aucunement de la science. En effet, il faut ici bien distinguer les deux appareils de l'usage qui en est fait. Dans le cas du dépistage, la machine de la société tarnaise reproduit un phénomène bien connu des physiciens sous le nom d'« effet couronne ». Celui-ci apparaît lorsqu'on applique une forte tension électrique à un objet — ici les doigts des patients — posé sur une électrode. Mais se servir de ces images comme outil de dépistage n'a pas de sens. « Ces images ne sont pas reproductibles et

ANTISEPTIQUE F84

Un essai clinique sur l'homme réalisé en toute illégalité

Nous avons pu établir qu'un essai clinique sur des malades de Lyme a été organisé en dehors de tout cadre légal par Judith Albertat, fondatrice de l'association Lyme sans frontières, avec la complicité de certains médecins. Cet essai a consisté en l'injection d'un ammonium quaternaire (antiseptique) appelé F84, à une date que nous n'avons pas pu déterminer : « *Oui, nous l'avons essayé [...] dans l'illégalité la plus totale, nous a confié cette naturopathe, ancienne commandant de bord à Air France. Nous avons joué avec des "trucs" avec lesquels nous n'avons pas le droit de jouer.* » Selon Judith Albertat, également vice-présidente d'un fonds pour la recherche appelé I for Lyme, le F84 aurait « *guéri définitivement* » des malades du sida lors d'un obscur essai clinique mené en Afrique en 1994 par un médecin militaire français. Ce dernier aurait ensuite fait produire le F84 en grande quantité, Judith Albertat ayant récupéré une partie du stock « *aujourd'hui périmé* » pour l'utiliser dans l'essai.

ne veulent rien dire, car le phénomène est trop sensible. Un changement infime de la pression du doigt sur l'électrode, de sa température, de l'humidité à sa surface... sont autant de facteurs qui modifient le halo capturé sur l'image», explique Jérôme Kasparian, physicien spécialiste de l'effet couronne à l'université de Genève (Suisse).

Inspiré d'un appareil des années 1920

L'idée d'associer effet couronne et diagnostic n'est pas nouvelle. Déjà, dans les années 1970, cette pratique était en vogue dans le milieu de la parapsychologie sous le nom de « photographies Kirlian » à partir desquelles certains prétendaient lire « l'état énergétique » des personnes dans ce qu'ils appelaient alors l'« aura ». Si Georges Vieilledent préfère aujourd'hui le terme plus « scientifique » de « captations photoniques », l'idée demeure la même. D'ailleurs, le concepteur de sa machine, Raymond Herren, ingénieur CNRS du laboratoire de Chimie physique de l'université Paris-Sud (Orsay, Essonne), avait déjà élaboré des années plus tôt des machines du même genre pour un certain Georges Hadjopoulos. Ce dernier, véritable « pionnier de l'électrophotonique », se disait spécialiste de l'interprétation thérapeutique des photos Kirlian. L'ingénieur du CNRS ne s'est pas contenté de mettre ses compétences au service dudit Hadjopoulos. Il en a cautionné les dérives en cosignant avec lui et le dentiste suisse Nicolas Stelling l'ouvrage intitulé *Établir un bilan bioénergétique* dans lequel, déjà, des photographies



Des membres de l'association France Lyme participent à une journée de sensibilisation à la maladie.

Kirlian de doigts et d'orteils permettaient de « dépister » leucémie, cancer du sein, autisme ou schizophrénie...

Quant à la machine thérapeutique Vital Harmony, elle a — elle aussi — été conçue par Raymond Herren. Elle est inspirée d'un appareil mis au point dans les années 1920 par l'Américain Royal Raymond Rife, déjà censé soigner à peu près tous les maux par la variation de fréquence de champs électriques. « Selon quels critères ces fréquences sont-elles choisies ? Comment expliquer que cela fonctionne de la même manière pour chaque individu ? », s'interroge

LE + NUMÉRIQUE
Lire aussi sur le Web : Le réseau des « médecins Lyme » : sciav.fr/843lyme

Lluís Mir, directeur de recherche au CNRS et directeur du laboratoire européen associé des Champs électriques pulsés appliqués en biologie et en médecine (LEA Ebam). « Ce sont des allégations extraordinaires, sans que la moindre preuve en soit publiée dans une revue scientifique », affirme de son côté Rodney O'Connor, spécialiste du traitement électrique au laboratoire d'Oncoélectronique de l'école des Mines de Saint-Étienne.

Aussi peu scientifiques soient-elles, les allégations de la société Électrophotonique Ingénierie peuvent rapporter gros : si les 400 personnes actuellement testées se sont vu offrir la séance de « dépistage », la plupart ont acheté l'appareil. Ce qui, même avec la remise de 10 % consentie, représente un gain potentiel... de près de 200 000 €. ■

« Ce sont des allégations extraordinaires, sans que la moindre preuve soit publiée dans une revue scientifique »

Rodney O'Connor, laboratoire d'Oncoélectronique de l'école des Mines de Saint-Étienne



RODNEY O'CONNOR

[@OlivierHertel](https://twitter.com/OlivierHertel)



Nommée **Synlight**, cette structure alvéolaire de 14 mètres de haut pour un diamètre de 16 mètres est composée de 149 lampes au xénon.

Un « soleil artificiel » produit de l'hydrogène

La chaleur dégagée permet de séparer les molécules d'eau en hydrogène et en oxygène.

ÉNERGIE Le premier « soleil artificiel » vient d'être allumé à Juliers, à 30 kilomètres à l'ouest de Cologne, en Allemagne. Non pour permettre de bronzer mais pour produire de l'hydrogène, destiné notamment à alimenter des voitures. La gigantesque

structure alvéolaire est composée de 149 projecteurs, des lampes au xénon à arc court habituellement utilisées au cinéma pour reproduire la lumière naturelle. En concentrant le rayon lumineux sur un tout petit carré de 20 cm de côté, ils permettent d'at-

teindre 10 000 fois la quantité de radiation solaire terrestre et de faire monter la température à 3500 °C. La chaleur produite sert à séparer les molécules d'eau en hydrogène et en oxygène. Une opération très énergivore : ce prototype consomme en quatre heures

autant qu'un ménage allemand de quatre personnes en un an ! Mais l'objectif des chercheurs de l'Institut solaire du Centre allemand pour l'aérospatiale est de pouvoir utiliser un jour du courant issu de panneaux photovoltaïques pour alimenter leur « soleil ». **C. D.**

CAROLINE SEIDEL/DPA/AFP

PAROLES

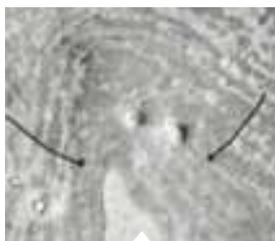
« Nous sommes témoins d'une révolte globale contre les experts »

Le physicien britannique **Stephen Hawking** lors de sa conférence à Hong Kong le 24 mars où il apparaissait en hologramme, réagissant aux *fake news* (nouvelles mensongères) autour du climat et l'environnement.

Des tsunamis sur Mars

ASTRONOMIE Il y a 3 milliards d'années, alors que Mars abritait de grandes quantités d'eau liquide, des impacts d'astéroïde de 30 à 40 km de diamètre auraient provoqué de gigantesques raz-de-marée de 150 m de haut. Témoins : des couches sédimentaires qui remontent les pentes du relief martien et qui ont toutes les caractéristiques des dépôts de tsunamis terrestres. **F. D.**

SOURCE : FRANCIS COSTARD, LABORATOIRE DE GÉOSCIENCES PARIS-SUD.



Les rides de compression attestent le raz-de-marée.

COSTARD ET AL 2017

La première fusée réutilisée

SPATIAL Dans la nuit du 30 au 31 mars, l'entreprise spatiale privée **SpaceX** a réalisé un exploit inédit dans la conquête spatiale : mettre en orbite un satellite (de communication, pour la firme luxembourgeoise **SES**) grâce à un lanceur dont le premier étage était déjà « occasion ». Celui-ci avait en effet déjà été employé en avril 2016 dans le cadre d'une mission de réapprovisionnement de la Station spatiale internationale. **M. N.**



Une partie du lanceur avait déjà été employée lors d'un tir précédent (ici celui du 31 mars)

SPACEX



WALLENBERGFUNDATION

Les liaisons chimiques de la molécule gardent l'énergie solaire.

Des molécules conservent l'énergie solaire

CHIMIE Les scientifiques de l'Université technologique Chalmers, à Göteborg (Suède) progressent dans leur quête d'un fluide chimique pour stocker l'énergie solaire. Une nouvelle molécule leur a permis d'atteindre un rendement de 1,1 % pour conserver cette énergie dans ses liaisons chimiques en changeant de configuration. **J. I.**

1 atome La plus petite unité de stockage

INFORMATIQUE Des données binaires (0 ou 1) peuvent être stockées et lues sur un seul atome d'holmium en modifiant ses propriétés magnétiques grâce à un microscope à effet tunnel. Cette prouesse a été réalisée au Centre de recherche d'IBM à Almaden, en Californie (États-Unis). **F. D.**

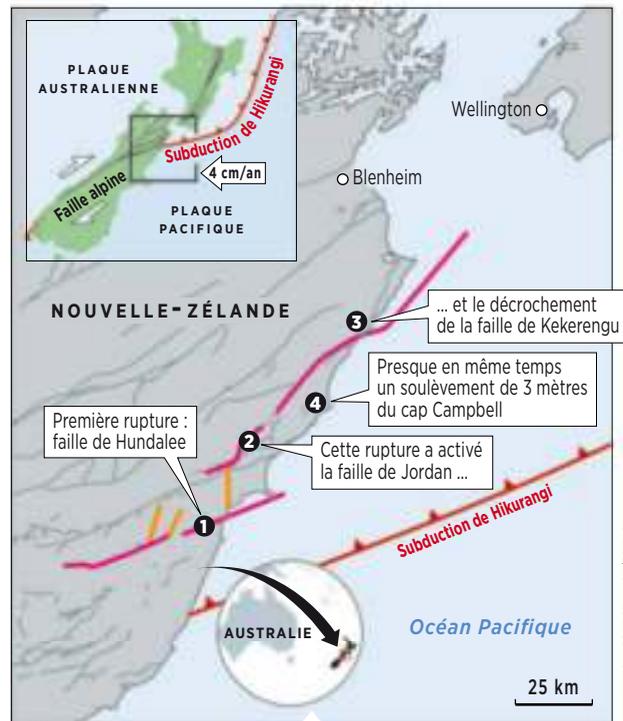
De plus en plus de matière noire

ASTROPHYSIQUE Il y aurait de plus en plus de matière noire selon les chercheurs de l'Observatoire austral européen (ESO), au Chili, qui ont examiné des galaxies situées au-delà de 10 milliards d'années-lumière. En effet pour rendre compte du mouvement de ces dernières, les scientifiques n'ont pas été obligés de supposer l'existence d'une masse cachée aussi importante que pour les galaxies proches. La part de la matière noire pour ces galaxies lointaines n'aurait été que de 50 % dans le passé contre 90 % pour les galaxies actuelles. **A. Kh.**

Le plus complexe des séismes

Lors du tremblement de terre en Nouvelle-Zélande de novembre 2016, une réaction en chaîne a provoqué un soulèvement de la côte.

SISMOLOGIE En examinant les enregistrements du séisme de magnitude 7,8 qui a secoué l'île du sud de la Nouvelle-Zélande (région de Kaikoura) en novembre 2016, les sismologues de l'Institut de physique du globe de Strasbourg ont eu une grosse surprise. Le mécanisme apparaît en effet d'une complexité jamais observée jusque-là : des ruptures en série sur plusieurs failles et des mouvements à la fois dans le plan horizontal et vertical. Une première faille a amorcé le séisme avec un coulisement horizontal, entraînant un autre glissement dans le plan vertical. Résultat : l'un des blocs est monté sur l'autre (voir le schéma ci-contre). Sur le terrain, cela s'est traduit par un soulèvement de trois mètres de la côte nord-est de l'île, vers le cap Campbell, ce qui a provoqué un tsunami. Ailleurs, le sol a glissé sur une dizaine de mètres. **A. Kh.**



Le tremblement de terre a été décomposé en quatre étapes.

BETTYLAFON - SOURCE : J. YOUSCIENCE

Une atmosphère autour d'une exoplanète rocheuse

ASTRONOMIE Pour la première fois, l'atmosphère d'une exoplanète de taille terrestre a été détectée : elle est formée de vapeur d'eau et de méthane. L'exoplanète GJ1132b est à « seulement » 39 années-lumière de la Terre et gravite autour d'une étoile naine M (une variété classique dans notre galaxie). Sa taille et sa masse — respectivement 1,4 et 1,6 fois celles de la Terre — font supposer que c'est une planète rocheuse. Si son atmosphère la rend inhabitable aujourd'hui, il y a eu autrefois de l'eau à sa surface. **A. Kh.**

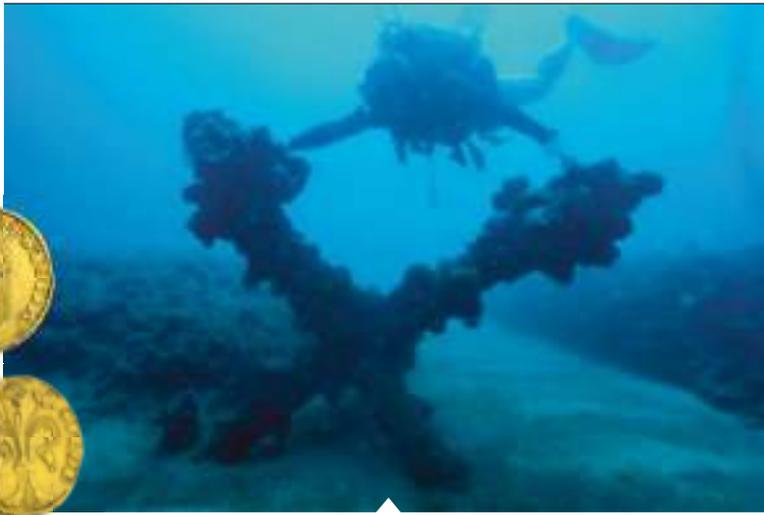


GJ 1132b, composée de silicates et de fer, gravite autour d'une étoile naine rouge.

Le zéro absolu est vraiment inatteignable

THERMODYNAMIQUE Un principe édicté au début du xx^e siècle par le prix Nobel de chimie Walther Nernst vient d'être prouvé de manière formelle par des chercheurs britanniques : il est impossible d'atteindre le zéro absolu (0 K, soit -273,15 °C). Grâce à des outils mathématiques, ils ont en effet démontré qu'extraire toute la chaleur d'un système demanderait un temps infini. **F. D.**

SOURCE : JOHNATHAN OPPENHEIM, UNIVERSITY COLLEGE DE LONDRES, ROYAUME-UNI.



Les restes du navire (ici l'ancre) reposaient depuis 700 ans dans la baie israélienne.

Une épave des Croisades livre des florins d'or

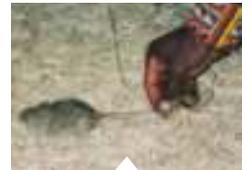
Ces monnaies appartiendraient aux derniers chrétiens fuyant Saint-Jean-d'Acre lors de la prise de la cité par les Mamelouks en 1291.

ARCHÉOLOGIE Après 700 ans passés au fond des eaux de la mer Méditerranée, une trentaine de florins d'or ont été retrouvés au milieu de fragments de coques de navires et de ballast au large de Saint-Jean-d'Acre (Israël). Selon leurs découvreurs, deux archéologues de l'université d'Haïfa, ils pourraient provenir de la cargaison d'un bateau naufragé, sur lequel avaient embarqué des chrétiens fuyant la cité lors de sa chute en 1291. Après la prise de Jérusalem par Saladin en 1187, Saint-Jean-d'Acre

était devenue la capitale du royaume fondé par les croisés en 1099. Jusqu'à ce que les mamelouks d'Égypte, la nouvelle puissance, n'entreprennent de chasser les croisés de Terre sainte. Pour échapper à l'assaut, marchands et habitants s'étaient précipités vers les bateaux mouillant dans le port. L'épave mise au jour pourrait être l'un de ces navires, et les florins auraient pu servir à monnayer un passage. La chute de Saint-Jean-d'Acre a marqué la fin de la présence croisée en Terre sainte. **B. A.**

Les souris, nos compagnes depuis 15 000 ans

ÉVOLUTION La souris n'a pas attendu l'agriculture pour décider de vivre avec l'homme. En analysant la dentition de souris domestiques (*Mus domesticus*) sur les sites archéologiques du natoufien, en Cisjordanie, les chercheurs ont déterminé que cette espèce était déjà présente il y a 15 000 ans à proximité des habitations humaines.



Le rongeur a débuté très tôt sa cohabitation avec l'humain.

Elle aurait ainsi profité très tôt des restes de nourriture accumulés par l'homme. **L. C.**

L'homme, ça ne nourrit pas son homme

PALÉONTOLOGIE Au vu de la valeur nutritionnelle d'un homme, il est peu probable que Neandertal ait pratiqué le cannibalisme pour s'alimenter. C'est la conclusion de James Cole, de l'université de Brighton (Royaume-Uni) qui a établi qu'un homme de 55 kg apporte 125 822 kilocalories : bien moins qu'un aurochs (979 200), un rhinocéros (1 260 000), ou un mammouth (3 600 000). **L. L.**

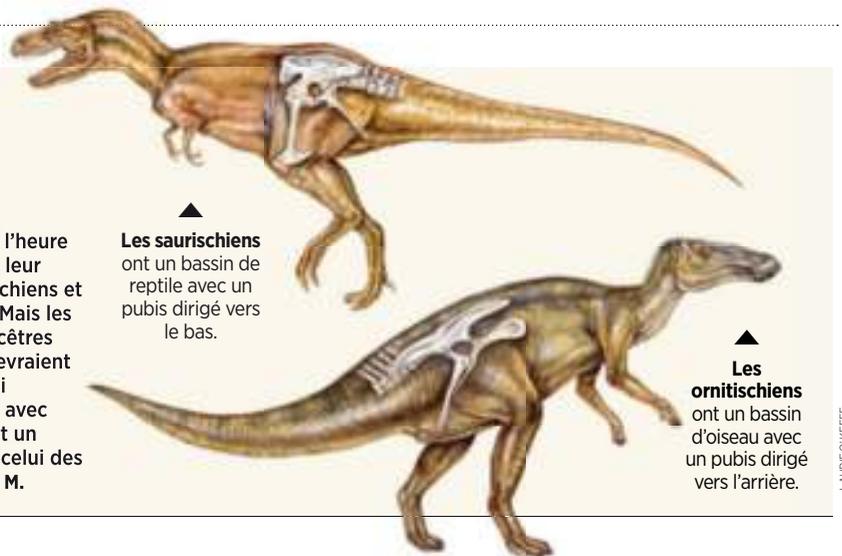
Une résolution contre la destruction du patrimoine

CONSERVATION Le 24 mars, l'ONU a unanimement adopté la première résolution pour la protection du patrimoine dans les zones de conflit. Ce vote a été suivi quelques jours plus tard de la Déclaration de Florence du groupe des sept (G7). Celui-ci a mis les enjeux culturels au cœur de ses priorités, au même titre que ceux économiques, environnementaux ou sécuritaires. **B. A.**

La classification des dinosaures chamboulée

PALÉONTOLOGIE Après une analyse de fossiles d'une ampleur inédite, la classification des dinosaures — admise depuis 1888 — doit être entièrement revue pour mieux rendre compte de leurs relations avec leurs descendants, les oiseaux. Les dinosaures

sont classés pour l'heure selon la forme de leur bassin : les saurischiens et les ornithischiens. Mais les théropodes — ancêtres des volatiles — devraient être classés parmi les ornithischiens avec qui ils formeraient un nouveau groupe, celui des ornithoscelida. **R. M.**



▲
Les saurischiens ont un bassin de reptile avec un pubis dirigé vers le bas.

▲
Les ornithischiens ont un bassin d'oiseau avec un pubis dirigé vers l'arrière.



ŠKODA

**PRENDRE L'AIR :
IL N'Y A PAS
D'APPLIS POUR ÇA**



NOUVEAU ŠKODA KODIAQ

LE SUV JUSQU'À 7 PLACES.

À ceux qui pensent qu'une voiture ne peut pas être en même temps design, techno et fonctionnelle, nous répondons avec un SUV jusqu'à 7 places à l'habitacle immense et aux lignes élégantes. Son style unique et ses technologies innovantes ne laissent rien au hasard et vont vous surprendre. **ŠKODA KODIAQ, reconnectez-vous avec ce qui compte vraiment.**

Découvrez-le chez votre distributeur ŠKODA ou sur skoda.fr

Voici les plus grandes empreintes de dinosaure au monde

C'est un herbivore au long cou qui aurait laissé ces traces de 1,75 m de long, il y a 140 millions d'années en Australie.

PALÉONTOLOGIE Avec leur 1,75 m de long, les traces de pas de dinosaure qui viennent d'être mises au jour en Australie sont les plus grandes au monde. Le précédent record était détenu par les empreintes de sauropodes du site français de Plagne (Ain) mesurant 1,20 m. C'est un herbivore au long cou de 5,4 m de haut qui a probablement laissé ces empreintes géantes au nord-ouest du pays, il y a 140 millions d'années, à la limite entre le jurassique et le crétacé. Mais il n'était pas le seul à arpenter la région de Waldamany : une véritable piste aux dinosaures a



Les archéologues effectuent un moulage en silicone d'une des traces.

été exhumée entre 2011 et 2016 par les paléontologues de l'université du Queensland et de l'université James Cook. Ils ont recensé les traces de pas de 21 espèces différentes (cinq carnivores, six sauropodes, six dinosaures à armure et quatre ornithopodes bipèdes). Il s'agit de « la faune d'empreintes la plus diverse jamais enregistrée », selon Steven Salisbury, de l'université du Queensland. Le site exceptionnel de 25 km de long devait faire place à un projet gazier quand les Aborigènes ont appelé les paléontologues à la rescousse. Il a depuis été classé. **R. M.**

Neandertal avait un œil d'esthète

PRÉHISTOIRE Il y a 43 000 ans, dans la grotte de Zaskalnaya en Crimée (Ukraine), un néandertalien a gravé huit encoches équidistantes dans un os de corbeau d'à peine 1,8 cm. Selon des chercheurs français et ukrainiens, il aurait eu « l'intention de créer un motif harmonieux, voire symbolique ». Il en avait fait initialement six avant de réaliser sans doute qu'il avait laissé trop d'espace entre certaines. **R. M.**

MANKIE ET AL. 2017



L'os de corbeau présente 8 encoches parallèles et équidistantes.

Bordeaux en tête pour l'archéologie

RECHERCHE Dans le classement mondial des universités 2017 (QS World University Rankings by Subject), dans le domaine de l'archéologie, Bordeaux, à travers son Laboratoire d'excellence des sciences archéologiques (LaScArBx) est arrivée en tête des universités françaises (et 16^e mondiale), devant Paris-I-Panthéon-Sorbonne et Paris-Sorbonne. **B. A.**

La tique emprisonnée dans l'ambre contenait du sang fossile

PALÉONTOLOGIE Un chercheur américain de l'université d'État de l'Oregon a découvert, piégé dans de l'ambre, un acarien rempli de sang de mammifère : non pas un moustique comme dans *Jurassic Park* mais une tique. Il s'agirait des premières cellules sanguines de mammifères découvertes fossilisées. Âgées de 20 à 30 millions d'années, elles pourraient appartenir à un primate. **A.-S. T.**



Les cellules sanguines contenues dans la tique ont de 20 à 30 millions d'années.

OREGON STATE UNIVERSITY

9 millions d'années

L'âge de l'Amazone

GÉOGRAPHIE Le plus long fleuve du monde (avec le Nil), ne serait pas âgé de 7,5 à 8,4 millions d'années mais entre 9 et 9,4 millions d'après une nouvelle étude de ses sédiments. Sa formation a séparé de nombreuses espèces sur ses deux rives. **J. I.**

SOURCE : CARINA HOORN, UNIVERSITÉ D'AMSTERDAM, PAYS-BAS.

Des bactéries contre la rouille

PATRIMOINE Son nom : *Desulfitobacterium hafniense*. Cette nouvelle souche de bactéries dévorerait la rouille en interrompant l'évolution de la corrosion. Développée par le Laboratoire de technologies pour les matériaux du patrimoine de l'université de Neuchâtel (Suisse), elle permettrait de traiter les vestiges archéologiques en fer en évitant les bains de soude toxiques. **B. A.**

publicis Crédit photo : S. Barbato



J. Augier

← JEAN AUGIER →
MAITRE DISTILLATEUR

DÉCOUVREZ LES SECRETS D'UN PASTIS FAIT MAIN
PASTIS GRAND CRU

Découvrez toutes les étapes de sa fabrication sur pastishenribardouin.com

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ, CONSOMMEZ AVEC MODÉRATION



ROBIN LANGE/OIS/STIMAGES

Les notes attribuées aux véhicules seront disponibles sur un site Internet dédié (ici Paris).

3 capitales accentuent la lutte contre la pollution automobile

À Paris, Londres et Séoul, un nouveau système de notation des véhicules sera fondé sur leurs émissions réelles de particules polluantes établies par des agences indépendantes.

ENVIRONNEMENT Malgré le « scandale Volkswagen » et celui d'autres constructeurs automobiles sur les émissions polluantes des moteurs diesel, il n'y aura pas d'agence européenne de surveillance des organismes d'homologation, qui aurait permis de renforcer la cohésion et l'efficacité des

contrôles. Ainsi en a décidé le Parlement européen le 5 avril. Les grandes villes, premières concernées par cette pollution délétère, réagissent. La maire de Paris, Anne Hidalgo, et ses homologues de Londres et Séoul ont annoncé un nouveau système de notation des véhicules fondé sur leurs émis-

sions de particules polluantes en conditions « réelles ». Les informations seront fournies par deux agences indépendantes (International Council on Clean Transportation et Emissions Analytics), et mises à disposition du grand public sur un site Internet dès la fin de cette année. **C. D.**

PAROLES

« À moins que Trump n'injecte des dizaines de milliards de dollars de subventions dans l'industrie du charbon, il ne pourra pas en inverser le déclin »

Alden Meyer du « think tank » Union of Concerned Scientists, qui réunit depuis près de cinquante ans des scientifiques pour réfléchir à l'environnement, au nucléaire ou encore au réchauffement.

La France abat trop de loups

BIODIVERSITÉ L'autorisation d'abattage de 36 loups par an met en péril la viabilité à long terme de l'espèce en France. C'est la conclusion d'un rapport du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, qui met par ailleurs en doute l'efficacité de la méthode. La mort d'un loup reproducteur provoque en effet l'éclatement de sa meute et la dispersion d'animaux qui peuvent alors se reproduire. **L. C.**



BIOSPHOTO

Des lacs moins profonds que prévu



La profondeur moyenne des lacs passe de 62 m à 42 m (ici le lac Supérieur)

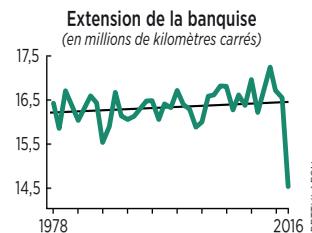
SCIENCE MUSEUM OF MINNESOTA

TOPOGRAPHIE

La profondeur des lacs dans le monde serait, en moyenne, de 42 mètres... soit un tiers de moins qu'on ne le pensait (62 mètres). Ce résultat est fondé sur de nombreuses données cartographiques et une nouvelle modélisation mathématique de la topographie terrestre. Le volume total des lacs se situerait entre 196 000 et 202 000 km³. **F. D.**

SOURCE : BARRY CAEL, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ÉTATS-UNIS.

La banquise de l'Antarctique disparaît soudainement



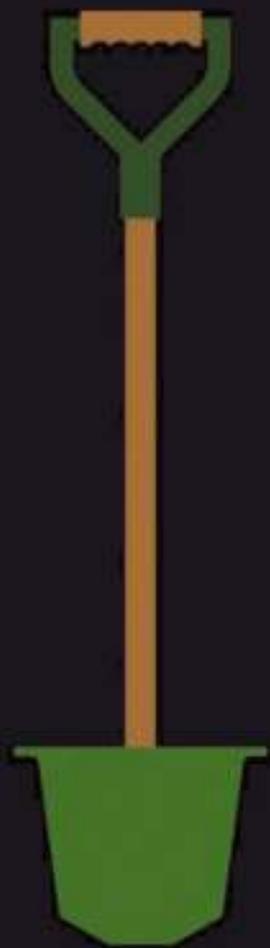
BETTY LAFON

La surface de mer glacée a brutalement baissé en 2016.

CLIMATOLOGIE L'Antarctique est en pleine incertitude. L'extension de la glace a brutalement décroché, passant de 16 à 14 millions de kilomètres carrés durant le mois de novembre 2016. Trop tôt pour savoir s'il s'agit d'un accident ou d'une tendance. Car contrairement aux glaces du Groenland dont les surfaces se réduisent depuis plusieurs années, la banquise du pôle Sud demeurait relativement stable, voire légèrement à la hausse. **E. L.**

Pour compenser nos émissions de carbone on fait un trou et on plante un arbre.

C'est en plantant chaque année environ 500 000 arbres dans les champs de café que nous compensons l'impact carbone de chaque tasse consommée en France. Cette démarche d'agroforesterie permet aussi d'améliorer la qualité du café, de préserver l'environnement, et de fournir des revenus complémentaires aux fermiers. Pour en savoir plus sur les démarches de notre entreprise, rendez-vous sur nespresso.com/entreprise



NESPRESSO[®]

À VOIR SUR LE NET



MONTEREY BAY AQUARIUM

La loutre de mer utilise des outils

ÉTHOLOGIE Cela ferait des milliers d'années que la loutre de mer utilise des cailloux pour briser les coquillages qui lui résistent (*photo*). Ce comportement n'est pas le résultat d'un apprentissage mais est acquis, affirme une équipe du Smithsonian Institute de Washington (États-Unis). Ainsi, les jeunes loutres orphelines élevées en captivité utilisent des cailloux sans avoir bénéficié de l'enseignement d'adultes. **L. C.** sciav.fr/843loutres

Le chat préfère les humains aux croquettes

ÉTHOLOGIE Peu sociables, les chats ? L'expérience montre pourtant qu'ils préfèrent interagir avec une personne alors qu'ils pourraient accéder à de la nourriture, un jouet ou une odeur. Ce résultat, à nuancer en raison de nombreuses variations d'un animal à l'autre, est la conclusion d'une étude sur une trentaine de chats vivant dans des refuges ou des familles. Autre enseignement : les chats préfèrent jouer avec une personne plutôt que de l'écouter parler. **A.-S. T.**

SOURCE : KRISTYN VITALE SHREVE, OREGON STATE UNIVERSITY, CORVALLIS, ÉTATS-UNIS.



HARRY+LIDY/FLANPICTURE

Des grenouilles fluorescentes en Amazonie

HERPÉTOLOGIE Pour la première fois, un amphibien fluorescent a été observé. Des chercheurs argentins ont découvert par hasard qu'une rainette (*Hypsiboas punctatus*) de 3 centimètres de long, vivant en Amazonie, brille d'une lumière vert fluo lorsqu'elle est éclairée avec une lampe à ultraviolets. Sa luminosité augmente ainsi jusqu'à 30 % au crépuscule. **C. D.**



La luminosité de la rainette augmente au crépuscule.

L'insupportable « bzzzz » du moustique

ENTOMOLOGIE Avec des caméras à 10 000 images par seconde, des scientifiques ont établi que pour se maintenir en l'air, le moustique fait pivoter ses ailes à la fin de chaque descente et de chaque montée, augmentant ainsi la force de portance. Une astuce qui fonctionne au prix de battements très rapides : 720 fois par seconde. Avec à la clé ce bruit insupportable... **F. D.**

SOURCE : RICHARD J. BOMPHREY, UNIVERSITY OF LONDON, ROYAUME-UNI.

J. FAVOVIH/C. TABOADA/CONICET



A. BOUTIN/DOMAINE DE THOIRY

QUESTIONS À

Marie Simon

Vétérinaire au zoo de Thoiry

Couper la corne des rhinocéros pour les protéger

Un rhinocéros blanc a été tué pour sa corne au zoo de Thoiry (Yvelines) en mars. Une première en Europe. Plusieurs zoos envisagent de couper eux-mêmes les cornes

des rhinocéros, opération sans risque et non douloureuse.

Quelle serait l'utilité d'une coupe préventive ?

Nous savons maintenant

que le risque de braconnage est réel. Les cornes se revendent plus cher que l'or une fois parvenues sur le marché asiatique. Bien que nous ayons déjà renforcé les mesures de sécurité, la coupe préventive de la corne est un moyen radical de réduire ce risque. Cette solution est en cours de discussion dans notre zoo.

En combien de temps une corne de rhinocéros blanc du Sud repousse-t-elle ?

Il n'y a pas de norme concernant le temps de repousse. Ce phénomène est plus rapide chez les jeunes individus que chez les

adultes. De plus, la repousse diffère entre les deux cornes. Celles-ci sont en kératine, la matière qui constitue nos ongles. Sans rentrer dans le détail, c'est de l'ordre de quelques centimètres par an.

Une fois repoussée, a-t-elle la même forme qu'auparavant ?

La corne repousse à partir d'une base plus large. Aussi, la forme sera un peu différente. Mais l'idée, après la coupe préventive, est d'entretenir l'usure pour ne pas avoir à la couper plusieurs fois. Celle-ci ne repoussera donc jamais entièrement et sa forme complète ne sera plus visible.

Propos recueillis par A.-S.T.

Il n'y a pas mieux que l'aluminium pour conserver le café, à condition de savoir le jeter.

Nous avons créé à la fois un réseau de plus de 5 500 points de collecte dans toute la France pour que les Membres du Club puissent y déposer leurs capsules usagées, et une filière de recyclage des petits emballages en aluminium qui permet d'ores et déjà à plus de 3 millions de Français de jeter leurs capsules, chez eux, dans leur bac de tri sélectif. Pour en savoir plus sur les démarches de notre entreprise, rendez-vous sur www.nespresso.com/entreprise

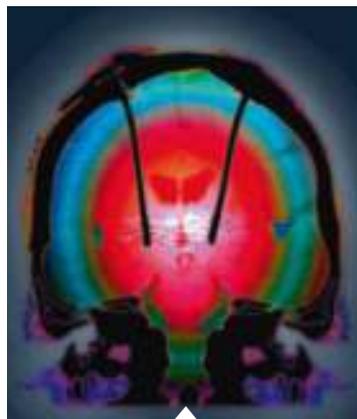


NESPRESSO[®]

Un implant cérébral contre la dépression

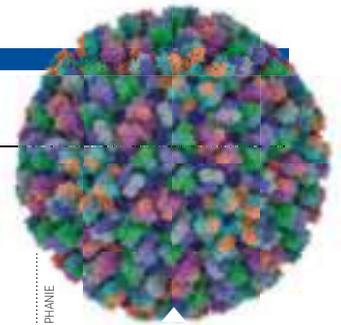
La stimulation cérébrale profonde offre un nouvel espoir de thérapie pour les 30 % des cas de dépression majeure résistant à tout traitement.

NEUROLOGIE Des électrodes implantées en permanence dans le cerveau permettraient de soigner les cas de dépression les plus graves. Un essai clinique mené par l'hôpital universitaire de Fribourg-en-Brisgau, l'université de Bonn (Allemagne) et l'université Johns Hopkins de Baltimore (États-Unis) donne ainsi un espoir de traitement pour les 30 % des cas de dépression majeure résistants à tout traitement. Les médecins ont implanté chez huit patients deux électrodes dans les deux



Les électrodes ont été implantées dans le cerveau du patient (radiographie).

branches du faisceau antérieur du cerveau médian, impliquées dans le système de la récompense. Avec la stimulation cérébrale profonde, l'état de six d'entre eux s'est amélioré en à peine sept jours. Mieux! « Quatre sont entrés en rémission », se réjouit Thomas Schlaepfer, de l'hôpital de Fribourg-en-Brisgau. Et après quatre ans de traitement associé à un suivi psychiatrique, les résultats perdurent. Seul effet secondaire notable, un strabisme déclenché chez certains par un courant trop élevé. **E. S.**



PHANIE

Les réovirus sont présents dans l'intestin.

L'intolérance au gluten favorisée par un virus

GASTRO-ENTÉROLOGIE

L'intolérance au gluten (ou maladie cœliaque) pourrait être la conséquence d'une infection. Les médecins des universités de Chicago et de Pittsburgh (États-Unis) qui avancent cette piste inédite visent en particulier les réovirus : des virus la plupart du temps inoffensifs mais qui pourraient favoriser chez certaines personnes la réaction immunitaire anormale liée à l'absorption de gluten. **L. L.**

EN BREF

EFFETS SECONDAIRES. Le site signalement-sante.gov.fr permet d'alerter les autorités sanitaires sur tout événement indésirable pour les médicaments, les cosmétiques ou les actes de soins. **RÉSISTANCES.** Un premier cas de résistance en Afrique à l'artésiminine, principal antipaludique actuel, a été enregistré chez un travailleur chinois. **TESTS GÉNÉTIQUES.** Les autorités américaines ont autorisé la société privée 23 & Me à vendre des tests génétiques pour évaluer le risque de dix maladies dont Alzheimer et Parkinson.

75% La part de marathoniens ayant une inflammation des reins

NÉPHROLOGIE Après un marathon, les reins des athlètes montrent un niveau d'inflammation identique à celui des patients ayant subi une chirurgie cardiaque. La course provoque un stress physique multiplié par 10 par rapport à la normale. **C. D.**

SOURCE : SHERRY MANSOUR, YALE UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE, NEW HAVEN, ÉTATS-UNIS.

L'intestin étanche à l'ARN des aliments

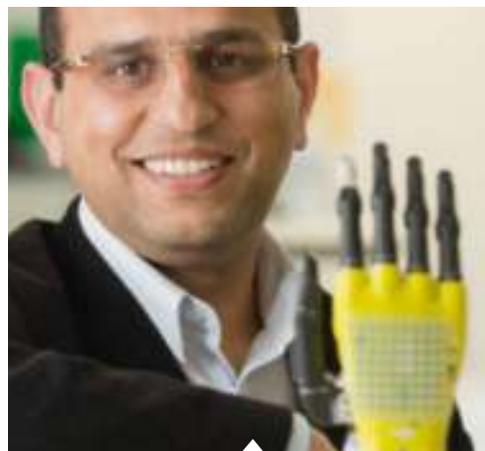
GASTRO-ENTÉROLOGIE

Le matériel génétique provenant des tissus animaux et végétaux que nous mangeons ne traverse pas le tube digestif. Des scientifiques danois et suédois ont déployé des tests

ultrasensibles pour détecter des micro-ARN dans les tissus ou les liquides biologiques humains n'ont rien trouvé qui puisse être en rapport avec l'alimentation. **P. K.**

SOURCE : UNIVERSITÉ DE STOCKHOLM, SUÈDE.

Une peau artificielle rend le sens tactile



UNIVERSITY OF GLASGOW

DERMATOLOGIE Une peau électronique dotée de capteurs de pression et alimentée par énergie solaire pourrait rendre le toucher à des personnes amputées. Conçue par une équipe de chercheurs de l'université de Glasgow (Écosse), cette peau artificielle est faite d'une couche de graphène posée sur une cellule photovoltaïque. L'équipe l'a testée sur une prothèse robotisée qui, grâce au sens tactile, a été capable de saisir des objets sans les broyer. **S. E.**

L'épiderme synthétique est composé de graphène.



TENA MEN EXTRA LIGHT

Une protection noire et discrète pour les petites fuites urinaires

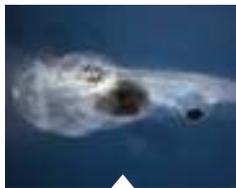
Echantillon gratuit sur tenamen.fr

Les protections TENA Men sont disponibles en grandes surfaces et en pharmacies.



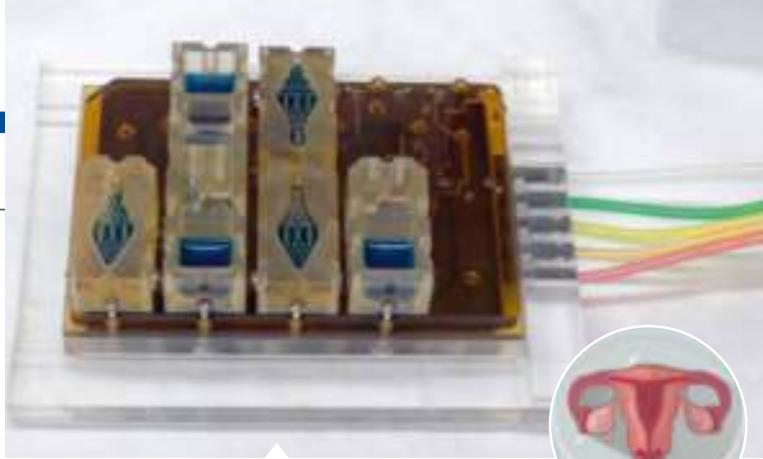
Des têtards aveugles reviennent

OPHTALMOLOGIE Des chercheurs américains de l'université Tufts, près de Boston, ont permis à des têtards aveugles de recouvrer la vue en leur greffant l'œil gauche d'un têtard valide... sur la queue. Bien que l'organe soit ainsi connecté à la moelle épinière — et non au cerveau —, les larves ont pu retrouver quelques facultés visuelles (différencier deux couleurs, éviter des obstacles). **F. G.**



TUFTS UNIVERSITY

L'œil greffé sur la queue a rendu au têtard quelques facultés visuelles.



Evatar imite les différents organes, cultivés dans leur propre compartiment et alimentés par un substitut de sang.



NORTHWESTERN UNIVERSITY

Le premier appareil génital féminin sur puce

Ce dispositif inédit permettrait de tester des contraceptifs et des traitements pour certaines maladies.

GYNÉCOLOGIE Sur cette puce, se trouve un appareil génital féminin artificiel, capable de reproduire le cycle menstruel de 28 jours. Le prototype, appelé Evatar, a été développé par des scientifiques américains de la Northwestern University, à Chicago. Il comprend de vraies cellules humaines. Des compartiments en plastique imitent les différents organes : ovaires, trompes de Fallope, col de l'utérus, mais aussi un foie pour métaboliser les médica-

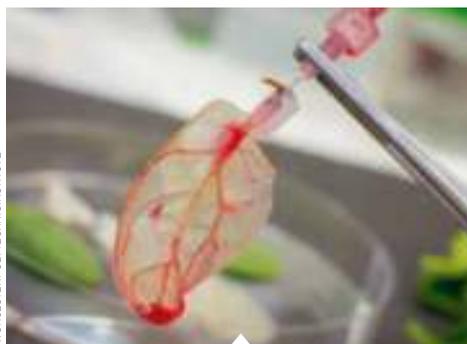
ments. Chaque organe est cultivé dans son propre compartiment et relié aux autres par des mini-tubes. Vingt micropompes électriques font circuler un liquide, substitut de sang, composé d'hormones et de nutriments. En prélevant des cellules sur des patientes, Evatar pourrait être personnalisé et utilisé pour tester des contraceptifs et des traitements pour des maladies telles que l'endométriose, les fibromes ou les cancers du col de l'utérus. **S. E.**

Redoutable placebo

THÉRAPEUTIQUE Le placebo est efficace même si l'on sait... que c'en est un ! La preuve avec des travaux présentés à la première conférence internationale sur le placebo qui vient de se tenir aux Pays-Bas. Des chercheurs du Dana Farber Institute (un centre anticancéreux de Boston, aux États-Unis) se sont intéressés à la fatigue de patients cancéreux. Ils ont proposé à un groupe de prendre, en toute connaissance de cause, deux fois par jour, une gélule inactive, un second groupe ne prenant rien. Trois semaines après, les scores de fatigue étaient moindres dans le « groupe placebo ». **S. R.-M.**

Une feuille d'épinard pour muscle cardiaque

CARDIOLOGIE Transformer une feuille d'épinard en muscle cardiaque : c'est la drôle d'idée développée par une équipe du Worcester Polytechnic Institute (Massachusetts, États-Unis). Les scientifiques ont tout d'abord retiré le matériel cellulaire de la feuille grâce à une solution détergente puis ont introduit des cellules humaines qui ont colonisé la matrice. En vingt-et-un jours, les cellules cardiaques ont commencé à se contracter spontanément, comme dans un tissu humain. **C. D.**



WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE

Les cellules humaines ont grandi sur la structure de la feuille avant de se contracter spontanément.

Davantage de malades de Parkinson en zone agricole

NEUROLOGIE Tous les habitants d'une zone où l'activité agricole est dense encourent un risque plus élevé de contracter la maladie de Parkinson. L'étude de l'Inserm qui l'affirme n'établit pour autant aucun lien de cause à effet. L'association est plus prononcée pour la vigne, qui est aussi la plus consommatrice de pesticides. **L. L.**

À VOIR SUR LE NET

L'embryon s'explore en 3D

IMAGERIE Voir en vidéo les premiers stades de la vie, à l'échelle de la cellule : c'est la prouesse d'une équipe coordonnée par des chercheurs de l'Inserm et de l'Institut de la vision, à Paris. Elle a réalisé photos et films en 3D de plusieurs tissus et organes d'embryons et fœtus humains âgés de 6 à 14 semaines. Avec la participation d'autres laboratoires, l'objectif est de faire un véritable atlas en 3D de l'embryon humain. **L. L. sciav.fr/843embryon**



INSTITUT DE LA VISION



Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguer à l'Institut Curie, 1^{er} Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

www.curie.fr



 Ensemble, prenons le cancer de vitesse.

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.
Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ►

Mme M. Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal : [] [] [] [] [] []

Ville :

Tél. : [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] SA042017



Baptême de l'eau pour le premier navire à hydrogène

Le catamaran « Energy Observer » va entamer un tour du monde pour promouvoir les énergies renouvelables.

TRANSPORTS Du 14 au 17 avril, les promeneurs ont pu découvrir dans le port de Saint-Malo un maxi-catamaran hors du commun. Renommé *Energy Observer*, ce multicoque de course construit en 1983 au Canada a été reconverti en laboratoire flottant de l'énergie du futur. Depuis 2015, près de 60 personnes ont travaillé à son reconditionnement. Rallongé de 6,12 m, *Energy Observer* embarque « 130 m² de panneaux photovoltaïques, deux éoliennes à axe vertical et une aile de traction intelligente qui alimenteront deux moteurs électriques convertibles en hydrogénérateurs », précise l'équipe du projet. Une foule d'innovations qui en font le premier navire capable de produire son hydrogène à par-



L'ancien bateau de course peut produire de l'hydrogène à partir d'eau de mer.

tir de l'eau de mer et grâce aux énergies renouvelables. *Energy Observer* débutera le 5 juillet un tour du monde de six ans avec,

pour capitaine, l'ancien coureur Victorien Erussard et, comme chef d'expédition, l'explorateur Jérôme Delafosse. **F. C.**



Le membre est fabriqué en impression 3D.

Les vieux gobelets deviennent prothèses

MATÉRIAUX

Spécialisée dans le recyclage, la société Canibal s'attaque aux gobelets en plastique. Elle a mis au point une technique pour obtenir des granulés à partir des récipients en polypropylène des distributeurs d'eau et du traditionnel polystyrène. Ces granulés permettent de fabriquer des panneaux isolants, des poubelles, mais aussi, avec une imprimante 3D, des éléments de prothèses de main. **L. C.**

À VOIR SUR LE NET

Les drones craignent l'orage

AÉRONAUTIQUE Même s'ils sont essentiellement composés de plastique, les drones n'apprécient pas la foudre. Le test a été réalisé au laboratoire de haute tension de l'université de Manchester (Royaume-Uni) où l'on peut créer un arc électrique de 2 millions de volts. Verdict sur le DJI Phantom : les composants électroniques grillent et seule la batterie sort indemne car protégée par des plaques métalliques jouant le rôle de cage de Faraday. Et ce même avec un dispositif antifoudre expérimental. **E. L. sciaiv.fr/843drones**



2620

Le nombre de satellites de la constellation One Web

COMMUNICATION Pour connecter à Internet 4 milliards de personnes dans la prochaine décennie, le fondateur de One Web, Greg Wyler, souhaite quadrupler ses objectifs de mises en orbite, alors que le plan initial dévoilé en 2015 prévoyait 648 satellites. La compagnie américaine ambitieuse désormais d'offrir aussi l'accès au Web en voiture et en avion. **S. R.**

Une éolienne alimentée par les typhons



Des cylindres verticaux remplacent les pales.

ÉNERGIE Au Japon, l'entreprise Challengery a conçu une éolienne qui tire son énergie des typhons. Pour pouvoir résister aux cyclones tropicaux, les pales sont remplacées par trois cylindres qui tournent autour de l'axe vertical. Omnidirectionnel, l'engin n'a pas besoin d'être orienté dans le sens du vent contrairement aux éoliennes. Après le premier prototype de un kilowatt testé avec succès, la société espère produire en série des engins de 10 kW d'ici à 2020. **F. G.**

NOUS ET LES AUTRES

DES PRÉJUGÉS AU RACISME



M **MUSÉE DE**
L' **L'HOMME**
EXPOSITION
31 MARS
08 JANV
2017-2018

Agathe



Hassan



Sous le patronage
de l'UNESCO

Organisée en
collaboration avec
le Musée National
d'Histoire Naturelle



**SONT VENUS ENSEMBLE DONNER
LEUR COULEUR À CETTE AFFICHE**

Créez votre affiche, sur votre mobile, avec vos couleurs sur nousetlesautres.fr   

Illustration : Noma Bar



DAVID BUTON/REUTERS/REA

Le nombre de robots est passé de 0,4 à 1,4 pour 1000 travailleurs en 15 ans, aux États-Unis.

États-Unis : les robots ont détruit 670 000 emplois

De 1993 à 2007, chaque nouvel automate industriel a supprimé jusqu'à 6,2 emplois pour 1000 ouvriers, selon deux chercheurs américains.

ÉCONOMIE Le secrétaire américain au Trésor Steven Mnuchin l'affirmait fin mars, il n'y a pas de quoi s'inquiéter, les robots ne détruiront aucun emploi d'ici à cinquante voire cent ans. Pour deux économistes du Massachusetts Institute of Technology et de l'université de Boston, le phénomène est au contraire déjà à l'œuvre. Dans un rapport rédigé pour le National Bureau of Economic Research, ils ont quantifié ce phénomène : 670 000 emplois perdus aux États-Unis entre 1993 et 2007. Chaque robot industriel sup-

plémentaire pour 1000 travailleurs a supprimé jusqu'à 6,2 emplois, selon les zones économiques, et abaissé les salaires de 0,73 point au plus, même si des créations de postes ont atténué le phénomène au niveau global.

Les deux chercheurs avaient publié l'an dernier une étude sur ce sujet, avec des résultats plus optimistes. Mais ils s'appuyaient alors sur des modèles théoriques. Cette fois, ils ont utilisé les chiffres de l'International Federation of Robotics qui couvrent 90 % du marché des robots de 50 pays et 19 secteurs industriels. **A. D.**



HONGKONG BAPTIST UNIVERSITY

Le « sésame » n'est plus saisi au clavier mais prononcé face à une Webcam.

Les mots de passe se lisent sur les lèvres

INFORMATIQUE Avec Lip-password, le mot de passe ne s'écrit plus mais se dit en face d'une Webcam. Une technologie de reconnaissance visuelle analyse le mouvement des lèvres et le compare à un modèle biométrique. En cas de piratage, l'internaute n'a qu'à changer de mot de passe, le modèle biométrique est recalculé. **A. D.**

SOURCE : YIU-MING CHEUNG, UNIVERSITÉ BAPTISTE DE HONGKONG.



La propulsion d'Éraole combine photovoltaïque et biocarburants.

L'avion se met à l'hybride

TRANSPORTS Des cellules photovoltaïques pour couvrir jusqu'à 50 % des besoins énergétiques en journée et une centrale thermique alimentée par des biocarburants : voilà le principe de propulsion d'Éraole, un avion hybride. Réalisé

en fibre de carbone, et dessiné en collaboration avec l'Onera, il effectuera des vols de plusieurs heures dans différentes conditions. Objectif : réaliser un vol transatlantique sans escale (5000 km en 60 heures) en 2018. **E. L.**

LABORATOIRE OCEANVITAL

Le logiciel classé au patrimoine mondial de l'humanité

INFORMATIQUE C'est un projet appelé Software Heritage, signé début avril par Inria et l'Unesco. Ce partenariat entend collecter, stocker sur des serveurs et rendre accessibles depuis Internet tous les codes sources de tous

les logiciels produits par l'humanité, libres ou propriétaires, en premier lieu pour préserver une création jugée fragile. Actuellement, 55 millions de logiciels ont été récupérés pour 3 milliards de codes sources. **A. D.**

L'œil de Lascar



L'OMNIPRÉSENT ELON MUSK, déjà président de Tesla Motors et de SpaceX, a créé une nouvelle société baptisée Neuralink. Elle est censée mettre au point de nouvelles interfaces homme-machines implantées dans le cerveau. **O. L.**

Costa Rica

DU 13 AU 28 JANVIER 2018 • AU DÉPART DE PARIS

Un voyage magnifique au pays des 1000 couleurs en compagnie de notre naturaliste **Jérôme Moreau**.



Croisières
d'exception



À bord de
l'Azamara Quest
(seulement 344 cabines)



RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS

- Connectez-vous sur www.croisieres-exception.fr/costarica
- Appelez au 01 75 77 87 48**

**OFFRE
SPÉCIALE**

500 € de réduction par personne pour toute réservation avant le 31 mai avec le code EVASION, soit le voyage à partir de 4990 €/pers.*

Renvoyez ce coupon complété à :

Croisières d'exception - 77 rue de Charonne - 75011 Paris *Croisières d'exception*

Mme M. Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : [] [] [] [] Ville :

Date de naissance : [] [] [] [] [] [] [] [] Tél. : [] [] [] [] [] [] [] []

Email :@.....

Vous voyagez seul(e) en couple

Oui, je bénéficierai d'une offre spéciale (- 500 € par personne) en cas de réservation avant le 31 mai avec le code EVASION.

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant.



Une croisière exceptionnelle
au départ de Paris sur vols directs **AIRFRANCE**

Croisières d'exception / Licence: M075150063 - Itinéraires sous réserve de modifications de l'armateur. Les invités seront présentés au cas de force majeure. Programme garanti à partir de 40 inscrits.
 * Prix par personne en cabine double intérieure incluant les vols A/R depuis Paris, les transferts, la croisière en pension complète, les boissons en «All inclusive», les 4 nuits d'hôtel à San José en pension complète. Les excursions, les conférences, les taxes et les pourboires. Cette réduction n'est pas cumulable avec d'autres réductions en cours. **Du lundi au vendredi de 9h30 à 13h et de 14h30 à 18h30 - Création graphique : nuitdeplaine.fr - crédits photos : © Shutterstock

6 conseils pour se fabriquer des neurones

À N'IMPORTE QUEL ÂGE

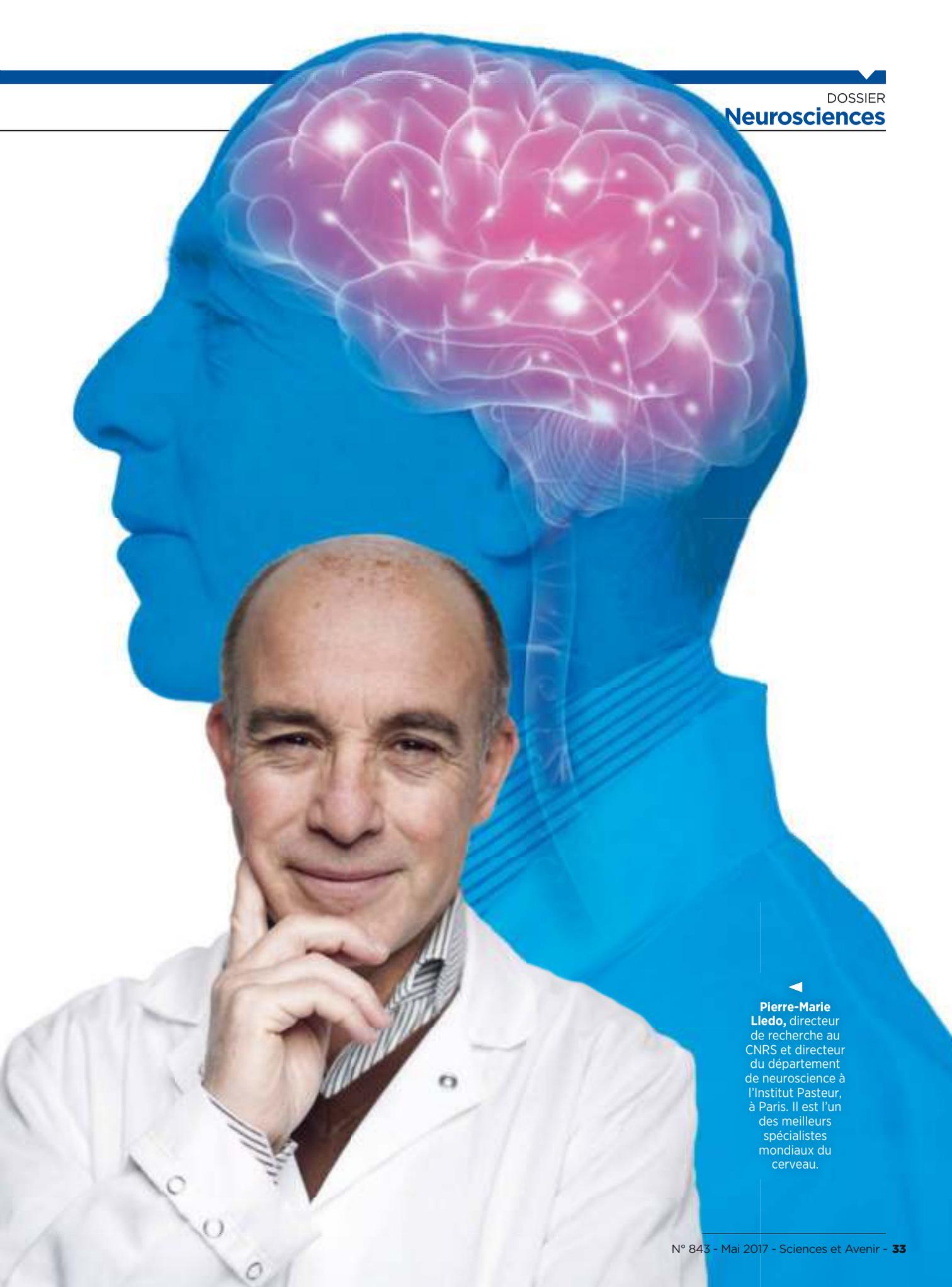
Non, la production de nouveaux neurones n'est pas réservée aux jeunes cerveaux! À l'origine de découvertes majeures sur les mécanismes à l'œuvre, le neuroscientifique Pierre-Marie Lledo révèle les règles d'or pour entretenir son cerveau.

DOSSIER RÉALISÉ PAR
Eléna Sender

CINQ NEURONES DE PLUS! C'est ce que votre cerveau aura acquis à la fin de la lecture de cet article. L'humain produit en effet 700 nouveaux neurones par jour, en moyenne, dans ses deux hippocampes (structures impliquées dans la mémorisation) selon une étude récente (1). Et cela à tout âge, contrairement à une idée reçue persistante. Mieux! voici quelques mois à peine, les chercheurs ont accompli l'exploit d'observer en direct la naissance, la maturation puis l'intégration de ces nouveaux neurones chez la souris (2). Ils se sont alors aperçus que 20 % des connexions de ces « bébés neurones » se renouvellent chaque jour. Résultat réjouissant:

non seulement nos neurones se régénèrent, mais ils sont hyperactifs. De quoi sabler doublement le champagne en 2018, date du vingtième anniversaire de cette découverte époustouflante: la neurogenèse (production de neurones) ne concerne pas uniquement les jeunes cerveaux, mais se poursuit toute la vie. « Cette avancée majeure a renversé le paradigme de Santiago Ramón y Cajal [prix Nobel de médecine 1906], explique le professeur Pierre-Marie Lledo, directeur de recherche au CNRS et directeur du département de neuroscience à l'Institut Pasteur à Paris, expert français mondialement reconnu de ce phénomène. *Ce neurobiologiste prétendait que l'on naissait avec un stock définitif de neurones* — ▶

PHOTOS: BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET Avenir

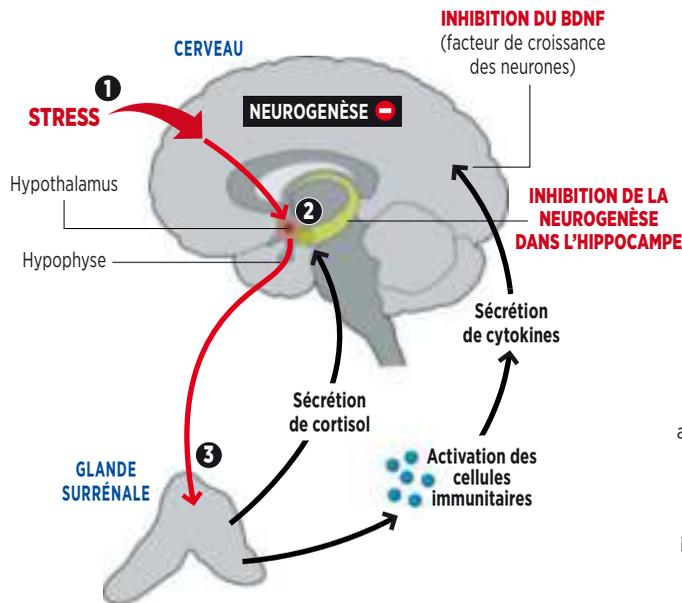


◀
Pierre-Marie Lledo, directeur de recherche au CNRS et directeur du département de neurosciences à l'Institut Pasteur, à Paris. Il est l'un des meilleurs spécialistes mondiaux du cerveau.

► formé chez l'embryon — et que toute perte neuronale était, par conséquent, irréversible. Il avait tort. » Tout bascule dans les années 1980, lorsque les chercheurs découvrent contre toute attente une neurogenèse adulte chez le canari, le poisson, l'insecte, la souris... Au printemps 1998, nouveau coup de tonnerre : Elizabeth Gould, professeur à l'Institut de neurosciences, à l'université de Princeton (États-Unis), rapporte avoir observé de nouveaux neurones chez le primate adulte (singe marmouset), puis l'automne suivant chez le macaque. En novembre de la même année, l'équipe de Peter Eriksson et Fred H. Gage, chercheurs à l'hôpital universitaire Sahlgrenska de Göteborg (Suède), franchit la dernière marche, chez l'humain. Elle révèle en effet dans le cerveau d'un patient décédé de 72 ans, à qui avait été injecté un traceur fluorescent juste avant sa mort, de jeunes cellules venant de se transformer... en neurones (3). C'est l'estocade.

La marque de l'apprentissage de la nouveauté

Depuis 2001, l'équipe de Pierre-Marie Lledo mène l'enquête pour retracer le parcours de ces « bébés neurones » depuis leur naissance jusqu'à leur intégration dans le cerveau. Et ses efforts sont payants. « Nous avons identifié trois pouponnières chez la souris : l'hippocampe, la zone sous-ventriculaire et l'épithélium olfactif », explique le neurobiologiste. Surprise de taille : la densité en néoneurones est proportionnelle aux variations de l'environnement matériel et social. « Lorsque les souris sont en présence de congénères et dans un environnement variable, leur cerveau est quatre fois plus riche en nouveaux neurones que celui des rongeurs isolés dans un environnement pauvre ! » Ce n'est pas tout : « Nos recherches ont aussi montré en 2002 (4) que **Suite page 36**



❶ Le stress active dans le cerveau l'axe hypothalamo-hypophysaire ❷, qui agit à son tour sur la glande surrénale. ❸ Celle-ci sécrète alors du cortisol et, par l'activation de cellules immunitaires, des cytokines. Ces deux types de substances inhibent la production et la croissance des nouveaux neurones.

CONSEIL N° 1 « Évitez le stress chronique, tueur de bébés neurones »

Les situations anxiogènes dans le cerveau (hypothalamo-hypophysaire), qui déclenche la sécrétion d'une hormone, le cortisol, par les glandes surrénales (situées au niveau des reins). Par voie sanguine, ce cortisol inonde le cerveau pour déclencher une réaction rapide du système moteur et limbique (l'amygdale) qui entraîne l'attaque ou la fuite. Si l'opération se répète trop souvent (stress chronique), les neurones situés dans l'hippocampe, riches en récepteurs du cortisol, sont très perturbés. Résultat : la fabrication de nouveaux neurones est stoppée, mais aussi la croissance des survivants, car le système immunitaire inhibe les facteurs de croissance (BDNF, brain-derived neurotrophic factor). « Évitez donc le stress chronique, tueur de bébés neurones », conseille ainsi Pierre-Marie Lledo,

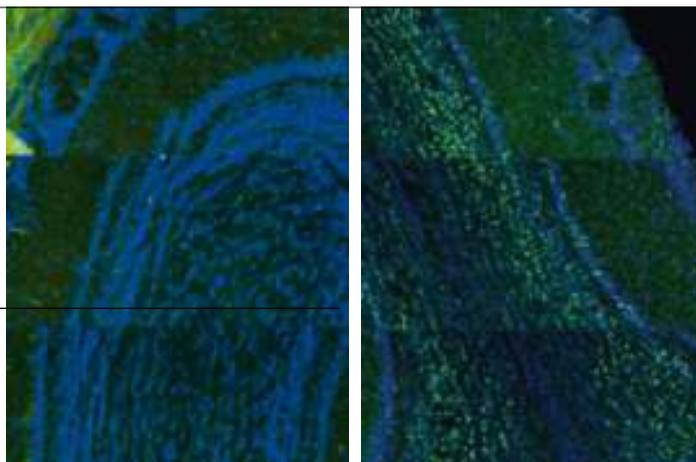
directeur du département de neurosciences à l'Institut Pasteur à Paris. Pour ce faire, chacun peut mettre en œuvre des méthodes telles que le yoga, la méditation ou l'activité physique dont l'action sur le cerveau est avérée. Surtout, il faut pratiquer la déconnexion du monde numérique — courriels et réseaux sociaux étant à l'origine d'une avalanche d'informations à laquelle il est très difficile de faire face. Car l'information qui nous fait juste « savoir » — et non comprendre — est délétère, n'incitant pas le cerveau à produire de nouveaux neurones. Bien au contraire, ce dernier, bombardé de données, est condamné à la passivité et donc l'anxiété. Il est indispensable de trier l'information, discerner l'utile du futile, pour ne pas connaître le stress chronique.



Pierre-Marie Lledo

CONSEIL N° 2 « À bas la routine, soyez à l'affût de la nouveauté! »

Les néoneurones ont pour mission principale d'« encoder » de nouvelles informations pour nous permettre de nous adapter aux changements (*lire p. 34*). Si la routine s'installe, ils sont désœuvrés... et éliminés. Tous les apprentissages actifs et les situations inédites doivent donc être recherchés. « À bas la routine, soyez à l'affût de la nouveauté! », conseille donc Pierre-Marie Lledo. Rencontrer des personnes inconnues (*lire p. 37*), faire des voyages, relever des défis...



Les nouveaux neurones (en vert, vus au microscope) sont plus nombreux dans le cerveau d'une souris en environnement stimulant (à droite) que routinier (à gauche).

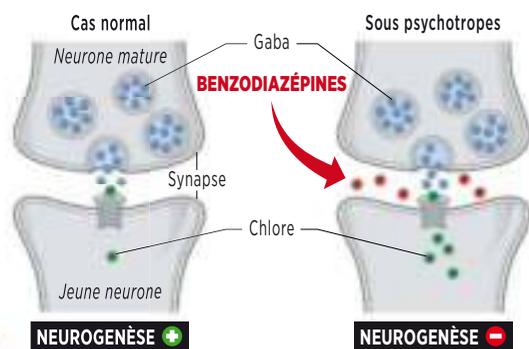
INSTITUT PASTEUR

En résumé, respecter la *libido sciendi*, la soif de comprendre et d'apprendre. Un objectif d'autant plus important que, d'après de toutes récentes études, l'hippocampe du cerveau, considéré comme un centre de tri de l'information et de mise en mémoire, provoquerait

sa propre neurogenèse. Plus nous apprenons de choses, plus nous le stimulons, ce qui a pour conséquence de libérer les facteurs indispensables à la production de bébés neurones qui, en retour, favorisent la plasticité et donc l'apprentissage. Un cercle vertueux.

CONSEIL N° 3 « Prohibez les psychotropes dont l'usage inhibe la régénérescence »

Le cerveau possède un messager chimique très répandu, le Gaba (acide gamma-amino-butyrrique), dont la mission est de diminuer l'activité des neurones sur lesquels



Dans le cas normal (à gauche), le Gaba permet l'entrée de chlore dans le jeune neurone à travers la synapse, ce qui inhibe un peu l'activité de celui-ci. Les benzodiazépines (à droite) font entrer trop de chlore dans le néoneurone qui, affaibli, meurt.

il se fixe. Or les psychotropes de type benzodiazépines (certains anxiolytiques et somnifères) se fixent sur les mêmes récepteurs que le Gaba et en augmentent l'effet pour une action « calmante ». Des expériences menées chez la souris ont montré que ces médicaments stimulent la prolifération des néoneurones, très sensibles au Gaba au tout début de leur vie. Mais une fois en période de maturation, les jeunes neurones se révèlent manquer fortement de « peps » alors qu'ils doivent créer une multitude de connexions pour survivre! Inhibés par ces signaux Gaba renforcés par les benzodiazépines, ils sont rapidement éliminés. « Prohibez ces psychotropes dont l'usage inhibe les neurones »,

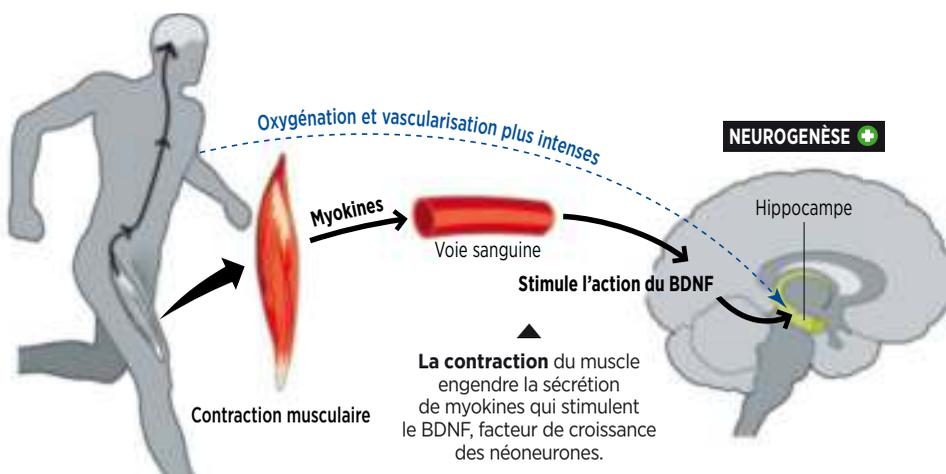
conseille Pierre-Marie Lledo. *A contrario*, les antidépresseurs de type fluoxétines (inhibiteurs de recapture de la sérotonine, comme le Prozac) relancent la neurogenèse ! Las, une étude récente (A. Sahay, *Hippocampus*, 2015) révèle que les bébés neurones nés sous traitement ne sont pas tout à fait conformés normalement et s'intègrent moins bien au réseau existant. Bilan : anxiolytiques, somnifères et, dans une certaine mesure, antidépresseurs ne peuvent être considérés que comme des béquilles chimiques ponctuelles, le temps de retrouver la motivation nécessaire pour mettre en place les actions positives favorables à la neurogenèse naturelle.

► dans le système olfactif de la souris, la production de néoneurones — 30 000 par jour — était accrue en cas de stimulations sensorielles complexes. Puis en 2003 (5) que l'intégration des néoneurones était corrélée à l'apprentissage de nouvelles odeurs. » Autrement dit, plus l'apprentissage est intense, plus la neurogenèse et l'intégration des cellules le sont aussi. Ces néoneurones seraient donc la marque de l'apprentissage de la nouveauté.

Deux pouponnières cérébrales identifiées

Pour l'heure, seules deux pouponnières cérébrales — et non trois comme chez la souris — ont été identifiées chez l'humain : l'hippocampe et la zone sous-ventriculaire (voir l'infographie p. 41). « L'hippocampe est impliqué dans la formation des souvenirs, l'association entre la mémoire et les émotions, la discrimination fine des différents stimuli externes, explique Gabriel Lepousez, neurobiologiste, spécialiste de la perception sensorielle et de la plasticité cérébrale à l'Institut Pasteur à Paris. La zone sous-ventriculaire fait naître, elle, des neurones qui s'intègrent dans une région toute proche, le striatum, associée aux systèmes de la récompense et de la motivation. » Pourquoi l'humain aurait-il besoin de nouveaux neurones dans ces deux zones spécifiques ? « Quand une nouvelle situation se présente, l'hippocampe intervient en première ligne, poursuit Gabriel Lepousez. Il discrimine, compare et mémorise l'événement, puis le "colore" émotionnellement. Le striatum, lui, est sollicité pour déterminer l'intérêt de la nouvelle information. »

Pour survivre, chacun d'entre nous doit en effet s'adapter rapidement aux changements en enregistrant efficacement les informations utiles. Telle serait donc la mission des néoneurones. Chez **Suite page 39**



CONSEIL N° 4 « Faites de l'activité physique, cure de jouvence pour les neurones »

De nombreuses études ont montré que l'activité physique stimule la formation de nouveaux neurones (lire S. et A. n° 821, juillet 2015). En se contractant, les muscles libèrent notamment des protéines (myokines). Par l'intermédiaire de la circulation sanguine, celles-ci activent la libération dans le cerveau de facteurs nutritifs (trophiques) comme le BDNF (brain-derived neurotrophic factor), qui stimule la prolifération de bébés neurones et augmente leur survie. Ces myokines activent également le système immunitaire, qui a lui-même une action favorable sur la neurogenèse. À court terme, l'activité physique modifie aussi le métabolisme de l'organisme : le rythme respiratoire et cardiaque augmente, améliorant le flux sanguin du cerveau. Résultat : les niches de cellules souches situées près de zones cérébrales richement vascularisées sont plus actives. « Faites donc de l'activité physique, cure de jouvence pour les neurones », conseille

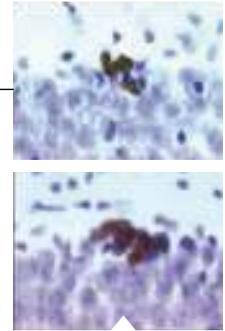
Pierre-Marie Lledo. À long terme, l'activité physique augmente par ailleurs la taille et nombre des microvaisseaux du cerveau. Ce qui apporte plus d'éléments nutritifs et d'oxygène, notamment aux cellules souches. En outre, les cellules se débarrassent mieux de leurs déchets, en particulier des protéines mal conformées ou des toxines qui, en s'accumulant, peuvent provoquer des maladies neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson). Tout cela est-il bénéfique pour la cognition ? Pour la mémoire, oui. Il a été montré chez la souris que l'activité physique volontaire (roue) ou imposée augmente neurogenèse, apprentissage et mémoire, pourvu que l'intensité de l'exercice soit modérée (K. Diederich, *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2017). « Chez l'humain, l'activité physique doit être aérobie, c'est-à-dire soutenue, et de plus de vingt minutes provoquant une hausse du rythme cardiaque et respiratoire (vélo, jogging, natation...) »

Pierre-Marie Lledo

CONSEIL N° 5 « Sortez, discutez, aimez »

Nouer une relation sociale a de nombreux effets sur le cerveau. D'une part, c'est une source d'informations qui concourt à rompre la routine, favorise l'apprentissage et, par conséquent, la production de nouveaux neurones (*lire p. 35 le conseil n° 2*). Mais le lien social mettrait en action une hormone cérébrale clé (ocytocine), un neuromédiateur connu pour son action calmante. C'est l'hypothèse étudiée par Elizabeth Gould de l'université de Princeton (États-Unis), qui a démontré son effet sur la

neurogenèse du cerveau du rat (E Gould, *Hippocampus*, 2012). En injectant l'hormone dans le cerveau ou la circulation sanguine, elle a mis en évidence la prolifération de nouveaux neurones dans l'hippocampe. Et ce, même si le rat est exposé aux glucocorticoïdes (cortisol) — l'hormone du stress délétère pour la production de neurones — ou à une situation stressante (nage en eau froide). Si l'ocytocine est naturellement libérée pendant l'accouchement et l'allaitement, elle le serait également lorsque nous faisons

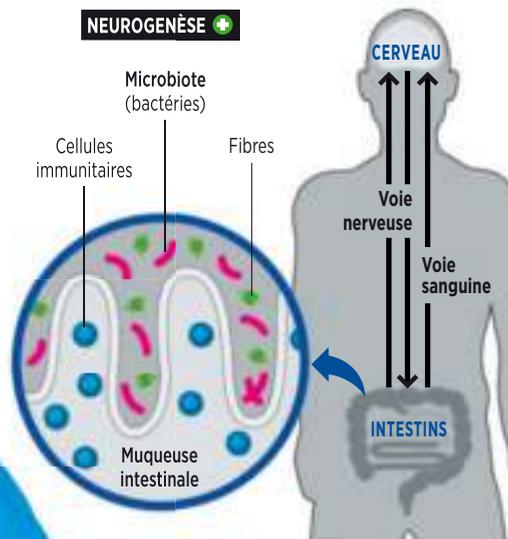


Les néoneurones (en brun) sont plus nombreux en présence d'ocytocine (en bas) que dans une solution neutre.

preuve d'empathie, prenons soin de nos enfants, et aussi... pendant l'orgasme. « *Sortez, discutez, aimez* », conseille donc Pierre-Marie Lledo.

CONSEIL N° 6 « Prenez soin de votre microbiote intestinal, en lien direct avec le cerveau »

Un bon microbiote (flore intestinale) permettrait de garder un cerveau sain (*lire S. et A. n° 835, septembre 2016*) doté d'une bonne neurogenèse.



Un microbiote sain, stimulé par une alimentation riche en fibres, favoriserait la neurogenèse en agissant sur l'immunité.

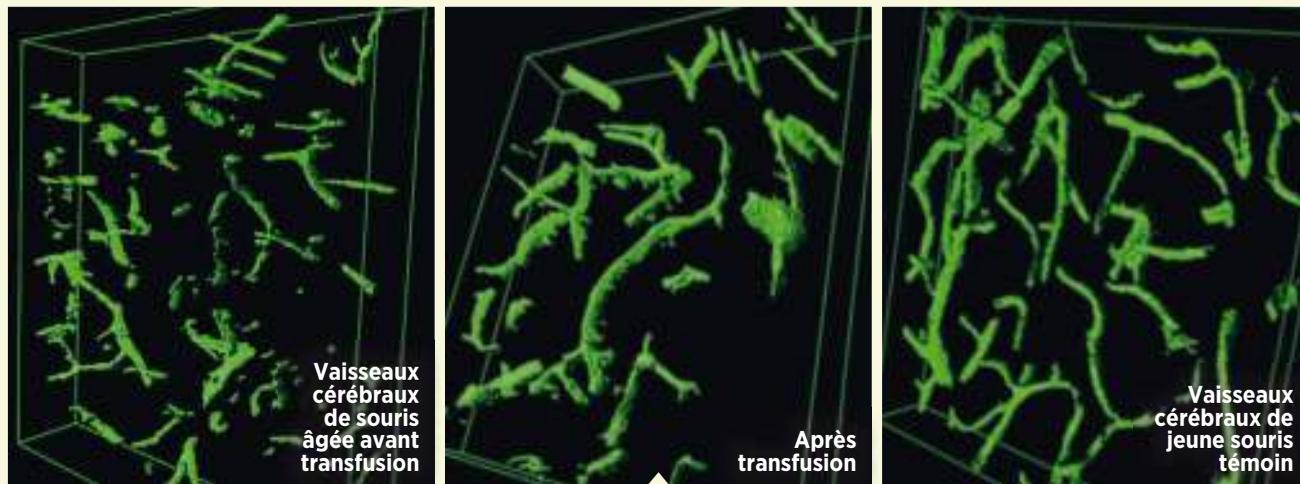
Le tube intestinal est en effet riche de milliards de bactéries (microbiote) qui communiquent avec le cerveau par voies sanguine et nerveuse. Au point qu'une souris sans microbiote (axénique) voit certains de ses processus cérébraux régulés par la neurogenèse de l'hippocampe — comme la mémorisation — affectés. L'effet peut-il être inversé par la recolonisation de l'intestin par des bactéries? Cela dépend à quel moment. Oui, si le microbiote est reconstitué avant le sevrage (Ebere S. Ogbonnaya, *Biologie Psychiatrie*, 2014). Passé ce moment clé, l'altération est irréversible. Cela suggère l'existence d'une phase critique au début de la vie durant laquelle l'établissement du microbiote est décisif pour la mise en place de la future neurogenèse adulte de l'hippocampe. Chez la souris adulte, la neurogenèse reste toujours sensible au microbiote. Une étude récente (Mohle et al.,

Cell Reports, 2016) a démontré qu'un traitement antibiotique prolongé — qui altère fortement les populations de bactéries intestinales — entraîne une baisse de production de nouveaux neurones dans le cerveau et de la fonction mnésique. Les chercheurs ont cependant pu revenir à la normale en associant un traitement probiotique (levures, bactéries) à de l'exercice physique et à l'ajout de cellules immunitaires spécifiques. Ce qui met en lumière l'importance cruciale des bactéries intestinales et laisse supposer que le microbiote agirait plutôt sur les cellules immunitaires. « *Prenez donc soin de votre microbiote intestinal, c'est bon pour le cerveau* », conseille Pierre-Marie Lledo. Pour cela, un régime riche en fibres (fruits, légumes) qui nourrit les bactéries intestinales (prébiotiques) est à privilégier.

EXPÉRIMENTATION

Rajeunir un cerveau vieillissant

Des chercheurs ont relancé la production de nouveaux neurones dans le cerveau d'une souris âgée en lui transfusant le sang d'une de ses jeunes congénères.



La transfusion de facteurs sanguins d'une jeune souris à l'une de ses homologues âgées a permis non seulement de relancer la production de nouveaux neurones chez celle-ci, mais aussi de régénérer ses vaisseaux cérébraux (vus ici en 3D).

Si la bonne nouvelle est que nous produisons des neurones à tout âge, la mauvaise est que... le système peut se gripper au fil du temps. « L'organisme accumule des polluants, des toxines de l'environnement qui abiment le cerveau, explique Lida Katsimpardi, de l'Institut Pasteur, à Paris. La barrière hémato-encéphalique, qui protège le cerveau des apports extérieurs, laisse passer davantage de toxiques et évacue moins bien les déchets, comme certaines protéines mal conformées impliquées dans les maladies neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson...), qui s'accumulent peu à peu. » À l'Institut pour la médecine régénérative du Texas (États-Unis), Ashok Shetty, spécialiste des cellules souches, ajoute : « Avec l'âge, on note un déclin des facteurs dits neurotrophiques qui jouent un rôle dans la prolifération des cellules souches ou dans la différenciation des nouveaux neurones. Résultat : ces cellules souches ne semblent pas

décliner en nombre mais la plupart ne se divisent plus ou très peu ("quiescence"), ce qui contribue à une baisse de production de neurones. » Comment faire pour relancer la neurogenèse, qui assure l'adaptation du cerveau au changement ? Avec son équipe, Lida Katsimpardi, alors à l'université Harvard (États-Unis), a fait une découverte étonnante en 2016 (1). Elle a tout simplement relancé la production de cellules souches dans le cerveau d'une souris âgée en lui transfusant le sang d'une de ses jeunes congénères. Ces cellules souches ont pu se différencier en nouveaux neurones dans le bulbe olfactif et améliorer l'odorat. De plus, on a constaté une revascularisation des vaisseaux sanguins, détériorés par le vieillissement. D'autre part, en analysant le sang, la chercheuse a isolé un facteur (GDF11) qui semble être à l'origine de cette relance. « Nous sommes en train d'identifier le mécanisme en jeu, explique

la chercheuse. Celui-ci permet à la souris âgée de retrouver non seulement une neurogenèse normale, mais aussi une meilleure vascularisation. » L'équipe française est sur le point de publier le rôle d'autres facteurs. « Notre objectif est d'identifier le cocktail de jouvence qui stimule la neurogenèse et de le tester un jour chez l'humain. » Poursuivant le même but, Ashok Shetty a pris une autre voie (2). « Nous avons greffé de petits groupes de cellules souches neurales dans le cerveau d'un rat âgé, en ciblant des zones de l'hippocampe qui, dans des conditions normales, ne produisent pas de neurones chez l'adulte. » Résultat trois mois plus tard : « Les cellules souches greffées ont développé des niches et ont produit de nouveaux neurones ! » Le chercheur y voit une piste pour traiter le déclin de la neurogenèse humaine dans le futur.

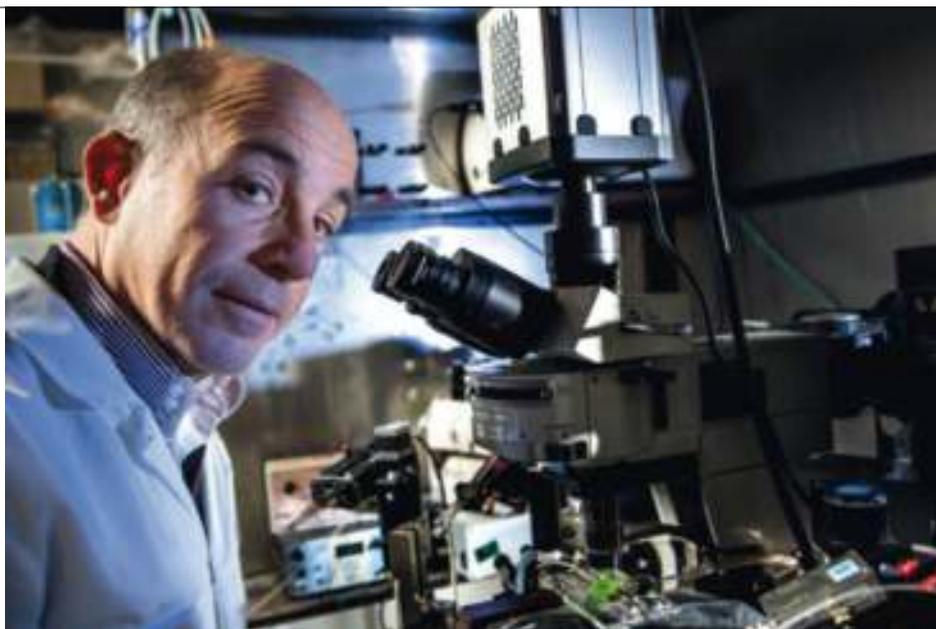
(1) *Science*, Katsimpardi, 2014.

(2) *Stem Cells Translational Medicine*, Shetty, 2016.

► **Suite de la page 36** l'humain, la neurogenèse permettrait en outre aux fonctions cérébrales supérieures (mémoire, émotions, cognition) de s'exprimer. « *L'hippocampe humain, renouvelant ses neurones à raison de 700 par jour, n'a plus un seul neurone d'origine embryonnaire à 50 ans*, assène Pierre-Marie Lledo. Cette aptitude à se reconfigurer permet au cerveau de demeurer vif, réactif et prompt à élucider les nouveaux problèmes et à créer de nouvelles associations. Elle offre la liberté de créer et d'imaginer, des processus mentaux qui distinguent Homo sapiens de ses cousins plus ou moins lointains. »

Le néoneurone doit être stimulé, sans quoi il meurt

Mais attention, ces neurones de l'adaptation se méritent ! Leur survie n'est pas garantie. Le « bébé neurone » inexpérimenté arrive en effet dans des régions cérébrales en pleine action. « *Il doit se comporter comme un nouveau stagiaire qui veut s'intégrer dans une équipe déjà en place*, expose Gabriel Lepousez. *S'il ne crée pas les bons contacts au bon moment, il est éliminé.* » Dans le bulbe olfactif de la souris, par exemple, seule la moitié des 30 000 néoneurones est intégrée après une impitoyable sélection. L'unique critère de survie : être stimulé par l'apprentissage. De ce fait, l'absence de stimulation, la routine, est l'ennemi numéro un de la neurogenèse. Son deuxième frein : le stress. « *Lorsqu'on ajoute du cortisol [hormone du stress] à des neurones en migration in vitro [en laboratoire], ils perdent leur grande capacité à se mouvoir* », explique Pierre-Marie Lledo. Et quand la neurogenèse chute, cela se voit. « *L'animal perd sa capacité à discriminer les situations, par exemple différents contextes olfactifs chez la souris*, explique à son tour Lida Katsimpardi, qui participe à un groupe de recherche sur



JULIEN FAURE/REA

« Chez l'humain, dépression et baisse de neurogenèse seraient corrélées » Pierre-Marie Lledo

POUR EN SAVOIR PLUS

► Un dossier de l'Institut Pasteur évoquant les pistes de réparation du cerveau : sciaiv.fr/2nl3Qs1

► Une conférence de Pierre-Marie Lledo, avec des conseils pour une bonne neurogenèse : sciaiv.fr/2oIFBEG

► Des pistes de recherche présentées par l'association France Parkinson : sciaiv.fr/2oMpVj4

le vieillissement à l'Institut Pasteur (lire p. 38). *Il demeure prostré, fuit le contact, a peur des intrus ou des nouveaux objets.* » Peu à peu, le stress chronique s'installe puis l'anxiété, la dépression ou le burn-out. « *Autant de troubles de la "maladaptation" où le sujet ne sait plus faire face aux situations* », résume Pierre-Marie Lledo, qui rappelle que chez l'humain dépression et baisse de neurogenèse seraient également corrélées.

C'est ainsi en travaillant avec des psychiatres tels que Chantal Henry, professeure à l'université Paris-Est Créteil, que le neurobiologiste a eu l'idée d'énoncer des règles d'or pour entretenir cette précieuse neurogenèse : combattre le stress chronique, la routine, prohiber l'usage de benzodiazépines. Mais aussi favoriser les liens sociaux, l'activité physique et soigner son microbiote, qui est en lien direct avec le cerveau (lire p. 37).

La science espère aussi mettre à profit cette fabuleuse fontaine de jouvence pour traiter des lésions cérébrales (lire p. 40). Ira-t-elle jusqu'à proposer à

l'humain bien portant un « cerveau à neurones augmentés », aux capacités cognitives démultipliées ? Peut-être... mais à ses risques et périls ! « *Disposer d'un surplus de neurones, c'est créer du désordre dans le réseau existant*, commente Gabriel Lepousez. *Il y aurait donc certainement des effets indésirables gênants.* » Pour preuve, lorsqu'on empêche artificiellement (6) les néoneurones de mourir, leur accumulation dans le bulbe olfactif de la souris perturbe fortement son olfaction. Pour Pierre-Marie Lledo, l'humain « augmenté » ne sera donc pas celui qui aura un surplus artificiel de neurones, mais bien celui qui saura survivre dans son nouvel environnement numérique. « *Le cerveau doit apprendre à trier l'information surabondante que la connexion permanente au monde numérique engendre. Il va falloir pour cela s'adapter à ce changement en recourant de plus en plus... à nos nouveaux neurones.* » ■

(1) KL Spalding, *Cell*, 2013; (2) K Sailor, *Neuron*, 2016; (3) Eriksson, *Nature Med*, 1998; (4) PM Lledo, *Journal of Neuroscience*, 2002; (5) PM Lledo, *Nature Neuroscience*, 2003; (6) Mouret, *Journal of Neuroscience*, 2009.

De nouveaux neurones pour réparer les lésions cérébrales

La médecine régénérative pourrait soigner l'AVC ou la maladie de Parkinson en stimulant la neurogenèse. Reste un obstacle : apprendre aux néoneurones à survivre.

ET SI L'ON UTILISAIT LES NOUVEAUX NEURONES — ceux que notre cerveau fabrique naturellement tous les jours (lire p. 32) — pour réparer les lésions cérébrales dues à un traumatisme, un accident vasculaire ou une pathologie neurodégénérative (Parkinson, Alzheimer...)? Tel est l'objectif de la future médecine régénérative. Une incroyable idée qui fait son chemin depuis que les chercheurs ont découvert la neurogenèse (production de nouveaux neurones) chez l'adulte. Avec de premiers succès. « En détournant des neurones nouvellement formés depuis leur zone germinative vers les régions lésées, on pourrait espérer contribuer à élaborer de nouvelles stratégies thérapeutiques », affirmait ainsi il y a dix ans, Pierre-Marie Lledo, directeur du département de neuroscience de l'Institut Pasteur, à Paris.

Une décennie de travaux plus tard, grâce à la compréhension fine des



Neurones (en vert) produits à partir de cellules souches embryonnaires de souris.

facteurs moléculaires indispensables au processus, les efforts ont payé : chez la souris, les chercheurs parviennent à détecter ces précieux néoneurones dans leur berceau, la zone sous-ventriculaire et l'hippocampe. Puis ils les font migrer à quelques centimètres de là, jusqu'au cortex, la mince couche de tissu plissée qui recouvre les hémisphères cérébraux. Un exploit ! Las, les scientifiques font face à un problème de taille : « Une fois arrivés dans le cortex, les nouveaux neurones ne survivent pas », déplore Pierre-Marie Lledo. Car la zone « colonisée » n'est pas « accueillante ». « Ils ne parviennent pas à créer, sur place, leur quota vital de connexions. Résultat : ils s'autodétruisent », explique le chercheur. Le prochain défi est donc d'augmenter ce taux de survie en comprenant ce qui pourrait rendre cette zone moins hostile. Une équipe Inserm du laboratoire de thérapies cellulaires et

maladies cérébrales de l'université de Poitiers (France) explore pour cela une solution ingénieuse. « Lorsqu'ils arrivent dans le cortex, ces néoneurones se retrouvent dans un territoire dont ils ne parlent pas la langue (moléculaire). En outre, ils ne sont pas programmés pour réparer une lésion. Ce sont les deux écueils à surmonter », explique Afsaneh Gaillard, du Laboratoire de neurosciences expérimentales et cliniques (Inserm) de l'université de Poitiers. La stratégie ? Offrir aux jeunes recrues des « maîtres de stage » pour les aider à s'intégrer. Ceux-ci pourraient être des neurones cultivés *in vitro*, spécifiques de la zone du cortex lésé à traiter et encore assez immatures pour se développer et « préparer le terrain » avant l'arrivée des néoneurones. « Ces neurones "préparés" fourniront aux neurones endogènes des facteurs de croissance et les aideront à survivre », précise Afsaneh Gaillard.

Les neurones greffés se sont connectés au réseau

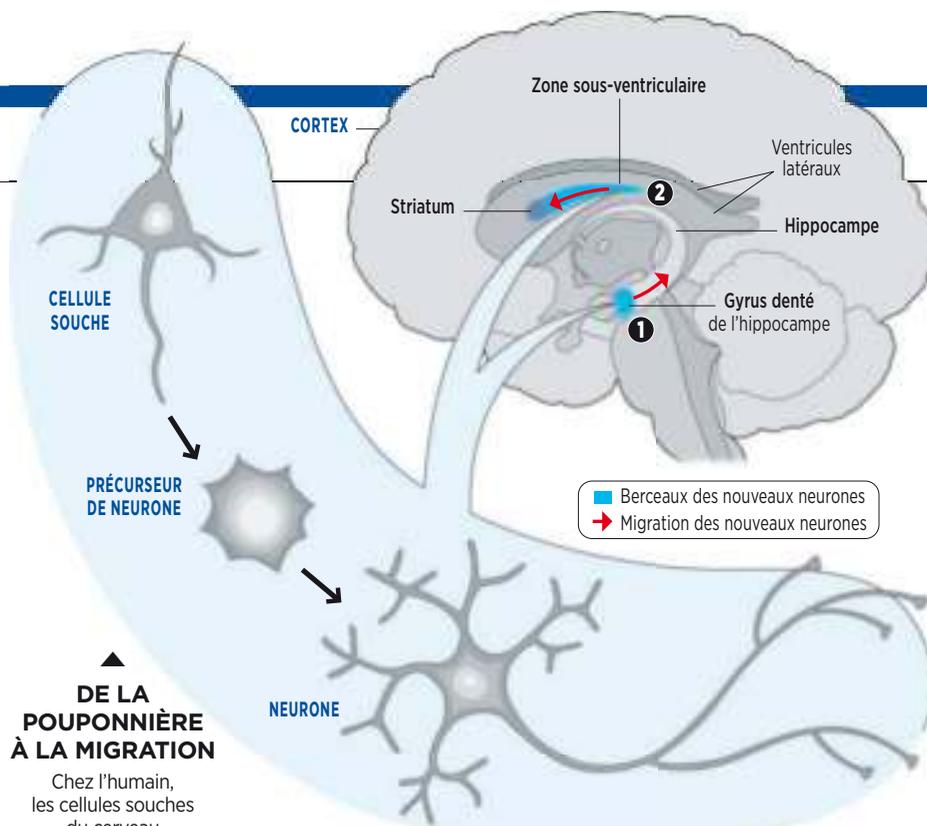
En 2007, l'équipe française pose la première pierre de cet édifice. Toujours chez la souris, elle réussit à greffer dans le cortex de jeunes neurones exogènes, manipulés génétiquement pour émettre de la fluorescence. Et, pour la première fois, on a vu les nouveaux neurones greffés réparer les lésions corticales de façon spécifique ! « De quoi torpiller le vieux dogme qui prétendait que réparer le cerveau était impossible », se félicite la chercheuse. Mieux, en 2015, la même équipe associée à l'Université libre de Belgique (ULB) parvient à rétablir de la sorte des circuits corticaux anatomiques fonctionnels. Et, ce faisant, à constituer les conditions du succès de cette greffe. « Pour réparer le cortex moteur, il faut de jeunes neurones moteurs, et de jeunes neurones visuels dans le cortex visuel. Sinon, c'est l'échec », explique Pierre Vanderhaeghen, chercheur

LIVRE

Un hommage à la plasticité du cerveau

« Réparer le cerveau n'est plus un mythe » : Pierre-Marie Lledo fait dans cet ouvrage* un bilan de quinze ans de recherches en neurosciences. Lire dans les pensées, sonder l'inconscient, le comportement, détecter les prémices d'une pathologie, autant de « prodiges » rendus possibles par les nouvelles technologies d'exploration. On peut désormais aussi agir sur nos défaillances, armé d'un arsenal thérapeutique de stimulations ou manipulations, cellulaires, génétiques... De quoi s'interroger sur le futur (transhumain ?) d'*Homo sapiens*. Un bel hommage au cerveau humain qui, grâce à sa plasticité, conquiert chaque jour sa liberté.

* *Le Cerveau, la machine et l'humain*, Pierre-Marie Lledo, Odile Jacob, 2017.



BETTYLAFON

DE LA POUPONNIÈRE À LA MIGRATION

Chez l'humain, les cellules souches du cerveau se transforment en jeunes neurones dans deux pouponnières, le gyrus denté de l'hippocampe ① et la zone la sous-ventriculaire ②. Ces derniers migrent ensuite à proximité, à l'intérieur de l'hippocampe ou dans le striatum, tout en se spécialisant. Arrivés à destination, ils doivent créer des contacts pour s'intégrer, faute de quoi, ils meurent.

à l'Institut de neurosciences de l'ULB, coauteur de l'étude. Mais pas seulement. Le cortex étant composé de six couches neuronales différentes, il faut également un cocktail d'une dizaine de types différents de neurones (inhibiteurs, excitateurs) dans les bonnes proportions.

Étonnamment, la maladie de Parkinson semble, elle, plus « simple » à appréhender. Elle se caractérise par la destruction des neurones qui sécrètent de la dopamine

dans une zone appelée la « substance noire », ce qui entraîne des troubles locomoteurs et cognitifs. Et si l'on remplaçait les neurones détruits? Plusieurs essais cliniques ont été menés depuis 1990. L'intervention a consisté à injecter de jeunes neurones à dopamine dans la zone cible de la substance noire (le striatum) des patients afin de fournir la dopamine manquante. Quatorze ans plus tard, les neurones implantés sont toujours là selon une équipe

de l'université Harvard (États-Unis), dirigée par Ole Isacson, après analyse *post mortem* des cerveaux de cinq patients. Mais même si deux tiers des personnes atteintes ont vu la progression de la maladie ralentir, les résultats globaux sont mitigés en raison de la diversité des techniques mises en œuvre. Un nouvel essai est en cours.

Pour ces opérations, des neurones d'origine fœtale ont été utilisés. « *Ce qui pose des problèmes éthiques et de disponibilité* », souligne Afsaneh Gaillard. Dans le futur, ce seront des neurones d'origine embryonnaire (extraits d'embryons précoces préimplantatoires), puis des IPS (cellules souches pluripotentes induites), obtenues à partir de cellules adultes, qui seront privilégiées. « *Utiliser les propres cellules du patient éviterait les rejets provoqués par les greffes et permettrait aussi d'obtenir autant de neurones que l'on souhaite* », assure Afsaneh Gaillard. Les IPS sont probablement la clé qui permettra d'atteindre, d'ici à deux décennies, l'objectif que les chercheurs se sont fixé. ■

[@ElenaSender](#)



PHOTOS : ABACA/PRESS

LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT SIDONIE BONNET ET THOMAS HUGUES

MARDI 9 MAI 20H-22H

Nos si précieux neurones

Avec Elena Sender, Grand Reporter pour *Sciences et Avenir*.

SCIENCES
ET
AVENIR

RTL

L'astre le plus rond de l'Univers

Parfaitement sphérique, l'étoile Kepler 11145123, récemment découverte, intrigue. C'est une exception dans le Cosmos, composé essentiellement d'objets aux formes cabossées.

Par Jacques-Olivier Baruch

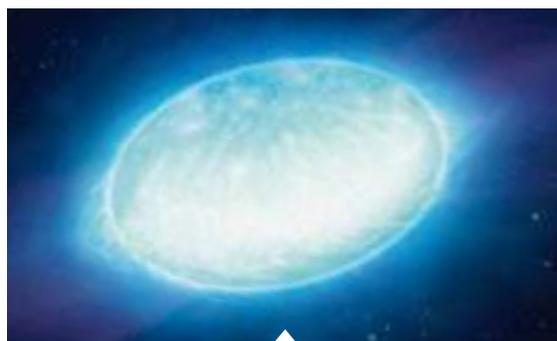
« **S**UR LA TERRE EN TOUTE SAISON, moi je tourne en rond, je tourne en rond », chante Zazie. Mais la Terre, comme les autres planètes et les étoiles, est-elle aussi ronde qu'on le pense généralement ? Fin 2016, c'est à l'étoile gazeuse Kepler 11145123, située à 5000 années-lumière de nous, qu'a été décernée le titre de la sphère la plus parfaite jamais détectée dans l'Univers, selon les données publiées par Laurent Gizon et son équipe de l'institut Max-Planck de Göttingen (Allemagne). Et ces résultats intéressent au plus haut point les astrophysiciens ! Non pour établir un concours de rotondité, mais parce qu'ils permettent d'accéder indirectement à la composition interne et tout particulièrement au cœur des étoiles et planètes. Car il existe un lien entre forme et structure.

La force gravitationnelle domine l'Univers

Si les manuels ont pour usage de représenter les astres comme des ballons bien ronds, les chercheurs ont établi depuis longtemps qu'ils sont plutôt aplatis. Voilà pourquoi l'objet Kepler 11145123 les a tant intrigués : avec un rayon moyen de 1 559 000 kilomètres



En forme de cacahuète, l'astéroïde Itokawa a une masse trop faible pour devenir une sphère.



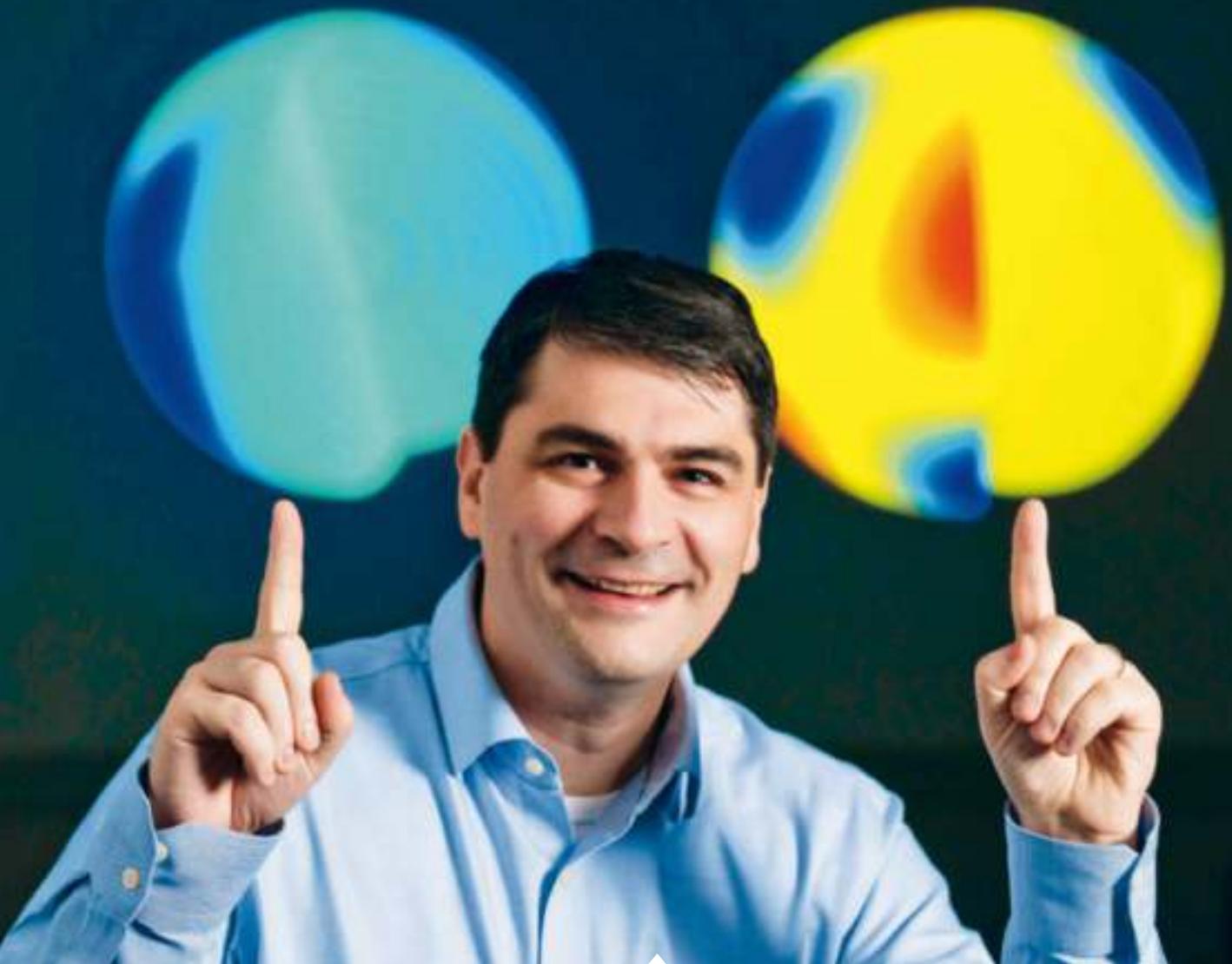
Ovale, Achernar est l'étoile la plus aplatie du fait de sa vitesse de rotation élevée.

— soit plus du double de celui du Soleil —, son rayon polaire ne diffère de son rayon équatorial que de 2,7 kilomètres... soit une égalité à 0,000192 % près. En comparaison, l'aplatissement du Soleil est de 0,00075 %, soit quatre fois plus. Quant à la Terre, son 0,335 % en fait... un vrai ballon

de rugby ! « Ces formes sont dues à la gravité, qui agit de la même façon dans toutes les directions », explique Roland Lehoucq, du CEA (Saclay, Essonne).

Des quatre forces qui existent dans la nature (force nucléaire forte, force nucléaire faible, force électromagnétique, force gravitationnelle), c'est en effet cette dernière qui domine l'Univers à l'échelle macroscopique. « Les corps tendent à adopter une configuration qui rend leur énergie minimale, en l'occurrence la forme sphérique. Elle permet à toutes les parties de se rapprocher autant qu'elles le peuvent », écrit Gilles Henri, membre de la fondation La Main à la pâte. D'où — grosso modo — leur forme de sphère. Sauf pour certains corps qui n'ont pas une masse suffisante pour se mettre en boule. C'est notamment le cas des astéroïdes qui sont la plupart du temps difformes, tel Itokawa ou la célèbre 67P/Tchourioumov-Guérassimenko, à la silhouette en canard, sur laquelle l'atterrisseur Philae de l'Agence spatiale européenne s'est posé en 2014.

Pourtant, de nombreuses raisons expliquent que la sphère absolu-



Laurent Gizon, de l'institut Max-Planck, a déduit la parfaite sphéricité de l'étoile Kepler 11145123 à partir des vibrations de sa surface (ci-dessus).

MPS ment parfaite n'existe pas dans notre univers. À commencer par le fait que les astres tournent sur eux-mêmes. Ce phénomène s'explique en raison de l'effondrement sur lui-même du grand nuage de gaz et de poussières dont naissent planètes et étoiles. Celui-ci prend la forme d'un disque en rotation dont chaque constituant tourne aussi sur lui-même, subissant une force centrifuge différente selon sa vitesse de rotation. Celle-ci étant maximale à l'équateur et nulle aux pôles, plus un corps tourne vite,

plus il est étiré au niveau des régions équatoriales et tend à prendre une forme allongée. Ainsi, à 144 années-lumière de nous, Achernar, l'étoile la plus brillante de la constellation de l'Eridan, tourne sur elle-même en 5 h 24 min, contre 26 jours environ pour le Soleil. La force centrifuge y est si forte que son rayon équatorial est une fois et demie plus grand que son rayon polaire, lui donnant l'apparence d'une dragée. À l'inverse, l'étoile Kepler 11145123 — qui est 1,46 fois plus massive que le

Soleil — a une rotation lente. Elle tourne sur elle-même en seulement 100 jours et la force centrifuge y est très faible, ce qui explique que sa forme se rapproche de celle d'une sphère quasi parfaite.

La matière des corps célestes joue aussi un rôle

Autre facteur entrant en jeu pour modeler la physionomie des corps célestes : la matière dont ils sont constitués. Une affaire de musculature en quelque sorte, ce qui se traduit en astrophysique ►

GÉODÉSIE

La Terre change sans cesse de forme

Répartition inhomogène des masses, épisode glaciaire ou réchauffement climatique modifient localement et au cours du temps la physionomie de notre planète.

Avec son rayon moyen de 6371 km, la Terre est... globalement ronde. Car il faut compter sur la répartition inhomogène des masses, aussi bien en surface que dans les profondeurs de la croûte et du manteau. Les matériaux qui la composent sont plus ou moins denses, certaines parties du manteau sont plus épaisses que d'autres... autant de causes qui modifient localement le champ de gravité. Les mesures géodésiques réalisées ces dernières années montrent donc des bosses et des creux (voir l'image ci-contre). Ainsi, si le mont Everest est bien le plus haut sommet du monde avec ses 8848 mètres au-dessus du niveau moyen des mers, il

n'est pas le plus éloigné du centre de la Terre. Il s'agit du Chimborazo (Équateur) qui, avec ses 6268 m d'altitude, est à 6384,4 km du centre de la Terre contre 6382,6 km pour l'Everest. En cause, la forme renflée quand on s'approche de l'équateur. En outre, la Terre, planète active, change constamment de forme au cours du temps. « Lors du dernier maximum glaciaire, il y a 20 000 ans, plusieurs kilomètres de glace recouvraient l'Amérique du Nord et la Scandinavie, explique l'académicienne Anny Cazenave. Notre planète s'est déformée aux pôles sous le poids des glaces et les roches du manteau terrestre de ces régions ont migré vers l'équateur. Depuis, la fonte a occasionné

ce qu'on appelle un rebond postglaciaire. » Un peu comme une pâte à modeler se remet doucement dans sa position d'origine lorsque l'on cesse d'appuyer dessus, la croûte terrestre s'est soulevée dans les régions nordiques et les roches du manteau ont migré à nouveau vers les pôles. Résultat, la Terre est de moins en moins aplatie. Mais depuis une vingtaine d'années, l'aplatissement reste stable. Le responsable serait le réchauffement climatique, avec la fonte des glaces des calottes polaires (Antarctique et Groenland) qui redistribue les masses d'eau des pôles vers l'équateur, contrecarrant la diminution de l'aplatissement postglaciaire.

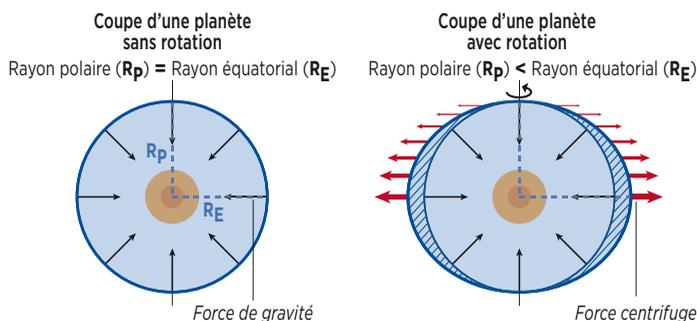
► par la « rigidité ». Ainsi, si certains corps célestes tournent très vite sur eux-mêmes ne sont pas très aplatis, c'est que leur rigidité les empêche de se déformer. Ce qui en dit beaucoup sur leur structure interne. L'équipe de Laurent Gizon s'est donc intéressée à la rigidité exception-

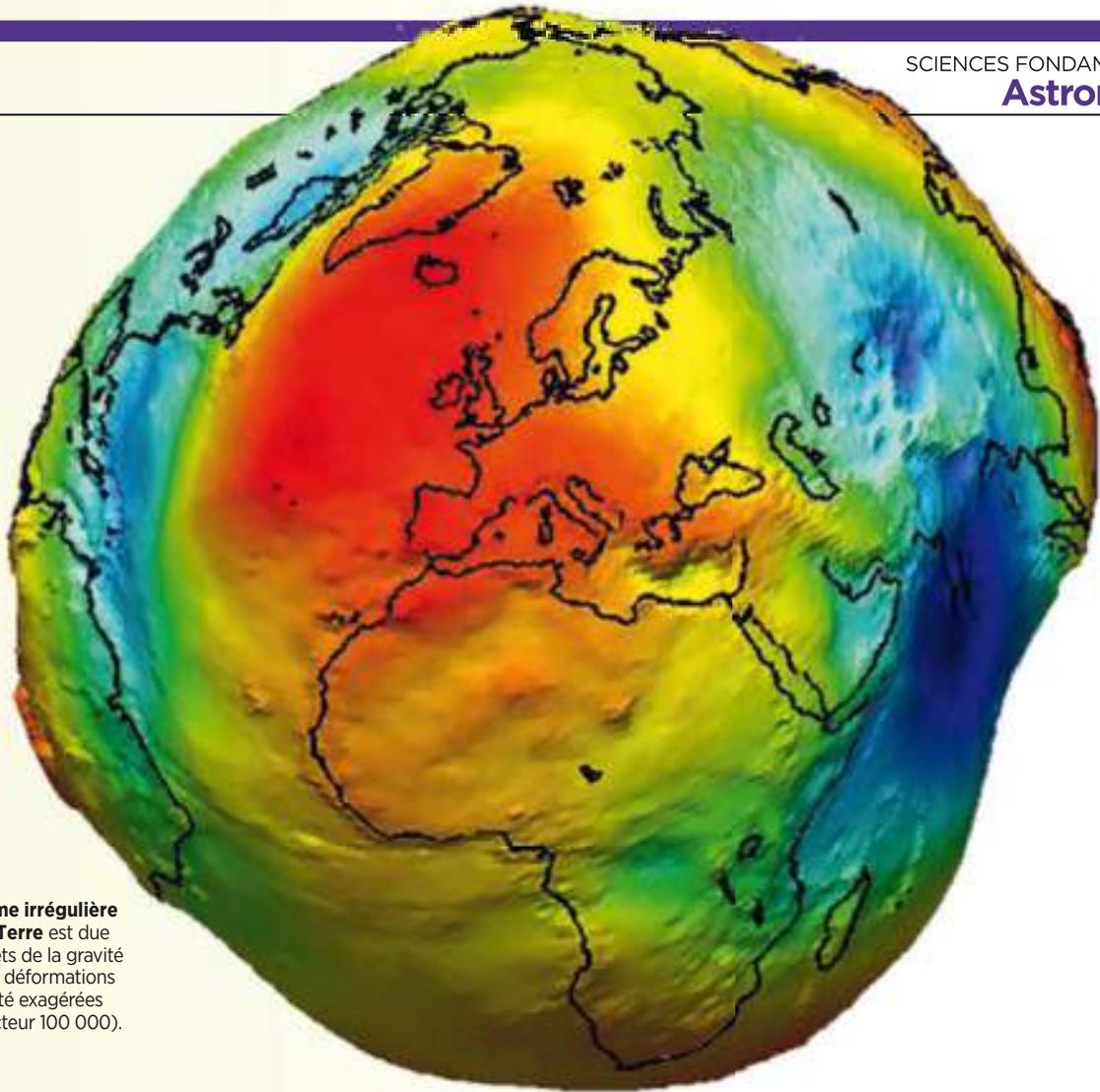
nelle de Kepler 11145123 par la technique dite d'astérosismologie. Celle-ci consiste à mesurer de quelle manière vibre l'étoile. « De même que le son d'un xylophone et celui d'une guitare se différencient par le bois frappé ou les cordes pincées et par l'existence ou non d'une caisse de résonance,

explique Allan-Sacha Brun, du CEA, on peut déduire des vibrations des étoiles leur composition, leur taille, leur structure et même leurs mouvements. » De la même manière que l'on peut savoir si un œuf est cru ou cuit en le regardant tourner sur une surface. Pendant que l'œuf cru tourne, son blanc et son jaune liquides et de densités différentes bougent à l'intérieur. Ces mouvements consomment de l'énergie et ralentissent la rotation jusqu'à l'arrêter, ce qui n'est pas le cas d'un œuf dur. Les calculs de Laurent Gizon indiquent ainsi que Kepler 11145123 doit posséder un très petit cœur, à peine 4 % de son rayon, constitué à ce stade de son évolution de moins de 5 % d'hydrogène. En dehors de

Deux forces contraires à l'œuvre

La gravité impose une forme sphérique à la planète (à gauche). Au contraire, la rotation de la planète produit une force centrifuge qui tend à déformer la sphère.





La forme irrégulière de la Terre est due aux effets de la gravité (ici, les déformations ont été exagérées d'un facteur 100 000).

ESA



ALLAN-SACHA BRUN

« On peut déduire des vibrations des étoiles leur composition, leur structure et même leur mouvement »

Allan-Sacha Brun, astrophysicien à l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu), au Cea, Saclay (Essonne)

ce cœur, l'énergie est transportée directement vers la surface. Mais les scientifiques de l'Institut Max-Planck butent sur une énigme. Pourquoi la force centrifuge de l'étoile est-elle cent mille fois moins intense que sa gravité, alors qu'elle devrait être trois fois plus grande compte tenu de la vitesse de rotation de 3,6 degrés par jour ? Autrement dit, par quoi cette force est-elle contrecarrée ? Une première hypothèse vou-

draît que Kepler 11145123 possède un compagnon stellaire ou des planètes géantes invisibles qui, en tournant autour d'elle, créeraient des mouvements périodiques modifiant la manière de vibrer de l'étoile. Mais l'équipe privilégie une autre explication : le faible aplatissement pourrait être l'effet du champ magnétique de l'étoile. En effet, s'il est bipolaire comme celui de la Terre, ce champ magnétique aura ten-

dance à étirer l'étoile dans la direction des pôles, contrant l'aplatissement.

Quoi qu'il en soit, si Kepler 11145123 semble bien être l'objet céleste le plus rond jamais mesuré, c'est à une sphère de silicium que revient la palme sur Terre. D'un diamètre de 9,36 cm précis à 35 milliardièmes de mètre près — soit un aplatissement de 0,000037 % —, elle a été élaborée par des métrologistes australiens afin de proposer un étalon fiable du kilogramme. « *La sphère a été choisie parce qu'on sait usiner cette forme à un niveau de précision incroyable et que la parfaite connaissance du volume de l'objet est nécessaire pour compter les atomes de silicium* », explique Roland Lehoucq. La tête nous en tourne. ■

Yves Meyer, mathématicien

Le prince des ondelettes

Le chercheur français a reçu le prix Abel pour ses travaux sur la théorie des ondelettes, utile dans de multiples champs, notamment la compression d'images numérisées.

« **L**A NUIT DERNIÈRE, J'AI ÉTÉ PRIS D'UNE INSOMNIE. Je n'ai pas fermé l'œil entre 2 heures et 4 heures. Je me disais qu'il fallait que je rende ce prix. C'est le travail collectif d'une bande d'amis qui s'amusaient ensemble... et cela donne l'impression que j'ai tout fait ! » Yves Meyer, regard bleu lumineux dans un visage bienveillant grignoté par une barbe poivre et sel, est encore perturbé par la prestigieuse récompense qui vient de lui être attribuée, dotée de 675 000 €. Le prix Abel est considéré comme l'équivalent du Nobel en mathématiques — qui n'existe pas —, couronnant les travaux remarquables de toute une carrière. En l'occurrence, l'élaboration de la théorie des ondelettes qui s'applique dans des champs très variés des mathématiques, depuis la compression d'images numérisées jusqu'au traitement des données sismiques utilisées par les compagnies pétrolières. En effet, nous baignons dans un monde d'informations qu'il faut décrypter : certaines nous parviennent sous forme d'ondes qui se superposent — comme la lumière des étoiles — et que l'on peut décomposer en utilisant une célèbre opération appelée « transformée de Fourier » (TF). Mais pour d'autres, qui nous arrivent sous forme de données numériques tel un flot de

BIO EXPRESS

1939 Naissance à Paris.

1957 Reçu à l'École normale supérieure (ENS).

1966 Thèse de doctorat à l'université de Strasbourg.

1970 Prix Salem.

2010 Prix Gauss pour les mathématiques appliquées.

2017 Prix Abel.

points de mesure, les TF ne sont pas adaptées. C'est donc de l'outil « ondelettes » qu'il faut user.

Les heures les plus glorieuses de l'élaboration de cette théorie se sont déroulées au Centre de physique théorique de Marseille, avec la participation de nombreux intervenants, tous des « pontes » de leur discipline : le géophysicien Jean Morlet ou le physicien franco-croate Alex Grossmann y croisent les mathématiciens Stéphane Jaffard, professeur à l'université de Paris-Est Créteil et Stéphane Mallat, professeur à l'École normale supérieure (ENS), ou encore la mathématicienne belgo-américaine Ingrid Daubechies, professeur à l'université de Princeton (États-Unis). « Mais c'est surtout grâce à Yves Meyer que cette technique est devenue une théorie universelle », souligne Pierre-Gilles Lemarié-Rieusset, aujourd'hui professeur à l'université d'Évry.

Sa vraie passion demeure la littérature

Pourtant, le nouveau lauréat du prix Abel n'a pas côtoyé les maths avant... ses 18 ans ! Élevé à Tunis où il a fréquenté le célèbre lycée Carnot, il prépare un baccalauréat série A, orienté vers les études littéraires, linguistiques et philosophiques, se délectant de latin et

de grec. Mais sa curiosité est insatiable : à l'âge de 15 ans, accompagné de son père, il assiste à une conférence de mathématiques donnée par un professeur venu de Paris — « nous disions alors venu du Nord » —, Jean-Pierre Kahane. « Je m'en souviens encore, cela me paraissait limpide ! », s'amuse aujourd'hui Yves Meyer. C'est le déclic : le jeune lycéen se découvre une intuition pour les mathématiques. Malgré un premier prix de grec, il se lance aussitôt dans cette discipline qu'il connaît à peine mais qu'il « ressent » dans tout son être. À 18 ans, il est reçu premier au concours de l'ENS à Paris, puis quelques années plus tard, premier à l'agrégation. Il choisit tout naturellement Jean-Pierre Kahane pour diriger sa thèse, à qui il rappelle son passage à Tunis une décennie plus tôt. Aujourd'hui, tous deux sont membres de l'Académie des sciences. « Je crois au destin, je suis profondément oriental », conclut Yves Meyer, espiègle.

Mais « ma vraie passion reste la littérature ! affirme celui qui est aujourd'hui professeur émérite à l'ENS Paris-Saclay. Elle apporte la capacité de nouer une relation à l'autre ». Privilégier l'humain, c'est sa véritable nature. D'abord avec ses nombreux étudiants « qui ont fait neuf dixièmes de ce que je suis. Je



BRUNO FERRY/PICTURE TANK

me mets à genoux devant mes élèves, ils m'ont donné bien plus que je leur ai apporté», a-t-il souligné lors de la cérémonie organisée en son honneur à l'Académie des sciences en mars. Des propos savourés par le panel d'anciens étudiants émus, qui avaient, toutes affaires cessantes, entrepris le trajet par-delà mers et montagnes pour être présents à ses côtés. Chacun souligne la chance extraordinaire d'avoir croisé la route d'Yves Meyer, qu'ils décrivent comme un être raffiné

dans sa pensée, son rapport au monde et sa manière d'enseigner les mathématiques, truffée de références artistiques et littéraires. « Il est à l'image d'un prince de la Renaissance, estime Marco Cannone, un autre de ses anciens étudiants, aujourd'hui professeur à l'université de Paris-Est Marne-la-Vallée. Heureusement que je l'ai rencontré à 25 ans, encore tout pétri de l'audace et de la candeur de cet âge. Aujourd'hui, je serais bien trop intimidé ! Je le considère comme un être

« Je le considère comme un être supérieur en raison de son humanité et de sa générosité, sa science et son humanisme »

Marco Cannone, professeur à l'université de Paris-Est-Marne-la-Vallée

supérieur en raison de son humanité et de sa générosité, sa science et son humanisme. » Ce professeur hors normes a en effet le don de cultiver la meilleure part de chacun de ses étudiants. « Il nous faisait nous sentir tous très intelligents et, même si nous étions ingénus de le croire, cela nous permettait d'avancer », se souvient Marco Cannone. Ainsi, partout où Yves Meyer est passé, du Prytanée national militaire de La Flèche (Sarthe), l'un des six lycées de la Défense, où il commence son enseignement, jusqu'aux universités de Paris-Dauphine et d'Orsay et à l'École polytechnique, il a « repoussé les murs » et contribué à accroître l'aura des lieux et des êtres.

Il livre une pensée mise à la portée de tous

Ce sont ses mathématiques qui trahissent le mieux sa stature « princière ». Car pour comprendre certaines démonstrations, comme la fameuse preuve du théorème de Fermat apportée après 350 ans de recherches par le Britannique Andrew Wiles en 1994, même les spécialistes peinent. Rien de tel dans les mathématiques d'Yves Meyer. Ses étudiants témoignent d'une clarté de pensée qui met les démonstrations les plus complexes à la portée du plus grand nombre. Ses cours sont d'ailleurs rédigés d'une fine écriture élégante... offrant à chacun la possibilité de les comprendre. « Tout devient si limpide que l'on se dit : c'était donc si simple ? Comment personne n'y avait pensé avant ? » note Marco Cannone. On dirait des pages dictées par le ciel ! » En réalité, le maître a déployé des trésors d'efforts avant de livrer sa pensée, pour se mettre à la portée de tous par simple générosité et souci d'autrui. Car Yves Meyer a une intime conviction : « Nous sommes sur Terre pour transmettre. » ■

Azar Khalatbari

[@azarkhalatbari](https://twitter.com/azarkhalatbari)

SEGMENTATION Opération marketing consistant à découper un marché en sous-parties homogènes appelées segments.

MACHINE LEARNING Algorithmes permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés explicitement.

BOTS Agents logiciels permettant, par exemple, d'automatiser les interactions sur les réseaux sociaux.

L'élection présidentielle sous influence numérique

Exploitation de données informatiques massives, recours aux réseaux sociaux... Des start-up ont mis au point de nouveaux outils permettant aux candidats de mieux cibler les électeurs.

LE NUMÉRIQUE, MEILLEUR ALLIÉ du candidat ? À examiner les campagnes des candidats à l'élection présidentielle, dont le résultat sera connu le 7 mai au soir, la réponse est sans conteste oui ! De Jean-Luc Mélenchon (La France insoumise) à Emmanuel Macron (En marche !) ou François Fillon (Les Républicains), tous ont tiré leur inspiration des outils et stratégies mis en place aux États-Unis, plus particulièrement par Barack Obama dont la campagne électorale de 2008 — qui l'avait conduit au pouvoir — est désormais un cas d'école. Et les Français ne sont pas les premiers à le copier. Donald Trump lui-même y a recouru pour gravir la marche suprême aux États-Unis, mêlant compilation de données et mobilisation des militants sur les réseaux sociaux. Fer de lance de ces techniques marketing bien rodées : la segmentation (*voir lexique*) au service du ciblage électoral. Il s'agit d'identifier les électeurs indécis afin de les cartographier et permettre ainsi, sur le terrain, un démarchage ciblé et prioritaire. Pour ce faire, les militants chargés du porte-à-porte disposent désormais d'applications sur smartphone détaillant cette carte électorale. C'est l'approche déployée par les start-up parisiennes Liegey-Muller-Pons



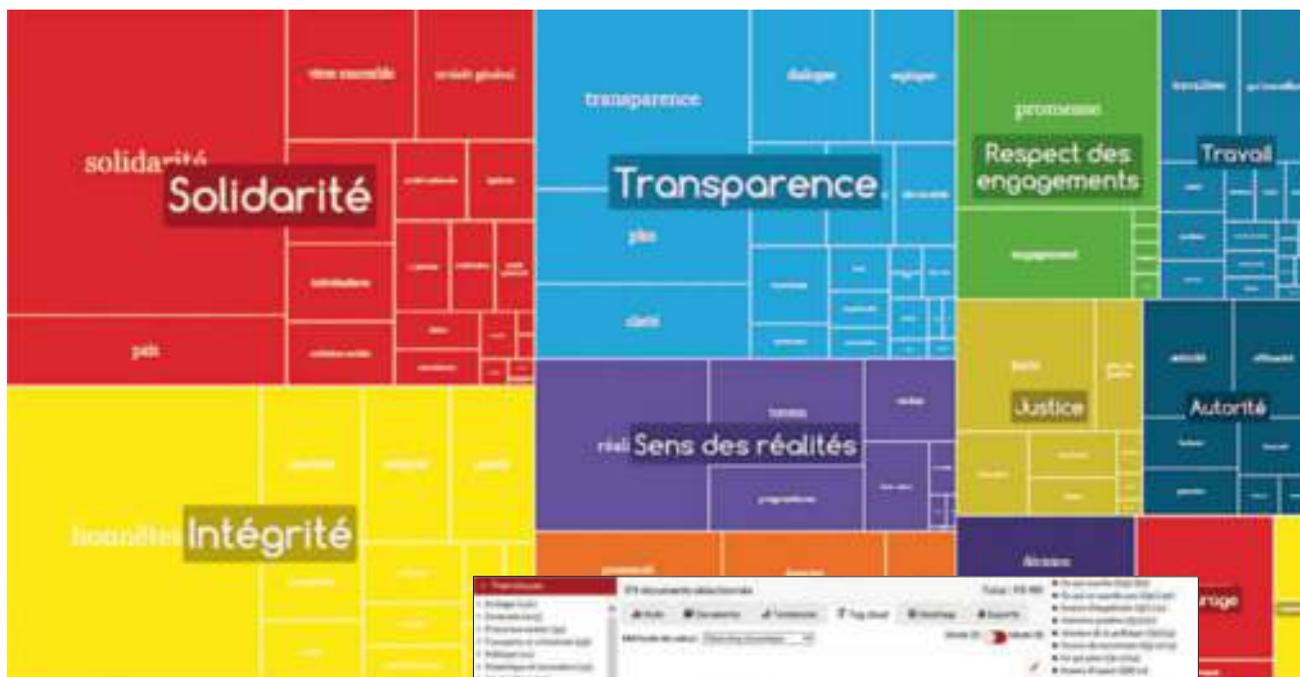
Les militants chargés du porte-à-porte peuvent, grâce à une appli sur smartphone, disposer d'une cartographie des électeurs indécis. Cela permet de les démarcher en priorité.

(LMP) et Federavox, choisies par l'équipe d'Emmanuel Macron pour la première — après celle de François Hollande en 2012 — et de François Fillon pour la seconde. « Notre objectif est "l'activation du vote" : pousser l'électeur indécis qui aurait voté blanc ou nul à se décider en faveur du candidat souhaité »,

explique Gatien Bon, cofondateur de Federavox. Les données démographiques (Insee) et l'historique électoral des bureaux de vote sont ainsi passés à la moulinette algorithmique des big data (données massives), permettant d'évaluer le « potentiel électoral de chaque bureau de vote, c'est-à-dire sa marge de progression vers le candidat souhaité. Nous identifions ainsi les bureaux où les militants chercheront en priorité à convaincre les électeurs. Ils se divisent en trois segments qui excluent les circonscriptions déjà acquises ou perdues d'avance », poursuit Gatien Bon. Et le maillage territorial est fin : « Environ 60 000 blocs en France pour notre produit, en combinant le découpage Insee et les circonscriptions électorales », ajoute Arthur Muller, cofondateur de LMP. De quoi arpenter le terrain en toute connaissance de cause.

De puissants moteurs d'analyse sémantique

Si Federavox a choisi de traiter en interne les données recueillies pour Les Républicains, En marche ! a externalisé leur traitement auprès du spécialiste des big data Proxem. L'enjeu : établir un diagnostic des attentes des Français à partir de puissants moteurs d'analyse sémantique dopés au machine learning (*voir lexique*). « Nous avons ainsi traité



PHOTOS : PROXEM

▲ ►
Le logiciel du spécialiste des big data Proxem est utilisé par l'équipe d'En marche! pour son diagnostic électoral (capture d'écran ci-contre). L'analyse des verbatim recueillis par les militants permet ensuite de hiérarchiser les valeurs qui comptent pour les Français (ci-dessus).



pour eux l'intégralité des paroles recueillies sur le terrain par les militants », explique François-Régis Chaumartin, P-DG de Proxem. Attentes, inquiétudes, espoirs... rien n'échappe ainsi au logiciel, qui traduit les champs lexicaux en regroupements bien définis, allant même jusqu'à identifier

des valeurs comme « solidarité », « transparence » ou « intégrité ». « Le marketing réintègre le politique, observe François-Régis Chaumartin. Est-ce forcément une mauvaise chose, puisque ces techniques existent et sont utilisées ailleurs? D'autant plus que la segmentation politique a ses limites : un pro-

gramme ne peut exister en plusieurs versions pour chaque catégorie de public, il est forcément unique. »

La loi Informatique et libertés limite cependant le ciblage électoral. C'est ainsi que Knockin, application lancée par des sympathisants de Nicolas Sarkozy en septembre 2016, a été visée par une enquête de la Cnil afin de s'assurer que les personnes géolocalisées par l'appli avaient bien consenti à partager leurs informations personnelles. Une dérive qu'Arthur Muller et Gatién Bon affirment de concert avoir évitée pour leurs outils respectifs : « Les données nous permettant de cibler l'électorat sont agrégées et "anonymisées" à l'échelle du territoire », assurent-ils. « En Europe, Royaume-Uni excepté, la législa-

SPONSORING

Les limites du ciblage publicitaire

Les réseaux sociaux permettent d'orienter très facilement une publicité électorale en fonction du public ciblé, opération notamment menée par la société Cambridge Analytica lors de la campagne de Donald Trump aux États-Unis. Le principe : afficher des messages sponsorisés différents en fonction du profil social de l'utilisateur. « Mais on a trop rapidement attribué sa victoire à ce ciblage, estime Arthur Muller, cofondateur de la start-up LMP. En réalité, ces publicités servent surtout à augmenter le niveau d'engagement, c'est-à-dire la quantité d'interactions virtuelles avec les sympathisants, pour déclencher un don financier. Elles ne changent pas radicalement l'intention de vote. » Autre limite, légale celle-là : en France, les candidats n'ont pas le droit d'acheter d'espaces publicitaires durant la campagne... y compris sur les réseaux sociaux.

OPEN DATA

Cartographier l'opinion sur les réseaux sociaux

Avec la mise en accès libre des données issues des réseaux sociaux, il est désormais possible de cartographier comment les opinions s'y propagent. Une tâche titanesque à laquelle s'est attelé Nicolas Vanderbiest, spécialiste des phénomènes d'influence, doctorant à l'Université catholique de Louvain (Belgique) : « Pour la présidentielle française, il s'agirait d'au moins 10 millions de données à traiter. » Le chercheur représente sous forme de graphes les campagnes d'influence menées sur Twitter par les politiques (voir illustration ci-contre). Quel rôle y jouent les « bots », ces logiciels automatisant l'envoi de messages ? « Ils ne représentent que 5 % des tweets et sont facilement identifiables, soutient Nicolas Vanderbiest. En revanche, le recours au clic rémunéré [le fait de payer un internaute pour qu'il aime ou partage des contenus sur les réseaux sociaux] — souvent



Les 1000 comptes Twitter les plus influents autour du « Penelope gate » entre janvier et le 15 février ont été représentés sous forme de graphe par le doctorant Nicolas Venderbiest.

délocalisé en Chine — est quasi indétectable et peut influencer artificiellement des comptes qui seront considérés comme les plus influents. » « On assiste de plus en plus à une « balkanisation » du Web, observe Franck Ghitalla, créateur du logiciel de visualisation de graphes Gephi. Les réseaux sociaux sont des espaces d'affirmation communautaires propres à exacerber les opinions : ce qui est plus tranché sera d'autant plus partagé et mis en avant par les algorithmes de classement. » En 2011, avec la société française Linkfluence, Franck Ghitalla a ainsi estimé le poids de la « fachosphère » (réseau d'opinion d'extrême droite) sur Twitter et Facebook, à « environ 30 % des messages ». À l'heure où l'on décrie les « bulles de filtrage » qui biaisent la perception des internautes en personnalisant à outrance les contenus proposés, la cartographie du Web social permet ainsi de revenir à un semblant de vue aérienne.

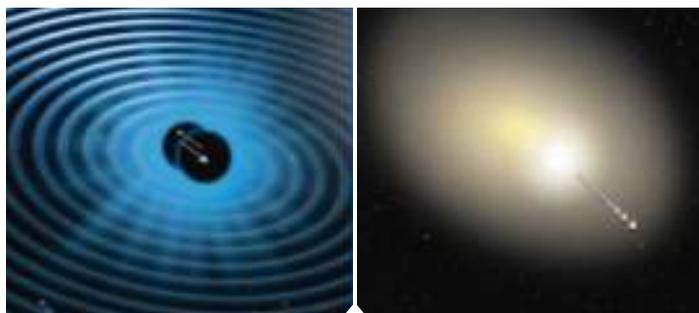
► *tion interdit en effet de remonter à l'échelle individuelle », rappelle d'ailleurs Arthur Muller. De quoi limiter en théorie, pour l'électeur, le risque de se laisser mener par le bout des données.*

Le numérique permet aussi aux candidats de communiquer directement avec l'ensemble de leurs militants, à travers des plateformes venues des États-Unis comme NationBuilder, utilisée en France par exemple par Jean-Luc Mélenchon. « Aujourd'hui, la vaste majorité des candidats a recours à ces produits assimilables à des outils de gestion d'une base de clients », observent les fondateurs de LMP et de Federavox. Ils permettent

aux sympathisants d'entrer en contact avec l'équipe de campagne ou les militants, et de commander par exemple des kits de propagande : autocollants, affiches... Les réseaux sociaux comme Twitter ou Facebook ont aussi un rôle à jouer pour galvaniser les militants et orchestrer les soutiens. Mais c'est aussi une « zone grise » des campagnes d'influence. Certaines cellules de militants, utilisant des outils de conversation privés et anonymes comme l'application Discord, se concertent pour lancer des actions de dénigrement d'un rival sur les réseaux sociaux. Une technique de propagande connue sous le nom d'*astrotur-*

ring: des militants d'extrême droite sont par exemple responsables de l'opération #demasquonsMacron visant à discréditer le candidat sur Twitter. Sans compter le risque d'influence étrangère également à travers les réseaux sociaux, comme cela a été évoqué aux États-Unis, le FBI ayant ouvert une enquête pour vérifier le rôle de la Russie dans la campagne de Donald Trump... « À l'automne 2016, nous avons sensibilisé les députés aux cyber-risques que pouvait courir leur parti », a ainsi déclaré un porte-parole de l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (Anssi). ■ Sarah Sermondadaz

 @datisdaz



NASA, ESA & A. FELD (STSCU)

Le trou noir formé lors de la fusion de deux galaxies a été propulsé dans l'espace par les ondes gravitationnelles asymétriques que la collision a engendrées.

Un trou noir se promène, solitaire, dans l'espace

Il a été expulsé de sa galaxie d'origine par une gigantesque déflagration d'énergie, comme si 100 millions d'étoiles avaient explosé.

UN TROU NOIR QUI ERRE SEUL DANS L'ESPACE ! C'est l'étonnante observation qui vient d'être faite grâce au télescope spatial Hubble de la Nasa. Ce trou noir supermassif retrouvé en dehors de sa galaxie a été qualifié de « flot-tant », en référence aux quelques dizaines de « planètes flottantes » repérées ces dernières années et qui ne sont plus liées gravitationnellement à leur étoile. Mais les astronomes ne s'attendaient pas à débusquer dans pareille situation un trou noir aussi massif : l'équivalent d'un milliard de masses solaires. Le nom officiel de ce monstre errant est quasar 3C 186, les quasars désignant les trous noirs supermassifs très actifs logés au cœur des galaxies lointaines. Celui-ci, situé à 8 milliards d'années-lumière, révèle donc un phénomène qui a eu lieu lorsque l'Univers était âgé d'environ 6 milliards d'années (contre 13,8 milliards aujourd'hui). Mais comment s'est-il retrouvé à flotter ainsi ? Pour le comprendre,

l'équipe de l'université Johns Hopkins (États-Unis) a tenté de calculer l'énergie nécessaire pour déloger pareil objet céleste de sa galaxie d'origine. Il apparaît que celle-ci serait équivalente à l'explosion de 100 millions d'étoiles !

Chassé dans la direction opposée à la collision

Une telle énergie ne peut être apportée que par une « onde gravitationnelle » émise lors du rapprochement de deux astres très massifs avant leur fusion. Selon ce scénario, deux galaxies (dont l'une était l'hôte de 3C 186) se seraient percutées. Mais les deux trous noirs en leur sein n'ayant sans doute ni la même masse, ni la même vitesse de rotation, les ondes gravitationnelles formées n'auraient pas été strictement symétriques. Résultat : elles auraient propulsé le trou noir résultant de la fusion dans la direction opposée à la collision... l'éloignant ainsi peu à peu de sa galaxie. ■ **Azar Khalatbari**



Pascal Bernard, Belin, 465 p., 21 €

Pourquoi la terre tremble

Pourra-on un jour prédire les séismes ? C'est à cette question fondamentale que tente de répondre le sismologue Pascal Bernard en retraçant, avec beaucoup de pédagogie, les causes des tremblements de terre. Elles sont liées au fonctionnement intime de la planète, dont la compréhension ne remonte qu'à la seconde moitié du xx^e siècle. Depuis lors, les géophysiciens ont guetté le moindre signal précurseur pour tenter de prévoir les secousses sismiques, tout en soulignant que les colères de la Terre traduisent son activité interne, à l'origine aussi de son champ magnétique qui préserve la vie... **A. Kh.**



Collectif, Belin, 335 p., 22 €

La Science à contre-pied

Surprendre, montrer que les découvertes scientifiques s'opposent parfois à nos intuitions les plus solidement ancrées... Tel est le fil rouge de cet ouvrage collectif du « Café des sciences », association spécialisée dans la vulgarisation scientifique qui a produit quelque 10 000 billets de blog et podcasts ainsi que plus de 4000 vidéos depuis une dizaine d'années ! Vous apprendrez ainsi, dans ce livre, que la musique « metal » peut avoir des effets apaisants, que certains cancers peuvent se transmettre par morsure... ou pourquoi l'importance du nombre pi est largement surestimée ! ■ **Franck Daninos**



Aurélien Barrau, Dunod, 152 p., 11,90 €

Au cœur des trous noirs

Le cosmologiste Aurélien Barrau utilise ici un genre littéraire que Galilée — dans son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* — a magnifié : le jeu de questions-réponses entre Simplicio, le naïf, et Salviatti, le savant. Ici, il s'agit d'Hécate et d'Héliogabale qui devisent des trous noirs et abordent dans un langage simple et limpide tous les aspects de ces astres merveilleux et étranges. Un texte frais et léger qui se lit d'une traite, agrémenté des illustrations poétiques de Lison Bernet. Une réussite ! ■ **A. Kh.**



MATTHEWCARRIGAN

« Il y a dix millions d'années, une mutation apparue chez l'ancêtre de l'homme lui a permis de métaboliser l'alcool éthylique 40 fois plus vite »

Matthew Carrigan, généticien, Santa Fe College, Gainesville, Floride, États-Unis.

ASIA/LEEMAGE

ivre, des arbres ou s'assoupir dans un environnement où rôdaient les prédateurs leur aurait été fatal ». Les animaux tiennent en effet plus ou moins bien l'alcool : ainsi, les rouges-gorges tombent vite de leur perchoir alors que les musaraignes d'Asie (*Ptilocercus lowii*) peuvent « siffler » toute la nuit du nectar de palme à 3,8 % d'alcool sans montrer le moindre signe d'ébriété.

Ces travaux confortent l'« hypothèse des singes ivres » (2004) de Robert Dudley, selon laquelle notre espèce serait génétiquement prédisposée à être attirée par l'alcool et ses abus. Selon le biologiste californien, « nos ancêtres auraient notamment recherché très tôt ses effets sur l'humeur », ce qui aurait favorisé leur caractère aventureux. Mais, sans les abeilles, les *Homo* auraient sans

▲ **La corne** que tient à la main la célèbre vénus de Laussel (Dordogne), sculptée dans la pierre il y a 25 000 ans, serait une corne à boire. Ce qui ferait de ce bas-relief la plus ancienne scène de libation connue.

doute dû se contenter de marmelades de fruits pourrissants comme source unique et régulière d'éthanol ! Celles-ci leur ont en effet fourni le premier breuvage alcoolisé au monde, entièrement naturel, selon Roger Morse, professeur à l'université Cornell (États-Unis). Cet apiculteur, aujourd'hui décédé, aimait à imaginer un tronc empli de miel et de cire tombé au sol puis détrempe par les pluies. Une fois le miel dilué à 70 % d'eau, les levures auraient lancé la fermentation, produisant un hydromel. « *Et un hominidé, par l'odeur alléché, aurait pu y goûter et partager sa découverte avec les siens, ouvrant la voie aux premières libations* », recherche Patrick McGovern, professeur d'archéologie biomoléculaire à l'université de Pennsylvanie (États-Unis) et spécialiste réputé des breuvages anciens, qu'il se fait une joie de reconstituer (*lire S. et A. n° 830, avril 2016*).

La rencontre entre l'homme et la vigne (*Vitis vinifera*) intervient ►

CIVILISATION

De la grappe au flacon

De la cueillette de raisin dans toute l'Europe, il y a 500 000 ans, aux premières bouteilles de vin en verre, l'homme n'a cessé de cultiver son goût pour les boissons enivrantes.

- 500 000 ans
Cueillette de raisin sauvage dans toute l'Europe. Graines sur le site de Terra Amata, Nice.



8000 à 3000 avant J.-C.
Domestication de vignes en Anatolie.

8000 avant J.-C.
Gobelets à libations. Nevalı Cori, (Turquie).



6000 avant J.-C.
Graines de vignes cultivées, Shulaveri Gora (Géorgie).

23000 ans avant J.-C.
Première représentation de libation. Vénus à la Corne de Laussel (Dordogne).



7000 avant J.-C.
Premières traces de breuvage à fermentation contrôlée. Poteries de Jiahu (Chine).



6000 avant J.-C.
Premières bières. Représentation de consommation de bière à la paille sur le sceau d'argile de Tepe Gawra (Irak).

quant à elle plus tard, en Eurasie, il y a 2 millions d'années, lorsque *Homo erectus* quitte son berceau africain et découvre cette liane grimpante. Il en goûte les fruits du côté d'Israël et de la Palestine, de l'Anatolie, du Caucase et de l'Iran. Puis en cueille les grappes dans toute l'Europe il y a 500 000 ans, comme le montre la découverte de pépins sur des sites archéologiques français notamment. « *En revanche, il est difficile de savoir quand nos ancêtres ont commencé à conserver ou fabriquer des breuvages enivrants* », souligne Patrick McGovern. Les outres de peau, les bols de bois ou les paniers tressés se conservent mal... Et aucune pierre creusée n'a livré de traces chimiques d'alcool. Une chose est sûre, les hommes du paléolithique avaient peu de contrôle sur le processus de fermentation, leurs récipients n'étant pas hermétiques. Néanmoins, la purée ou mixture finale pourrait avoir été intéressante et aromatique. « *Une fois connus les*

délices de ce breuvage, des bandes de nomades sont certainement retournées année après année vers les vignes ! imagine Patrick McGovern. Le calendrier d'élaboration était limité à l'automne. Il fallait boire rapidement le nectar, avant qu'il ne tourne au vinaigre. »

Un facteur de vie sociale et une source de nutriments

La domestication de la vigne serait, elle, survenue entre 10 000 et 5000 avant J.-C. « *Elle a probablement eu lieu au sud-est de l'Anatolie, entre le Tigre et l'Euphrate, dans le Croissant fertile, considéré comme le berceau de la civilisation* », précise dans une étude le généticien suisse José Vouillamoz. C'est dans cette région que furent également domestiquées, entre

-12 000 et -10 000 ans, les huit plantes fondatrices de l'agriculture, dont l'amidonnié (ancêtre du blé), le petit épeautre, l'orge, le pois chiche et le lin. « *Si les hommes ont domestiqué les céréales, c'est peut-être d'abord pour faire une soupe épaisse de bière nutritive et euphorisante, plus facile à fabriquer que du pain !* », osent Patrick McGovern et Robert Dudley. À les en croire, ce serait pour trinquer ensemble que les hommes se seraient sédentarisés puis organisés en société. Il faut toutefois attendre l'invention de la poterie, et plus précisément 7000 ans avant J.-C., pour trouver « *la trace du premier breuvage à fermentation contrôlée* », dans la Chine du néolithique. Les vases de Jiahu, un site du Henan, ont révélé en 2003



« Si les hommes ont domestiqué les céréales c'est peut-être d'abord pour faire une soupe de bière »

Patrick McGovern, professeur d'archéologie biomoléculaire à l'université de Pennsylvanie, États-Unis.



3100 / 2700 avant J.-C.

Importation et domestication de vignes en Égypte. Bas-relief plus tardif, tombe du prince Khaemouaset (Égypte).

1750 avant J.-C.

Plus ancien breuvage fermenté d'Europe du Nord. Gobelet d'Ashgrove Farms, Fife (Écosse).

1500 avant J.-C.

Mélange d'hydromel, bière et fruits. Offrande funéraire d'Egtved (Danemark).

4000 avant J.-C.

Pressoir rudimentaire. Site d'Areni (Arménie).

IV^e siècle avant J.-C.

Premières bouteilles de vin en verre. Bouteille romaine, tombe allemande.

5400 avant J.-C.

Premier vin résiné (la résine de térébinthe empêche le vin d'aigrir). Jarre de Hajji Firuz Tepe (Iran), ici examinée par l'archéologue Patrick McGovern.



des résidus de raisins sauvages, de baies d'aubépine, de riz et de miel. « Une sorte de grog au parfum de chrysanthème », évoque Patrick McGovern. Et, pour transformer l'amidon en sucre et déclencher la fermentation, les humains auraient trouvé l'astuce : mastiquer les céréales, une enzyme spécifique étant présente dans la salive. Quant aux tout premiers crus, ils ont été identifiés dans des céramiques d'Iran datées de 5400 ans avant J.-C., trahis par la présence de résine de térébinthe, un agent conservateur.

Au fil des siècles, l'alcool aurait ainsi joué un rôle majeur, allant peut-être jusqu'à participer à l'invention de l'écriture et la fondation des villes ! Sur le site de Tell Bazi, au nord de la Syrie, vieux de 3400 ans, chaque maison possédait en effet sa « microbrasserie » : de gigantesques jarres d'argile (200 litres) ont conservé la trace d'orge et d'oxalate, un dépôt chimique produit par la céréale en présence d'eau. Pour l'archéologue allemande Adel-

heid Otto, de l'université Ludwig-Maximilians de Munich, « les nutriments essentiels, notamment les vitamines, fournis par la fermentation des céréales ont permis aux Mésopotamiens d'avoir une croissance physique correcte alors que leur régime alimentaire à base de pain et de gruau était déficient ».

Un moyen de communiquer avec les dieux

Selon l'archéologue Elisa Guerra Doce, spécialiste de l'ébriété dans les périodes préhistoriques à l'université de Valladolid (Espagne), les boissons alcoolisées n'ont pas eu qu'une fonction hédoniste. « Les plantes psychoactives et les boissons alcoolisées avaient aussi un rôle sacré. La plupart des traces

POUR EN SAVOIR PLUS

► Patrick McGovern, *Uncorking the Past. The Quest for Wine, Beer and Other Alcoholic Beverages*, éditions de l'université de Californie, 2009, non traduit en français.

matérielles proviennent de tombes de membres de l'élite et de sites cérémoniels, ce qui indique que la consommation de produits psychoactifs pouvait être socialement contrôlée en Eurasie préhistorique. » Ce que reconnaît Patrick McGovern : « Communiquer avec les dieux ou les ancêtres implique presque toujours l'usage d'une boisson alcoolisée, que ce soit le vin de l'eucharistie, la bière offerte à la déesse sumérienne Ninkasi, le "grog" viking ou l'élixir des tribus amazoniennes ou africaines. » Elles ont aussi servi à traiter la douleur et les infections. « Ce lubrifiant social, ce stimulant qui altère la pensée » comme le qualifie le spécialiste aurait aussi et surtout participé à la création, à la musique et aux arts. Revers de la médaille : la soif de l'homme pour l'alcool — avec son cortège d'excès et de maladies — a été largement aussi forte que l'attrait pour ses bienfaits. « Si l'on ne se lasse pas de raconter l'histoire de ces breuvages, conclut Patrick McGovern, mieux vaut les savourer avec modération. » Santé ! ■

@RachelFleaux

Le premier visage de Pompéi

Des chercheurs sont parvenus à reconstituer les traits d'un jeune homme victime de l'éruption du Vésuve en 79. Un travail pionnier pour mieux comprendre le sort des habitants disparus dans la catastrophe.



Les traits de « Calco 8 », âgé d'une trentaine d'années, ont été reconstitués en 3D à partir de relevés CT-Scan des structures anatomiques de son squelette conservé dans un moulage.

PAUPIÈRES CLOSES, CRISPÉES dans un ultime rictus de souffrance... Le visage encadré de boucles apparaît sur l'écran informatique de Pilar Mas Hurtuna, spécialiste des reconstitutions faciales au Laboratoire d'anthropologie de l'université de Valence (Espagne). Il s'agit de celui d'un jeune homme d'une trentaine d'années mort enseveli lors de l'éruption du Vésuve en 79 de notre ère. Pour la première fois, les chercheurs, émus, sont parvenus à restituer les traits de l'une des nombreuses victimes de Pompéi près de 2000 ans après la catastrophe. « Nous avons voulu

étudier ces morts pour les faire parler, précise Llorenç Alapont Martin, anthropologue à l'Université européenne de Valence (Espagne) et directeur du projet Descubriendo Pompeya Necropolis Porta Nola. Il nous importait de vérifier s'il était encore possible d'apporter des informations inédites et d'en savoir un peu plus sur l'identité des victimes. En effet, si nous connaissons assez bien le déroulement de l'éruption, il n'en va pas de même sur la façon dont elle a directement affecté les populations. » Des recherches menées comme une enquête policière, en collaboration avec Rosa Albiach

12 000
personnes vivaient à Pompéi (estimation) parmi lesquels de nombreux esclaves et affranchis.

1147
corps retrouvés depuis la découverte du site de Pompéi au XVIII^e siècle.

103
conservés sous forme de moulages.

Descal, du musée de Préhistoire de Valence (Espagne), et Stephen Kay, de la British School de Rome (Italie).

Pour ce faire, les archéologues se sont intéressés aux 103 moulages de plâtre réalisés dès le XIX^e siècle à partir des empreintes laissées par les corps, les célèbres « silhouettes » figées dans leurs derniers moments, visibles aujourd'hui sur le site de Pompéi et au musée de Naples. Et plus particulièrement à celles d'un groupe de 12 personnes exhumées dans les années 1970 du côté de la porte de Nola, l'une des issues de la ville antique qui fut en quelques heures entièrement recouverte de cendres. L'équipe les a analysées au scanner 3D à tomographie axiale (CT-Scan) et les résultats ont dépassé ses espérances. « Nous avons découvert que ces moulages contenaient encore des squelettes complets et des crânes que nous pensions détruits par la cha-



LLORENÇ ALAPONT MARTIN

« Il nous importait de vérifier s'il était possible d'en savoir un peu plus sur l'identité des victimes »

Llorenç Alapont Martin, anthropologue à l'Université européenne de Valence, Espagne



Ces 12 corps ont été reportés en 3D sur un dessin dans la position exacte dans laquelle ils ont été mis au jour, près de la porte de Nola, dans les années 1970, dont celui du jeune légionnaire (entouré en rouge).

leur des nuées ardentes ! s'enthousiasme Llorenç Alapont Martin. C'était extraordinaire. Nous pouvions connaître leur état sanitaire [lire l'encadré p. 58] et revivre les derniers instants de ces hommes et femmes qui ont tenté — en vain — de s'abriter au pied d'une muraille. » Ainsi, le plâtre de l'un d'eux, sans doute âgé, contenait encore la canne de bois sur laquelle il s'appuyait ; un autre gardait l'empreinte des cordelettes du sac dans lequel il emportait à la hâte ses affaires les plus précieuses.

Des nuées ardentes ravagent tout sur leur passage

Rappelons les faits. Nous sommes le 9^e jour avant les calendes de novembre — soit le 24 octobre 79 et non le 24 août comme la tradition le rapporte —, vers 13 heures. La petite cité de Campanie prise de l'aristocratie romaine se retrouve peu à peu asphyxiée et submergée par des gaz et des

débris issus de l'énorme nuage en forme de pin parasol décrit par Pline le Jeune, témoin de l'éruption du Vésuve. « Certains habitants meurent sous ces averses

MOULAGE

Une empreinte fidèle

La technique de moulage en plâtre mise au point au XIX^e siècle par l'archéologue italien Giuseppe Fiorelli a permis la conservation des empreintes et ossements des corps humains et animaux retrouvés à Pompéi. La couche de cendres, en se solidifiant, ayant épousé les volumes des victimes, l'injection d'un mélange de plâtre et d'eau dans les espaces laissés vides par la décomposition des matières organiques (voir gravure) en a préservé l'empreinte.



TWITTER.COM-ROMA.AETERNA

de pierres ponce (lapilli). D'autres se retrouvent prisonniers de leurs maisons du fait des amoncellements devant les portes et fenêtres, précise Llorenç Alapont Martin. Mais quelques-uns ont réussi à survivre jusqu'au lendemain. » Au moins jusqu'à 14 h, avant que l'avalanche de produits solides et gazeux qui dévale alors les pentes du volcan ne leur soit fatale. Des « nuées ardentes » — une masse fluide et brûlante de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur — qui ravagent tout sur leur passage. C'est sans doute à ce moment-là que les 12 personnes qui avaient réussi à atteindre la porte de Nola ont été foudroyées.

Pendant plusieurs jours, et grâce à l'aide de Massimo Osanna, directeur de la Surintendance de Pompéi, et de Stefano Vanacore, directeur de l'Office de restauration de la cité, les chercheurs radiographient également tous les moulages du groupe mar-

► tyr. Le corps particulièrement bien préservé d'un jeune homme attire leur attention. Ils décident alors de reconstruire son visage en 3D à partir des relevés CT-Scan des structures anatomiques. « *La récupération de toutes les données numériques a été assez longue* », précise Pilar Mas Hurtuna.

Des techniques utilisées par la médecine légale

Pendant des mois, la spécialiste s'attache à reconstruire les parties manquantes du crâne en jouant sur la symétrie anatomique, en particulier pour le nez dont une bonne moitié avait disparu. « *Pour réaliser ces reconstitutions faciales, nous avons utilisé toutes les techniques de la médecine légale, comme la mise en place des masses musculaires et tissus adipeux sur les structures osseuses* », ajoute la spécialiste. Une restitution que les scientifiques espagnols ont souhaitée « neutre ». En effet, contrairement à d'autres expériences menées sur des crânes anciens, l'experte n'a pas donné libre cours à son imagination en



LORENÇ ALLAPONT MARTIN

Les examens au scanner des moulages ont permis de révéler la présence de squelettes à l'intérieur.

colorant les cheveux, les yeux, ou la peau.

Qui pouvait être ce jeune homme emporté dans la fleur de l'âge ? « *Un poignard (puggio) avait été retrouvé près de son corps au moment de l'exhumation*, explique Llorenç

Alapont Martin. *Il s'agit d'une arme caractéristique des soldats romains.* »

Une garnison était effectivement stationnée à Pompéi, comme en attestent les tombeaux de gardes prétoriens, une unité d'élite, qu'on y a retrouvés.

Quant à l'origine géographique du jeune homme, « *il venait sans doute du sud de l'Italie ou du nord de l'Afrique comme semblent l'évoquer ses traits* », poursuit l'expert. Une hypothèse confirmée par les analyses isotopiques réalisées sur ses os : la quantité de strontium retrouvée diffère en effet d'une région à l'autre, révélant l'environnement dans lequel le sujet a évolué.

D'autres visages sont en cours de reconstitution à Valence. Avec — et ce n'est pas le moindre des paradoxes —, des « résurrections » virtuelles d'hommes et de femmes dont les corps ont été préservés grâce à une catastrophe volcanique alors que les Romains pratiquaient la crémation... et qu'aucun de ces corps n'aurait jamais dû parvenir jusqu'à nous ! ■

Bernadette Arnaud

[@NarudaaArnaud](#)

ÉTAT SANITAIRE

Un régime alimentaire riche en fruits et en légumes

« *Les analyse-s CT scan effectuées sur les squelettes retrouvés à Pompéi ont révélé des états dentaires parfaits* », explique Llorenç Alapont Martin, anthropologue à l'Université européenne de Valence (Espagne). Ce qui a permis aux scientifiques de déduire que les habitants de la petite cité de Campanie avaient un régime alimentaire riche en fruits et en légumes, avec peu de glucides, et

des apports élevés en fluor. Les modélisations 3D des structures anatomiques ont en revanche fait apparaître les traces de nombreuses fractures du crâne, dues sans doute aux effondrements de bâtiments ou aux chutes d'arbres lors de la catastrophe du 24 octobre 79. Ces analyses, toujours en cours, sont réalisées sous l'égide de la Surintendance de Pompéi.



SOPRINTENDENZA POMPEI

Les habitants de Pompéi avaient des dents saines (ici analyse tomodensitométrie).

Des gènes de l'homme de Denisova chez les Inuits

Hérités de ce représentant disparu du genre *Homo*, ils permettent à des populations de l'Arctique de supporter les grands froids.



GONZALO AZUMENDI/LAIF-REA

Les Inuits (ici au Groenland) possèdent une variante du chromosome 1.

B IEN QUE DISPARUS il y a plus de 30 000 ans, l'homme de Neandertal et plus encore celui de Denisova — un autre représentant du genre *Homo* — ont légué de précieux gènes à des populations modernes, révèle une équipe internationale de généticiens. En particulier aux Inuits de l'Arctique et, plus généralement, à toutes les populations amérindiennes arrivées sur le continent américain par le détroit de Bering. Toutes conserveraient en effet dans leur génome une trace de croisement avec les représentants de ces souches humaines plus anciennes qui vivaient en Sibérie, trace qui leur permet aujourd'hui d'affronter et de supporter les rigueurs du Grand Nord.

Les chercheurs dirigés par Rasmus Nielsen, de l'université de Berkeley (États-Unis) ont décelé que les Inuits possèdent une variante très particulière du chromosome 1, portant deux gènes (TBX15 et WAR2). Le gène TBX15 joue un rôle dans le développement du corps et notamment dans celui du tissu graisseux

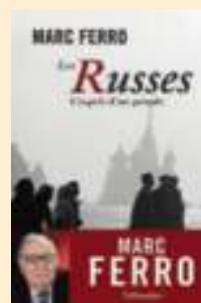
brun, utilisé pour produire de la chaleur en cas de froid. Plus on remonte vers le Nord, plus cette variante génomique apparaît fréquente parmi les populations asiatiques, alors qu'elle est absente en Afrique, rare en Europe et peu répandue en Océanie.

Au nord-est de la Sibérie et au pied de l'Himalaya

Les chercheurs ont établi que cette variante était proche de celle portée par les hommes de Neandertal et plus encore de celle des hommes de Denisova, qui vivaient en Asie centrale il y a plus de 30 000 ans et étaient adaptés aux climats froids.

Une forme très bien conservée de la variante dénisovienne a même été retrouvée par les chercheurs chez deux ethnies vivant encore dans le nord-est de la Sibérie, les Iakoutes et les Évènes, ainsi que chez les Naxi, établis dans le sud de la Chine au pied de l'Himalaya, tandis que la forme des Inuits se retrouve chez les Amérindiens. ■

Pierre Kaldy



Marc Ferro, Tallandier, 222 p., 19,90 €

Les Russes, l'esprit d'un peuple

Que savons-nous vraiment des habitants de la Russie ? Pour répondre, l'historien Marc Ferro revient sur les événements qui se sont déroulés ces dernières décennies dans cet immense pays. Avec brio, il mêle souvenirs personnels et grande histoire pour mieux nous faire découvrir l'esprit du peuple russe. Il est en effet

l'un des rares chercheurs à s'être rendu en URSS dès le début des années 1960, quand Nikita Khrouchtchev déclarait : « *Les historiens sont des gens dangereux, il faut les mettre sous surveillance.* » ■ **Bernadette Arnaud**



Marie-Ève Sénuit, Éditions du Trésor, 188 p., 17 €

Une femme à la mer

Voici un livre que l'on ne quitte plus tant les aventures relatées, réelles, sont extraordinaires. Toutes mettent en scène des femmes naufragées : on suit ainsi avec stupeur le naufrage du navire anglais *Amphitrite*, le 31 août 1833, au large de Boulogne-sur-Mer, au cours duquel 102 prisonnières

trouvèrent la mort sous les yeux des Boulonnais massés sur la plage. Partant à la recherche du *Grosvenor*, échoué sur les côtes africaines au XVIII^e siècle, on croise la route de trois reines blanches rescapées de précédents naufrages... ■ **Carole Chatelain**



Mari Yamazaki, Tori Miki, Casterman, 192 p., 8,45 €

BD Pline, le premier des naturalistes

BD
Considéré comme l'un des plus grands naturalistes de l'histoire, Gaius Plinius Secundus est le héros d'un manga retraçant le parcours passionné de cet érudit hors du commun. Que sa curiosité perde, puisqu'il périra en août

79 près du Vésuve, alors qu'il évaluait l'ampleur de la catastrophe. Les auteurs ont réalisé scénario et dessins à quatre mains et nous plongent dans ce premier siècle antique grâce à des paysages impressionnants et un soin minutieux apporté à la représentation de l'architecture de l'époque. ■ **Hervé Ratel**

La forêt française étend son emprise

La surface forestière a presque doublé en un siècle. Mais alors que notre stock de bois explose, l'Hexagone en importe et la filière est déficitaire. Explications d'un paradoxe.

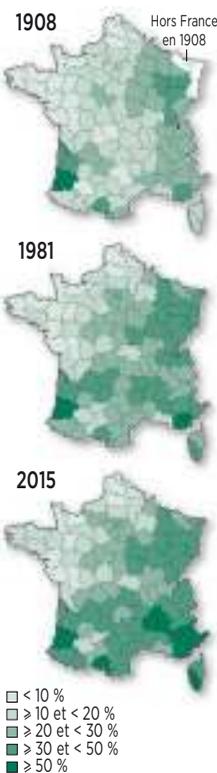
Par Loïc Chauveau

VINCENT DÉFONTAINE PLANTE UN PIEU dans l'humus quelque part au cœur de la forêt domaniale de Haye, toute proche de Nancy (Meurthe-et-Moselle). Hêtres et chênes forment une canopée intermittente culminant à 20 mètres de hauteur. Des « tiges » plus frêles émergent des buissons de cornouillers et de groseilliers alentour. Le responsable de la division « inventaire forestier » de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) fait pivoter son regard sur 360 degrés pour délimiter d'un œil expert sa « placette » de 25 mètres de rayon. Quand il en partira, deux à trois heures plus tard, il en connaîtra intimement toutes les espèces végétales. Car l'inventaire qu'il s'appête à faire en cette matinée se doit d'être exhaustif.

Selon un protocole précis, Vincent Défontaine prend les mesures pour évaluer le volume de bois que représentent les arbres les plus gros, de 7,5 centimètres de diamètre au moins. Puis il en détermine l'état sanitaire à partir des branches sommitales mortes qui trahissent maladies ou manque d'eau et inspecte la « gélivure », les écorces éclatées sous l'effet

UN SIÈCLE D'EXTENSION

La surface forestière est passée de 9,9 à 16,5 millions d'hectares entre 1908 et 2015.



du gel. Il inventorie ensuite les troncs plus fins, les buissons, les lianes (lierre, vigne, clématite) et toutes les espèces florales des sous-bois... Il lui faut aussi creuser le sol pour en décrire la composition physico-chimique. Enfin, il comptabilise le volume de bois mort à terre pour mieux mesurer ce qui vit et meurt dans ce petit coin de forêt.

Le recensement permet une image précise du milieu

« Cet endroit est choisi de façon aléatoire mais il ressemble à ce qu'on peut rencontrer dans l'ensemble du massif », précise Vincent Défontaine, qui déplie avec précaution ses instruments de mesure. L'immense chêne qui domine la parcelle passe sous la toise : 23,30 mètres de haut, 1,96 m de circonférence, et surtout 8 m de tronc lisse avant la première branche... qui pourront terminer en planches ou en madrier. Le forestier s'empare alors d'une tarière pour prélever un échantillon du tronc jusqu'au cœur. Grâce à une loupe, il en dénombre les cernes. L'arbre a 177 ans. Il était déjà adulte quand le directeur des forêts Lucien Daubrée a entrepris en 1908 la première statistique exhaustive du territoire qui

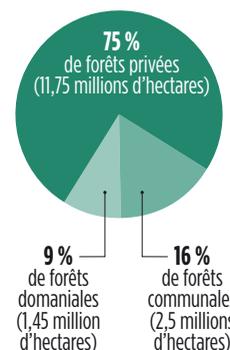
JEAN-LUC CHOPIN/AGENCE VU

permet aujourd'hui de mesurer l'évolution de la forêt française. La description du lieu se termine : Vincent Défontaine a dénombré sur sa placette huit espèces d'arbres ainsi que 40 de ligneux et d'herbacés. Soit une moisson riche et très diversifiée. Ce lourd travail de recensement sert à donner une image précise d'un milieu mouvant qui, contrairement à une idée reçue, ne cesse de s'étendre. « La forêt française

PRODUCTION

Un morcellement qui handicape l'exploitation

La forêt française privée est morcelée entre plus de 3 millions de propriétaires, dont 2,2 millions possèdent moins d'un hectare. Les 380 000 familles qui possèdent plus de 4 hectares représentent ainsi 75 % de la surface forestière privée. Elles en font leur principale activité, qui représente la quasi-totalité de la vente privée de bois. Pour permettre l'exploitation des petites parcelles, les « plans massifs » régionaux instaurent une démarche globale menée par des structures qui vont visiter chaque propriétaire pour qu'il donne l'autorisation d'exploitation. Le Plan national forestier bois (PNFB) vient, lui, de créer des groupements d'intérêt économique et environnemental forestier (GIEEF) qui facilitent la mutualisation des frais de collecte et de commercialisation du bois entre propriétaires voisins.



En moyenne montagne, la forêt a grignoté les anciennes surfaces agricoles délaissées car moins fertiles (ici dans les Pyrénées).



Mesures, état sanitaire des arbres... permettent aux techniciens de l'IGN de dresser un inventaire exhaustif.

est passée de moins de sept millions d'hectares aux alentours de 1830 à près de 16,5 millions aujourd'hui », précise Jean-Daniel Bontemps, directeur de recherche au Laboratoire de l'inventaire forestier (LIF) de l'IGN. Et cette conquête ne se ralentit pas. Sur la période 2005-2015, la surface a progressé d'environ 80 000 hectares par an, soit l'extension la plus marquée en Europe. Les bois ont gagné des surfaces principalement dans la

moitié sud du pays et dans l'ensemble du Massif central, mais ils ont conquis récemment des régions où les forêts étaient rares, comme la Bretagne, le Centre-Val de Loire et la Normandie. L'Office national de la chasse lie ce phénomène à l'explosion démographique spectaculaire du cerf élaphe ces quarante dernières années en France, les tableaux de chasse de l'espèce passant de 18 000 spécimens à 58 000 ▶

► aujourd'hui. Et bien que les chercheurs manquent de données, ces changements de milieu sont a priori favorables sur l'ensemble du territoire au retour du loup, dont on estime aujourd'hui la population à quelque 300 individus. La déprise agricole en serait la cause principale. « L'agriculture mécanisée et industrialisée occupe moins de terres tout en produisant davantage, et les sols les moins fertiles comme ceux en pente de moyenne montagne ont été abandonnés », explique Jean-Daniel Bontemps. En outre, le bois qui servait à se chauffer et alimentait l'industrie a laissé la place au charbon au milieu du XIX^e siècle. Le mouvement s'est accéléré après la fin de la Seconde Guerre mondiale avec les incitations fiscales faites aux agriculteurs partant à la retraite pour planter des futaies. « En conséquence, c'est la forêt privée qui a doublé de surface tandis que les forêts domaniales ont à peine progressé », poursuit Jean-Daniel Bontemps. La France, l'Allemagne, une partie de l'Europe de l'Est et la Suède ont été les premiers territoires au monde à vivre une telle transition. Suivis par les États-Unis et le Chili, avant la Chine dans les années 1970 puis l'Inde depuis les années 1990 et enfin l'Espagne, la Grèce et la Turquie.

Les photos aériennes renseignent sur la surface

La prise de photos aériennes est le premier outil permettant de quantifier le phénomène en cours. Fin 2015, la France a fini par être entièrement couverte par ces prises de vue avec une résolution de 50 centimètres. « L'IGN possède quatre avions qui prennent des images durant l'été selon un programme établi par bande de territoires survolés, détaille Antoine Colin, responsable du département Expertise forestière à l'IGN. Ces images sont traduites en infrarouge, ce qui permet aux experts de reconnaître non seule-

RÉPARTITION

Ces résineux qui cachent la forêt

Sapins et pins envahissent-ils la France ? C'est l'impression qu'ont beaucoup de Français en constatant l'augmentation de plantations d'épicéas ou de pins Douglas. La réalité est plus nuancée. Entre l'inventaire Daubrée de 1908 et la situation actuelle, les proportions n'ont pas changé. Les feuillus représentent toujours 70 % de la forêt française contre 30 % pour les résineux. Les feuillus se sont accrus de 3,7 millions d'hectares en un siècle contre 1,6 million pour pins et sapins. Ce qui a changé, c'est la répartition. En 1912, les résineux étaient inconnus dans 19 départements. Aujourd'hui, trois seulement (Eure-et-Loir, Nord, Tarn-et-Garonne) en sont dépourvus. Les résineux ne sont pas plus nombreux, ils sont plus visibles.

ment les surfaces boisées mais aussi les espèces présentes. » Mais prendre de la hauteur ne renseigne pas sur tout. Seule la visite de terrain donne l'état sanitaire de la forêt ainsi que le volume de bois exploitable. D'où le travail des équipes de Vincent Défontaine, qui arpentent sans relâche les sous-bois. « Dans

chaque région, une équipe d'inspecteurs est chargée d'inventorier des "placettes" comme celle-ci, précise l'expert. Nous en changeons tous les ans pour améliorer nos statistiques et éliminer les biais. Mais nous revenons les revisiter en partie tous les cinq ans pour constater les évolutions telles que les coupes d'arbres et la mortalité. » Chaque année, 7500 placettes sont ainsi examinées sous toutes les coutures et 5700 points sont revisités. Ces résultats sont ensuite rendus disponibles pour les propriétaires privés qui peuvent aussi commander des études spécifiques à l'Institut.

Une situation unique en Europe

Outre l'extension, cette masse de données permet de quantifier un autre phénomène : la forêt grossit. Faute d'être suffisamment exploitée, le « stock » de bois explose. Tous les ans, 35 millions de mètres cubes de cellulose s'ajoutent à un stock historique de plus de 2,6 milliards de mètres cubes. Une situation unique en Europe. « L'Allemagne possède le plus gros stock européen de bois avec 3,6 milliards de mètres cubes mais son stock ne croît que de 16 millions de mètres cubes par an, note Jean-Daniel Bontemps. La forêt française est globalement sous-exploitée. » Là encore, principalement dans les forêts privées. En effet, selon les premiers résultats des études menées par le LIF, la progression ces quarante dernières années de ce « volume sur pied » a été de 85 % dans la forêt privée, de 30 % dans les domaines communaux et de moins de 5 % en forêt domaniale gérée par l'Office national des forêts (ONF).

La France se trouve donc à la tête d'un énorme capital... qui dort. Malgré ces immenses volumes, l'Hexagone importe du bois et la filière est déficitaire tous les ans de 6 milliards d'euros. Et ce, pour plusieurs raisons. La première est l'inadéquation entre la disponi-



Cette image, prise par un des avions de l'IGN au-dessus de Brestles (Oise) et traduite en infrarouge, permet de distinguer une mosaïque de parcelles plantées de peupliers ou d'autres feuillus.

+40%Le volume de bois produit chaque année par les **ÉPICÉAS****-15%**Le volume de bois produit annuellement par les **CHÊNES PUBESCENTS****ADAPTATION****Tous les arbres ne sont pas égaux face au réchauffement**

Comment les arbres vont-ils réagir au réchauffement climatique ? À la différence des animaux, les végétaux ne peuvent se déplacer rapidement pour éviter les conséquences d'une hausse des températures. Le Laboratoire de l'inventaire forestier (LIF) de l'IGN a examiné la productivité des huit essences principales des forêts françaises (épicéa, sapin, hêtre, chêne sessile, chêne pédonculé, chêne

pubescent, pin sylvestre, pin d'Alep) entre 1980 et 2007. Ces travaux en cours de publication montrent une situation contrastée. Si la production d'épicéa croît plus rapidement de 40 %, celle du chêne pubescent du Midi diminue de 15 %. « *Nous constatons une amélioration de la croissance dans les zones froides et humides qui se réchauffent vite, un déclin dans des régions chaudes et sèches où l'eau est un facteur limitant*

et peu de réactions encore dans les plaines tempérées », décrit Jean-Daniel Bontemps, directeur de recherche au LIF. Les travaux sur la mortalité débutent seulement. Le Centre national de la propriété forestière (CNPF) mène des études sur la résistance des espèces tempérées mais, pour l'instant, il est difficile de faire la différence entre mortalité naturelle et incidence climatique. Les forestiers

sont en général inquiets pour le hêtre, sensible à la sécheresse et qui pourrait voir son aire de répartition remonter vers le nord. Des travaux montrent par ailleurs qu'un déplacement des espèces en altitude de l'ordre de 30 mètres par décennie a déjà débuté. Avec son réseau de placettes et ses visites annuelles, le LIF ambitionne un suivi très précis de la réponse des arbres à la hausse des températures.

bilité et la demande. Le surplus de stock français est essentiellement constitué de feuillus (chênes, hêtres, charmes, etc.) qui représentent 70 % du massif forestier. Or le marché du bois d'œuvre réclame du résineux qui pousse en abondance et pour pas très cher en Scandinavie. La seconde, c'est le morcellement de la propriété forestière qui n'incite pas à exploiter de faibles surfaces. Le Plan national forestier bois

(PNFB), promu par le ministère de l'Agriculture en mars 2016, va tenter de remédier à ce déficit en réorganisant la filière (*lire p. 61*). La demande croissante en bois pour le chauffage des particuliers et l'alimentation des réseaux urbains de chaleur devrait également inciter à exploiter de nouveau les sous-bois. Le plan fixe une augmentation de 12 millions de mètres cubes de bois sortis des forêts en 2026. Soit une exploita-

tion de 65 % de l'accroissement biologique annuel des bois, contre moins de la moitié aujourd'hui. Un effort qui ne devra cependant pas attenter à la biodiversité d'un milieu riche de milliers d'espèces. Outre des végétaux rares, les espaces boisés abritent également des oiseaux, des mammifères, des insectes inféodés à cet environnement, si bien que 40 % de la forêt française bénéficie du classement européen Natura 2000. Les placettes surveillées par l'IGN vont donc servir à tenter de ménager la chèvre et le chou : quantifier les volumes de bois exploitables tout en décrivant ce milieu fragile où le passage des engins de débardage devra être le moins destructeur possible. Une gageure ? ■



« La forêt privée a doublé de surface tandis que les forêts domaniales ont à peine progressé »

Jean-Daniel Bontemps, Laboratoire de l'inventaire forestier à l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN)

Les mystères de l'hippocampe

Des chercheurs viennent de décoder le génome de ce curieux poisson. On en sait plus sur les particularités de son anatomie et de ses mœurs.

PETIT, LENT, D'ALLURE BIZARRE... L'hippocampe ne semble pas taillé pour l'aventure. Cela fait 40 millions d'années qu'il promène sa silhouette chevaline dans toutes les eaux tropicales et tempérées du globe. Mais c'est tout récemment qu'une coalition de chercheurs chinois, allemands et singapouriens dirigée respectivement par Qiong Shi (Institut d'océanologie de

Canton), Axel Meyer (université de Constance) et Byrappa Venkatesh (université de Singapour), a décodé son génome, lequel compte 23 000 gènes codant des protéines. Et révélé ainsi une partie de ses secrets dans le magazine *Nature*.

Les chercheurs ont choisi l'hippocampe à queue de tigre (*Hippocampus comes*), « l'espèce la plus commercialisée pour les aquariums et la

médecine chinoise », explique Agnès Dettaï, du Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Le commerce de cet animal marin est d'ailleurs réglementé par la Convention sur les espèces menacées (Cites). Après l'hippocampe, les chercheurs ont prévu de s'attaquer au génome d'une autre famille bizarre : les Polypteridae, des poissons dotés de poumons !

■ **Hervé Ratel**

Il n'a pas de nageoires ventrales

À mi-chemin entre un poney de poche et une anguille, l'hippocampe ne ressemble pas à un poisson. Pourtant, c'en est un, en dépit de ses singularités anatomiques. Il appartient à la famille des Syngnathidae qui regroupe 57 genres et 298 espèces.

Ce nombre est en constante évolution, 250 nouvelles espèces de poissons étant découvertes chaque année en moyenne. L'une des caractéristiques physiques de ce curieux animal est d'être dépourvu de nageoires ventrales et caudales. En cause, selon les chercheurs, l'absence d'un gène (*tbx4*) qui régule le développement des membres inférieurs chez les poissons et les mammifères. Pour vérifier cette hypothèse, les scientifiques ont utilisé le désormais célèbre outil CRISPR (voir S. et A. n° 807, mai 2014) et ont inactivé *tbx4* chez des embryons de poisson-zèbre. CQFD : ceux-ci se sont retrouvés sans nageoires ventrales, comme les hippocampes.



TOM CAMPBELL/BIOSHOTO

Les protubérances spectaculaires du dragon de mer feuillu, un proche parent de l'hippocampe, ne sont pas des nageoires, mais un moyen de camouflage.

Sa queue est préhensile

Les chercheurs se grattent encore la tête pour comprendre comment l'hippocampe a pu acquérir sa posture et son corps de plan vertical. En 2011, une équipe belge a montré, à l'aide de modèles mathématiques, que cette morphologie biscornue lui permet de capturer ses proies

plus efficacement tout en restant quasiment immobile ! Pas très rapide, l'hippocampe a en effet tout intérêt à rester à couvert pour attendre que la nourriture vienne à lui, arrimé par sa queue préhensile qui aurait été inventée jusqu'à neuf fois, s'il faut en croire les arbres évolutifs.



Son corps est couvert de plaques osseuses

À la place d'écailles, le corps de l'hippocampe est recouvert de plaques osseuses qui lui assurent une protection... relative, comme le souligne Agnès Dettai : « *Il occupe les mêmes niches que le labre, dont les mâchoires broient même les oursins...* » Pas de taille à lutter, l'hippocampe s'en remet au camouflage. « *Il occupe essentiellement des milieux possédant beaucoup de cachettes*, poursuit la chercheuse. *Peut-être sa forme inhabituelle aide-t-elle à le rendre indétectable ?* » Mais ce camouflage se révèle inutile face à son plus grand prédateur : l'être humain. Outre les aquariums, il est utilisé en médecine chinoise où, réduit en poudre, il est censé « soigner » à peu près tout : maladies de peau, excès de cholestérol, goitre, etc.



Chez l'hippocampe hérissé, les plaques osseuses forment des épines propres à rebuter certains prédateurs.

SHUTTERSTOCK

Son « nez » est un aspirateur

Outre sa queue préhensile lui permettant de se tenir à l'affût, il dispose d'une autre arme fatale pour capturer tout aliment (petits poissons, plancton) qui viendrait à passer à proximité : son long « nez » en forme de trompe. Un organe d'autant plus efficace pour aspirer la nourriture qu'il est dépourvu de dents. En effet, le génome de l'hippocampe possède une version inactive des gènes SCPP normalement impliqués dans la formation de l'émail. Un phénomène retrouvé chez les oiseaux, les tortues et quelques mammifères comme les baleines et les fourmiliers.

Ce sont les mâles qui mettent bas

Chez les hippocampes, on ne fait rien comme tout le monde. Et surtout pas la gestation. La femelle pond et dépose les œufs dans la poche ventrale du mâle. Charge à lui de les fertiliser et de les porter jusqu'à leur terme. Génétiquement, les chercheurs ont cru repérer l'origine de cette particularité partagée par toute la famille des Syngnathidae. À la faveur des hasards de l'évolution, une sous-famille d'enzymes comprenant celles en charge de la gestation et de l'éclosion a été dupliquée à six reprises dans le génome de l'hippocampe. Or, la majorité de ces copies s'expriment justement très fortement dans la poche ventrale du mâle. Au bout de trois semaines d'incubation, il en sort environ un millier de minuscules hippocampes déjà formés, d'une dizaine de millimètres de long.



P. DANNA / BIOSPHOTO

La poche ventrale du mâle abrite un millier d'œufs.

GETTY IMAGES



Le site sera couvert de panneaux solaires et environné de 7000 éoliennes ancrées dans des eaux peu profondes.

TENNET

Cette île artificielle produira de l'énergie

Implantée en mer du Nord, cette construction de six kilomètres carrés à plusieurs milliards d'euros devrait être consacrée à la production d'énergies renouvelables.

UNE ÎLE ARTIFICIELLE EN PLEINE MER DU NORD pour résoudre les besoins énergétiques d'une partie des Européens ? C'est le projet inédit proposé par les gestionnaires de réseaux électriques TenneT (Pays-Bas, Allemagne) et Energinet (Danemark). Ils ont signé le 23 mars, à Bruxelles (Belgique), un accord de coopération pour développer le North Sea Wind Power Hub. L'objectif est d'investir plusieurs dizaines de milliards d'euros pour construire une île artificielle (suivie peut-être d'autres) de 6 kilomètres carrés entièrement destinée à la production d'énergies renouvelables. Elle serait pour cela recouverte de panneaux solaires et entourée de 7000 éoliennes offshore. Le site a déjà été choisi : le grand banc de sable de Dogger Bank (17 600 km²), à une centaine de kilomètres des côtes de la Grande-Bretagne et à 150 kilomètres de celles du Danemark. Son principal avantage est qu'il est bien exposé aux vents et que les fonds marins y sont peu profonds, ce qui simplifiera l'an-

crage des éoliennes. Les promoteurs du projet estiment que l'île pourrait fournir une puissance électrique de 70 000 à 100 000 MW. De quoi subvenir aux besoins de 70 à 100 millions d'habitants dans six pays : Royaume-Uni, Belgique, Danemark, Allemagne, Pays-Bas et Norvège.

Réduire le prix de revient du « mégawatt vert »

L'électricité serait fournie aux réseaux de ces pays par des câbles sous-marins. Le North Sea Wind Power Hub vise à réduire significativement le prix de revient du « mégawatt vert », seule solution pour augmenter la part d'énergies renouvelables dans le mix énergétique mondial et espérer atteindre les objectifs de la COP21. Le but étant d'établir un consortium des compagnies électriques européennes qui permettrait de concrétiser la transition énergétique sur notre continent. Si tout va bien, la première île productrice d'énergie devrait entrer en service d'ici à 2035. ■ Sylvie Rouat

@srouat1

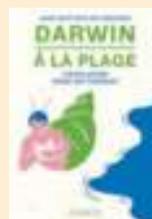


Florence Burgat, *Seuil*, 466 p., 26 €

L'Humanité carnivore

« Qu'est-ce que la viande, et à quoi tenons-nous dans la viande ? » La philosophe Florence Burgat poursuit son exploration de la condition animale avec une somme audacieuse et érudite, aux accents militants, sur l'alimentation carnée.

Elle ancre ses démonstrations sur l'anthropologie, en proposant une clé de lecture radicale qui ferait de la mise à mort de l'animal un continuum substitutif des sacrifices humains. Et déconstruit au passage l'idée d'une humanité carnivore des origines, pour proposer *in fine* le recours aux viandes *in vitro*. ■ Andreina De Bei



Jean-Baptiste de Panafieu, *Dunod*, 168 p., 14,90 €

Darwin à la plage

L'évolution dans un transat confortablement installé sur votre chaise longue, embarquez sur le *HMS Beagle* à la suite de Charles Darwin et découvrez comment les observations du naturaliste ont bouleversé notre compréhension du monde. Ce petit livre clair et attrayant, pépite d'une collection de

lectures de vacances, restitue la puissance décapante de la théorie de l'évolution, éclaire l'origine des espèces ou la sélection naturelle. Il dissèque enfin habilement les idées fausses et les déformations idéologiques — comme le darwinisme social — qui sont venues polluer le travail du savant victorien. ■ Rachel Mulot



Donatien Lemaître, Jean-Thomas Ceccaldi, Dorothée Lachaud, *ZED*, 70 min, 15 €

DVD

Ma vie zéro déchet

Comment une famille parisienne a-t-elle réussi à passer de 550 kg de déchets par an à 12 kg ? Dans ce documentaire plein d'humour, on suit pas à pas les stratégies vertueuses mises en place : couches-culottes lavables, réalisation d'un compost, achat de produits sans emballages, modification

des habitudes alimentaires... Cette initiative personnelle a évidemment ses limites que les auteurs ne cachent pas. Pour eux, c'est l'alliance entre prise de conscience individuelle et expériences collectives qui finira par faire baisser le poids de nos poubelles. À voir en famille avant de tenter l'aventure ! ■ Isabelle do O'Gomes

Tout savoir sur la vie des plantes

Rencontre avec Daniel Mathieu, président de l'association Tela Botanica qui propose une grande variété d'outils collaboratifs d'identification et de recensement des plantes.

SAVOIR NOMMER LES VÉGÉTAUX. Connaître leurs milieux. Vérifier leurs dates de floraison et de fructification. Les amateurs de botanique se multiplient, et ont leur lieu de rendez-vous sur Internet. Tela Botanica fédère tous ces passionnés qui prêtent un peu de leur temps à la science pour mieux appréhender les évolutions du monde végétal. Encyclopédie en ligne, application de reconnaissance sur téléphone mobile (le fameux Plant'Net) et aujourd'hui un MOOC d'initiation à la botanique : les outils se multiplient pour 37 000 amateurs plus ou moins éclairés. « *Tela Botanica a été créée par des associations comme la Garance voyageuse ou la Société botanique de France, avec déjà dans son ADN toutes les composantes des sciences participatives, collaboratives ou citoyennes* », précise Daniel Mathieu, son président. Dès l'origine, en 1999, elle se définit comme un outil de diffusion, et aussi comme un réseau de collecte d'informations sur les plantes. Elle se retrouve ainsi chargée de la

mise à jour de l'index des plantes de France, en partenariat avec le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) et les Conservatoires botaniques nationaux. « *Les chercheurs sont trop rares pour couvrir le territoire français. Seuls de nombreux amateurs éclairés peuvent affirmer la présence ou pas de telle ou telle plante dans une région et ainsi confirmer l'extension ou la régression de son aire de répartition* », poursuit Daniel Mathieu.

Il s'agit d'un réseau ouvert : pas de frais d'inscription, pas d'exigence de niveau scientifique, peu de renseignements personnels à fournir. La moitié des adhérents de Tela Botanica sont ainsi des amateurs « purs », sans aucune formation botanique mais saisis par l'envie d'apprendre et de participer. On y trouve des retraités, certes, mais aussi beaucoup de classes de primaire et de secondaire, si bien que l'âge moyen oscille autour de 40 ans. Au fil du temps, les relations entre scientifiques et amateurs se sont organisées. L'ancien pré-



Daniel Mathieu a créé il y a bientôt 20 ans Tela Botanica, un réseau de quelque 37 000 botanistes amateurs.

ARNOLD JEROCK/DIVERGENCE POUR SCIENCES ET AVENIR

En partenariat avec



pour une société collaborative

La MAIF s'engage pour une société collaborative.

Des scientifiques aussi. Sciences et Avenir vous fait découvrir le fruit de leurs recherches.

Retrouvez l'ensemble des articles #ideecollaborative sur consocollaborative.com

sident du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) Gilles Bœuf distingue ainsi trois situations types : les programmes de science participative, où ce sont les scientifiques qui sollicitent les observateurs selon leurs normes et méthodes ; les démarches de science citoyenne, sans véritable but de recherche mais destinés à diffuser l'envie de connaissance ; enfin, les projets collaboratifs, où se noue un véritable partenariat entre la recherche et les citoyens. L'observatoire des saisons où les spécialistes de la phénologie du CNRS sollicitent les particuliers pour que ceux-ci leur signalent l'arrivée du printemps ou la chute des feuilles est ainsi un exemple de science participative (*lire S. et A. n° 831, mai 2016*). Et il s'agit bien de collaboration quand 3 000 observateurs collectent 420 000 données pour éditer une cartographie fiable des orchidées de France. Aujourd'hui, les liens entre scientifiques et amateurs se multiplient. Le programme Sauvage dans ma rue incite les citoyens à rechercher et nommer les plantes qui poussent en ville. Tela Botanica fait croître ainsi de nouvelles branches tout en renforçant ses racines. ■

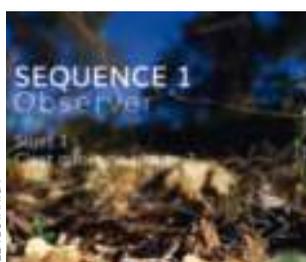
Loïc Chauveau

VIDÉOS

Un MOOC nourri par les amateurs

Vite, vous avez jusqu'au 31 mai pour déposer votre vidéo ! Réalisé par Tela Botanica, le MOOC Botanique créé en 2016 nourrit ses cours de vidéos réalisées sur le terrain par des amateurs. Trente petits films nouveaux seront choisis pour intégrer un cursus en ligne de plus en plus complet. Ce MOOC a attiré l'an dernier 33 500 « élèves ».

www.tela-botanica.org/actu/article7905.html



TELA BOTANICA

ANOREXIE Trouble du comportement alimentaire qui entraîne une privation de nourriture stricte et volontaire pendant plusieurs mois, voire années. Touchant essentiellement des femmes, il survient souvent au moment de la puberté.

STRIATUM VENTRAL Zone du cerveau particulièrement impliquée dans la régulation des comportements liés à l'obtention d'une récompense ou les processus pathologiques de l'addiction.

STIMULATION CÉRÉBRALE PROFONDE Technique chirurgicale consistant à implanter des électrodes dans des parties du cerveau — différentes selon la pathologie — afin de stimuler ou d'inhiber l'activité des neurones.

L'anorexie, une addiction au plaisir de maigrir

Selon des chercheurs en neurosciences, la maladie ne s'expliquerait pas par la peur de grossir, mais par le plaisir de maigrir. Une hypothèse qui ouvre la voie à des thérapies ayant fait leurs preuves chez les toxicomanes.

Par Cécile Coumau

LE MÉCANISME D'UNE MALADIE potentiellement mortelle comme l'anorexie peut-il s'expliquer par... le plaisir? Cette hypothèse émise par le Pr Philip Gorwood, chercheur à l'Inserm et chef de service de la Clinique des maladies mentales et de l'encéphale du centre hospitalier Sainte-Anne à Paris, a de quoi bouleverser les idées reçues. Selon lui, l'anorexie ne se caractérise pas par la peur de grossir — comme les chercheurs le pensaient jusqu'alors — mais... par le plaisir de maigrir. Le spécialiste a été en effet frappé par un chiffre: le taux de mortalité des patients atteints de ce trouble alimentaire, très majoritairement des femmes, est le plus élevé de toutes les maladies mentales, soit de 5 % à 10 % selon les études. Afin de vérifier si les anorexiques n'éprouvaient pas une attirance morbide plutôt qu'une phobie, Philip Gorwood a

30 000 à 40 000 malades en France dont **90 %** de filles.

50 % des personnes soignées à l'adolescence guérissent.

5 % décèdent (27 % des décès sont dus à un suicide).

montré des images de femmes en surpoids ou en situation d'extrême maigreur à 70 patientes. « Nous avons mesuré leur réaction en évaluant leur taux de sudation, considéré comme un marqueur objectif », explique-t-il. Les résultats, parus en juin 2016 dans *Translational Psychiatry*, montrent que les images de maigreur provoquent des suées beaucoup plus abondantes chez les anorexiques, ce qui est interprété comme une manifestation d'émotion positive, les sujets sains n'ayant pas de réaction particulière. « La peur de grossir est un critère caduc », conclut-il.

Une piste confortée par l'imagerie médicale

L'équipe de l'Inserm n'est pas la seule à creuser cette piste. Des chercheurs allemands de l'université d'Ulm avaient déjà émis en 2013 l'hypothèse que les malades aient une « appétence » pour la

maigreur, démonstration par imagerie médicale à l'appui (IRM). Lorsque ces derniers visionnent des images de silhouettes maigres, une aire spécifique du cerveau, le striatum ventral (*voir lexique*), s'active. Or, cette zone est impliquée dans la régulation des comportements liés à l'obtention d'une récompense et aux processus pathologiques de l'addiction. « Depuis, la recherche s'est intensifiée dans un domaine: le moteur de cette diète pourrait être un plaisir inapproprié dû à la restriction alimentaire », souligne Anne-Katharina Fladung, coauteure de l'étude. « La notion d'addiction est une évidence depuis longtemps », reconnaît le Pr Vincent Dodin*, chef de service de la clinique médico-psychologique du Groupement des hôpitaux de l'Institut catholique de Lille (Nord), pour qui la définition qu'en donne la 5^e édition du *Manuel diagnos-* ▶



AVELLÉ-BENOÎST/BSIP

Le jeûne prolongé agit sur le cerveau comme un produit stimulant qui induit une sorte d'euphorie.

► *tique et statistique des troubles mentaux (DSM5) « ne reflète pas ce que pensent les cliniciens ». Cette « bible » des psychiatres rédigée aux États-Unis explique notamment la maladie par la peur de grossir. « Nos patientes parlent de cette jouissance », affirme le spécialiste, le jeûne prolongé agissant sur le cerveau comme un produit stimulant, induisant une forme d'euphorie. Ce que confirme la psychologue clinicienne Dominique Vignaud, présidente de l'association Enfin, pour qui cependant cette notion de plaisir n'est pas prépondérante : « Dans toute névrose, il y a évidemment un bénéfice secondaire », explique-t-elle. « Les patientes ne nient pas la notion de plaisir, mais celles qui reconnaissent leur maladie se mettent en colère quand on la définit ainsi », renchérit le Pr Daniel Rigaud, président de l'association Autrement, qui se consacre aux troubles du comportement alimentaire.*



En respirant des odeurs, les jeunes anorexiques peuvent retrouver des souvenirs et des sensations sans être confrontées à l'angoisse de la nourriture (ici à l'hôpital Lenal, à Nice).

Pourtant, les recherches de Philip Gorwood et Anne-Katharina Fladung ouvrent des horizons. En effet, le registre de l'addiction active un circuit cérébral spécifique, celui de la récompense, alors que la phobie active l'amygdale. De fait, les options thérapeutiques divergent ! Ainsi, si la relaxation

peut être efficace contre l'anxiété, elle ne l'est pas dans des troubles de la dépendance... Ce qui ouvre le champ à des thérapies ayant fait leurs preuves auprès des toxicomanes. Parmi elles, « l'entretien motivationnel », qui consiste à examiner avec les patients l'intérêt d'un changement de comportement, ce qui peut se révéler utile chez les anorexiques n'ayant pas conscience d'être malades. Ou la méditation de pleine conscience, déjà utilisée contre les peurs irraisonnées, qui peut aussi traiter les pensées automatiques telles que « je serai plus heureuse si je perds du poids ».

La remédiation cognitive gagne aussi du terrain pour tenter de contrer une forme de « rigidité » mentale qui expliquerait l'échec des traitements. « Nous soumettons nos patientes à des tests dont les règles changent en cours de route afin de les inciter à choisir des chemins alternatifs », explique Philip Gorwood. Puis nous les aidons à transférer ces nouvelles capacités dans leur vie quotidienne. » Cette technique apparaît aussi efficace pour traiter un autre trouble spécifique des anorexiques : la « survalorisation de la récompense tardive ». « Les patientes s'empêchent de manger pour retarder le soulagement et retrouver l'expérience émotionnelle initiale », explique Daniel Rigaud. Des tests permettent ainsi de valoriser des récompenses intermédiaires.

Un parcours sensoriel pour se reconstruire

Les neurosciences ont aussi permis d'explorer une autre voie dans le traitement de l'anorexie : la piste sensorielle, en particulier l'olfaction. Des travaux ont montré que les repères olfactifs, présents chez les nouveau-nés, qui permettent de distinguer des odeurs jugées plaisantes ou déplaisantes, sont altérés chez les malades. « Au cours de ma pra-

TRAITEMENT EXPÉRIMENTAL

La stimulation cérébrale profonde cible le circuit de la récompense

« **A**ux patientes en situation d'échec thérapeutique, avec un fort risque de décès, nous voudrions proposer une nouvelle approche : la stimulation cérébrale profonde (SCP) », déclare le Pr Philip Gorwood, chercheur à l'Inserm et chef de service de la Clinique des maladies mentales et de l'encéphale du centre hospitalier Sainte-Anne à Paris. Dans la ligne de ses travaux mettant en évidence le comportement addictif des anorexiques (lire ci-contre), le psychiatre veut stimuler à l'aide d'électrodes le striatum ventral, cette

aire du cerveau impliquée dans le circuit de la récompense. « Des équipes ont déjà testé la SCP pour lutter contre l'anorexie mais elles ont stimulé une autre zone, le cingulaire antérieur, cible pour la dépression », explique le chercheur. L'un des pionniers est le Pr Andres Lozano, neurochirurgien à l'université de Toronto (Canada). « En 2013, nous avons implanté des électrodes dans le cortex de six anorexiques parce que cette aire régule l'humeur et l'anxiété », indique le spécialiste. Neuf mois

plus tard, les désordres de type compulsif et obsessionnel s'étaient nettement améliorés pour quatre des patientes et trois d'entre elles avaient pris du poids. La SCP a déjà fait ses preuves dans certaines formes de la maladie de Parkinson et, dans une moindre mesure, dans la dépression et les TOC. La technique reste très préliminaire dans les troubles du comportement alimentaire. Philip Gorwood devrait ainsi inclure trois patientes dans une étude qui débutera en 2018.



Des ateliers visent à réconcilier les patients avec leur corps : ici, une malade doit se situer parmi les silhouettes proposées.

tique, je me suis rendu compte de ces distorsions majeures, raconte le Pr Florence Askenazy, responsable du service de pédopsychiatrie à l'hôpital Lénval à Nice (Alpes-Maritimes). Retrouver le plaisir des stimuli sensoriels liés à la nourriture représente donc un enjeu. Mais si vous immergez les patients dans un bain de sensorialité, ils vont se défendre. Il faut procéder tout doucement. » Stimuler l'odorat permet ce réveil progressif. « C'est d'autant plus intéressant que les anorexiques ont du mal à faire fonctionner leur imaginaire, poursuit la spécialiste. Or, les odeurs ont un pouvoir évocateur bien connu. C'est l'histoire de la madeleine de Proust... » Un « réveil des sens » rendu possible par une particularité physiolo-

gique : les neurones olfactifs se renouvellent tous les deux mois environ, ce qui permet un travail d'apprentissage cérébral. C'est ce qu'a entrepris Florence Askenazy, en créant un parcours sensoriel il y a dix ans, qui permet à 90 % des participantes de ne pas rechuter. Tous les mercredis après-midi, trois types d'ateliers sont proposés. Les jeunes filles commencent par un atelier d'éveil corporel. « Au début, l'objectif est seulement qu'elles éprouvent des sensations agréables avec leur corps, déclare Andréa Serpa-Rouede, danse-thérapeute responsable de l'atelier. Comme elles sont très amaigries, s'asseoir est une douleur. La salle se veut un cocon avec des tapis, des poufs, etc. »

Au fil des semaines, les patients reproduisent des mouvements plus complexes en se confrontant au regard de l'autre. Un travail sur le corps essentiel pour des jeunes filles qui décrivent leur estomac comme un « sac-poubelle ». En lien avec des parfumeurs de la maison Galimard, les patients testent trois types d'odeur (boisée, fleurie et alimentaire) pour faire remonter des souvenirs. Puis, lors d'un autre atelier pour stimuler le goût, « les patientes goûtent une graine de fruit exotique, une feuille de basilic... en toute petite quantité », précise Florence Askenazy. Enfin, ces expériences sensorielles sont reprises par les psychologues et psychiatres lors des groupes de parole et d'entretiens individuels. « Quand elles sont coupées de leurs émotions, ces jeunes filles sont coupées d'elles-mêmes et ne peuvent pas travailler sur leur histoire, résume Andréa Serpa-Rouede. Le parcours sensoriel les aide à se reconstruire. » ■

« Retrouver le plaisir des stimuli sensoriels liés à la nourriture représente un enjeu »

Florence Askenazy, responsable du service de pédopsychiatrie à l'hôpital Lénval, Nice (Alpes-Maritimes)



REA

* Auteur d'*Anorexie, boulimie, en faim de conte*, Éditions Desclée de Brouwer.

Le cancer, au hasard des mutations

Des chercheurs américains ont estimé la part de « hasard » dans l'apparition des cancers. Les deux tiers seraient dus à des mutations génétiques aléatoires. Une hypothèse controversée.

AVOIR UN CANCER SERAIT LA FAUTE... à pas de chance ! Du moins si l'on en croit les auteurs d'une étude publiée par la revue *Science* (1), qui persistent et signent puisqu'ils avaient déjà avancé cette hypothèse très controversée en 2015 (2). Si le propos est cette fois plus mesuré, le résultat reste le même : les 14 millions de cancers qui se déclarent chaque année dans le monde seraient dus aux deux tiers à des mutations génétiques aléatoires... alors que la recherche se focalise en général sur les facteurs environnementaux ou héréditaires. Et l'équipe de l'université Johns Hopkins de Baltimore (États-Unis) a fait le pari de calculer cette part de hasard. Pour arriver à la conclusion qu'elle compte pour 66 %. L'influence de l'environnement (tabac, alcool, infections, etc.) ne jouerait un rôle que dans 29 % des cas, tandis que l'hérédité ne « pèserait » que 5 %. Attention ! « *Cela ne signifie pas que les deux tiers des cancers sont le fait d'une malchance sur laquelle l'homme n'aurait aucune prise* », précisent toutefois les auteurs, plus prudents que dans leurs propos antérieurs. Pour comprendre ces chiffres, il faut retourner aux origines biologiques du cancer : pourquoi une cellule saine se transforme-t-elle en cellule cancéreuse (carcinogénèse) ? Pour les tenants de la piste génétique, cela tiendrait essentiellement à des mutations intervenant en son cœur et conduisant la cellule à proliférer de façon anarchique. « *Il faut en*

moyenne entre trois et huit mutations génétiques pour déclencher un processus cancéreux », confirme le Dr Charles Ferté, oncologue et chercheur à l'Institut Gustave-Roussy à Villejuif (Val-de-Marne), qui précise que « *certaines zones du génome sont plus oncogènes que d'autres* ». Le risque est ainsi plus grand si le ou les gènes mutés participent au contrôle de la croissance cellulaire. Ces mutations peuvent être héritées, déclenchées par un facteur environnemental, ou intervenir au hasard du renouvellement des cellules par l'organisme. Car celles-ci, au nombre de 100 000 milliards de 250 types différents (pulmonaires, sanguines, etc.) dans le corps humain, doivent pallier la perte de 20 milliards d'entre elles chaque jour. Pour assurer ce remplacement, chaque organe ou tissu possède des cellules souches qui opèrent par division, l'enjeu étant de recopier l'ADN à l'identique. Mais peuvent se glisser dans ce mécanisme des « erreurs » (mutations génétiques) dues au hasard auquel s'ajoutent des facteurs environnementaux (exposition aux UV, au tabac...) favorisant ces anomalies. Sans compter que l'on peut

aussi naître avec des mutations à risque bien identifiées comme celles intervenant sur les gènes BRCA 1 et 2, facteurs de risque héréditaire importants des cancers du sein ou des ovaires.

Le résultat est basé sur un modèle statistique

Concrètement, les auteurs de l'étude ont montré que le risque de cancer dans un organe donné était fortement corrélé au nombre de divisions cellulaires dans cet organe. Ils ont pour cela collecté les données de 17 types de cancers dans 69 pays (dont la France) ainsi que celles concernant la fréquence de renouvellement des cellules dans les tissus affectés. Et c'est un modèle statistique, construit à partir de cette somme de données, qui leur a permis d'établir que deux tiers des mutations génétiques impliquées dans les cancers étaient dus au renouvellement naturel des cellules. Soit à peu près le même résultat que celui publié en 2015. Cette première étude avait été très critiquée, notamment pour des problèmes de méthodologie : les auteurs n'avaient récolté les données qu'aux États-Unis, en excluant les cancers les plus



Cellules tumorales du sein (vues au microscope électronique).

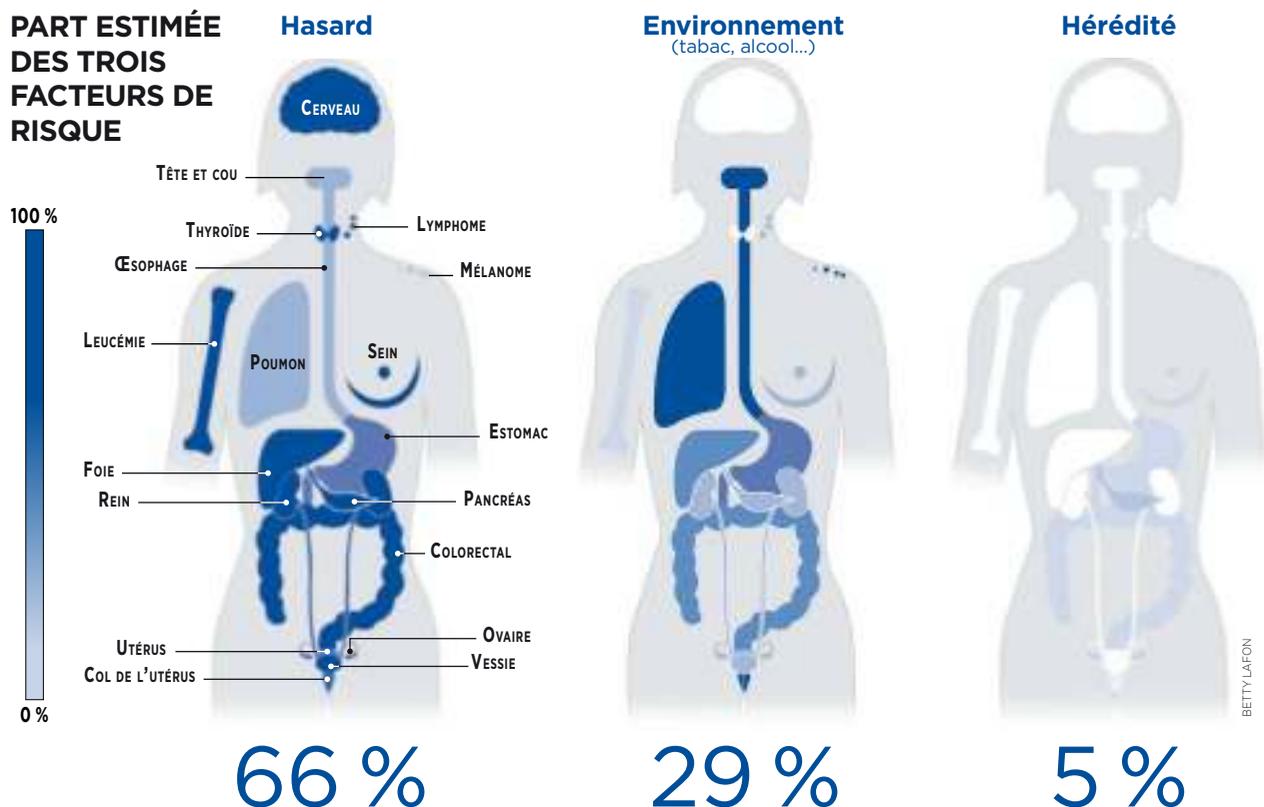
PHANIE



CHARLES FÉRTÉ

« Il faut en moyenne entre trois et huit mutations génétiques pour déclencher un processus cancéreux »

Charles Ferté, oncologue, chercheur à l'Institut Gustave-Roussy, à Villejuif (Val-de-Marne)

PART ESTIMÉE
DES TROIS
FACTEURS DE
RISQUE

66 %

29 %

5 %

fréquents (sein et prostate). L'imprécision est cette fois corrigée. Surtout, la publication jouait sur l'expression « malchance » (« *bad luck* »), laissant entendre que la prévention contre les facteurs de risques connus n'avait pas d'impact sur la plupart des cancers. « *Or cela est faux, rappelle Charles Ferté. Car si cinq mutations à risque sont dues à des erreurs de copie de l'ADN, le fait d'éviter la sixième, provoquée par le tabac ou les rayons UV par exemple, permet bel et bien de ne pas avoir le cancer!* »

Les auteurs américains ont donc cette fois pris soin de préciser que 89 % des cancers du poumon auraient pu être évités si les patients n'avaient pas été exposés au tabac. Mais ils maintiennent que les mutations impliquées dans les cancers du cerveau, de la prostate ou des os seraient à 95 % dues à ces erreurs de copie. Ce taux atteindrait 77 % dans le cancer du

Pourcentage de mutations pour 17 cancers attribuables aux trois facteurs de risque : mutations dues à des erreurs lors de la division des cellules (hasard), facteurs environnementaux (alcool, tabac, pollution, etc.), hérédité. 77 % des cancers du pancréas résultent d'une erreur aléatoire de l'ADN, tandis que 18 % sont dus à d'autres facteurs comme le tabac ou l'alcool et 5 % à l'hérédité. À l'inverse, la plupart des cancers du poumon (65 %) seraient déclenchés par le tabagisme, contre 35 % par des erreurs de copie de l'ADN...

pancréas, seules 18 % des mutations impliquées étant liées à des facteurs comme le tabac ou l'alcool et 5 % à l'hérédité.

Une vision très mécanique de la carcinogénèse

Cette part de « loterie génétique » ne surprend pas le Dr Catherine Hill, en charge du service Épidémiologie et prévention à Gustave-Roussy : « *Nous diagnostiquons par exemple 20 fois plus de cancers du côlon que de l'intestin grêle. Or, le premier compte deux fois plus de cellules souches que le second. Et celles-ci se divisent deux fois plus.* » L'épidémiologiste émet cependant des réserves sur l'étude américaine. « *Elle découle d'une vision extraordinairement mécanique de la carcinogénèse, partant du principe que le processus est engagé au bout de deux ou trois mutations. Or une mutation à risque peut très bien être corrigée avant qu'une autre ne survienne* »,

explique la spécialiste, qui rappelle que le génome dispose pour cela d'« outils » d'autocorrection. Pour le Pr Pascal Pujol, chef du service d'oncogénétique au CHU de Montpellier (Hérault), « *l'étude est intéressante, ne serait-ce que parce que la question du "pourquoi" est omniprésente chez les patients. Or il est parfois difficile d'expliquer qu'un cancer peut survenir en dehors de tout facteur de risque connu.* » Mais pour Charles Ferté, cette mesure statistique de l'aléatoire omet une chose importante : « *Nous découvrirons sans doute un jour que ce hasard n'était pas un.* » Le hasard n'étant souvent qu'un autre nom pour l'ignorance... ■

Hugo Jalinière

@HugoJaliniere

(1) Stem cell divisions, somatic mutations, cancer etiology, and cancer prevention, *Science*, 24 mars 2017

(2) Variation in cancer risk among tissues can be explained by the number of stem cell divisions, *Science*, 2 janvier 2015

Encore plus de fruits et de légumes dans nos assiettes

Cinq portions de fruits et légumes par jour, ce n'est pas assez. Il en faudrait au moins huit, recommandent les experts, qui conseillent également de diminuer toujours plus la part de la viande et de la charcuterie.

UNE CENTAINE D'EXPERTS de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation) ont passé quatre ans à scruter le contenu de nos assiettes. Objectif? Actualiser les « repères nutritionnels » du Programme national nutrition santé (PNNS) lancé en 2001, à l'origine de la fameuse injonction « Mangez 5 fruits et légumes par jour ». Un algorithme a permis d'analyser 1342 aliments, et de faire le lien entre l'alimentation et certaines maladies chroniques au vu des dernières études scientifiques. Le résultat permet de réaffirmer un principe intangible : si l'« assiette idéale » n'existe pas, il faut manger varié et équilibré, et faire de l'exercice pour vivre en bonne santé.

Cependant, la tendance est au végétal. En effet, nos menus se rapprochent de plus en plus du régime méditerranéen. C'est le seul à avoir fait la preuve de son efficacité pour prévenir les maladies cardio-vasculaires, avec davantage de fruits et légumes, de protéines végétales, d'oméga 3, de fruits à coques, de céréales complètes, et moins de protéines animales, de sucres et de produits raffinés. Pour le Pr François Mariotti, président du comité d'experts ayant coordonné ce tra-

vail, « sans qu'il faille pour autant devenir végétarien, c'est une vraie mutation qui est en cours ».

Mangez... huit portions de fruits et légumes par jour

Cinq portions de fruits et légumes par jour? C'est désormais... insuffisant! Alors que seuls 31 % des Français atteignent ce minimum, l'Anses estime désormais qu'il « doit être considérablement augmenté » autour de... « huit portions par jour », précise François Mariotti. En plus des vitamines et des minéraux, les fruits et légumes contiennent en effet de puissants antioxydants et des fibres qui permettent de prévenir le surpoids, les maladies cardio-vasculaires, le diabète de type 2 et les cancers. Plus la consommation est importante, plus les bénéfices le sont aussi. Ainsi, avec 10 portions quotidiennes de fruits et légumes, 7,8 millions de décès prématurés dans le monde pourraient être évités, indique une récente méta-analyse (1). Le risque d'AVC baisse de 33 %, de maladies cardio-vasculaires de 28 % et de cancers de 13 %. Les pommes, poires, agrumes, salades, légumes verts et jaunes, les brassicacées (choux...) sont les plus protecteurs. En pratique, une portion représente 80 à 100 g. L'équiva-



650 g

la ration quotidienne minimale de fruits et légumes, soit huit portions de 80 g environ (la taille d'un poing ou deux cuillères à soupe pleines). C'est par exemple : une tomate de taille moyenne, 1 poignée de haricots verts, 1 bol de soupe, 1 pomme, 2 abricots... Plus la consommation est importante, plus les bénéfices sur la santé sont avérés.

(SOURCE : ANSES)

lent d'une banane, deux abricots, cinq fraises, une poignée de haricots verts, une tomate, un bol de soupe, une salade de fruits.

Ne pas oublier les légumineuses

Lentilles, pois chiches, haricots secs, fèves... Les légumineuses font un retour en force dans nos assiettes. Il est recommandé d'en manger au moins 30 g par jour quand notre consommation plafonne entre 5 et 10 g. Les légumineuses sont aussi riches en protéines que la viande ou le poisson. Elles fournissent des glucides complexes, principalement de l'amidon qui, absorbés lentement par l'organisme pour produire l'énergie dont il a besoin, contribuent à l'effet de satiété et

RÉGIME MÉDITERRANÉEN Alimentation traditionnelle des pays du pourtour de la mer Méditerranée, dit aussi régime crétois, basé sur une forte consommation de fruits et légumes, légumineuses, céréales, huile d'olive, et une faible consommation de viande.

OMÉGA 6 Acides gras dits polyinsaturés. Surtout apportés par la plupart des huiles végétales, ils sont essentiels car l'organisme ne peut les fabriquer, mais un taux trop élevé favorise l'obésité et les maladies cardio-vasculaires.

ANTIOXYDANTS Composants des végétaux préservant les cellules du stress oxydatif. Parmi eux, le bêta-carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E), les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, etc.

à réguler le taux de sucre sanguin. Les légumes secs renferment des fibres qui facilitent le transit intestinal, des vitamines du groupe B et des minéraux : 100 g apportent 30 à 50 mg de magnésium, 2 à 3 mg de fer et 1 g de potassium. Une étude sur 130 000 personnes suivies pendant 32 ans suggère qu'une augmentation de 3 % de la consommation de protéines végétales réduit le risque de décès de 10 % et de maladies cardio-vasculaires de 12 % (2).

Moins de viande et de charcuteries

La consommation de viande transformée (charcuteries, bœuf séché, viandes en conserve et préparations pour sauces) a été classée « cancérogène pour l'homme » par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) en 2015. Elle ne doit pas dépasser 25 g par jour. Chaque portion quotidienne de 50 g supplémentaire accroît le risque de cancer colorectal de 18 %. La consommation de viande rouge, de porc et de veau doit être inférieure

à 500 g par semaine. Celle-ci a été classée « cancérogène probable » pour l'homme, principalement en ce qui concerne le cancer colorectal et, dans une moindre mesure, du pancréas et de la prostate (3). Chez 20 % des asthmatiques, l'excès de charcuteries est également associé à une aggravation des symptômes (4). Le poisson et les œufs permettent de compenser l'apport en vitamine B12, en fer et en protéines de la viande rouge.

Halte aux boissons sucrées

Qu'il s'agisse de sodas, de jus de fruits (y compris pur jus) ou de nectars, les boissons sucrées doivent être limitées à moins d'un verre par jour. Plusieurs études ont démontré l'impact des sodas dans le surpoids et l'obésité chez les enfants. La consommation régulière de boissons sucrées serait également responsable de 184 000 décès par an dans le monde dont 133 000 liés au diabète, 45 000 aux maladies cardio-vasculaires et 6 400 aux cancers (5). En ligne de mire : les sucres

ajoutés. Des chercheurs américains ont notamment alerté sur le rôle néfaste du fructose dans le développement du diabète de type 2 (6). Naturellement présent en faible quantité dans les fruits ou le miel, ce sucre est ajouté à hautes doses dans les boissons ou aliments industriels, notamment de sirop de maïs.

Le plein d'oméga 3

Riches en acide alpha-linolénique (ALA), précurseur des oméga 3, les huiles de colza et de noix doivent être utilisées tous les jours. De nombreuses études indiquent que ces acides gras essentiels participent à la prévention des maladies cardio-vasculaires et neurodégénératives (7). Ces huiles présentent aussi un bon rapport oméga 3/oméga 6, dont les apports doivent être équilibrés pour être correctement assimilés par l'organisme. Or, il y a en moyenne 12 fois plus d'oméga 6 que d'oméga 3 dans notre alimentation. Avec un ratio de 1/2 (soit une molécule d'oméga 3 pour deux d'oméga 6), l'huile de colza se situe en dessous du ratio idéal fixé à 1/5.

Les fruits à coques (noix, amandes, noisettes, cacahuètes...) sont également une bonne source d'oméga 3. L'Anses recommande de les intégrer à notre alimentation à raison d'environ 10 g par jour, soit deux à trois belles noix ou une petite poignée d'amandes. Pour profiter de leurs bienfaits, les consommer nature : ni salées, ni sucrées, ni enrobées. La consommation hebdomadaire de deux portions de poisson dont un gras riche en oméga 3 (sardine, maquereau, etc.) reste préconisée. ■ **Brigitte Bègue**

(1) Up to 10 portions of fruit and vegetables a day may prevent 7.8 millions premature deaths, Dagfinn Aune et al., *International Journal of Epidemiology*, 2017.

(2) Association of animal and plant protein intake with all cause and cause specific mortality, M. Song et al., *JAMA Internal Medicine*, 2016.

(3) Carcinogenicity of consumption of red and processed meat, V. Bouvard et al., *The Lancet Oncology*, 2015.

(4) Cured meat intake is associated with worsening asthma symptoms, Z. Li et al., *Thorax*, 2017.

(5) Estimated global regional national diseases burdens related with sugar-sweetened beverage consumption in 2010, G. M. Singh et al., *Circulation*, 2015.

(6) Added fructose is a principal driver of type 2 diabetes, E. Leahy, *Elsevier*, 2015.

(7) The pleiotropic effects of omega-3 docosahexaenoic acid and the allsmarks of alzheimer's disease, Belkouch M. et al., *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2016.

PR FRANÇOIS MARIOTTI PRÉSIDENT DU COMITÉ D'EXPERTS DE L'ANSES*

Attention à la taille des portions

« Indépendamment de l'équilibre nutritionnel, la taille des portions est capitale. Or, celle-ci a beaucoup augmenté. Aujourd'hui, les assiettes sont quasiment deux fois plus grandes qu'il y a quarante ans. De même, les verres ont désormais une contenance de 25 cl, voire 33 cl, soit le double d'un verre normal de 15 cl sur lequel se basent les recommandations de l'Anses. Les portions des plats servis ou préparés sont également trop importantes. Ce mouvement insidieux participe à la perte des repères des consommateurs et à la progression du surpoids et de l'obésité. De plus, comme gras et sucre ont été ajoutés à beaucoup de produits, la densité énergétique totale à gérer est bien plus importante qu'avant. »

* Avis de l'Anses : actualisation des repères du PNNS, décembre 2016.

Des embryons humains génétiquement modifiés

La technique d'édition de gènes CRISPR/Cas9 a été utilisée pour la première fois sur des embryons viables, en Chine.

LE RÉSULTAT EST PASSÉ PLUTÔT INAPERÇU, et pourtant, il est d'une importance majeure : une équipe de l'université de Médecine de Pékin (Chine) a réussi fin mars à modifier le génome d'embryons humains viables. Et ce, en utilisant la désormais fameuse technique CRISPR/Cas9 (lire S. et A. n° 807, mai 2014), le « scalpel de la génétique » qui permet de supprimer, modifier ou ajouter des gènes facilement et pour un coût réduit. « Ces travaux suggèrent que les effets délétères sur le génome sont moindres que sur les embryons non viables », commente le professeur John De Vos, responsable du département d'Ingénierie cellulaire et tissulaire de l'hôpital Saint-Éloi de Montpellier. En 2015, une autre équipe chinoise avait en effet été la première à modifier génétiquement des embryons humains mais qui, eux, n'étaient pas viables (lire S. et A. n° 820, juin 2015).

De tels travaux seraient interdits en France

Cette fois, les chercheurs ont « corrigé » génétiquement aux tout premiers stades de la fécondation six embryons humains porteurs de mutations génétiques. En cause, pour les uns, une déficience du gène HBB entraînant une bêta-thalassémie (malformation des globules rouges), pour les autres, un défaut du gène G6PD provoquant une destruction des cellules du sang. « Les taux de réussite sont bons : 80 % pour la modification de



Le génome a été modifié aux tout premiers stades de différenciation cellulaire.

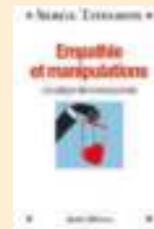
PHANIE

quelques lettres de l'ADN (sur plus de 3 milliards), 10 à 20 % pour une mutation plus grande, donc plus difficile à corriger », explique Carine Giovannangeli, chercheuse au laboratoire Structure et Instabilité des génomes, à Paris. Or, lors des recherches précédentes, les taux de réussite étaient plus faibles et l'ADN avait subi des modifications non prévues.

Cette nouvelle recherche sur des embryons humains, volontairement détruits au bout de deux jours, a été validée par un comité local d'éthique et subventionnée par le ministère chinois. « Il n'a jamais été question de réimplanter ces embryons modifiés », clarifie John De Vos. De tels travaux ne seraient pas réalisables en France, où la modification génétique d'embryon humain reste interdite. ■

Lise Loumé

[@lysLoume](#)



Serge Tisseron, Albin Michel, 180 p., 15 €

Empathie et manipulations

L'empathie est un comportement évocateur d'altruisme, voire d'amour, dont le sens « utilisé à tort et à travers, finit par se perdre ». Ici, l'auteur, psychanalyste et psychiatre, en définit les contours et nous sensibilise à ses dangers. Car dès lors que

l'on fait preuve d'empathie, on devient sujet à être manipulé, que ce soit par la publicité ou les idéologies destructrices comme le djihadisme. Puisant ses exemples dans la vie quotidienne, des films, des arguments politiques, Serge Tisseron nous donne à voir les pièges invisibles de cette qualité tant vantée. Un livre utile pour prendre du recul et approfondir sa connaissance de soi-même. ■ E. S.



David Le Breton, Métailié, 272 p., 20 €

Tenir

Douleur chronique et réinvention de soi

Une vie sans douleur ? Impossible. Dès lors, face à elle, comment tenir et surtout se réinventer ? s'interroge l'auteur, sociologue à l'université de Strasbourg. Et David Le Breton de plaider pour

le développement d'une médecine de la douleur centrée sur l'expérience intime de chacun. Un ouvrage passionnant où s'entrecroisent analyses et paroles de ceux qui tentent de faire face quotidiennement à des douleurs chroniques. Pour tenir. ■ S. R.-M.



Sous la direction de Jean-Michel Lecerf, Belin, 190 p., 18 €

Connaître son cerveau pour mieux manger

« Bien manger améliore notre santé mentale et nos facultés cérébrales » : c'est sur ces mots que Jean-Michel Lecerf, chef du service Nutrition de l'Institut Pasteur de Lille, introduit cet ouvrage collectif. Des acides

gras pour les neurones, du café ou du thé vert pour la concentration, du tryptophane (un acide aminé) pour le bien-être... Grâce à des fiches claires, nous voici parés pour constituer une assiette qui réjouira notre cerveau. Halte aux régimes amaigrissants, dont se souvient ce dernier ! Place à une alimentation fondée sur les sensations. Instructif et bienveillant. ■ E. S.

**" MON ISF, JE PRÉFÈRE QU'IL SERVE
LES CAUSES QUE JE CHOISIS. "**

RÉDUISEZ VOTRE ISF EN DONNANT À LA FONDATION DE FRANCE

L'État a souhaité encourager la générosité en accordant une réduction de votre ISF de 75% de votre don (dans la limite de 50 000€). Recherche médicale, aide à l'enfance ou aux personnes âgées, lutte contre la précarité... avec la Fondation de France, soutenez la cause qui vous tient à cœur. Contactez-nous au **01 44 21 87 87**, ou sur **isf.fondationdefrance.org**

**Fondation
de
France**

**La Fondation
de toutes les causes**



Conjuguant équilibre et renforcement des muscles posturaux, l'escalade est l'un des loisirs les plus complets.

Se faire du bien au grand air

Escalade, VTT, randonnée... mais aussi paddle ou kitesurf-foil... Les sports nature permettent d'allier plaisir et santé. À condition de choisir l'exercice le mieux adapté à son profil.

AVEC LE RETOUR DES BEAUX JOURS, il est temps de se (re)mettre aux sports de plein air. Longtemps chasse gardée d'amateurs de sensations fortes, les disciplines de plein air s'ouvrent depuis vingt ans à un public de plus en plus large : ils sont aujourd'hui 34,5 millions à pratiquer la randonnée, pagayer en paddle (planche sur laquelle on se tient debout), se tester sur des trails (course à pied sur sen-

tiers), grimper des falaises en rappel ou s'éreinter en VTT, électriques ou non. Des pratiquants plus nombreux avec des profils plus variés : au sein de la Fédération française de l'escalade, la moitié des licenciés sont des filles et 19 % des adhérents des fédérations de sports nature ont plus de 50 ans. À l'origine de cet engouement, un besoin d'évasion et de bien-être qui tranche avec l'esprit souvent compétitif des sports traditionnels. « L'at-

Dossier coordonné par
Caroline Brun,
Agence Forum News.
Rédaction Régis de Closets

trait pour ces sports nature est d'abord lié à la détente et à la santé, confirme Francis Gaillard, responsable du Pôle ressources national des sports de nature créé en juin 2013 et qui a pour objectif de promouvoir l'activité physique et sportive. D'ailleurs, il s'agit de plus en plus d'"omnipratiquants", combinant en moyenne plus de trois pratiques et s'entraînant de plus en plus hors des clubs et fédérations. » Ces disciplines sont des outils clés pour renforcer son

UshuaiaTV

SUR LES ROUTES DE LA SCIENCE



DEUX JOURNALISTES SCIENTIFIQUES EN MISSION DANS LE MONDE
AUX CÔTÉS DE CEUX QUI FONT LA SCIENCE

TOUS LES DIMANCHES
21 H30
A PARTIR DU 14 MAI

Plus d'infos sur www.ushuaiatv.fr  
#SLRDLS

universcience

CANAL

canal 87

bouygues

canal 215

orange

canal 128

free

canal 204

SFR

canal 131 ou 200

molotov

► capital santé, qu'il s'agisse de prévenir ou prendre en charge des maladies chroniques entretenues par la sédentarité de notre mode de vie (*lire l'encadré ci-dessous*). Les bénéfices des activités sportives sont en effet mieux connus. Au-delà des bienfaits pour le système cardio-vasculaire ou le capital osseux, différentes études éclairent leur impact sur notre activité cérébrale, à travers la synthèse de la sérotonine — une hormone de l'humeur et du sommeil —, stimulée par la contraction musculaire, et la production de neurones dans l'hippocampe, augmentée par une activité physique régulière. Les recherches ouvrent également des pistes pour mieux se préparer. En matière d'entraînement d'abord, avec des études sur la physiologie qui préconisent une variation des exercices d'endurance et de stimulation cardiaque (dit fractionné : entraînement intermittent qui combine des phases de courses rapides et de récupération) pour de meilleurs résultats. En matière d'alimentation aussi : les régimes à haute dose de féculents et sucres lents, longtemps chéris des sportifs, sont désormais réévalués au profil d'une consommation renforcée de « bon gras » et d'oméga 3 (présents notamment dans les noix ou amandes et poissons gras). De quoi pratiquer longtemps et en bonne santé. ■

R. de C.

LE PLEIN DE NATURE



BLONDEL/ANDIA.FR

La descente de cours d'eau se pratique en groupe ou en famille, sans exiger d'efforts physiques trop intenses.

Nage en eaux vives

PLUS APPARENTÉE AUX SPORTS DE GLISSE QU'À LA NAGE, cette pratique très familiale permet de descendre cours d'eau de montagne mais aussi rivières et fleuves (la Loire, l'Eure, l'Isère...) au gré des courants et des vagues. Combinaison isothermique et casque pour la protection, palmes et flotteurs pour se guider, le sport se

pratique en groupe et demande peu de technique pour peu que l'on reste sur les cours d'eau classés en catégories 1 à 3. On y profite de paysages magistraux et on apprend à « lire le courant », sans effort physique trop intense. La Fédération recense les principaux « spots » sur son site Web.

DIFFICULTÉ : 2/4

TECHNICITÉ : 2/4

ATOUS SANTÉ : tonus, musculature abdominale.

Méthodologie : Les évaluations indicatives des différents sports ont été établies avec un pool de six médecins du sport et formateurs. Trois éléments ont été retenus : LA DIFFICULTÉ, niveau d'effort physique requis pour pratiquer ; LA TECHNICITÉ, niveau technique requis pour l'apprentissage, et les principaux ATOUS SANTÉ associés à une pratique régulière.

SPORT SUR ORDONNANCE

Un remède pour soigner les maladies chroniques ?

Face à la montée des maladies chroniques, le sport devient un pivot dans la prise en charge des patients. Les effets ont été avérés dans plusieurs pathologies : réduction de 30 % du risque de mortalité dans le diabète de type 2 et de 40 % de risque de

récidive et de mortalité pour trois cancers (sein, prostate, côlon). Nombre de fédérations de sport nature s'organisent déjà pour proposer des prises en charge adaptées aux patients : « coachs athlétisme » pour la Fédération d'athlétisme ou « rando

santé » (sur terrain plat) pour la Fédération de randonnée pédestre. L'effort devrait s'accroître dans les prochains mois avec l'article « sport sur ordonnance » de la loi santé. Depuis le 1^{er} mars, tout médecin traitant peut en effet prescrire des séances de sport à un patient atteint de maladie chronique. Cette prescription permet de bénéficier d'un bilan personnalisé et du suivi d'un éducateur formé dans

un club ou une structure labélisée Sport santé. Toutefois, les séances ne sont pas remboursées par la Sécurité sociale. Leur prise en charge financière, totale ou partielle, est laissée à l'initiative des collectivités. Certaines municipalités (Strasbourg, Biarritz...) se sont déjà engagées. « Ce décret représente moins un cadre qu'un outil incitatif », explique Jacques Bigot, du Pôle ressources national sport, santé, bien-être. ■

VTT-AE

(assistance électrique)

LONGTEMPS RÉSERVÉS AUX SPORTIFS LES PLUS ENDURANTS, les superbes sentiers de VTT de montagne s'ouvrent au plus grand nombre grâce aux VTT-AE (assistance électrique) avec leurs moteurs et batteries offrant



SHUTTERSTOCK

jusqu'à 80 km d'autonomie. Ils permettent « d'attaquer » les montées sans crainte de trop s'y essouffler, d'échapper plus facilement aux ornières et de gagner en stabilité dans les descentes. « Chacun peut pédaler à son rythme, ce qui favorise une pratique plus conviviale et collective du VTT », explique Benoît Loucel, responsable des activités montagne à l'UCPA. Mais attention : si le VTT-AE gomme en partie l'effort, pour profiter des effets sur la santé (renforcement du cœur, baisse de la tension, brûlage de graisses), il faut donner de vrais coups de pédales en côte...

DIFFICULTÉ : 2/4

TECHNICITÉ : 2/4

ATOUS SANTÉ : **entretien cardio-vasculaire.**

Escalade

SENSATION DU VIDE ET PANORAMAS VERTIGINEUX : les pionniers des cimes ont laissé place à une foule d'un million de grimpeurs amateurs qui s'initient en majorité en salle avant de s'attaquer aux quelque 4000 parois naturelles de France dès les beaux

INTERVIEW

PR FRANÇOIS CARRÉ

CARDIOLOGUE ET MÉDECIN DU SPORT AU CHU DE RENNES, PRÉSIDENT DE L'OBSERVATOIRE DE LA SÉDENTARITÉ

« Il faut savoir graduer son effort »



CHU DE RENNES/SDP

Quelles précautions prendre pour se remettre au sport ou s'initier à une nouvelle pratique ?

Comme pour toute chose, il faut y aller progressivement. Le mieux est de se refaire une « condition physique » avec un entraînement alternant exercices d'endurance et de « fractionné » sur 3 à 6 semaines avant de commencer à pratiquer. Il ne faut pas non plus hésiter à faire un bilan médical après un arrêt prolongé. Dans tous les cas, tout signe anormal — fatigue, essoufflement ou palpitations inhabituelles — doit alerter. 1000 à 1200 personnes décèdent chaque année d'un problème cardiaque lors d'une pratique sportive. S'il n'existe aucun profil type, il y a presque toujours des signaux avant-coureurs.

Quels bénéfices la pratique de sports, en particulier en plein air peut-elle avoir pour notre santé ?

Le premier est de prévenir l'un des maux de notre siècle : la sédentarité, facteur majeur d'inflammation et d'oxydation de notre organisme ! Mais au-delà de l'activité physique elle-même, le sport permet de brûler des calories et joue sur la production, par nos fibres musculaires, de myokines dont les propriétés sont de mieux en mieux connues. On a identifié une centaine de ces protéines qui agissent dans tout notre organisme et stimulent l'expression de nombreux gènes, favorisant aussi bien la fluidification du sang et la consolidation osseuse que la stimulation neuronale et la prévention de cancers. On ne sait pas encore tout de ces myokines, notamment

quel type de muscle ou d'entraînement stimulerait le plus leur production.

Comment faut-il adapter son alimentation ?

Un régime alimentaire équilibré est important pour préparer l'organisme. Durant la pratique sportive, le corps doit être hydraté avec de l'eau plus ou moins sucrée, au maximum 45 minutes après le début de l'exercice. Une alimentation riche est nécessaire après l'effort car le sportif connaît alors une « fenêtre métabolique » d'une à trois heures durant laquelle l'organisme reconstitue ses réserves. C'est à ce moment-là que des apports en protéines, calcium et glucides sont essentiels, sous forme de boissons, d'aliments ou de compléments. ■

Propos recueillis par R. de C.

jours. Classées de 1 à 6, les « voies » sont accessibles selon les niveaux et des applis pour téléphone portable permettent de géolocaliser les sites proches (Climbingaway, par exemple). Attention : même si elle est plus physique, la pratique *indoor* suppose une vraie adaptation en extérieur où l'effort repose plus sur l'endurance et où la gestion des conditions clima-

tiques est importante. Côté bénéfices, l'escalade reste l'un des sports les plus complets, conjuguant travail d'équilibre avec renforcement des muscles posturaux. Très intuitive, elle est accessible aux enfants, dès 6 ans.

DIFFICULTÉ : 3/4

TECHNICITÉ : 2/4

ATOUS SANTÉ : **équilibre, musculation, esprit de décision.**



Randonnées volcaniques dans le Massif du Sancy

Au cœur du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, le Massif du Sancy et ses 511 km² sont un véritable écrin naturel, propice à la pratique des activités de pleine nature en tout genre et à la randonnée en particulier.

Même si sa physionomie étrange ne le révèle pas au premier regard, **le Massif du Sancy est bien un volcan**. Certes, il ne ressemble pas au volcan au cratère parfait des publicités car le **Massif du Sancy est un strato-volcan dont l'histoire débute il y a 3 millions d'années**. Tantôt falaises cisaillées, tantôt collines aux pentes douces, ses sommets sont visibles à des dizaines de kilomètres à la ronde. **Depuis son point culminant le Puy de Sancy (1886m)**, le panorama dévoile 1/7ème de la France. A ses pieds quatre vallées glaciaires prennent naissance dont la vallée de la Haute Dordogne qui accueille les stations thermales réputées de La Bourboule et du Mont-Dore et les vallées plus sauvages de Chaudefour, la Fontaine Salée et la Biche.

Voilà, le décor est planté et pour agrémenter le tableau il convient de rajouter de jolies tâches bleues qui symbolisent **les nombreux lacs volcaniques** présents sur ce territoire dont le célèbre **Lac Pavin, maar aux formes parfaitement circulaires**.

Vous l'avez compris, ce cadre volcanique fleure bon l'air pur, les grands espaces et la nature préservée au service de laquelle **trois réserves naturelles ont été mises en place**. Elles sont le gage d'une démarche affirmée pour un tourisme responsable, respectueux de cet environnement ainsi que de sa faune et sa flore remarquable (1058 plantes inventoriées dont la célèbre plante carnivore la Drosera à feuilles rondes).

670 km de sentiers balisés et entretenus

Dans ce milieu, les adeptes de la marche s'en donnent à cœur joie : d'une durée d'une heure pour les balades en famille avec des jeunes enfants à 6 heures pour des randonnées plus sportives, la variété des circuits permet à chacun de pratiquer son activité favorite. Les circuits balisés sont répertoriés sur des cartes et topoguides disponibles dans les offices de tourisme du Sancy.

Le point fort de cette destination est **la diversité des paysages** (plateaux d'estives ou crêtes) qui fait écho à la diversité des randonnées possibles.



Destination Pleine Nature

La multitude des activités de loisirs proposées confère au Massif du Sancy le titre de « Destination Pleine Nature ». **Véritable espace de jeu pour les trailers**, le Sancy a mis en place des parcours permanents avec un balisage spécifique Trail pour s'entraîner en toutes saisons.

Le vélo s'y décline au pluriel : VTT cross-country avec 47 circuits tous niveaux, **VTT de descente (DH)** sur les 6 pistes aménagées de Super Besse accessibles par téléphérique, **cyclo** avec des cols réputés, **fatbike** fameux VTT aux pneus surdimensionnés que l'on peut tester lors d'une sortie encadrée par un moniteur.

Malin : pour ceux qui veulent faire du VTT sans forcer ou pour permettre aux plus jeunes de participer à l'expédition, on peut louer sur place **des VTT à assistance électrique**, un vrai bonheur pour les mollets. Et pour récupérer des efforts réalisés, quoi de mieux qu'une pause bien-être dans l'un des centres de remise en forme ou aqua ludiques du Sancy.

Si cet été, vous avez envie de vivre de nouvelles expériences et faire le plein d'énergie loin de la cohue, laissez-vous séduire par des vacances dans le Massif du Sancy.

Parole d'expert

Ernesto, guide-accompagnateur en montagne

«...Lors des randonnées que j'accompagne, je fais partager mes connaissances du milieu aux vacanciers, je réponds à leurs questions lors des rencontres imprévues sur le sentier : empreintes d'animaux, fleurs... Je leur explique les phénomènes géologiques rencontrés et fasciné par le volcanisme, j'aime commenter ce paysage unique en Europe. Tout cela ponctué d'anecdotes pour que chacun reparte avec un savoir enrichi sur le massif. Avec un accompagnateur, les randonnées s'effectuent en toute tranquillité et en toute sécurité car nous sommes des professionnels possédant une vraie connaissance de la montagne...»

Plus d'informations

Office de Tourisme du Sancy

www.sancy.fr - 04 73 65 31 31

Une gamme d'hébergements variés

➔ Adaptés à tous les goûts et budgets, bon nombre d'entre eux dispose d'une marque ou d'un label, gage de qualité


près de **2400**
locations
jusqu'à 5 étoiles


64 hôtels
jusqu'à 4 étoiles


8 villages vacances


12 résidences hôtelières
jusqu'à 3 étoiles


35 maisons
proposant des **chambres d'hôtes**
jusqu'à 4 épis


33 campings
jusqu'à 5 étoiles

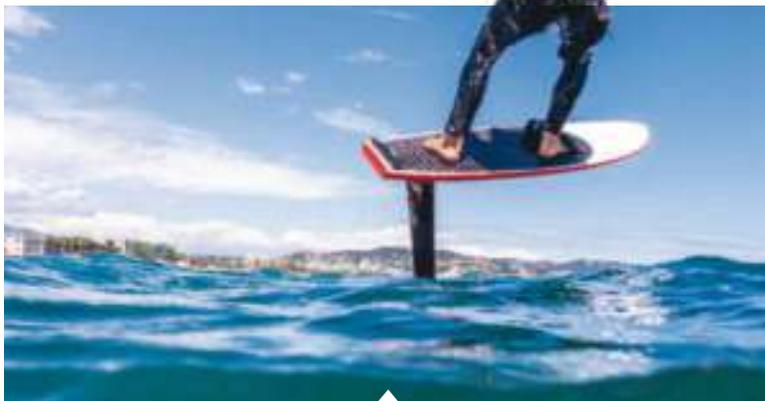

22 aires d'accueil pour camping-cars


44 hébergements
d'accueil de groupes ou d'enfants





SENSATIONS FORTES



Ajouté à une planche de kitesurf, le foil (petit aileron) permet d'accroître la vitesse dans l'eau pour un travail musculaire et d'équilibre plus intense.

Foil

CE PETIT AILERON EN CARBONE permettant de tenir les coques de voiliers hors de l'eau pour glisser plus vite sur les flots a été adapté dans de nombreux sports nautiques : *wind-surf-foil* ou *kitesurf-foil*. Avantages ? Plus de vitesse, un travail musculaire, d'équilibre et de souplesse plus intense. Attention : ces sports peuvent être très dangereux, avec des vents difficiles à maîtriser et des risques de chutes. Recommandé aux pratiquants de *wake-board* ou planche à voile.

DIFFICULTÉ : 3/4

TECHNICITÉ : 3/4

ATOUS SANTÉ : équilibre, souplesse, musculature.

Itinérance

OFFICIELLEMENT, L'ITINÉRANCE CONSISTE À PASSER PLUS DE DEUX NUITÉES sur un même parcours de randonnée. Dans les faits, il s'agit d'une immersion en « pleine nature », populaire dans les pays anglo-saxons. En France, les deux destinations vedettes restent la Grande Traversée des Alpes et le chemin de Saint-Jacques-de-Compostelle, mais leur forte fréquentation a contribué à diversifier les offres et parcours avec des variantes sportives ou même accompagnées de roulottes ou d'ânes. Cette mise au vert aurait d'ailleurs de bons effets sur notre cerveau. Selon des chercheurs de la National Academy of Science améri-

caine, les randonneurs qui pratiquent en pleine nature auraient un esprit créatif amélioré de 50 % à leur retour !

DIFFICULTÉ : 2/4

TECHNICITÉ : 1/4

ATOUS SANTÉ : endurance, bien-être mental.

Le trail

SI CERTAINES ÉPREUVES SONT RÉSERVÉES AUX SPORTIFS AGUERRIS dévalant les sentiers de parcours mythiques (ultra-trail du Mont-Blanc, Diagonale des fous à La Réunion...), ces courses combinant marche et running attirent 300 000 fans par an. Elles se pratiquent aussi en plaine (trail des pays de Caux ou d'Étretat) ou en ville (Lyon, Barcelone...) Attention : l'effort est très intense pour les trails classiques (42 km maximum), *a fortiori* pour les trails longs (plus de 70 km). Un bilan complet et une initiation progressive sont indispensables. Des chercheurs suisses de l'université de Lausanne ont mon-



En ville aussi, dépensez-vous !

La pratique sportive en ville s'ouvre de plus en plus aux activités de plein air. Les innovations se multiplient, comme en témoigne le succès des *trails* urbains (celui de Lyon a rassemblé plus de 5000 participants en 2016) ou des salles d'escalade, (une nouvelle s'ouvre en France chaque semaine). Mais la ville suscite aussi ses propres pratiques *outdoor*, à l'image du *street work out*, du *freerun* ou du *fitness* urbain qui se développent grâce aux agrès et barres de force mis

à disposition dans l'espace public. Même le *parkour*, sport de rue popularisé par les *Yamakasi* revisitant le saut d'obstacles sur mobilier urbain et murs d'immeubles, est désormais reconnu comme discipline officielle en Grande-Bretagne et dispose en France d'une fédération avec plus de mille adhérents, proposant des initiations pour tous les âges. Les métropoles prennent le pli de cette envie de bouger grandissante. La mairie de Paris prépare ainsi son propre sentier de grande

randonnée, le GR75, réfléchit à des parcours aquatiques de *stand up paddle* sur le bassin de la Villette et inaugurera en juin un premier tronçon de son futur réseau de parcours sportif. Ce maillage, qui s'étendra d'ici à 2020, proposera des espaces aménagés pour la pratique sportive *outdoor* avec agrès en libre-service, pistes de course aménagées et même vestiaires à disposition dans un certain nombre d'espaces publics pour les sportifs urbains. ■

tré qu'un entraînement dit polarisé à 80 % d'intensité faible, alterné avec des séances intenses, favorise l'endurance et la gestion de l'allure. De même, une alimentation enrichie en jus de betterave, à forte teneur en oxyde nitrique, aiderait à l'oxygénation des muscles durant l'effort. Avec un gain de 15 % du temps avant épuisement lors des épreuves, selon des études anglo-saxonnes, même si les effets n'ont été évalués pour l'instant que sur de courtes distances.

DIFFICULTÉ : 4/4

TECHNICITÉ : 2/4

ATOUS SANTÉ : cœur et muscles en forme.

L'arsenal techno du sportif

TROUVER SES PARTENAIRES ET COACHS.

De plus en plus pratiqués hors des clubs et fédérations, les sports nature s'appuient largement sur les applis communautaires. Référence des plates-formes généralistes, Windoo met en relation partenaires d'entraînement et coachs dans plus de mille disciplines, OuiRun se centrant plus sur le monde des « runners ». De son côté, Playeur se revendique l'Airbnb du matériel sportif, proposant des locations d'équipements entre particuliers. Beaucoup de ces sites développent des services associés pour fidéliser — covoiturage vers des sites, accès VIP à certaines courses.

TROUVER SES ITINÉAIRES.

Avec plus de 65 % des coureurs pratiquant avec leur smartphone en poche, la numérisation des sentiers et parcours est devenue le grand défi pour les fédérations sportives. Les collecteurs de la FFR sont sur le terrain depuis 2010 pour établir traces GPS et données topographiques sur les 100 000 km de sentiers. Un travail titanesque qui devrait aboutir dès 2018 à un accès à une vingtaine de Topoguides en versions numériques. D'autres fédérations (escalade, vélo) travaillent à la « virtualisation » des sites et sentiers. Mais si ces cartes offriront une géolocalisation en continu, elles resteront tributaires de la couverture — aléatoire — des sites naturels en ondes Wi-Fi.

MESURER SES PERFORMANCES.

Après une première vague d'objets connectés comptant les pas ou mesurant les pulsations cardiaques de sportifs, les start-up spécialisées annoncent de nouveaux *coachs* virtuels autrement plus efficaces. L'enjeu ? Proposer des analyses biologiques en temps réel aux sportifs. Des équipes américaines travaillent ainsi sur des patchs intelligents capables de mesurer concentration de glucose ou lactate dans la sueur d'un coureur et d'indiquer son besoin d'hydratation. Les Français de la start-up Lsee devraient commercialiser d'ici à la fin de l'année le premier trackeur métabolique grand public, capable de mesurer les marqueurs de brûlage de graisse en temps réel à partir d'une goutte de sang prélevée sur le doigt. De quoi optimiser ses performances ! ■

SANTÉ ET FITNESS



Pagayer debout : un travail complet d'endurance sans risque pour les articulations.

Stand up paddle

INVENTÉ PAR LES SURFEURS, cette façon de ramer debout sur une planche permet un travail parmi les plus complets d'endurance, d'équilibre et de cardio, sans risque de traumatisme pour les articulations. Pratiqué en bord de mer, sur les plans d'eau et même au fil des canaux, le *stand up paddle* (ou SUP ou paddle) permet à la fois des balades en famille et des sorties sportives plus intenses. La pratique s'hybride de plus en plus avec d'autres sports (sans pagaies) : SUP Yoga ou SUP fitness à pratiquer en équilibre sur sa planche. Les planches gonflables sont moins encombrantes (elles tiennent dans un sac à dos) et moins coûteuses.

DIFFICULTÉ : 2/4

TECHNICITÉ : 2/4

ATOUS SANTÉ : **musculature complète, équilibre.**

Marche nordique

LA « RANDO ATHLÉTIQUE », COMME ON LA BAPTISE ÉGALEMENT, a été inventée par des skieurs de fond pour prolonger leur entraînement durant l'été. C'est dire si l'effort y est complet : l'emploi de bâtons permet de solliciter 80 % des muscles du corps avec une dépense énergétique augmentée de 20 % à 40 % par rapport à une marche classique... Les parcours, qui empruntent les chemins de rando classiques, durent d'ailleurs rarement plus de 2 heures. « C'est un bon sport

pour développer ses capacités cardio-respiratoires, note Sophie Dumery, membre de la commission médicale de la Fédération de randonnée. *Parfait pour des sédentaires souhaitant se remettre à l'exercice.* » Mais gare : la pratique, plus technique qu'elle ne paraît, suppose une vraie coordination des bras et jambes. Une initiation encadrée est recommandée.

DIFFICULTÉ : 3/4

TECHNICITÉ : 2/4

ATOUS SANTÉ : **endurance, travail cardio-respiratoire.**

Longe-côte

AUSSI APPELÉE « MARCHÉ AQUATIQUE », cette variante de la rando se pratique en combinaison Néoprène et en groupe, les jambes et la taille immergées. Souvent taxée de sport pour seniors, elle constitue en réalité un exercice physique intense, l'effort de marche étant cinq fois plus important dans l'eau que sur terre et la dépense de calories plus importante du fait des températures souvent froides. Pratiquée en bord de plage, elle se cantonne à des distances courtes. « C'est un exercice complet qui combat l'insuffisance veineuse, explique Sophie Dumery, membre de la commission médicale de la Fédération de randonnée. *Mais un bilan cardiaque est nécessaire chez les personnes ayant des facteurs de risque cardio-vasculaires.* »

DIFFICULTÉ : 3/4

TECHNICITÉ : 1/4

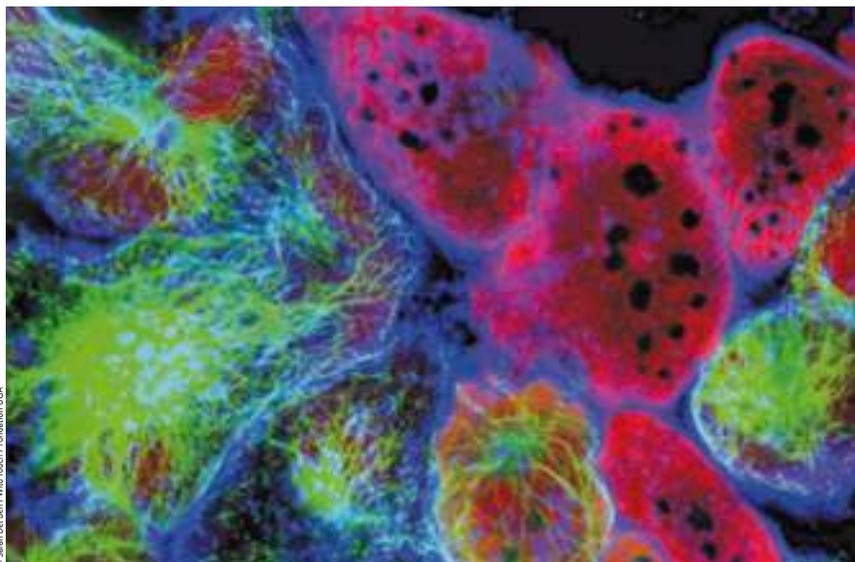
ATOUS SANTÉ : **musculature, circulation, antistress.**

Cancer : les promesses de l'immunothérapie

Connue depuis une dizaine d'années, l'immunothérapie antitumorale vise à restaurer le fonctionnement du système immunitaire face aux cellules cancéreuses. Pour proliférer, ces dernières sont en effet capables de l'inhiber. Retour sur une série de découvertes.

Depuis le début des années 2010, la définition du cancer a évolué. Longtemps considérée comme une anomalie de la prolifération cellulaire, la maladie est aussi liée à un dysfonctionnement du système immunitaire. Ce changement de paradigme a permis d'imaginer un nouveau type de traitement : l'immunothérapie, susceptible d'agir contre un grand nombre de tumeurs. En théorie, elle pourrait même avoir un effet sur la quasi-totalité des cancers. Il s'agit d'éduquer et d'activer les défenses immunitaires de la personne concernée, de façon à ce qu'elles éliminent elles-mêmes les cellules cancéreuses. L'approche est pour l'instant validée dans les cancers de la peau, du poumon et de la vessie. Ces traitements continuent à être étudiés, seuls ou en association avec d'autres thérapeutiques. De nombreux essais cliniques sont en cours, notamment contre les cancers de la vessie, du rein, du sein... Les résultats, qui s'accumulent depuis plusieurs années, sont très prometteurs.

L'histoire n'est pourtant pas nouvelle. Son origine remonte même à plus d'un siècle et demi. En 1863, le médecin berlinois Rudolph Virchow décrivait l'infiltration de tumeurs humaines par des lymphocytes, qui sont d'importants éléments du système immunitaire. Il fut le premier anatomo-pathologiste à les observer à l'intérieur de tumeurs. Un siècle plus tard, en 1973, le Canadien Ralph Steinman découvrait les cellules dendritiques, ce qui lui a valu un prix Nobel en 2011. Régulièrement baptisées sentinelles de l'immunité, ces cellules patrouillent l'organisme à la recherche des intrus. Quand elles les trouvent, elles les absorbent puis les digèrent pour, ensuite, en présenter certains éléments – les antigènes



Cellules cancéreuses vues au microscope

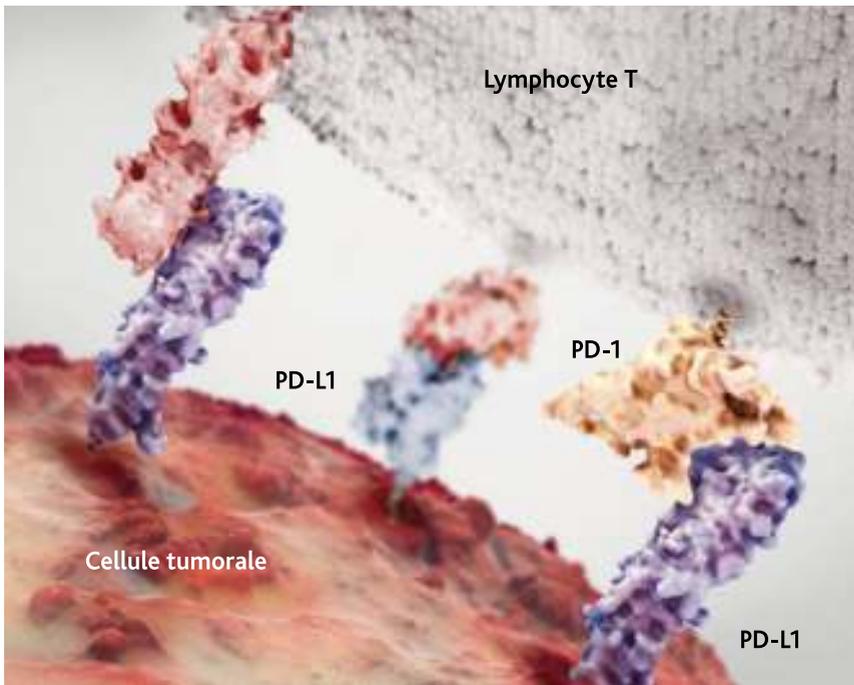
– à leur surface. On les appelle alors les cellules présentatrices d'antigènes. Elles communiquent l'information aux lymphocytes, bras armé de l'immunité. Ainsi, les cellules dendritiques activent et éduquent les lymphocytes, qui se multiplient. Les lymphocytes T se chargent de détruire l'étranger et certains d'entre eux pourront aussi, plus tard, le reconnaître. Les spécialistes parlent d'immunité acquise, ou adaptative.

Défaillance immunitaire

Tout comme il reconnaît les bactéries et les virus, le système immunitaire peut reconnaître les cellules cancéreuses, grâce à des fragments de protéines situés à leur surface. On les appelle les antigènes tumoraux. Spécifiques aux cellules cancéreuses, ces derniers ne sont pas retrouvés sur les cellules

des tissus normaux, ou pas dans les mêmes quantités. En 1991, deux équipes différentes, l'une belge et l'autre américaine, ont découvert que certains lymphocytes reconnaissent des motifs antigéniques exprimés par les cellules tumorales. Ces chercheurs ont donc décrit, pratiquement au même moment, les premiers antigènes tumoraux. Normalement, ces fragments de protéines doivent permettre au système immunitaire d'intervenir pour éliminer les cellules cancéreuses. Pourtant, la tumeur qui se développe signe un échec de la stratégie. Que s'est-il donc passé ?

La défaillance du système immunitaire résulte d'un stratagème élaboré par les cellules tumorales, qui parviennent à s'y soustraire. Il faut dire que pour éviter de se tromper ou de s'emballer, le système immunitaire dispose



La cellule tumorale empêche le système immunitaire de l'éliminer grâce à une protéine située à sa surface. Baptisée PD-L1, elle se lie parfaitement à la protéine PD-1, qui se trouve à la surface du lymphocyte T, un élément du système immunitaire chargé de détruire les intrus. La liaison entre ces deux protéines bloque son action. En recouvrant l'une ou l'autre de ces deux molécules, les nouveaux médicaments empêchent leur liaison. Ils restaurent ainsi le fonctionnement du lymphocyte T.

de plusieurs dispositifs de contrôle. Certains participent à le stimuler quand d'autres le freinent. Ces dispositifs sont essentiels. Par exemple, quand le frein est inactivé, le système immunitaire peut s'emballer pour rien ou presque. Il attaque alors les propres cellules de l'organisme, comme c'est le cas dans les maladies auto-immunes. Or, c'est justement l'un de ces dispositifs de contrôle que détournent les cellules cancéreuses. Elles bloquent ainsi le lymphocyte qui s'est fixé à leur surface avant que celui-ci ne puisse passer

Les chercheurs de Roche réveillent le système immunitaire. Illustration avec un traitement prometteur : l'immunothérapie

Sciences et Avenir vous le fait découvrir. Premier volet d'une série de 3 articles

à l'attaque. Pour contrer cette inactivation du système immunitaire, il faut lever ce blocage.

La tromperie des cellules cancéreuses

En 2010, une molécule baptisée « anti-CTLA4 » a montré pour la première fois son efficacité dans 15 % des cas de mélanome métastatique avancé. Il s'agit d'un anticorps thérapeutique. Il lève un des freins naturels du système immunitaire, détourné à leur avantage par les cellules cancéreuses. Le traitement améliore la survie globale de plusieurs personnes atteintes de mélanome métastatique. Après plusieurs années de recul, les chercheurs ont aussi observé que l'efficacité de ce traitement se prolonge longtemps. Il a été officiellement mis à disposition des patients en 2011.

Quatre ans plus tard, d'autres médicaments immunothérapeutiques sont approuvés Ils

agissent sur la voie PD-1 (pour Programmed Death 1)/PD-L1 (pour Programmed Death-Ligand 1), un point de contrôle du système immunitaire plus spécifique. La liaison de PD-1, situé à la surface des lymphocytes T, à son ligand naturel PD-L1 a pour effet de bloquer la réponse immunitaire (voir schéma ci-contre). Ce frein est utilisé par les cellules cancéreuses. En effet, ces dernières produisent elles-mêmes la molécule PD-L1. Résultat : en mimant la liaison naturelle, elles activent le frein du système immunitaire. Voilà, en partie, comment elles lui échappent. Elles réussissent alors à proliférer puis à migrer un peu partout dans le corps, formant des métastases. En se fixant directement sur les molécules PD-1 ou PD-L1, les anticorps thérapeutiques développés par les chercheurs empêchent leur liaison. Logiquement, les scientifiques les ont baptisés « anti-PD-1 » et « anti-PD-L1 ». En levant ce frein, ces nouveaux anticorps restaurent une immunité fonctionnelle. Les lymphocytes T sont alors libres de s'attaquer aux cellules cancéreuses. Depuis plusieurs années, nombre d'essais cliniques visent à tester l'innocuité puis l'efficacité de ce type d'immunothérapie. Les derniers résultats valident l'intérêt de l'approche.

Identifier les patients

Pour savoir si les cellules cancéreuses seront sensibles à l'immunothérapie, les scientifiques recherchent la présence de la protéine PD-L1 sur un échantillon de tumeur prélevé par biopsie. Les patients dont le cancer présente un taux de PD-L1 élevé répondent beaucoup mieux à ce type de traitement. Plus rapidement et plus longtemps. Mais leur identification reste difficile. Pour l'heure, les médecins ne disposent pas des outils adéquats. Ou plutôt, ces derniers ne sont pas assez performants. Pour mieux cibler les patients, les scientifiques doivent encore découvrir de meilleurs biomarqueurs. Autre voie de recherche prometteuse : la combinaison de diverses stratégies thérapeutiques. Ces nouveaux médicaments pourront en effet être conjugués à des thérapies plus anciennes, administrées simultanément ou en alternance. Y compris avec la chimiothérapie, dont l'immunothérapie pourrait potentialiser les effets. Plusieurs essais cliniques sont en cours. Après des débuts chaotiques, l'immunothérapie poursuit son histoire, ses succès et ses promesses.

Sophie Audra

Ces technologies inspirées de la nature

Les propriétés uniques du monde du vivant, animaux et plantes, sont une source d'inspiration pour les chercheurs dans de nombreux domaines. Voici quelques-unes des innovations françaises les plus marquées par le biomimétisme.

Par Olivier Hertel

C'EST LE GRAND RETOUR À LA NATURE, opéré par des chercheurs, des ingénieurs et des industriels en quête d'innovations de rupture. Leur credo : le biomimétisme ou encore la bio-inspiration. L'idée est simple : « *La nature a près de 4 milliards d'années d'expérience ! Autant regarder comment elle fait pour résoudre des problèmes auxquels nous sommes confrontés* », résume Jacques Livage, professeur au Laboratoire de chimie de la matière condensée de Paris. Or, ces problèmes concernent absolument tous les domaines : santé, matériaux, agriculture, énergie, etc. Ainsi, la photosynthèse est chez les plantes une façon efficace d'exploiter une source d'énergie renouvelable, le soleil. « *Nous avons donc tout intérêt à essayer d'en comprendre le mécanisme pour tenter de le copier ou de s'en inspirer dans le cadre de la transition énergétique* », explique Kalina Raskin, directrice du Centre euro-

péen d'excellence en biomimétisme (Ceebios), créé en 2015 à Senlis (Oise).

Une idée déjà exploitée par Léonard de Vinci

Certes, l'idée n'est pas vraiment nouvelle. Léonard de Vinci (xv^e siècle) s'est inspiré des oiseaux pour imaginer une machine volante, Gustave Eiffel (xix^e siècle) a copié la structure du fémur — l'os le plus résistant du corps humain — pour concevoir sa célèbre tour et le Suisse George de Mestral (xx^e siècle) a copié les crochets du fruit de la bardane pour inventer le fameux

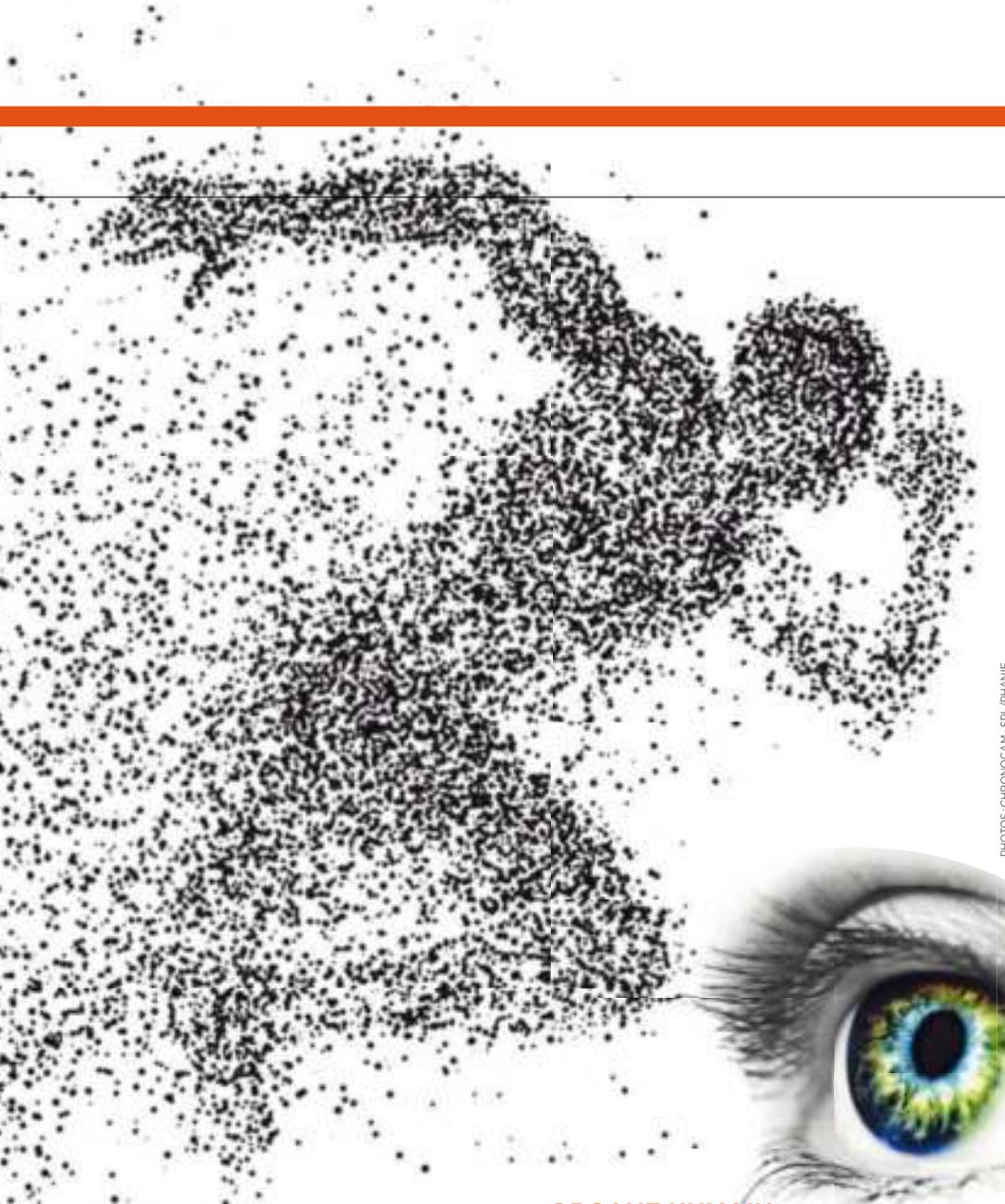
Velcro. Les exemples sont légion. Mais depuis quelques années, le sujet connaît un net regain d'intérêt qui peut être mesuré par le « Da Vinci Index 2.0 ». Cet indice, calculé par le Fermanian Business and Economic Institute (FBEI) de l'université Point Loma Nazarene en Californie (États-Unis), est fondé sur les financements accordés à la recherche dans le domaine, ainsi que le nombre de publications scientifiques et de brevets aux États-Unis. Il a ainsi été multiplié par sept entre 2000 et 2014 ! Un intérêt tout aussi scientifique qu'économique. Dans une étude **Suite page 90** ▶



JACQUES LIVAGE

« **La nature a près de 4 milliards d'années d'expérience. Autant regarder comment elle fait pour résoudre des problèmes auxquels nous sommes confrontés** »

Jacques Livage, Laboratoire de chimie condensée de Paris



PHOTOS: CHRONOCAM - SPA / PHANIE

ORGANE HUMAIN**Une caméra copie le système de vision de l'œil**

▲ **Le capteur** de la caméra Chronocam produit des images tout en nuances de gris qui offrent des contours très facilement identifiables.

La technologie, dérivée de la rétine artificielle — et donc inspirée de l'œil humain —, cumule rapidité et capacité de détection du moindre mouvement.

Le projet de cette start-up installée en plein cœur de Paris est simple : donner la vue aux machines, que ce soit des robots d'usine, des drones ou des voitures autonomes. Ce système de vision, inspiré de l'œil humain, est dérivé de la technologie de rétine artificielle développée par la start-up française Pixium (lire S. et A. n° 828, février 2016) et destinée à restaurer la vue de patients déficients visuels. Dans le cas de Chronocam, les images proviennent d'une petite caméra équipée d'un

capteur semblable à ceux des appareils photo. Mais, à l'inverse de ces derniers, son fonctionnement ne produit pas des images colorées et détaillées, plutôt des nuances de gris, révélant des contours facilement identifiables. « Notre capteur est composé de pixels indépendants les uns des autres, chacun mesurant les variations de lumière sur la scène. Quand la quantité de lumière dépasse un certain seuil, le pixel signale ce changement », explique Luca Verre, le P-DG de Chronocam. Ces variations de lumière

correspondent ainsi sur l'image aux nuances de gris. L'avantage du procédé étant qu'il n'enregistre des informations qu'en cas de changement, alors qu'un capteur classique filme en continu, même si rien n'a changé entre deux images. Résultat : la caméra Chronocam a beaucoup moins de données à traiter et à stocker. De fait, elle se révèle beaucoup plus rapide, réalisant jusqu'à 1 million d'acquisitions par seconde. De plus, chaque pixel étant indépendant, le capteur ne doit pas composer avec un temps d'exposition à la lumière unique, comme c'est le cas sur un capteur photo classique. Ce temps d'exposition est un compromis trouvé par l'électronique pour saisir le plus de détails possible aussi bien dans les zones peu éclairées que dans celles trop lumineuses. Dans la caméra Chronocam, chaque pixel a son temps d'exposition propre. Si l'un regarde dans l'ombre et l'autre au soleil, ils auront chacun l'exposition parfaite. Ce système est idéal pour la vision par ordinateur. Ainsi, à bord d'une voiture autonome, il produit suffisamment d'informations pour reconnaître la silhouette d'un piéton s'apprêtant à traverser et capte le plus infime de ses mouvements pour permettre à l'ordinateur de bord d'anticiper sa trajectoire. Chronocam a réalisé en octobre 2016 une levée de fonds de 15 millions d'euros auprès d'investisseurs comme Intel, Bosch ou Renault. La commercialisation de la caméra est prévue pour 2018. ■

► **Suite de la page 88** de 2010, le FBI estimait ainsi que le biomimétisme représentait un potentiel de 300 milliards de dollars de PIB et de 1,6 million d'emplois pour les États-Unis en 2025. Des chiffres revus à la hausse pour 2030 avec respectivement 425 milliards de dollars et 2,4 millions d'emplois.

Des institutions intéressées par le sujet

Toutes ces données ont été recensées dans un rapport du Conseil économique, social et environnemental sur le biomimétisme publié en 2015 et dirigé par Patricia Ricard, directrice de l'Institut océanographique Paul-Ricard. Preuve que le sujet intéresse aussi de plus en plus la France, le Cee-bios est désormais chargé de structurer un réseau autour de ce thème. Le centre peut déjà compter sur le soutien de nombreux partenaires institutionnels comme le Muséum national d'histoire naturelle à Paris ou le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, et aussi sur quelques « poids lourds » français de l'industrie tels Eiffage, Air liquide, Renault ou encore L'Oréal. Participent aussi à cet engouement les start-up et laboratoires français dont le vivant est naturellement une source d'inspiration. Voici donc quelques-unes des innovations françaises les plus « bio » du moment. ■

 @OlivierHertel

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Comment fait le gecko pour marcher au plafond ?** Serge Berthier, Belin, 2016.
- **Quand la nature inspire la science**, Mat Fournier, Plume de Carotte, 2016.
- Une série de vidéos sur les animaux et végétaux qui ont inspiré des technologies sur sciav.fr/843biomimétisme



INSECTES

Le poil sensible venu du grillon

C'est chez le grillon que Jérôme Casas, professeur à l'Institut de recherche en biologie de l'insecte de Tours (Indre-et-Loire), a trouvé l'inspiration. Grâce à des petits poils sensoriels disposés sur ses antennes à l'arrière du corps, l'insecte est capable de percevoir et distinguer les moindres mouvements d'air autour de lui. C'est ainsi qu'il échappe à ses prédateurs, notamment les araignées en identifiant les vibrations qu'elles provoquent en fondant sur lui.

« Nous nous en sommes inspirés pour concevoir un poil artificiel très sensible qui capte des flux d'air très faibles en se pliant. En multipliant ces poils, nous avons obtenu une sorte de caméra de flux capable de cartographier l'écoulement de l'air », explique Jérôme Casas. Pour le moment, ce capteur de flux microscopique n'a pas encore d'applications. Mais il pourrait être utilisé pour mesurer le mouvement des ailes battantes de futurs microdrones eux-mêmes inspirés des insectes. ■



Pour percevoir les flux d'air, le grillon possède des poils sensoriels (en haut) qui ont servi de modèle pour concevoir un organe artificiel doté de la même sensibilité.

POISSONS

Eel Energy, l'hydrolienne qui bouge comme une anguille

Un tapis aquatique qui ondule au gré des courants pour produire de l'énergie : tel est le principe de fonctionnement des hydroliennes de la start-up Eel Energy à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais). En ondulant, le tapis fait bouger des pistons entraînant le mouvement de dynamos. Celles-ci transforment cette énergie mécanique en énergie électrique conduite à terre par un câble

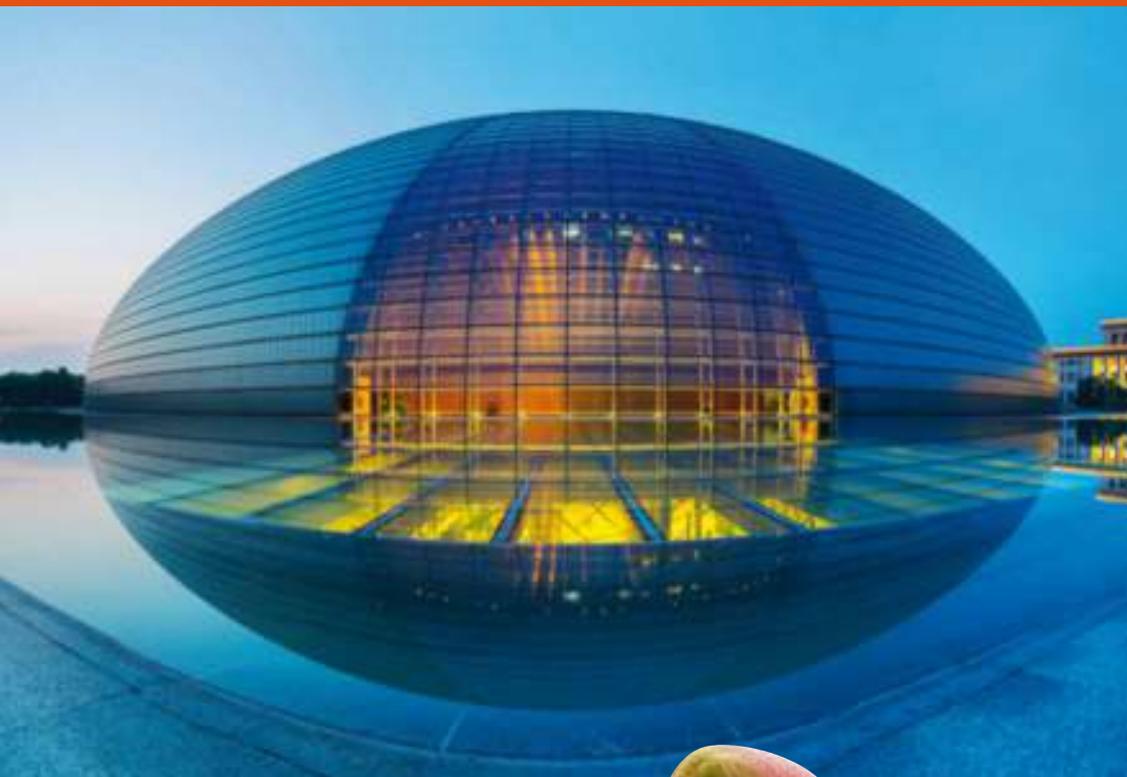
sous-marin. Une ondulation inspirée des poissons, en particulier des anguilles, connue pour être probablement la façon la plus efficace pour se déplacer dans l'eau. Ces hydroliennes sans hélices sont en développement et devraient être opérationnelles à partir de 2020. Eel Energy envisage à terme l'implantation de « fermes » productrices de courant aussi bien dans des fleuves que sous l'océan. ■



▲ **Le dispositif imite l'ondulation** d'une anguille pour activer des dynamos. Celles-ci transforment l'énergie mécanique en électricité. ▼



PHOTOS: EEL ENERGY - SHUTTERS TOCK



PHOTOS: BIOSPHOTO - ZHOU ZHIVONG/IMAGECHINA/AFP

ET AUSSI...

Les bactéries luminescentes

La start-up Glowee à Évry (Essonne) s'inspire de bactéries qui produisent naturellement de la lumière (bioluminescence) pour concevoir des éclairages. Ces bactéries sont notamment présentes chez les lucioles, les méduses, les calmars et certains champignons. Cette lumière est le résultat d'une réaction chimique naturelle et n'utilise donc pas d'électricité.

Le vol de la libellule

En observant au ralenti le vol des papillons et des libellules, les physiciens Ramiro Godoy-Diana, du CNRS, et Benjamin Thiria, de l'université Paris-Diderot, ont pu montrer que la flexibilité de leurs ailes leur permettait d'économiser jusqu'à 50 % d'énergie. Ces résultats permettent d'imaginer des éoliennes à pales flexibles plus performantes que celles à pales rigides.

Les ailes bleues du papillon

La structuration des ailes bleues du papillon morpho (Amazonie) lui permet notamment de réguler sa température autour de 40 °C, soit en absorbant la chaleur, soit en la réémettant sous forme d'infrarouge. Serge Berthier, de l'Institut des nanosciences de Paris, estime que nous pourrions nous en inspirer pour concevoir des panneaux solaires capables d'autoréguler leur température. Car au-delà d'environ 100 °C, leur rendement baisse nettement.

PHYTOPLANCTON

Un verre inventé par les algues diatomées



▲ **La surface des vitres autonettoyantes** de l'opéra de Pékin a été obtenue par polymérisation, une réaction chimique qui donne aux algues diatomées leur carapace de verre (ci-contre).
 ▼

La fabrication du verre est un bon exemple de ce que l'on pourrait appeler un « rétrobiomimétisme », les chercheurs et ingénieurs comprenant que leur invention... existe déjà dans la nature depuis des centaines de millions d'années! Ainsi, les diatomées, ces algues unicellulaires aux formes aussi belles que variées, sont naturellement protégées par une carapace de verre nommée frustule. Or, contrairement aux humains qui ont été contraints d'inventer un four à plus de 1000 °C pour faire fondre la silice du sable — constituant de base du verre —, ces organismes peuvent le faire... à température ambiante. Ils utilisent une autre approche : la polymérisation. Les diatomées exploitent une réaction chimique qui permet de réaliser des chaînes de silice dissoute dans l'eau sous forme d'acide silicique. Sans connaître les manières des diatomées, les chimistes ont

découvert cette réaction il y a plus d'un siècle. La technique, appelée procédé sol-gel, est utilisée par l'industrie depuis la fin des années 1950. Elle consiste à partir d'une solution de silice, qui par polymérisation devient de plus en plus visqueuse, pour aboutir à la formation d'un gel. Après séchage, on obtient un vrai solide. Seule limite du procédé : il ne permet pas de faire des objets massifs comme des vitres ou des bouteilles car le séchage provoque des ruptures du matériau. En revanche, il est approprié pour la fabrication de films minces venant conférer aux vitres des propriétés particulières : isolant thermique, antireflet, hydrophobe (qui repousse l'eau), etc. Cette chimie dite douce, en se passant des hautes températures, représente donc un gain important d'énergie pour l'industriel. Elle permet aussi de produire des matériaux nouveaux,

dit hybrides, qui mélangent la chimie minérale (à base de silice, de titane, etc.) et la chimie organique (à base surtout de carbone, d'oxygène, d'hydrogène), pour obtenir de nouvelles propriétés. « Nous avons par exemple développé pour un industriel de la cosmétique un produit destiné aux cheveux très fins. La partie organique permet de bien imprégner le cheveu avec la partie minérale, en l'occurrence de la silice, afin de le renforcer », explique Jacques Livage, professeur au Laboratoire de chimie condensée à Paris. Autre exemple, mais avec le titane : des vitrages autonettoyants comme ceux du toit du Théâtre national de Pékin en Chine. Les possibilités semblent donc infinies aux chimistes qui, depuis des décennies, faisaient du biomimétisme sans le savoir. ■

Les machines prennent la parole

Les robots conversationnels (« chatbots ») utilisent les progrès de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique pour affiner leurs interactions avec les humains.

ILS S'APPELLENT ANDREW, HOWDY, Amy, Julia, Sophie, Molly, Alexa, Joy, Jam... Ils et elles sont assistants et leur travail consiste à discuter. Ce sont en fait des « chatbots » (de « chat », discuter, et « bot », aphérèse de robot), des programmes informatiques capables de fournir questions ou réponses en temps réel et

en langage naturel dans le cadre d'échanges avec un humain sur ordinateur ou smartphone. Il s'en est créé 11 000 entre mars et juillet 2016, plus ou moins élaborés, rien que sur la messagerie instantanée de Facebook. Le concept n'a rien de nouveau, le premier chatbot (ELIZA), conçu au MIT (Massachusetts Institute of Tech-

nology, États-Unis), remonte au milieu des années 1960. Mais les progrès récents de l'intelligence artificielle (IA) (voir S. et A. n° 838, décembre 2016) conjugués à ceux du traitement du langage et à l'ergonomie des interfaces ont entraîné une profusion de ces programmes, intégrés aux messageries instantanées, sites Web et autres outils d'entreprise.

Ils sont parfois dotés d'une véritable personnalité, détectable à travers le langage utilisé. Jam, par exemple, un chatbot mis au point par une start-up française et destiné à fournir des idées de sorties aux étudiants, s'exprime à coup de « à plus », « j'ai pas tout capté », « on fait quoi? »... Un résultat obtenu grâce au recours à des professionnels de l'écriture et de la création de personnages, écrivains ou scénaristes. C'est le cas de Cortana, l'assistant vocal de Microsoft, ou de Sophie, chatbot médical allemand dont le texte est travaillé par une scénariste.

MÉDECINE

Des thérapeutes virtuels contre la dépression

Historiquement, c'est le premier usage d'un chatbot : la thérapie. ELIZA, mis au point en 1966 par le laboratoire d'intelligence artificielle du MIT, simulait les interventions d'un psychothérapeute (relances, reformulations des dires du patient). Destinée à diagnostiquer la dépression, Julia est aujourd'hui bien plus qu'un chatbot. C'est un compagnon virtuel, modélisé par le laboratoire Sanpsy CNRS-université Bordeaux-Ségalen, testé sur 179 patients entre novembre 2014 et juin 2015. « Les questions sont réorientées pendant l'entretien en fonction des réponses du malade, explique Pierre Philip, le directeur du laboratoire. L'intelligence réside dans le scénario qui se définit au fur et à mesure, sur le modèle d'un vrai entretien clinique. » Julia tient en effet compte des critères du trouble dépressif décrits dans le DSM-5, manuel diagnostique de référence de l'Association américaine de psychiatrie. « Si le patient dit : "Je vais bien", Julia va tester

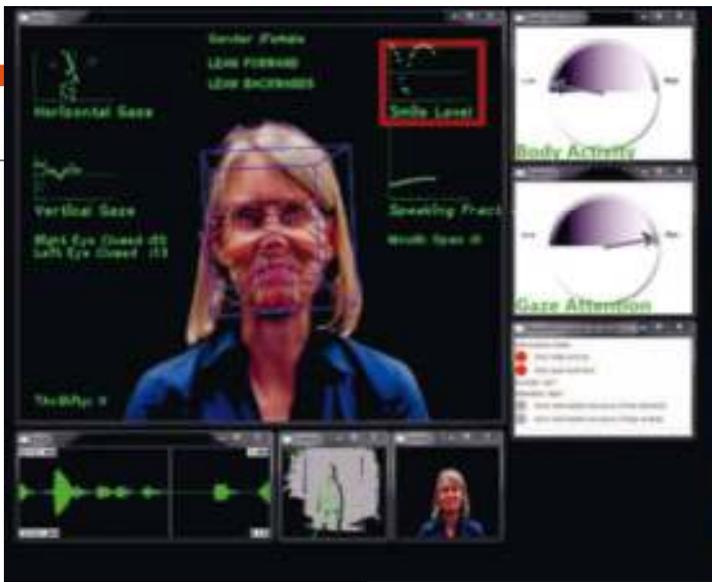


Julia est un compagnon virtuel qui réoriente ses questions en fonction des réponses du patient.

différentes questions pour obtenir des réponses concordantes. Si le système décèle des éléments suspects, il continue. » Ce chatbot ne remplace pas le médecin mais sert à de premières évaluations. Le but du dispositif est ailleurs : confirmer que des patients peuvent avoir des échanges très empathiques avec des agents virtuels.

Plus il est utilisé, plus le système s'améliore

La notion d'apprentissage automatique est au cœur de beaucoup de ces agents conversationnels : le système interagit de mieux en mieux au fur et à mesure qu'il est utilisé par davantage de personnes. C'est le cas des interfaces vocales Cortana, mais aussi Siri (Apple), Google Now ou du récent Bixby de Samsung. Le logiciel de Julie Desk, un assistant de prise de



Pour identifier des troubles psychologiques, certains systèmes virtuels (ici SimSensei, basé sur MultiSense) détectent les signaux non verbaux de leur interlocuteur (posture, voix...).



CAPTURE USC INSTITUTE FOR CREATIVE TECHNOLOGIES

INSTITUTE FOR CREATIVE TECHNOLOGIES

rendez-vous par e-mail créé par trois polytechniciens français, a ainsi été entraîné à reconnaître les différentes étapes d'un choix de date et heure pour pouvoir envoyer des relances en cas de non-réponse, suggérer plusieurs propositions (Julie Desk a accès aux agendas), reporter des engagements, etc. « Dans 80 % des cas, les interventions de Julie sont directement validées par un humain et dans 20 % des cas, il faut les corriger, ce qui permet au logiciel d'apprendre », explique Caroline Baron, responsable du marketing.

Pour autant, peut-on véritablement parler de « conversation » ? « Pour beaucoup de ces outils, il s'agit de successions de questions et de réponses : les tours de parole s'enchaînent mais il n'y a pas de dialogue, car il faudrait pour cela pouvoir faire référence à ce qui s'est dit

très en amont, ce qui est difficile », explique Catherine Pélachaud, chercheuse CNRS à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique. Depuis 1999, elle développe des agents conversationnels animés prenant en compte des signaux de communication dits non verbaux, en se fondant sur des technologies de reconnaissance visuelle et sonore utilisant la caméra et le micro d'un ordinateur. « Nous travaillons à faire en sorte que l'agent réagisse à des signaux détectés chez l'humain comme des sourires, des hochements de tête, des haussements de sourcils, etc. » À travers des méthodes d'apprentissage automatique, une corrélation est établie entre ces signaux et la prosodie de l'interlocuteur, à savoir le ton et les inflexions de sa voix, trahissant telle émotion particulière, et ana-

lysée par des technologies de traitement du signal. Là encore, il s'agit de permettre au chatbot d'interagir.

POUR EN SAVOIR PLUS

Web

► Pinchas Gutter, ancien déporté et humain virtuel à l'ICT sciav.fr/2poo9Bp

► Transcription contemporaine d'un dialogue de 1966 avec ELIZA sciav.fr/2oHm8TX

► Les médecins virtuels du laboratoire Sanpsy : sciav.fr/2omKEJm

À lire

► **Des robots et des hommes, mythes, fantasmes et réalité**, Laurence Devillers, Plon, 2017

Des humains virtuels au service de la mémoire

Les équipes de l'Institute for Creative Technologies (ICT) de l'université de Californie du Sud (États-Unis) travaillent quant à elles au développement d'« humains virtuels » photo-réalistes associant traitement du langage et modélisation graphique. Comme, en 2009, les jumelles virtuelles Ada et Grace qui répondaient aux questions des visiteurs du musée de la Science de Boston. Le déroulement des échanges lors de cette expérience réalisée il y a 8 ans a produit des données exploitées par la suite pour améliorer les performances d'autres ►

▶ humains virtuels de l'institut. En particulier au service du travail de mémoire. Ainsi, en 2012, un survivant polonais des camps de concentration, Pinchas Gutter, a été « transformé » en personnage numérique pour évoquer son histoire avec des écoliers. Un soin particulier a été mis pour susciter l'empathie avec, notamment, le maintien permanent du contact visuel de la part du personnage et sa capacité à reformuler ses réponses si nécessaire. Mais impossible d'éviter les impasses lorsque les questions sont hors contexte ! Dans ces cas-là, le personnage exprime son incompréhension ou réoriente l'échange sur un autre thème.

Détecter les signaux non verbaux d'un patient

Ce travail sur l'empathie devient essentiel lorsque ces technologies ont un but thérapeutique. L'ICT, toujours, a développé pour l'armée américaine des projets destinés à suivre des anciens combattants affectés de stress post-traumatique. Dans ce cadre, il a mis au point la technologie MultiSense qui, outre la parole, scrute avec une webcam et le détecteur de mouvement Kinect de Microsoft les signaux non verbaux d'un patient (posture, expressions faciales, agitation). Cela, afin de repérer des troubles mentaux. En France, une équipe



DAVID SADEK / MIT

« La limite : le dialogue fait appel au raisonnement et au contexte. Or, une IA n'apprend pas le contexte »

David Sadek, directeur de la recherche à l'institut Mines Télécoms

du laboratoire Sanpsy (Sommeil, addiction, neuropsychiatrie) à Bordeaux a publié début mars les résultats prometteurs d'un test mené avec un humain virtuel diagnostiquant des troubles dépressifs (lire l'encadré p. 92).

Si tous ces systèmes fonctionnent aussi bien, c'est qu'ils restent cantonnés à des situations prévisibles. « *Le dialogue, c'est un concentré d'intelligence tout court, estime David Sadek, directeur de la recherche à l'institut Mines Télécoms, à Paris. Cela fait appel à la compréhension du langage, à des capacités d'interprétation, à du raisonnement et à une représentation du contexte dans lequel se déroule l'échange. Or, une IA n'apprend pas le contexte, c'est trop complexe.* » Pour le chercheur, beaucoup des progrès mis en avant en IA et basés sur l'apprentissage sont relatifs à la perception : reconnaissance du son, de la parole, de l'image. « *Pour ce qui est de la reconnaissance d'émotions, notamment via des signaux non verbaux, on a affaire à des modèles psychologiques qui essaient de décrire ce qu'est la joie, la colère, l'empathie.* »

D'autres domaines n'en sont qu'à leurs balbutiements, comme le traitement de la sémantique ou la mémorisation d'un dialogue. « *L'enjeu n'est pas de faire passer une machine pour un humain mais de faire en sorte qu'elle soit mieux comprise par un humain* », prévient Laurence Devillers, chercheuse au Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur. En 2016, la mésaventure du chatbot Tay lancé par Microsoft sur Twitter a rappelé une autre limite du dialogue homme-machine. En quelques heures, les internautes ont exploité sa capacité d'apprentissage pour lui faire exprimer des propos racistes et complottistes. Au point que Microsoft a dû mettre aussitôt fin à l'expérience. Comment, dans ces circonstances, amener une IA à se reprendre ? « *Le "désapprentissage" — autrement dit l'oubli — est très difficile pour une IA, admet Laurence Devillers. La seule solution est de tout effacer.* » Autrement dit : couper la parole au chatbot.

■ **Arnaud Devillard**

[@A_Devila](#)

INTERFACE

Baxter, le robot qui obéit par la pensée

Avec Baxter, un robot industriel à bras articulés, les chercheurs du laboratoire d'informatique et d'intelligence artificielle du MIT et de l'université de Boston communiquent... par la pensée. Quand la machine s'apprête à ranger un objet dans la mauvaise boîte, une personne coiffée d'un casque d'électroencéphalographie à 48 électrodes relié au robot signale l'erreur par ondes cérébrales et Baxter corrige son geste. Le robot n'a pas été entraîné à réagir à une pensée signalant quel objet va dans quelle boîte, mais au fait que la personne « pense » qu'elle est d'accord ou pas avec son geste. Ce type de signal, appelé *error-related potential*, est plus simple à paramétrer et à émettre, mais ne s'applique qu'à des choix binaires.





Le flux d'électrons circule dans la synapse artificielle (ci-dessus) à l'image des neurotransmetteurs dans le cerveau humain (illustration ci-contre).

APAS/SP/PHANIE-S. BOY/UNITÉ MIXTE DE PHYSIQUE CNRS/THALES

La première synapse artificielle

Cette invention va améliorer le fonctionnement des réseaux de neurones informatiques.

APRÈS LE NEURONE ARTIFICIEL, voici la synapse artificielle, c'est-à-dire l'équivalent, sous forme de composant électronique, de la synapse biologique qui connecte entre eux les neurones, cellules de base du système nerveux. Cet exploit a été réalisé par une équipe française (CNRS, Thales et les universités de Bordeaux, Paris Sud et Évry). Les réseaux de neurones informatiques, mis au point par des cybernéticiens dès la fin des années 1950, ont déjà permis l'émergence du deep learning (« apprentissage profond ») en intelligence artificielle : des algorithmes capables d'« apprendre » à partir de règles simples. Mais ces « neurones » souffrent d'un inconvénient majeur : ils n'existent que sous forme informatique dans des simulations réalisées par des supercalculateurs. « Ce qui se révèle extrêmement coûteux en temps de traitement et en énergie », juge Vincent Garcia, membre de l'équipe française. La voie explorée vise cette fois-

ci à leur donner une existence électronique concrète. Cela grâce au « memristor », un composant qu'on ne sait fabriquer que depuis 2008 et qui permet de reproduire une plasticité spécifique aux synapses humaines.

L'effet mémoire du memristor

La recette de cette synapse artificielle : une fine couche ferro-électrique (du ferrite de bismuth) intercalée entre deux conducteurs. L'ensemble induit un « effet mémoire » du matériau, qui se polarise lorsqu'il est soumis à un champ électrique. Autrement dit, « le memristor garde en mémoire les tensions qui lui ont précédemment été appliquées. De quoi automatiser davantage l'apprentissage et gagner en efficacité énergétique », résume Vincent Garcia. Sans cependant jeter les circuits imprimés au rebut : « Une électronique fondée sur le memristor viendrait d'abord compléter le processeur traditionnel. » ■

Sarah Sermondadaz

[@datisdaz](https://twitter.com/datisdaz)



Laurent Leloup, Eyrolles, 224 p., 17 €

Blockchain

La révolution de la confiance

Le sujet fait parler de lui depuis deux ans. Il est dit prometteur, voire révolutionnaire, mais est aussi assez technique. La blockchain (voir S. et A. n° 842, avril 2017) avait donc besoin de son petit manuel. L'histoire et le fonctionnement de ce système d'échanges (apparu avec la cryptomonnaie bitcoin en 2009)

sont abordés ainsi que de multiples applications, dans une mise en page aérée bienvenue. Petite réserve : l'absence de regard critique sur une technologie qui a pourtant ses limites. ■ **Arnaud Devillard**



Laurens Valk, Eyrolles, 400 p., 29,90 €

Le Grand Livre de Lego Mindstorms EV3

Les fans de robotique ludique l'attendaient. Voici la bible de Lego Mindstorms EV3, la troisième génération du célèbre robot de la société danoise à assembler et programmer soi-même.

Grâce à ses multiples capteurs et autres moteurs, ce « jouet » permet de s'initier à la robotique, mais aussi de concevoir des machines assez perfectionnées. Ce livre est donc indispensable aux débutants comme aux amateurs avertis, qui pourront s'entraîner avec plus de 150 exercices de montage et de programmation. ■ **Olivier Hertel**



Michael Keller et Josh Neufeld, Ça et Là, 60 p., 14,50 €

BD Dans l'ombre de la peur

A priori, réaliser une BD sur la collecte de données et l'exploitation de la vie privée est loin d'être évident. Le journaliste américain Michael Keller et le dessinateur Josh Neufeld y parviennent sans peine en se mettant en scène, partant à la

rencontre, comme pour un reportage, de spécialistes et de chercheurs. Ce livre foisonnant est nourri de cas concrets ou de situations vécues par les auteurs. De bonnes idées graphiques permettent de saisir des concepts abstraits (à lire aussi sur notre site : sciaiv.fr/843keller). ■ **A. D.**



Malgré les mises en garde, EDF a mis en place la cuve défectueuse sur le site de l'EPR de Flamanville, dans la Manche (ici, en novembre 2016).

Sûreté nucléaire de l'EPR : depuis quand EDF et Areva savaient-ils ?

CONTEXTE De nouveaux documents révèlent que les failles de l'usine Creusot Forge, qui a fabriqué la cuve de l'EPR de Flamanville, étaient connues dès 2005.

EDF ET AREVA AVAIENT ÉTÉ ALERTÉS avant la fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville que la forge du Creusot connaissait des problèmes de qualité, ont rapporté France Info et France Inter le 30 mars 2017. Nos confrères se sont procuré un courrier du 16 décembre 2005 dans lequel l'Autorité de sûreté nucléaire mettait en garde EDF

CHARLIE TRIBALLEAU / AFP

sur la fiabilité de cette usine. Elle expliquait ainsi avoir constaté « de nombreux écarts concernant le forgeron Creusot Forge ». Cette lettre avait été suivie en avril 2006 d'une inspection du site au cours de laquelle le Bureau de contrôle des chaudières nucléaires (BCCN) avait dressé 16 constats d'écarts et irrégularités, concernant des « incidents » et un nombre de rebuts « important ».

Dans un second courrier, l'ASN et le BCCN avaient donc demandé des actions correctives et rappelé à EDF — qui travaille avec la forge depuis les années 1960 — que les questions de « qualité des éléments importants pour la sûreté »

nucléaire étaient « de la responsabilité de l'exploitant et non pas des fabricants ou sous-traitants ». Cet avertissement a-t-il été suivi d'effet ? Lorsque Areva a repris l'usine à l'entrepreneur Michel-Yves Bolloré (frère de Vincent) en 2006, le groupe a en tout état de cause découvert une usine en fort mauvais état, selon *L'Obs*. Areva avait alors lancé un audit dont les conclusions étaient critiques, pointant « une tendance à pousser la cadence » ou « l'emploi de travailleurs étrangers au noir ». Malgré tout, le couvercle et le fond de la cuve de l'EPR ont été fabriqués au Creusot entre septembre 2006 et décembre 2007.

La situation à la forge se serait, elle, améliorée depuis 2008, selon l'ASN. Soit... après la réalisation de cette pièce maîtresse pesant 425 tonnes et mesurant 7 m de diamètre pour 11 m de haut. Suite de l'histoire: en 2014, une inspection révèle que l'acier de la cuve présentait une teneur excessive en carbone, le risque étant qu'il résiste moins bien à des chocs thermiques. En cause, la méthode de fabrication et l'utilisation d'un nouveau type de lingot d'acier. Des analyses et tests de résistance sont en cours, au terme desquels l'ASN validera ou non cette pièce essentielle de l'EPR qui a déjà été soudée à d'autres éléments à Flamanville.

Une des rares usines aptes à fabriquer ces pièces

Lors de l'audition d'EDF et Areva organisée par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques en juin 2015, à la suite de la découverte de cette anomalie, Bertrand de L'Épinois, directeur des normes de sûreté d'Areva, avait défendu l'usine, ouverte en 1876 et qui emploie aujourd'hui 270 personnes. « C'est, dans le monde, l'une des rares forges capables de fabriquer les grandes pièces du circuit primaire des réacteurs nucléaires », avait-il plaidé face aux élus qui lui demandaient pourquoi la forge française avait failli. Pierre-Franck Chevet, directeur de l'ASN, avait ce jour-là rappelé que l'autorité avait « suggéré à Areva de lancer une revue historique générale de l'évolution des processus de fabrication aux alentours des années 2000 ». L'historique des échanges entre l'ASN, EDF et Areva NP sur la forge du Creusot depuis 2005 est désormais public. ■

Rachel Mulot

[@Rachelfleau](#)

LE MOT DU MOIS

Arctic

Conçue par la société canadienne Okanagan Specialty Fruits (OSF), la pomme OGM Arctic est arrivée sur les étals américains. Sa particularité : elle ne brunît pas lorsqu'on la coupe. Pour parvenir à ce résultat, les chercheurs ont canalisé les gènes responsables de la production d'une enzyme, la polyphénoloxydase, libérée par la pomme non OGM après un choc (ou un coup de couteau). Au contact de l'air, l'oxydation fait apparaître des pigments bruns sur le fruit. OSF estime qu'Arctic permettrait de limiter le gaspillage alimentaire en évitant la destruction de tonnes de fruits brunis invendables. En France, une telle pomme ne pourrait être récoltée puisque le Parlement a adopté une clause d'exclusion nationale pour la culture d'OGM, seul le maïs MON810 de Monsanto restant autorisé. En revanche, la marque Arctic pourrait obtenir une autorisation d'importation, comme c'est le cas pour une soixantaine de plantes génétiquement modifiées. ■

Florine Galéron



OSF

Comment un adolescent a-t-il corrigé un bug de la Nasa ?

CONTEXTE Un lycéen britannique a découvert une anomalie dans le comportement d'un capteur de la Station spatiale internationale.

CE N'EST CERTES PAS LA PREMIÈRE FOIS qu'un étudiant débusque un bug dans un programme conçu par une grande entreprise ou institution, mais l'histoire n'en est pas moins belle. En travaillant sur un projet scolaire exploitant des données collectées sur la Station spatiale internationale (ISS) par l'astronaute britannique Tim Peake en 2015, Miles Soloman, 17 ans, a découvert une anomalie dans le comportement d'un capteur.

Comment un écolier a-t-il pu travailler sur un programme de la Nasa ? Par le biais de l'ONG Iris (The Institute Research in School), qui propose aux lycéens comme Miles Soloman d'accéder à des données issues (entre autres) de missions spatiales. Parmi les projets proposés: travailler sur les causes génétiques des maladies cardiovasculaires, analyser l'atmosphère martienne, voire étudier une expérience réalisée avec le Large Hadron Collider (LHC) du Cern (Organisation européenne pour la recherche nucléaire). En l'occurrence, il s'agissait du projet TimPix, visant à analyser le niveau de radiations auquel l'astronaute Tim Peake a été exposé durant son séjour sur l'ISS, du 15 décembre 2015 au 18 juin 2016. Le dosimètre uti-



L'ISS où le Britannique Tim Peake a séjourné en 2015.

lisé d'ailleurs été conçu avec le concours du Cern.

Doté de connecteurs USB, l'instrument est régulièrement branché sur les ordinateurs de la Station spatiale afin de compiler les mesures et les rapatrier vers la Terre. Ce qui permet aux étudiants de s'exercer à l'analyse de données. Mais quelle ne fut pas la surprise de Miles lorsqu'il voulut trier les enregistrements par niveau d'énergie. « Là où aucune énergie n'aurait dû être détectée, les cellules affichaient la valeur -1 au lieu de 0. Il devait y avoir une erreur », a-t-il expliqué.

L'élève et son professeur de physique s'empressèrent de contacter la Nasa, qui confirma avoir connaissance du problème... mais pas dans de telles proportions: les Américains pensaient que l'erreur ne se produisait qu'une à deux fois par an, « alors qu'en réalité, c'était plusieurs fois par jour », raconte le lycéen. La cause ? « Des algorithmes imprécis », a expliqué le physicien Lawrence Pinsky, de l'université de Houston (Texas, États-Unis). ■

Sarah Sermondadaz

[@datisdaz](#)

Par Henri-Pierre Penel



Ils résistent à tout

Pluie, embruns, neige ou sable sont les ennemis des smartphones. Pour les amateurs de sports de plein air ou les grands maladroits, certains modèles se déclinent en version « outdoor ».

AUX SPORTS D'HIVER, à la plage, en randonnée, qui n'a jamais fait tomber son smartphone dans la neige, le sable ou l'eau ? Sans parler des étourdis qui le lâchent... dans la cuvette des toilettes. En effet, sensibles aux chocs et non étanches, les appareils conventionnels ne sont pas conçus pour les activités d'extérieur. Seuls les professionnels des travaux publics disposaient jusqu'ici d'équipements dits durcis susceptibles de résister aux conditions d'utilisation les plus rudes. Des téléphones « outdoor », destinés aux activités d'extérieur, permettent désormais de satisfaire le plus grand nombre.

Quelles sont les différences ?

La plus visible concerne le boîtier : les finitions en métal brossé ou plastique font place à un revêtement caoutchouté dont la mission principale est d'amortir les chocs. Dans le même esprit, le verre constituant la façade de l'écran tactile est plus

épais, pour offrir une meilleure résistance à l'écrasement. Tous les connecteurs, prise USB, sortie casque, etc., sont équipés de petits bouchons assurant leur étanchéité quand ils ne sont pas utilisés.

Quel impact sur le poids et l'encombrement ?

En moyenne, un smartphone conventionnel pèse aux alentours de 150 grammes alors que son équivalent outdoor atteint 250 g environ, soit près du double. De même, l'appareil outdoor est environ deux fois plus épais qu'un smartphone conventionnel.

Pourquoi disposent-ils d'une batterie renforcée ?

La batterie présente généralement une capacité renforcée (3 500 milliampères-heure [mAh] sur le Trekker X3, voire 5 000 mAh pour l'Archos Saphir par exemple). Son autonomie est donc plus élevée que celle d'un modèle conventionnel, pour mieux « tenir la charge » lors de longues randonnées par

exemple. Ce dispositif permet aussi de préserver une autonomie raisonnable quand l'appareil est exposé au froid. En effet, la capacité des batteries peut chuter de 50 % par une température proche de 0 °C. Un phénomène lié au ralentissement des réactions chimiques au sein de la batterie et à une élévation de sa résistance interne.

Sont-ils dotés de capteurs spécifiques ?

Oui. Outre les accéléromètres, utilisés notamment pour orienter automatiquement l'affichage — et qui équipent aussi les modèles conventionnels —, les outdoor disposent d'un compas électronique, d'un capteur de pression, d'une boussole, d'un altimètre, d'un thermomètre ou d'un hygromètre. Certes, le GPS — présent sur tous les smartphones — peut assurer certaines de ces fonctions, mais il n'est pas toujours exploitable puisqu'il faut disposer d'une connexion au réseau téléphonique... parfois absente en pleine nature.

INDICES DE PROTECTION

Bien comprendre la norme IP

Les constructeurs annoncent souvent la compatibilité de leurs produits électroniques destinés à un usage en extérieur ou sportif avec la norme IP (indice de protection). Ainsi, il n'est pas rare qu'un téléphone soit annoncé « conforme IP25 ». Le premier chiffre concerne le risque de pénétration d'objets solides dans l'appareil. À noter qu'il peut s'agir de gravier, de sable ou de poussière. Le second précise sa résistance à l'eau. Tous deux sont répertoriés dans un tableau (*ci-dessus*) qui permet de vérifier la compatibilité d'un appareil avec l'usage que l'on prévoit. Ainsi, un smartphone compatible IP54 résistera au sable de plage, mais pas à une immersion même de courte durée. À noter que la norme IP concerne tous les équipements électriques ou électroniques.

Premier chiffre	Degré de protection contre la pénétration des objets ou poussières	Second chiffre	Degré de protection contre la pénétration des liquides (eau)
0	Aucune protection.	0	Aucune protection.
1	Protégé contre les solides d'une taille supérieure ou égale à 50 mm.	1	Résiste aux gouttes d'eau tombant à la verticale.
2	Protégé contre les solides d'une taille supérieure ou égale à 12,5 mm.	2	Résiste aux gouttes d'eau tombant avec un angle maximal de 15° par rapport à la verticale.
3	Protégé contre les solides d'une taille supérieure ou égale à 2,5 mm.	3	Résiste à une pluie faisant un angle de 60° maximal par rapport à la verticale.
4	Protégé contre les solides d'une taille supérieure ou égale à 1 mm.	4	Protégé contre les projections d'eau provenant de toutes directions.
5	Protégé contre les poussières et autres résidus tels que le sable.	5	Protégé contre le jet d'eau d'une lance placée à 2,5 mètres et provenant de toutes les directions.
6	Protégé contre toutes les poussières, même microscopiques.	6	Protégé contre les forts jets d'eau d'une lance placée à 2,5 mètres et provenant de toutes les directions.
		7	Supporte une immersion totale temporaire à 1 mètre.
		8	Supporte une immersion totale temporaire à 1 mètre durant au moins 30 minutes.
		9	Matériel totalement submersible et résistant au nettoyage haute pression.

IP 5 6

Pourquoi un bouton « SOS » ?

En situation d'urgence, manipuler un écran tactile pour prévenir les secours n'est pas aisé. Raison pour laquelle la majorité des modèles outdoor disposent d'un poussoir spécifique : une touche très accessible, souvent rouge, logée au bord du boîtier. Si, par défaut, le 112 lui est le plus souvent associé, il est possible de lui attribuer un autre numéro comme celui des services de secours en mer ou en montagne. Seule limite : la zone d'où est passé l'appel d'urgence doit être couverte par le réseau de téléphonie mobile.

Demandent-ils un entretien particulier ?

Il est important de bien vérifier l'état des joints et des bouchons d'étanchéité après chaque opération de changement de la carte SIM ou de rechargement de la batterie. Sur certains appareils (Trekker-X3), il faut ainsi démonter une petite trappe fixée par un jeu de vis pour accéder au logement de cette carte. L'opération, simple, doit être exécutée avec soin. De petits bouchons protègent les connecteurs (port de chargeur USB, casque filaire). Ils doivent être parfaitement en place pour garantir l'étanchéité de l'appareil.

Enfin, après une exposition à l'eau de mer ou aux embruns, il est conseillé de rincer le smartphone à l'eau douce pour éviter que le sel ne dégrade prématurément les joints caoutchoutés.

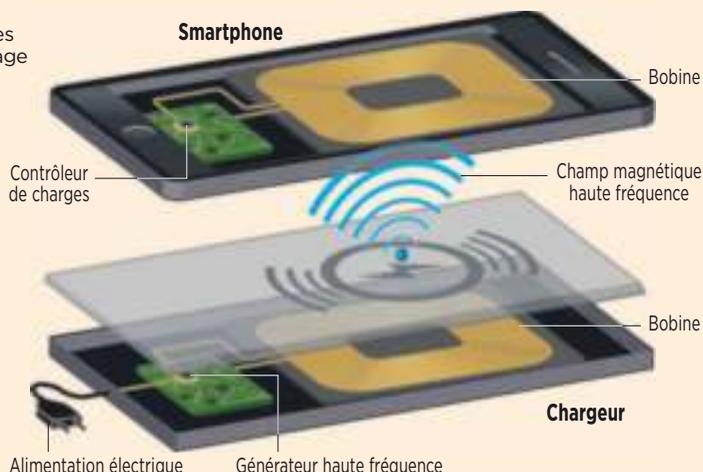
Qu'est-ce qu'une recharge à induction ?

Pour éviter toute manipulation, certains smartphones proposent un rechargement par induction (voir l'infographie). Si cette solution présente l'avantage d'éliminer le raccordement à une prise, la recharge est souvent moins rapide. Un point qui n'a guère d'importance si l'appareil reste toute une nuit, par exemple, sur sa base de recharge. ■

Un champ magnétique remplace les fils

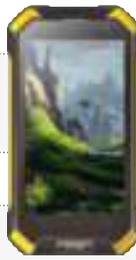
Dans le chargeur

de certains modèles outdoor, un bobinage de fil de cuivre est alimenté par un générateur haute fréquence. Il crée un champ magnétique oscillant que « récupère » un second bobinage logé dans le smartphone. Il produit ainsi un courant électrique que le contrôleur de charge met à profit pour recharger la batterie.



BETTY LAFON

Banc d'essai pages suivantes ►

Marque / Modèle	Samsung Galaxy Xcover 3	Archos 50 Saphir	Blackview BV6000
Prix indicatif	199 €	200 €	249 €
Écran	 4,5" (114 mm), WVGA (480 x 800 pixels)	 5" (127 mm), HD (1280 x 720 pixels)	 4,7" (119 mm), HD (1280 x 720 pixels)
Caméras	5 mégapixels (dorsal) / 2 mégapixels (frontal)	13 mégapixels (dorsal) / 5 mégapixels (frontal)	13 mégapixels (dorsal) / 5 mégapixels (frontal)
Carte SIM / extension mémoire	Micro SIM / carte micro SD	Micro SIM / carte micro SD	Double Micro SIM / carte micro SD
Processeur / mémoire	Quadruple cœur / 1,5 Go (RAM), 8 Go Flash	MTK6737VWT quadruple cœur / 2 Go (RAM), 16 Go Flash	MediaTek Helio P10 MTK6755 à 8 cœurs / 3 Go (RAM), 32 Go Flash
Batterie / autonomie	2200 mAh / 13 h (en communication)	5000 mAh / 27 h (en communication)	4200 mAh / 24 h (en communication)
Indice de protection	IP-67	IP-68	IP-68
Dimensions / poids	70 x 132,9 x 9,9 mm / 154 g	75,9 x 146,6 x 13,9 mm / 222 g	81 x 152 x 16,6 mm / 247 g
Les plus	Encombrement et poids réduit, batterie amovible	Écran de bonne qualité, appareil photo 13 mégapixels, bonne autonomie	Double carte SIM, appareil photo 13 mégapixels, design « baroudeur »
L'avis de 	Un smartphone au prix serré qui ne craindra pas les randonnées sous la pluie ou les activités nautiques. Ses boutons poussoirs réels permettent une utilisation avec des gants.	Un bon rapport qualité prix pour ce modèle doté d'une batterie à très forte capacité. Pratique en utilisation courante et pour surfer sur le Web, son écran IPS à la résolution élevée offre un bon confort de vision.	Le BV6000 s'habille de protections aux couleurs vives qui lui offrent des allures d'accessoires conçus pour les amateurs de sports extrêmes. Il se décline également en version noire pour un habillage plus discret.

Marque / Modèle	Caterpillar S-30	Caterpillar S-40	Crosscall Trekker X-3
Prix indicatif	330 €	430 €	549,90 €
Écran	 4,5" (114 mm), 854 x 480 pixels	 4,7" (119 mm), qHD 960 x 540 pixels	 5" (127 mm), full HD 1920 x 1080 pixels
Caméras	5 mégapixels (dorsal) / 2 mégapixels (frontal)	8 mégapixels (dorsal) / 2 mégapixels (frontal)	16 mégapixels (dorsal) / 8 mégapixels (frontal)
Carte SIM / extension mémoire	Double nano SIM / carte micro SD	Double nano SIM / carte micro SD	Micro SIM / carte micro SD
Processeur / mémoire	Qualcomm Snapdragon 210 / 1 Go (RAM), 8 Go Flash	Qualcomm Snapdragon 210 / 1 Go (RAM), 16 Go Flash	Qualcomm Adreno 405 / 3 Go (RAM), 32 Go Flash
Batterie / autonomie	3000 mAh / 18 h (en communication)	3000 mAh / 18 h (en communication)	3500 mAh / 31 h (en communication)
Indice de protection	IP-68	IP-68	IP-67
Dimensions / poids	72,7 x 142 x 13,3 mm / 185 g	74,1 x 144,9 x 12,5 mm / 185 g	81,8 x 155,7 x 14,3 / 244 g
Les plus	Double carte SIM, encombrement réduit	Double carte SIM, finitions soignées	Chargeur sans contact fourni, appareil photo 16 mégapixels, capteurs de température, de pression et compas intégrés
L'avis de 	La marque d'engins de chantier a conçu une série de smartphones destinés à être utilisés dans les environnements les plus hostiles. L'écran tactile reste utilisable même sous la pluie.	Un modèle qui se distingue du précédent essentiellement par sa diagonale d'écran accrue, un appareil photo à la définition légèrement plus élevée et une capacité mémoire étendue.	Il ne faut surtout pas jeter l'emballage du X-3. En effet, il renferme un chargeur sans fil. Il suffit de poser le téléphone sur sa boîte pour qu'il se recharge sans aucun contact, ce qui évite d'avoir à retirer le bouchon d'étanchéité de la prise USB-C.

Simvalley SPT-900

249,90 €



4" (102 mm), FWVGA (480 x 854 pixels)

8 mégapixels (dorsal) / 3 mégapixels (frontal)

Double SIM / carte micro SD

Quadruple cœur / 1 Go (RAM), 0 Go Flash

2800 mAh / 6 h (en communication)

IP-67

76 x 140 x 18 mm / 238 g

Double carte SIM, appareil photo 13 mégapixels, existe avec dos chargeur solaire

Afin d'accroître son autonomie, le SPT-900 se décline dans une version où son dos reçoit un mini-panneau solaire (279,90 €). Le moindre rayon de soleil permet ainsi de recharger la batterie.

Crosscall Trekker M1 Core

279,90 €



4,5" (114 mm), qHD 960 x 540 pixels

13 mégapixels (dorsal) / 5 mégapixels (frontal)

Double Micro SIM / carte micro SD

Qualcomm Snapdragon 410 / 1 Go (RAM), 16 Go Flash

3000 mAh / 20 h (en communication)

IP-67

77 x 147 x 14,8 mm / 224 g

Double SIM, appareil photo 13 mégapixels, capteurs de température, de pression et compas intégrés

Bien qu'assez peu connu du public, le constructeur français Crosscall est spécialiste de téléphonie « outdoor ». Le Trekker M1 Core est une déclinaison du M1. Une nouvelle mouture équipée d'Android 6.1.

Motorola Moto X Force

569 €



5,4" (137 mm), ultra HD (2560 x 1440 pixels)

21 mégapixels (dorsal) / 5 mégapixels (frontal)

Nano SIM / carte micro SD

Qualcomm Adreno 430 / 3 Go (RAM), 32 Go Flash

3760 mAh / 48 h (en usage mixte)

IP-52

78 x 149,8 x 9,2 mm / 169 g

Vaste écran ultra HD, autonomie, appareil photo 21 mégapixels, existe en version double SIM

La définition du vaste écran offre un excellent confort de vision. En dépit de ses dimensions et de sa forte capacité de batterie, le X Force a un poids très raisonnable. Enfin, son autonomie élevée est un atout lors de longues randonnées.

Sonim XP7

780 €



4" (102 mm), WVGA (480 x 800 pixels)

8 mégapixels (dorsal) / 1 mégapixel (frontal)

Double Micro SIM / Non

MSM8926 quadruple cœur / 1 Go (RAM), 16 Go Flash

4800 mAh / 40 h (en communication)

IP-68/69

72,1 x 137 x 20,8 mm / 290 g

Batterie haute capacité pour une autonomie élevée, micro à réduction des bruits ambiants

Outre ses spécificités bien adaptées à la pratique des sports extrêmes, ce modèle est parfait en ambiance bruyante, comme les chantiers ou les milieux industriels sévères, grâce à son écoute amplifiée et à son micro à réduction des bruits ambiants.



Tivoli / Model One Digital Radio à tout faire

Tivoli audio présente, dans sa collection Art, le Model One Digital. Outre ses fonctions de radio FM, ce récepteur fait office d'enceinte multiroom et, grâce à l'application associée, se connecte aux services de musique en streaming. Enfin une liaison Bluetooth lui donne aussi accès aux contenus des smartphones.

299 €

TomTom / Outdoor Adventurer Poignet connecté

La montre GPS Outdoor Adventurer est spécialement conçue par TomTom à l'intention des randonneurs et adeptes de sports extrêmes. Elle se dote d'un capteur de fréquence cardiaque, d'un altimètre, d'une boussole électronique et dispose d'un lecteur de musique intégré.

299,95 €



Sony / Xperia Touch Écran tactile à volonté

Le projecteur Xperia Touch, que propose Sony, transforme toute surface claire en écran tactile. L'image qu'il forme peut atteindre 60 cm de diagonale et ouvre la voie à de nouveaux jeux ou échanges en famille comme entre amis.

1499 €



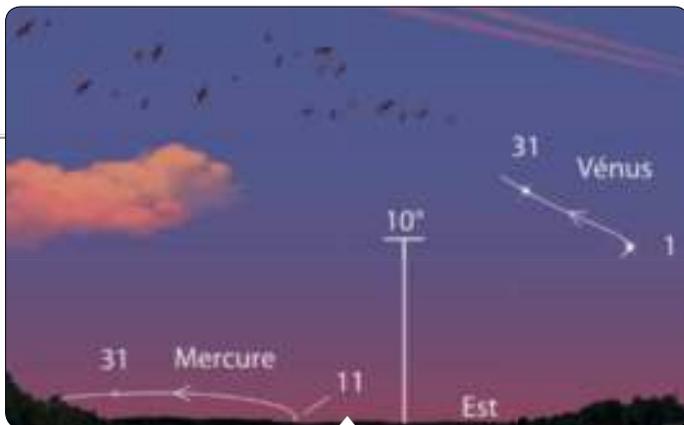
Par Johan Kieken

Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire à l'ouest du Soleil le 18 (*lire ci-contre*). En pratique, son observation matinale sera très délicate, pour ne pas dire plus...

VÉNUS L'étoile du Berger partage avec Mercure des conditions d'observation assez similaires, quoique plus favorables. Le 1^{er}, Vénus se lève 1h 30min avant le Soleil et 1h 50min avant lui le 31. Encore assez basse, elle demeure néanmoins accessible le matin grâce à l'intensité de son éclat.

MARS
La planète Rouge, peu brillante, n'est plus que timidement observable en soirée, bas vers l'ouest-nord-ouest. Le 1^{er}, son coucher suit celui du Soleil de 2h 20min. Trente jours plus tard, 1h 25min seulement sépareront les deux phénomènes.



Tout ce mois, Vénus est assez facilement observable une demi-heure avant le lever du Soleil, ce qui est loin d'être le cas pour Mercure.

L'élongation de Mercure

SITUÉE PLUS PRÈS DU SOLEIL que ne l'est la Terre, Mercure ne s'éloigne jamais beaucoup de la direction de l'astre du jour. En ce mois, elle atteint le 18 son élongation maximale (sa plus grande distance angulaire) au Soleil, 26° à l'ouest de ce dernier. Une telle marge semble suffisante pour une observation aisée au petit matin. Toutefois, Mercure pâtit d'un écliptique encore peu incliné en cette saison le matin sous nos latitudes. De plus, elle se situe environ 3° au sud de ce grand cercle en seconde quinzaine. Conséquence : une demi-heure avant le lever du Soleil, Mercure pointe à peine au-dessus de l'horizon !

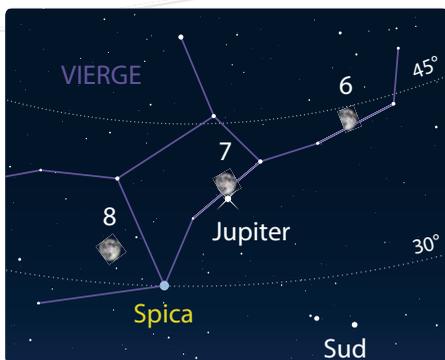
Notre conseil La détection de Mercure est un joli défi ; celle de Vénus est beaucoup plus aisée.

JUPITER
La planète géante est passée à l'opposition le mois dernier. Elle se trouve donc toujours dans de très bonnes conditions d'observation, visible en soirée et une bonne partie de la nuit dans la constellation de la Vierge.

SATURNE
À un mois de son passage à l'opposition, la planète aux anneaux est bien visible en seconde partie de nuit, à cheval entre les constellations du Sagittaire et d'Ophiucus. Sa position actuelle dans l'hémisphère céleste austral fait que, sous nos latitudes, elle ne monte pas très haut dans le ciel.

L'appli du mois

M **Messier Catalog** est une application gratuite en anglais disponible sur Google Play. Elle vous donne la possibilité d'explorer les caractéristiques et de connaître la localisation de chacun des 110 objets célestes diffusés dans le catalogue établi par l'astronome français Charles Messier à la fin du XVIII^e siècle.



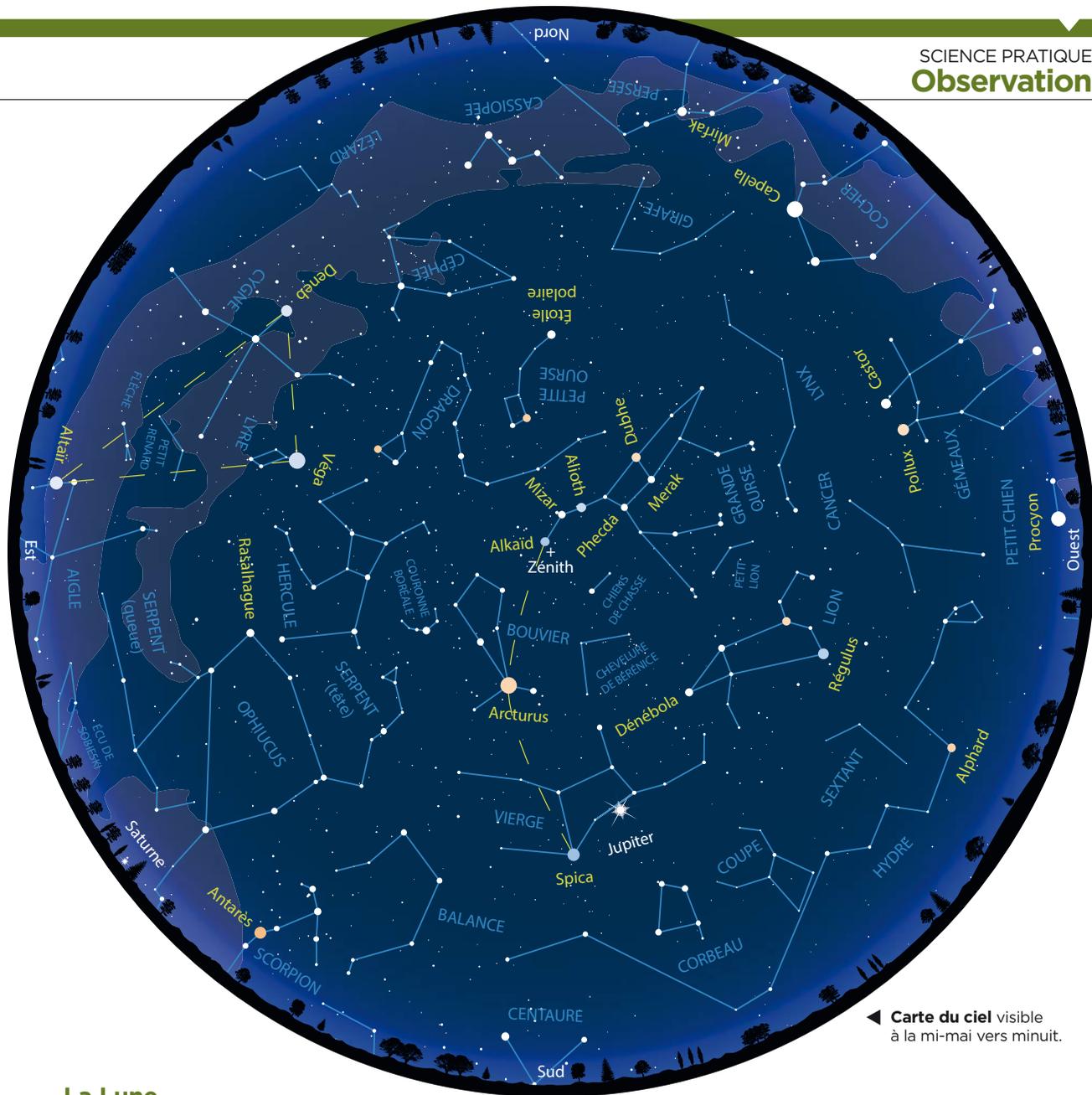
LE 7, UNE LUNE EN PHASE GIBBEUSE CROISSANTE PASSE À UN PEU PLUS DE 1° de la très brillante planète Jupiter. Un beau rapprochement ! Il est représenté ici 2 heures après le coucher du Soleil.



DANS LA NUIT DU 13 AU 14, LA PLANÈTE SATURNE REÇOIT LA VISITE DE LA LUNE en phase gibbeuse décroissante. Sur cette image, 2 heures nous séparent du lever du Soleil.



LES MATINS DU 21 AU 23, ADMIREZ L'AMINCISSEMENT SUBTIL DU CROISSANT LUNAIRE, l'accroissement de la lumière cendrée et le passage de notre satellite près de l'étincelante Vénus.



◀ Carte du ciel visible à la mi-mai vers minuit.

La Lune



Premier quartier : mercredi 3 à 5 heures (La Lune se trouve alors dans la constellation du Cancer)



Pleine Lune : jeudi 11 à 0 h (Balance)



Dernier quartier : vendredi 19 à 3 heures (Verseau)



Nouvelle Lune : jeudi 25 à 22 heures (Taureau)

Le Soleil

(à Paris) **Lever** **Coucher**

1^{er} mai **6h30** **21h06**

31 mai **5h52** **21h45**

D'où voir le ciel

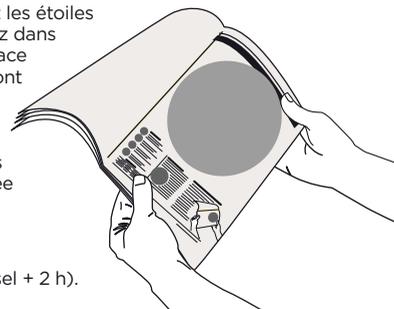
Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



EXPOSITIONS

Annecy (74)

Balade dans l'évolution

De l'importance de l'oxygène aux crises biologiques, en passant par l'apparition de la coquille ou la conquête de l'air, la diversité des espèces est ici illustrée par des objets du quotidien détournés avec humour pour faire un clin d'œil aux 60 fossiles exposés.

Cran-Gevrier, place Chorus, espace culture la Turbine des sciences, jusqu'au 30 décembre.
Rens. : 04.50.08.17.00.

Besançon (25)

Naturalium

Le musée de la citadelle de Besançon inaugure en mai son Naturalium, un nouvel espace entièrement consacré à la biodiversité — les écosystèmes, les espèces, l'homme y compris — et son évolution dans le temps et dans l'espace.

La Citadelle, 99, rue des Fusillés de la Résistance.
Rens. : 03.81.87.83.33.

Chambéry (73)

La préhistoire expliquée aux enfants

Des réponses aux grandes questions que les enfants se posent sur la vie des hommes préhistoriques au travers de jeux, de manipulations et d'observations.

Galerie Eurêka, carré Curial, 150, rue de la République, jusqu'au 2 septembre.
Rens. : 04.79.60.04.25.

Londres (Royaume-Uni)

Robots

500 ans de quête pour réussir à créer des machines humaines, en se focalisant plus sur pourquoi les robots existent plutôt que sur leur fonctionnement.

Science Museum, Exhibition Road, South Kensington, jusqu'au 3 septembre.
Rens. : +44.(0)20.79.42.40.00.

Mayenne (53)

Curiosités d'ici et d'ailleurs

La richesse et la diversité des collections, habituellement dans les réserves, du premier

Paris (75) / Exposition

Jardins

Un jardin, c'est d'abord des plantes. En ce sens, l'exposition « Jardins » porte un titre trop réducteur. Car les premières salles relatent l'histoire de leurs représentations. Elles sont le fait de scientifiques qui ont eu le souci de la beauté artistique comme d'artistes qui n'ont jamais oublié la rigueur scientifique. Cette première partie (qui, hormis une fresque de Pompéi, couvre une période allant de la Renaissance à nos jours, c'est-à-dire l'époque où toutes les plantes ont été nommées) s'achève par la figure de celui qui transforme la plante en jardin : le jardinier. Il est accompagné de ses outils, avec une grande collection d'arrosoirs, dont le plus ancien connu en France. La seconde partie est une promenade dans l'évolution des jardins depuis la Renaissance. Évolution des dessins, avec des planches traduisant le souci du détail de concepteurs contraints d'imaginer une perspective vue du ciel alors qu'ils n'avaient pas les moyens de s'élever dans les airs. Évolution poursuivie jusqu'à



« Le Vieux Jardinier » d'Émile Clause, 1885.

aujourd'hui avec quelques œuvres contemporaines commandées pour l'occasion. Le jardin se révèle dans sa beauté multiple comme autant d'instantanés éphémères. Car tout le pari de l'exposition est justement de parvenir à « exposer une œuvre inexposable », comme l'écrit le commissaire Laurent Le Bon. « Nous défendons l'idée que le jardin est un art à protéger », renchérit la conservatrice Coline Zellal. Et cela est fait de manière convaincante en mêlant toutes les formes d'art, y compris la vidéo. ■

Mathieu Nowak



Grand Palais, galeries nationales, 3, avenue du Général-Eisenhower, jusqu'au 24 juillet.
Rens. : 01.44.13.17.17.

musée de Mayenne. Celui-ci a exposé entre 1865 et 1977, des objets issus de fouilles et de dons, relevant de l'archéologie comme des beaux-arts, dans une présentation proche de celle des cabinets de curiosités.

Musée du Château, place Juhel, jusqu'au 19 novembre.
Rens. : 02.43.00.17.17.

Meaux (77)

De Terre et d'acier : archéologie de la Grande Guerre

Après avoir été présentée à Reims et Arras, cette exposition poursuit son voyage avec ses 300 objets issus des champs de bataille de la Première Guerre mondiale, conservés dans la terre, puis mis en valeur par des archéologues, conservateurs et historiens.

Musée de la Grande Guerre, rue Lazare-Ponticelli, jusqu'au 18 septembre.
Rens. : 01.83.69.05.72.

Paris (75)

Esthétopies

Un parcours dans un ensemble d'installations sonores et visuelles conçues pour explorer des espaces mathématiques imaginaires encore incompris.

Bibliothèque de l'institut Henri-Poincaré, 11, rue Pierre et Marie-Curie, jusqu'au 8 juillet.
Rens. : 01.44.27.64.88.

Science frugale

Exploration de ce mouvement, qui consiste à ne pas voir les ressources disponibles comme une contrainte mais comme une opportunité, où il ne s'agit pas de faire de la science au rabais, mais de la science

soutenable et pluridisciplinaire. Espace des sciences Pierre-Gilles-de-Gennes, ESPCI Paris, 10, rue Vauquelin, jusqu'au 24 juin.
Rens. : 01.40.79.58.15.

Toulouse (31)

Incroyables cartes

Un parcours à la découverte de la cartographie, discipline située à la croisée de la géographie, de la littérature, des mathématiques ou de la politique.

Quai des Savoirs, 39, allées Jules-Guesde, jusqu'au 27 août.
Rens. : 05.61.73.10.22.

Tours (37)

Fourmis

Une présentation de la diversité et de l'organisation sociale des fourmis avec des

colonies locales et exotiques.
Muséum, 3, rue du Président-
Merville, jusqu'au 26 août 2018.
Rens. : 02.47.21.68.08.

CONFÉRENCES

Grenoble (38)

Imiter les prouesses de la nature : écologie et biomimétisme

Par Hélène Amarlic, designer spécialisée en biomimétisme.
Muséum, auditorium, rue des Dauphins, le 4 mai à 18 h 30.
Rens. : 04.76.44.05.35.

Marseille (13)

Archéologie et ethnologie : le poids des héritages

Par Nabila Oulebsir, maître de conférences en histoire de l'art contemporain à l'université de Poitiers, Mounir Bouchenaki, archéologue algérien, et Benoît de l'Estoile, anthropologue à l'Institut de recherche interdisciplinaire sur les enjeux sociaux.
Mucem, auditorium Germaine-Tillion, 7, promenade Robert-Laffont (esplanade du J4), le 15 mai à 19 h. Rens. : 04.84.35.13.13.

Paris (75)

Fusion nucléaire : la source d'énergie rêvée ?

Par Alain Bécollet, directeur de l'Institut de recherche sur

la fusion par confinement magnétique, CEA.
Palais de la découverte, avenue Franklin-Roosevelt, le 3 mai à 19 h.
Rens. : 01.56.43.20.20.

Les guérisseurs : quelle place pour l'irrationnel dans le parcours de soins ?

Par Isabelle Célestin-Lhopiteau, psychologue, directrice de l'Institut français des pratiques psycho-corporelles, université Paris-Sud.
Cité des sciences, 30, avenue Corentin-Cariou, le 4 mai à 19 h.
Rens. : 01.85.53.99.74.

Exomars : à la recherche de vie sur Mars

Par Michel Viso, responsable du programme exobiologie au Centre national d'études spatiales, François Forget, du Laboratoire de métrologie dynamique à Paris, et Valérie Ciarletti, du Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales.
Café du Pont-Neuf, 14, quai du Louvre, le 16 mai à 19 h 30.
Rens. : <http://cnes.fr/mardisdespace>

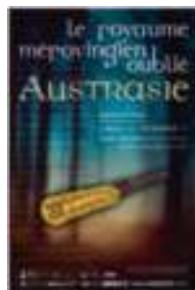
Rêves en sciences

Par Isabelle Arnulf, neurologue au service pathologie du sommeil à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris.
Institut du cerveau et de la moelle épinière, auditorium, 83 boulevard de l'Hôpital, le 18 mai à 18 h.
Rens. : conferences.icm@icm-institute.org

Saint-Germain-en-Laye (78) / Exposition



Austrasie, le royaume mérovingien oublié



Des découvertes archéologiques récentes dans l'est de la France, ainsi qu'une relecture de manuscrits, permettent d'éclairer d'un jour nouveau la vie quotidienne et l'organisation sociale de l'Austrasie, royaume issu du partage de celui de Clovis entre ses fils et dont la capitale était Reims. Cet État s'étendait sur l'est de la France, la Belgique, le Luxembourg et l'ouest de l'Allemagne. Entre 511 et 717, cette « Terre-de-l'Est » a été un royaume

puissant qui a connu un rayonnement important aussi bien sur le plan politique qu'économique. Mais le nom « Austrasie » a disparu des mémoires, contrairement à la Bourgogne ou à l'Aquitaine. La réforme territoriale l'a fait en partie renaître en 2016 avec la création de la région Grand-Est. L'occasion de montrer, avec cette exposition d'abord présentée à notamment à Saint-Dizier (Haute-Marne), comment s'est construite l'identité culturelle de ce territoire. **M. N.**

Musée d'Archéologie nationale, château, place Charles-de-Gaulle, du 3 mai au 1^{er} octobre. Rens. : 01.39.10.13.00.

Rennes (35)

Les nanoparticules dans l'environnement

Par Julien Gigault, chargé de recherche CNRS au laboratoire Géosciences de l'université Rennes-1.
Les Champs libres, salle Hubert-

Curien, 10, cours des Alliés, le 2 mai à 20 h 30. Rens. : 02.23.40.66.00.

ET AUSSI

Pint of Science

Festival engageant plus de 230 scientifiques dans une trentaine de villes en France (et dans 15 pays) à sortir de leurs laboratoires pour partager une bière et une conversation autour de leurs travaux.
Du 15 au 17 mai. Programme sur <https://pintofscience.fr/>

Fête de la nature

Pour sa 11^e édition, cet événement regroupant plus de 5000 manifestations gratuites partout en France a pour thème « Les super-héros de la nature », mettant en avant les écosystèmes et les espèces qui font preuve d'adaptations et de stratégies étonnantes.
Du 17 au 21 mai. Programme sur www.fetedelanature.com/

Retrouvez toutes les expositions en cours en France dans notre guide Internet : sciaf.fr/guideexpos

Paris (75) / Exposition

Imprimer le monde

Conçue dans le cadre de la célébration des 40 ans du centre Pompidou, cette collection mêlant œuvres d'art, prototypes et projets de recherches donne un aperçu assez complet de l'impression 3D avec un vrai souci de pédagogie. Premier constat : l'étendue des procédés et des matières. Terminé l'objet 3D en polymère blanchâtre. On imprime de la céramique, du cuivre, du bronze, du béton, du sable de silice mais aussi des microbactéries ou de l'aérogel de graphène, un matériau plus léger que l'air. L'impression 3D — qu'une chronologie fait remonter à 1860 avec la photosculpture de François Willème — autorise aujourd'hui un très haut niveau de complexité des structures. Mais au-delà de la technique, l'exposition soulève aussi nombre de questions sur le rapport entre technologie, société voire corps humain. Et même la face sombre de l'impression 3D, avec les armes ou la contrefaçon. ■

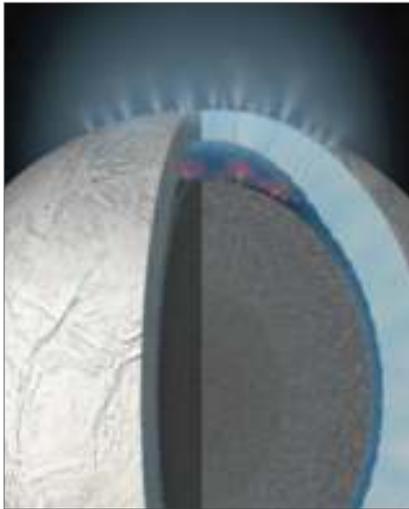
Arnaud Devillard

Centre Pompidou, galerie 4, place Georges-Pompidou, jusqu'au 19 juin.
Rens. : 01.44.78.12.33.



COURTESY OF JON RAFMAN

« New Age Demanded », impression 3D de Jon Rafman.



NASA/JPL-CALTECH

ESPACE

Les panaches d'hydrogène d'Encelade

 Azar Khalatbari, chef de service
[@azarkhalatbari](https://twitter.com/azarkhalatbari) akhalatbari@sciencesetavenir.fr

La Nasa l'a annoncé lors d'une conférence très médiatisée : sous la croûte glacée d'Encelade, lune de Saturne, et d'Europe, lune de Jupiter, un océan pourrait être animé par des sources hydrothermales. Des observations permises par la sonde Cassini et le télescope spatial Hubble. Certes, les scientifiques soupçonnaient déjà l'existence de ces « lunes-océans », mais le fait d'envisager des sources hydrothermales est très excitant, car pour la première fois se trouvent réunis au sein de ces corps glacés tous les ingrédients de la vie : minéraux, source d'énergie et eau. sciav.fr/843Encelade

Le Top 8 du mois

Les + lus sur Internet

Le cyclone Debbie provoque un « sharknado »
sciav.fr/843Debbie

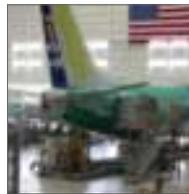
Pompéi : de l'ADN et de supposés « amants »
 (lire aussi p. 56)
sciav.fr/843Pompei



SHUTTERSTOCK

KDOG : les chiens renifleurs de cancer
sciav.fr/843KDOG

Les + partagés



SARAH-SERMONDADAZ

À Seattle, dans les coulisses de l'usine Boeing
sciav.fr/843Boeing

Une combinaison pour voler comme Iron Man
sciav.fr/843IronMan

Les + likés

Un bout de lune martienne
sciav.fr/843lune

Diabète et régime sans gluten
sciav.fr/843gluten

La course « Colore ma lame »
sciav.fr/843Colore



COLOREMALAME

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Archéo.
 Un chant du xv^e siècle ressuscité

Des archéologues ont redonné vie à une mélodie notée sur une plaque de schiste trouvée lors des fouilles du couvent des Jacobins de Rennes.
sciav.fr/843chant

10 minutes

Animaux.
 La clinique vétérinaire de Beauval

La nouvelle clinique du zoo de Beauval (Loir-et-Cher) a ouvert ses portes le 20 mars. *Sciences et Avenir* a visité ce lieu à la pointe de la technologie.
sciav.fr/843Beauval

15 minutes

Nature.
 Homme et changement climatique

La redistribution du vivant sous l'effet de la hausse des températures est une lame de fond, affirment 41 chercheurs dans la revue *Science*.
sciav.fr/843climat

VIDEO

IA, réalité virtuelle et robots au sommet des start-up

 Dominique Leglu, directrice de la rédaction
[@dominiqueleglu](https://twitter.com/dominiqueleglu) dleglu@sciencesetavenir.fr

Pour le 2^e sommet des start-up qui s'est déroulé à Paris le 13 avril, *Sciences et Avenir* a proposé à plusieurs spécialistes de faire découvrir les avancées de la technologie à 600 jeunes passionnés. Les tables rondes sont à voir en intégralité sur notre site. sciav.fr/843StartUp



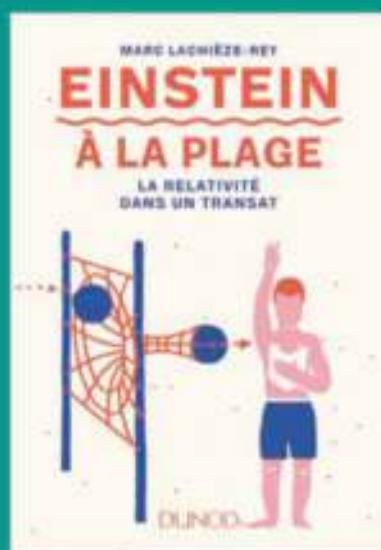
MARC BERTRAND

sciav.fr/2oHm8TX

Nos liens internet simplifiés. sciencesetavenir.fr devient sciav.fr

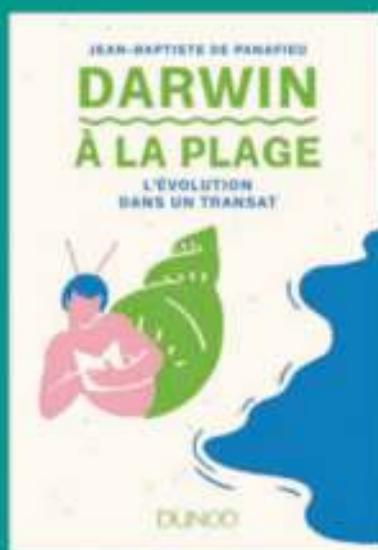
Les liens Internet conseillés dans les pages du journal le sont sous la forme du préfixe sciav.fr/ suivi d'une chaîne de lettres et chiffres qu'il faut taper intégralement dans la barre de navigation de votre navigateur Internet en respectant les majuscules et les minuscules. Ainsi, p. 93, dans le Pour en savoir plus, sciav.fr/2oHm8TX renvoie directement à la vidéo de la transcription d'un dialogue avec le chatbot ELIZA.

Pour aller toujours plus loin dans la découverte



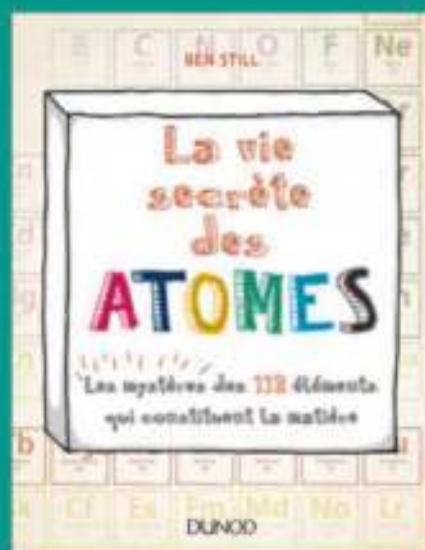
9782100763398, 176 pages, 14,90 €

Laissez-vous guider par Marc Lachièze-Rey sur le chemin menant de la relativité aux modèles de big bang et aux trous noirs.



9782100758593, 168 pages, 14,90 €

Découvrez comment Charles Darwin a révolutionné notre façon de penser : la théorie de l'évolution n'a plus de secret pour vous.



9782100747571, 192 pages, 18,90 €

Découvrez les 118 éléments présents dans l'Univers et leurs histoires incroyables.



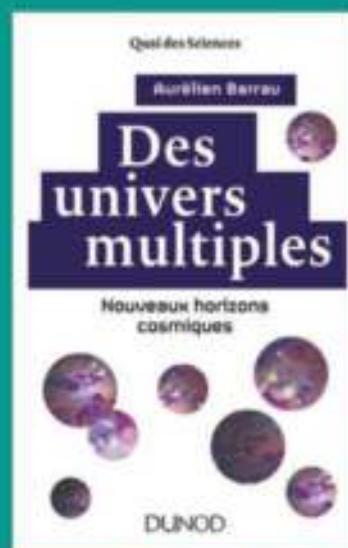
9782100748485, 152 pages, 11,90 €

Que sait-on des trous noirs ? Levez le voile sur les grandes énigmes de ces astres fascinants.



9782100757725, 304 pages, 24 €

John Richard Gott décrit un univers comme une gigantesque éponge cosmique dont l'évolution est orchestrée par la mystérieuse énergie sombre.



9782100763382, 176 pages, 16,90 €

Une présentation des théories cosmologiques les plus audacieuses.



Le Printemps des
Sciences



PIERRE EST NUL EN PLOMBERIE

Nordnet, SA immatriculée au RCS de Lille Métropole sous le numéro B 402 974 489.

MAIS CE MATIN, IL CONNECTE SA MAISON EN HAUT-DÉBIT PAR SATELLITE.

Finies les galères de connexion à la maison ! Avec l'Internet Satellite, Nordnet vous connecte immédiatement en Haut-Débit, où que vous soyez, même si vous ne disposez pas d'un ADSL rapide. Grâce à nos matériels et à nos offres, vous pouvez aussi téléphoner et recevoir de nombreuses chaînes TV. Désormais avec Nordnet, voyez la vie en Haut-Débit !

 **3420** (appel non surtaxé)
www.nordnet.com

.nordnet.
nos solutions Internet vous ouvrent le monde