

SCIENCE&VIE N° 1183 - Avril 2016 Chute d'astéroïde Microbiote Onde gravitationnelle Jungle Exoplanètes Fusion nucléaire CO₂ Bioluminescence Clavier AZERTY

ALLAITEMENT SOUPIRS ONDE GRAVITATIONNELLE JUNGLE TURKANA CO₂
LAMPE VIVANTE AZERTY TCHERNOBYL TV HD CARAFE POULPE MENDEL

SCIENCE&VIE

SCIENCE&VIE

AVRIL 2016  MONDADORI FRANCE



**CHUTE
D'ASTÉROÏDE**
UN PREMIER MORT !

EXOPLANÈTES
DES PAYSAGES
INOÛIS

STRESS, TONUS, SOMMEIL...

LES SUPER POUVOIRS DU VENTRE

ILS OUVRONT LA VOIE À
UNE NOUVELLE MÉDECINE

ÉNERGIE DU FUTUR

FUSION L'EXPÉRIENCE QUI CHANGE TOUT

D: 6,90 € - BEL: 4,80 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 €
DOM S: 4,90 € - DOM A: 6,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,80 €
PORT CONT: 4,90 € - CAN: 6,75 \$ CAN - MAR: 50 DH
TOM S: 750 CFP - TOM A: 1400 CFP - CH: 8,5 FS - TUN: 9 DTU



LE WHISKY PRÉFÉRÉ DES ÉCOSSAIS* SE RECONNAÎT À SA FAMEUSE GROUSE.

THE FAMOUS GROUSE EST DEPUIS 1896 UN WHISKY
UNIQUE GRÂCE AU SAVOIR-FAIRE DE SON CRÉATEUR,

Matthew Gloag

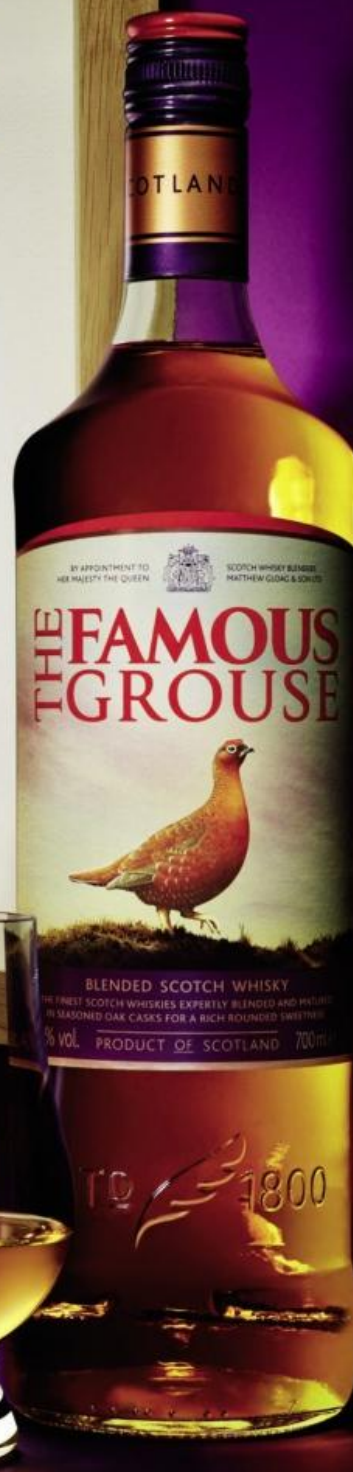
FAMEUX POUR SON MARIAGE DE PRESTIGIEUX SINGLE
MALTS DONT LE CÉLÈBRE GLENTURRET, ISSU DE LA PLUS
ANCIENNE DISTILLERIE D'ÉCOSSE.

FAMEUX POUR SA LONGUE MATURATION EN FÔTS
DE SHERRY ET DE BOURBON.

FAMEUX POUR SA RICHESSE AROMATIQUE, SES NOTES
DE VANILLE, D'ÉPICES ET D'AGRUMES.

FAMEUX À PLUS D'UN TITRE

**THE FAMOUS
GROUSE**



Avant-propos SCIENCE & VIE



Matthieu Grousseau
m.grousseau@mondadori.fr

Une vieille promesse renouvelée

Et si la première idée était la bonne ? Cela fait presque un siècle que les plus éminents physiciens voient dans la fusion nucléaire l'avenir énergétique de l'humanité. Et qu'ils imaginent toutes sortes de machines capables de maîtriser cette énergie qui, depuis 5 milliards d'années, fait brûler le Soleil. Le démarrage du réacteur expérimental W7-X, il y a quelques semaines, signe le retour en grâce d'un des premiers modèles jamais imaginé : le stellarator.



Benoît Rey
b.rey@mondadori.fr

La réalité dépasse la fiction

1, 10, 100 et finalement des milliers... La multitude de mondes découverts ces vingt dernières années par les planétologues sont extraordinairement différents de ceux auxquels nous a habitués notre bon vieux Système solaire. Et ces experts en sont convaincus : les planètes qu'il reste à découvrir dépasseront en bizarreries les fantasmes les plus tordus des meilleurs auteurs de science-fiction ! Il était donc tentant de dessiner ces nouveaux horizons jusqu'ici littéralement... inimaginables.



Elsa Abdoun
e.abdoun@mondadori.fr

Un nombrilisme assumé

Nous avons déjà publié de nombreux articles sur cette révolution du "microbiote". Dès 2008, nous rendions compte des débuts du séquençage des bactéries intestinales (S&V n°1088), dont on sait désormais qu'elles ont un impact sur le cerveau (n°1133), et même sur notre hérédité (n°1173), ou encore sur l'anorexie (n°1174). Cette fois, le fruit de toutes ces recherches mérite la première place sur notre couverture. Certes, le ventre, ses intestins et leurs microbes, *a priori*, ça ne fait pas rêver. Mais, vous le verrez, c'est bien du côté de notre nombril qu'il faut chercher les ressorts de notre santé, voire de notre identité...



TOYOTA

TOUJOURS
MIEUX
TOUJOURS
PLUS LOIN

Il faut vivre avec son temps...
et parfois prendre un peu d'avance.



Nouvelle Toyota **PRIUS**

Découvrez la Nouvelle Toyota Prius, l'Hybride 4^{ème} génération. Une expérience de conduite silencieuse et réactive affichant des consommations et des émissions de CO₂ records⁽¹⁾ : 3,0 L/100 km et 70 g/km. Audacieuse par son design offrant un aérodynamisme remarquable, la Nouvelle Toyota Prius présente un intérieur raffiné doté d'une richesse d'équipements à la pointe de la technologie. À partir de **29 150 €*.** > **Encore une bonne raison de passer à l'Hybride TOYOTA.**

Prix (TTC) conseillé de la Prius Dynamic 15 neuve, selon référence au tarif du 01/03/2016 déduction faite du Bonus Écologique de 750 €. **Modèle présenté** : Prius Dynamic 17* option peinture Rouge Passion neuve à 30 500 € déduction faite du Bonus Écologique de 750 €. Pour l'acquisition ou la location (durée ≥ 24 mois) d'un véhicule hybride émettant jusqu'à 110 g/km de CO₂, selon conditions et modalités des articles D251-1 et suivants du Code de l'Énergie. (1) En cycle mixte jantes 15".

TOYOTA
HYBRID

Sommaire

avril 2016 n° 1183



COUVERTURE: V. SAMUEL D'APRÈS S. PYTEL/GETTY - DR. J. JONSON/GETTY



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

E-mail : svmens@mondadori.fr

Recevez Science & Vie chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 125. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart Science&Vie Voyages Croisière S&V Turquie Grèce est jeté sur la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un catalogue Science&Vie Voyages Croisières est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un catalogue Science&Vie Voyages Croisières est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Une enveloppe Select'Presse est jetée sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un catalogue Select'Presse est jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro. Un catalogue Boulogne Science&Vie est jeté sur la diff. abonnés France Métro.

12 **Forum**

Actus

18 **Labos**

Congelé pendant 30 ans, un tardigrade revient à la vie; la Lune influe sur la pluviosité; un nombre précis de neurones code chaque souvenir...

28 **Environnement**

Les icebergs géants fertilisent l'océan austral; le virus qui décime les ruches du monde entier est exporté d'Europe...

32 **Médecine**

Le soupir naît dans le cerveau; les seniors souffrent moins de "démence" qu'avant...

36 **Technos**

Des minirobots dynamiques ont été imprimés en 4D; une image quasi invisible de 0,0092 mm²...

Événement

40 **Chute d'astéroïde**

Un premier mort!

A la Une

48 **Stress, tonus, sommeil...****LES SUPER-POUVOIRS DU VENTRE**

54 Comment notre microbiote gouverne notre existence

62 Vers une nouvelle médecine par le ventre

Science & découvertes

68 **Physique****Ondes gravitationnelles: un exploit historique**71 **Ecologie****"Loi de la jungle": la preuve par les arbres**74 **Astronomie****Incroyables exoplanètes**82 **Paléanthropologie****Lac Turkana: et si c'était le berceau de l'humanité...**

Science & techniques

88 **Fusion nucléaire****La prouesse du stellarator**98 **CO₂****Trois idées de génie pour le recycler**104 **Bioluminescence****Et l'éclairage devint vivant**

Science & futur

110 Un projet d'immeuble détourne les tours des centrales thermiques; de premiers écrans numériques antibruit testés le long des autoroutes; une expérience de réalité virtuelle promet de soigner le stress et la dépression; bientôt de nouvelles éoliennes flottantes encore plus efficaces; le transport de passager par drone se concrétise; une oasis mobile veut ensemençer le désert...

La science & la vie

Science & société

118 Réforme du clavier AZERTY: voici ce qui pourrait changer...

122 La TNT passe à la HD: la haute définition atteint ses limites

124 Cancers en France: on survit mieux à la maladie aujourd'hui qu'il y a 20 ans

Science & vie pratique

126 Bon à savoir

128 Technofolies

132 Questions/Réponses

Science & culture

138 A voir / à lire

140 Il y a... 150 ans: Mendel posait les bases de la génétique

LE THÉ

COMME VOUS NE L'AVEZ JAMAIS DÉGUSTÉ.

Pour le non-initié, préparer du thé semble une évidence : faire bouillir de l'eau, y plonger le thé et le servir. Une vision de l'art du thé qui fait sourire les vrais amateurs, tant ce rituel ancestral recèle quelques secrets à connaître pour savourer toutes les nuances de l'infusion.

Nous vous les révélons aujourd'hui.

Maîtrisez les mystères de l'infusion.

La première chose à intégrer est bien sûr qu'il n'existe pas un, mais mille thés. Et que si leurs origines, leurs goûts et leur caractères sont tous différents, leurs températures et durées d'infusion le sont aussi. Là où un Darjeeling va demander 3 à 5 minutes d'infusion dans une eau entre 80 et 95° pour vous offrir ses délices, certains thés verts de Chine expriment leur saveur dès 1 à 3 minutes avec une température d'eau de 40 à 80°, selon leur finesse. Et un thé blanc comme le Bai Mu Dan peut demander jusqu'à 10 minutes d'infusion à 70°.

Révéler pleinement les plus subtils arômes de votre variété préférée demande donc rigueur et savoir-faire. Mais certains experts ont découvert un secret bien gardé pour savourer très simplement un thé toujours parfait.

Vivez une expérience sensorielle inédite.

La marque française Riviera&Bar, référence du petit électro-ménager haut de gamme, a créé Cha Dao, « l'art du thé » en chinois. Première théière avec infusion automatique 100% intégrée, elle a très vite su séduire les connaisseurs en leur offrant une expérience sensorielle inédite.

Née de la grande expertise de la marque, cette théière met sa technologie innovante au service de la tradition.

Elle vous garantit l'excellence d'une infusion optimale avec une extrême simplicité d'utilisation.

Pas de préparatifs fastidieux, rien à surveiller : vous sélectionnez votre type de thé, indiquez vos préférences de dégustation et disposez vos feuilles de thé dans le panier, Cha Dao fait le reste. La théière ajuste automatiquement la température, la durée d'infusion et même les mouvements du panier.

Vous pouvez aussi opter pour la liberté totale d'un paramétrage entièrement personnalisé, qui s'adapte parfaitement à vos goûts et vos désirs spécifiques.

Programmable à l'avance, Cha Dao conserve également votre thé à température idéale pendant une heure.

Cha Dao est la quintessence d'une gamme de théières telle que la Yunnan, savamment pré réglée pour que chaque variété de thé se révèle d'un simple geste et de bouilloires à température variables à la précision reconnue et inégalée :



Savourer un thé dont l'infusion magnifie ses plus fines nuances n'a jamais été aussi simple. Riviera&Bar, c'est le thé en toute sérénité.

« Le thé est certainement la boisson qui offre une des plus grandes palettes de notes aromatiques. C'est la raison pour laquelle nous avons à cœur d'accompagner nos clients sur le secret de l'infusion. Pour révéler toute la richesse gustative de chacun de nos thés, nos tea sommeliers préconisent une durée et une la température d'infusion idéale. Ce processus d'infusion précis et maîtrisé est celui qu'offre la théière automatique Cha Dao, permettant aux thés les plus fins d'exalter toutes leurs saveurs. »

François-Xavier Delmas.

Expert en thés, Président Fondateur de Palais des Thés, Maison de Thé parisienne.



Publicité

Le Thé est un art



La théière entièrement automatique et programmable



Cha Dao[®]

(* L'art du thé)

- 5 températures d'infusion et 3 forces prérégées
- Températures et durées d'infusion personnalisables
- Cycle automatique : chauffe / descente / infusion / remontée
- Départ différé et maintien à température
- Utilisable en mode bouilloire à température variable

Avec Cha Dao, découvrez la pureté et la précision d'une théière d'exception et devenez expert en thé.

riviera&bar
objets d'art culinaire

www.riviera-et-bar.fr



Découvrez sa vidéo



Forum

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

Trop de bonheur pour être vrai ?

Votre dossier de février sur le bonheur place imprudemment les prédispositions biologiques au centre du débat. La génétique ne peut pas "fabriquer du bonheur". D'autant qu'il y a un paradoxe entre le ressenti déclaré par les Français [80,6% se disent heureux] et le taux de suicide en France, parmi les 5 premiers d'Europe.

Thierry H., Grenoble

SV Ce parallèle entre taux de suicide et scores de bonheur est intéressant mais trompeur. Rappelons que, malgré ses 80,6% de citoyens se déclarant "heureux", la France est plutôt en queue de classement en Europe de l'Ouest. Il peut y avoir, ensuite, des populations déclarant des scores de bonheur en moyenne plutôt hauts mais ayant des taux



de suicide plutôt élevés. C'est le cas notamment de la Finlande, où les scores de bonheur et le taux de suicide sont tous deux plus élevés qu'en France. D'une

part, parce qu'une moyenne peut cacher des écarts importants. D'autre part, parce que le lien entre malheur et suicide peut dépendre de spécificités culturelles.

Les études sur le bonheur déclaré s'accordent à dire que les gènes participeraient pour au moins 30% des différences enregistrées (certaines études vont jusqu'à 50%). Et 40% pour les facteurs "cognitifs et comportementaux". L'essentiel des différences de bonheur déclaré d'un individu à l'autre ne s'explique donc pas par ces facteurs environnementaux et sociaux, mais par des profils de personnalités (auxquels nos gènes participent).

J'ai été surpris par la forme de l'article "J'ai testé mon ADN" (S&V n° 1181), à la 1^{re} personne. Vous restez neutre, d'ordinaire... Mais j'ai trouvé cela très bien, j'avais l'impression de tenir une discussion avec la journaliste.

Joël Rabelle, Ham-sous-Varsberg (57)

Pollution aux particules fines
Un inventeur a trouvé la solution !

Il n'y a pas que les pots d'échappement... Dans une voiture, les freins sont aussi de grandes sources de particules fines. Qu'en fait-on ?

Le principe du tamis

1. Les particules fines sont aspirées par un système de ventilation.
2. Elles sont capturées par un tamis à mailles fines.
3. Les particules sont stockées dans un réservoir.
4. Le système est alimenté par une batterie.

Un inventeur a trouvé la solution !

Un inventeur a trouvé la solution ! Un système de ventilation qui aspire les particules fines émises par les freins. Le système est alimenté par une batterie et les particules sont stockées dans un réservoir.

Une autre solution contre les particules fines

Votre article sur l'aspiration des particules fines émises au freinage est très intéressant. Mais les voitures électriques réduiraient aussi cette pollution : les freins, moins sollicités, s'usent peu, l'énergie cinétique étant récupérée dans les batteries.

Robert Douville, Ste-Thérèse, Québec, Canada

SV Vous avez tout à fait raison. Le freinage des véhicules électriques peut se faire, en partie, en utilisant le moteur comme un générateur. Ce qui ralentit le véhicule, recharge les batteries... et limite ainsi l'usage des freins à disque. Sans pour autant rendre l'aspirateur caduc.

Cachez ces
araignées que je
ne saurais voir!

Je suis extrêmement phobique vis-à-vis des araignées. Quand je tourne vos pages et que je découvre des photos en gros plan de ces animaux, je suis choquée et très effrayée, au point de ne plus pouvoir lire le reste du magazine. Je suis obligée de demander à quelqu'un de découper la page, ou de coller une feuille sur la photo pour ne plus la voir.

Hélène Courtecuisse, internet

*A nos lecteurs arachnophobes : ne consultez pas la page 126...

Le venin des plantes aussi a du bon

Votre article "Venins : leurs pouvoirs guérisseurs bientôt en pharmacie" (S&V n°1182, mars 2016) évoque l'attrait qu'ont les chercheurs pour les molécules que contiennent les venins. Je suis étudiant en biologie et les toxines capables de soigner selon la dose ont été abordées dans mes cours. Or, elles sont contenues dans les venins des animaux mais également dans les plantes, et certaines sont même utilisées dans la pharmacopée. Pourquoi n'avoir présenté que celles issues des animaux ?

Adrien Nassivet, Albi

SV Les plantes vénéneuses sont utilisées par la pharmacopée depuis beaucoup plus longtemps que les venins animaux, car il n'y a pas, dans leur cas, de difficulté à récupérer la toxine qu'elles recèlent. Cette dernière possède de plus une nature chimique qui la rend plus facile à étudier et à administrer. Exemple célèbre, la digitaline, molécule toxique de certaines espèces de digitales (une plante à fleurs), est utilisée en cardiologie depuis le xix^e s. Reste qu'aujourd'hui les chercheurs se tournent principalement vers les animaux.

On en reparle

DE L'EAU SUR MARS!

► Pourquoi le doute n'est plus permis
► Ce que cela change

Cette fois, c'est sûr. En septembre, la Nasa annonce la présence d'écoulements d'eau de glace sur les pentes de Mars. Une eau qui, pour être hyper-salée, mettrait à l'épreuve nos techniques. En fait, elle coule dans des canaux souterrains. Serge Brunier et Mathieu Gaudreau commentent l'événement en perspective.

DE L'EAU... ET DU CO₂ SUR MARS

Le feuilleton durait depuis plus de quinze ans... Depuis, que, en orbite autour de Mars, les sondes spatiales avaient découvert des coulées de "liquide" sur les pentes des montagnes et des cratères... Des coulées récentes, quelques milliers d'années, voire contemporaines, puisque certaines se formaient presque sous leurs yeux électroniques! Des écoulements qui évoquaient irrésistiblement le travail de l'eau. De l'eau sur Mars par -40 °C et dans une atmosphère sèche et raréfiée, est-ce possible? Oui, si cette eau est fortement salée... Or, cet automne, la Nasa annonçait la nouvelle: de l'eau coule bel et bien sur Mars! (S&V, nov. 2015, p. 138). Patatras, trois mois plus tard, François Forget et Cédric Pilorget, chercheurs au CNRS, annoncent que la plupart des écoulements observés sur Mars sont dus à de la glace carbonique, dévalant les pentes avec la poussière martienne! Mais alors, *quid* de l'annonce par la Nasa? "Nous ne mettons pas en cause ces travaux, explique François Forget. Les ravines que nous étudions se forment quand il fait très froid. Celles étudiées par les Américains sont très différentes géologiquement et se forment au contraire quand il fait très chaud." Il y aurait donc deux processus d'érosion sur Mars? Les ravines les plus importantes seraient creusées par le CO₂, et les plus discrètes par des coulées de boue salée... L'eau contenue dans cette saumure proviendrait de l'atmosphère: de la rosée martienne, en quelque sorte.

Serge Brunier



PEUGEOT 308 GT

ADOPTÉZ L'ESPRIT GT



BETC Automobile Peugeot 553 14 803 RCS Paris.

VOITURE
LA PLUS PRODUITE
EN FRANCE⁽¹⁾

Moteur 1,6L THP 205 ch / SUSPENSION / DRIVER SPORT
Moteur 2,0L BlueHDi 180 ch / SPORT / PACK

REPRISE
ARGUS® **+3 600 €⁽²⁾**

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL Consommation mixte (l/100 km) : de 4 à 5,8. Émissions de CO₂ (g/km) : de 103 à 134.

(1) Classement 2015 établi par le cabinet Inovev à partir des estimations de production sur la gamme 308. (2) Soit 3 600 € ajoutés à la valeur de reprise de votre ancien véhicule de moins de 8 ans, d'une puissance réelle inférieure ou égale à celle du véhicule neuf acheté. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'Argus® du jour de la reprise, applicable à la version du véhicule repris, ou, le cas échéant, à la moyenne du cours des versions les plus proches de celui-ci, ledit cours ou ladite moyenne étant ajustés en fonction du kilométrage, des éventuels frais de remise en état standard et déduction faite d'un abattement de 15 % pour frais et charges professionnels. Offre non cumulable, réservée aux particuliers, valable pour toute commande d'une 308 neuve, hors niveaux Access et Active, commandée avant le 30/04/2016 et livrée avant le 30/06/2016, dans le réseau Peugeot participant.

NOUVELLE PEUGEOT 308 GT

MOTION & EMOTION



PEUGEOT



Une 6^e extinction, vraiment?

Votre article sur l'extinction de la faune d'Ediacara, il y a 542 millions d'années (S&V n°1181, p. 67), évoque le fait que nous connaissons actuellement une nouvelle vague d'extinction massive. J'ai pourtant cru comprendre que l'existence de cette "6^e extinction" restait très spéculative...

Mathieu Robert, Angers

part sur des îles, constituant donc un cas particulier). Rien à voir avec les centaines de milliers, voire les millions dénombrées lors des 5 extinctions de masse de l'histoire. Notre grande ignorance de la composition du vivant a aussi été pointée du doigt. Mais bien que tout cela soit exact, la plupart des écologues acceptent la notion de "6^e extinction", concédant que c'est un raccourci pratique pour décrire une crise majeure de la biodiversité planétaire. Car si les extinctions sont encore rares, impossible de contester la diminution galopante des effectifs des espèces, principalement sous l'effet de la disparition des habitats (mais aussi des prélèvements et des toxiques). Et cela ne peut que déboucher sur des extinctions.

S&V Vous avez raison de souligner que la notion de "6^e extinction", récemment popularisée par un livre d'Elizabeth Kolbert, a fait l'objet de nombreuses critiques. Il a notamment été souligné que si beaucoup d'espèces se sont raréfiées depuis un siècle, il y en a tout au plus quelques centaines qui ont été identifiées comme éteintes (dont la plu-

On en reparle



LA FIN ANNONCÉE DE LA LOI DE MOORE

Il y a dix ans déjà (S&V n°1056, p. 108) nous nous interrogeons : la loi de Moore allait-elle continuer à rythmer les progrès de la microélectronique ? Née en 1965 sous la plume de Gordon Moore, ingénieur électronicien devenu cofondateur d'Intel, cette loi stipule que la densité de transistors gravés dans les puces des ordinateurs double tous les deux ans. Une loi empirique qui, bon an mal an, ne s'était pas démentie. Au cap de la quarantaine, toutefois, elle avait donné des signes de faiblesse : à force de réduire la taille des transistors, les puces chauffaient, les courants électriques y étaient de moins en moins contrôlables. La loi a cependant tenu bon : entre 2005 et 2015, les ingénieurs ont redoublé d'efforts pour tenir le rythme de la miniaturisation. Mais aujourd'hui, les industriels s'apprentent bel et bien à y renoncer. Publiée en mars dernier, l'International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), qui fixe les priorités des fabricants de microprocesseurs, n'exige plus de suivre la loi de Moore : les coûts exorbitants des technologies impliquées ont refroidi les grands "clients" tels Google, Microsoft, Apple, IBM. D'autant plus qu'à l'heure des smartphones, tablettes et objets connectés, ce n'est plus le nombre de transistors qui compte, mais l'augmentation de l'autonomie, la compatibilité entre des milliards de systèmes hétérogènes communicants, l'élargissement de la bande passante, la sécurité des communications... De nouveaux défis, en somme.

Román Ikonlcoff

Erratum et précisions

- De nombreux lecteurs nous ont alerté sur cette coquille : dans la rubrique Technofolies du mois de mars (S&V n°1182), deux prix ont été permutés par erreur. Le prix indiqué pour le Fairphone 2 (p. 121) aurait dû être de 529 €, et non 50 € ; quant au billard Homepool (p. 123), il coûte 50 € au lieu de 530 €...
- Vous avez été encore plus nombreux à vous étonner, à propos d'une question sur le poids des nuages (S&V n°1181, p. 121), dont nous affirmions que certains peuvent peser un milliard de tonnes, "l'équivalent de 10 000 camions-citernes". La comparaison prêtait en effet à confusion. Cette armée de camions-citernes ne sont remplis que par l'eau d'un nuage géant, sans son air – qui représente 90 % de sa masse.

La boutique SCIENCE & VIE

Plus de

400

► Livres

► Objets scientifiques

► Idées cadeaux

www.laboutiquescienceetvie.com



Fonctionnaires, rejoignez la CASDEN Banque Populaire, une banque différente !



À LA CASDEN BANQUE POPULAIRE, L'ÉPARGNE DE TOUS
PERMET À CHACUN DE RÉALISER SES PROJETS.

Comme plus d'un million de Sociétaires, faites le choix de ce modèle bancaire unique,
ouvert aujourd'hui à toute la Fonction publique.

Rencontrez votre conseiller en agence Banque Populaire
ou renseignez-vous sur banquepopulaire.fr ou casden.fr



CASDEN Banque Populaire, la banque coopérative de toute la Fonction publique

Impossible de terraformer la planète rouge?



Dans votre article de janvier 2016 (n°1180), rubrique Actus, vous dites que l'atmosphère de Mars a été détruite par le Soleil, suite à l'arrêt de son champ magnétique. Cela veut-il dire que tout espoir est perdu concernant une éventuelle terraformation de Mars dans les siècles qui viennent ?

Bruno Léc, Haut-Var

SV Non, tout n'est pas perdu ! C'est vrai que le champ magnétique martien ne reviendra

jamais. Mais le vent solaire est lui-même 100 fois moins intense qu'il y a 4 milliards d'années ! *"Si on remettait aujourd'hui sur Mars son atmosphère d'origine, cette fois on est sûr qu'elle résisterait"*, affirme Jérémy Leconte, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. *"L'atmosphère de Mars était surtout composée de CO₂, ajoute Jean-Yves Chaufray, du laboratoire Atmosphères, milieux, observations spatiales. Une terraformation consiste-*



rait à injecter en plus du diazote et du dioxygène." Ce spécialiste de l'atmosphère martienne travaille sur les données de la sonde américaine *Maven*, qui a justement pour objectif d'étudier les processus d'échappement de l'atmos-

phère martienne. *"Le taux d'échappement du CO₂ est de 10²³ ou 10²⁴ molécules par seconde."* Pour terraformer Mars, il faudra donc trouver un processus qui injectera de l'atmosphère à un taux plus important qu'elle n'en perd...

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Grégoire Bouillier (chef d'édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

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

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Mathilde Fontez,
Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES

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

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),
Katia Davidoff, Boris Bellanger
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, K. Bettayeb, L. Blancard, F. Cadu,
O. Capronnier, T. Cavallé-Fol, G. Cirade,
A. Dagan, A. Debroise, S. Devos, O. Donnars,
S. Fay, F. Gracchi, M. Grousson, E. Haentjens,
R. Ikonikoff, M. Kontente, F. Lert, C. Martin,
E. Monnier, N. Picard, E. Picard, A. Pihen,
A. Rambaud, H. Rambert, B. Rey,
M. Saemann Y. Sciama, M. Spée,
E. Thierry-Aymé

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

DIFFUSION

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

MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon,
Michèle Guilliet

PUBLICITÉ

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

Grande-Bretagne : Publieurope LTD

(info@publieurope.com -

44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich

(info@publieurope.com

0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne

(info@publieurope.com

0041 21 323 3110);

Espagne : Publimedia Madrid

(info@publimedia-madrid.es

0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck,

Marie-Hélène Michon

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 44,80 €

1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €

Dépôt légal : avril 2016

ABONNEMENTS

Christophe Ruet (directeur),

Catherine Grimaud (directrice marketing direct)

Johanne Gavarini (responsable marketing direct)

Clara Billand (chef de produit marketing direct)

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,

CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Pour vous abonner par internet :

www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

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

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier :

8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex

Par mail : sev.lecteurs@

mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES

ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

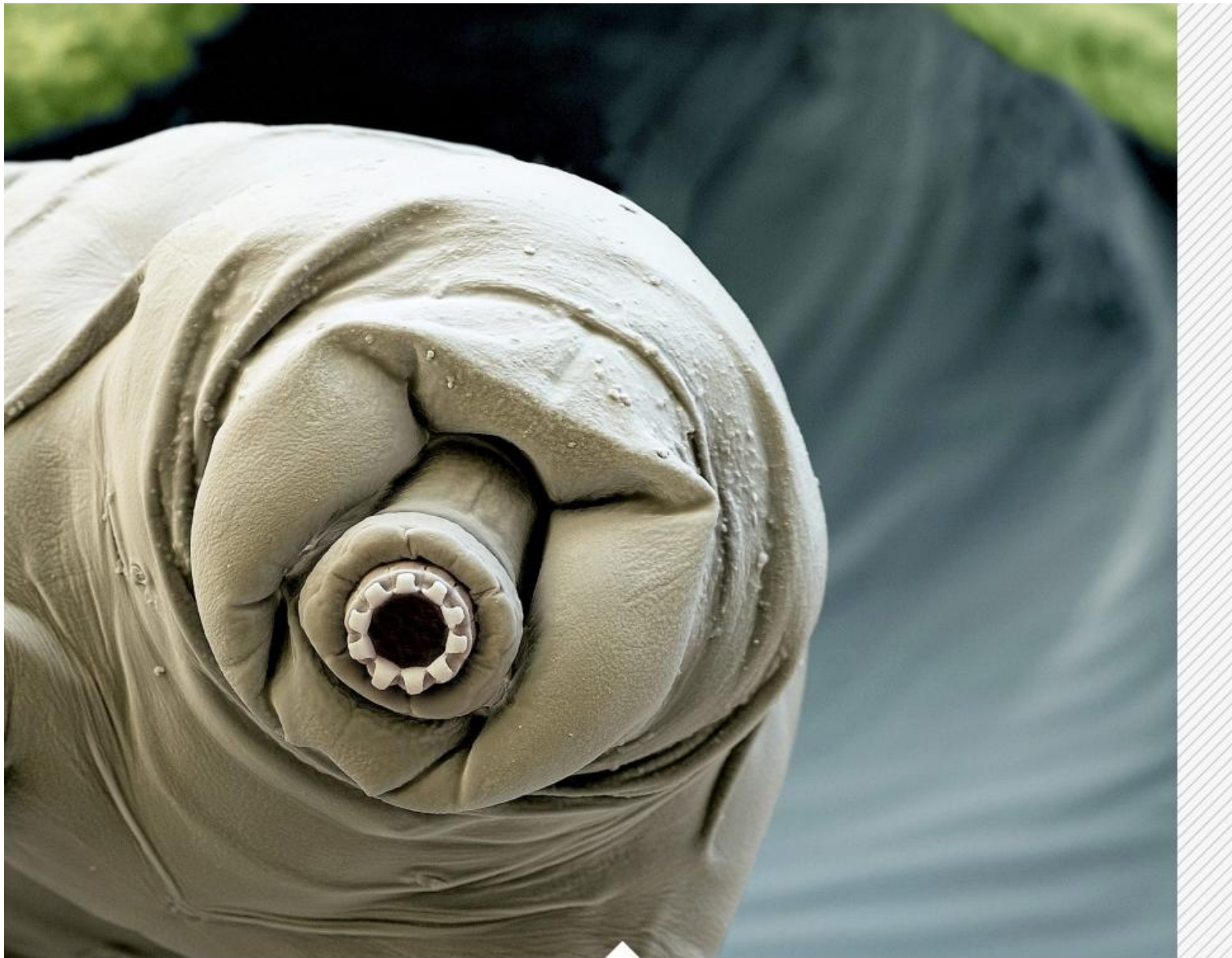
Contact@laboutiquesciencesetvie.com



actus



^ Incroyablement doués pour la survie, les tardigrades doivent mettre en place des mécanismes de réparation de l'ADN encore méconnus.



CRYOBIOLOGIE

CONGELÉ PENDANT TRENTE ANS, UN TARDIGRADE REVIENT À LA VIE

C'est un nouveau record pour ces champions de la survie que sont les tardigrades, un embranchement proche des arthropodes (insectes, araignées, crustacés...) dont les individus ressemblent à de minuscules oursons nageurs à huit pattes, de 1 mm environ. On savait qu'ils résistaient à l'eau bouillante, à la déshydratation, aux radiations

ionisantes et au vide inter-sidéral... et voilà qu'ils peuvent revivre après des décennies de congélation! Prélevé en Antarctique fin 1983 et conservé à -20°C , un échantillon de mousse a été progressivement ramené à température ambiante à l'Institut national japonais de recherche polaire. A l'intérieur, un tardigrade de l'espèce *Acutuncus antarcticus*

a recommencé à bouger dès le premier jour, s'est nourri le treizième jour et a pondu ses premiers œufs le vingt-troisième jour! Des œufs conçus sans accouplement, par parthénogenèse. Un œuf également présent dans la mousse congelée a éclos, lui, le sixième jour, donnant naissance à un animal qui a pondu à son tour. "Survivre trente ans dans

ces conditions est un exploit, même pour eux!", commente Megumu Tsujimoto, principal auteur de l'étude. Prochaine étape: comprendre comment, dans ce mode de survie extrême appelé cryptobiose (arrêt complet du métabolisme), les dégâts subis par l'ADN sont réparés pour permettre le retour à la vie. **FG.**

PHYSIQUE ATMOSPHÉRIQUE

LA LUNE INFLUE SUR LA PLUVIOSITÉ

Tout le monde sait que la Lune est à l'origine des marées... Eh bien, elle exerce une influence similaire sur l'atmosphère ! En effet, comme sur les océans, l'attraction lunaire y provoque un renflement. Et des chercheurs de l'université de Washington viennent de montrer que ce phénomène engendrait une subtile diminution de l'intensité des pluies ! Tsubasa Kohyama et John Wallace ont pour cela épluché les données pluviométriques recueillies pendant quinze ans par le satellite *Tropical Rainfall Measuring Mission*. Après analyse statistique, ils ont découvert que sous les tropiques, il pleut 1 % de moins lorsque la Lune est au zénith. Rien de magique ici. En faisant se bomber

l'atmosphère en dessous d'elle, la Lune augmente l'épaisseur de la couche d'air, et donc la pression de surface, ainsi que la température. Or, l'air chaud peut contenir plus d'eau que l'air froid, sans qu'elle se condense : il pleut donc légèrement moins ! Et sous nos latitudes européennes ? *"Nous n'avons pas vérifié, mais je dirais qu'un tel effet est peu probable"*, estime Tsubasa Kohyama. *L'effet de la Lune sur la pression de surface y est huit fois moindre.* Le chercheur précise que cet effet lunaire n'a aucune incidence sur les animaux ou les plantes, car il est totalement noyé sous l'influence d'autres facteurs. Cette étude servira à affiner les modèles climato-

B.R.

> En "gonflant" l'atmosphère en dessous d'elle, la Lune diminue légèrement l'intensité des pluies sous les tropiques.

BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

L'effet de la chaleur sur le sexe des alligators a été élucidé

Incubés à 33 °C, les œufs d'alligators du Mississippi donnent exclusivement des mâles, alors qu'aux autres températures naissent des femelles. Connue depuis cinquante ans, l'influence de la température sur la différenciation sexuelle des reptiles continuait d'intriguer. Une équipe nippo-américaine a identifié l'origine de ce phénomène : une protéine "canal" s'ouvre ou se ferme selon la température, régulant l'entrée et la sortie d'ions calcium dans les cellules sexuelles lors de leur développement. Reste à montrer comment cela influence le taux d'œstradiol, l'hormone féminisante. A.D.



✓ S'il est incubé à 33 °C, un œuf d'alligator ne pourra donner naissance qu'à un mâle.

NASA - SHUTTERSTOCK

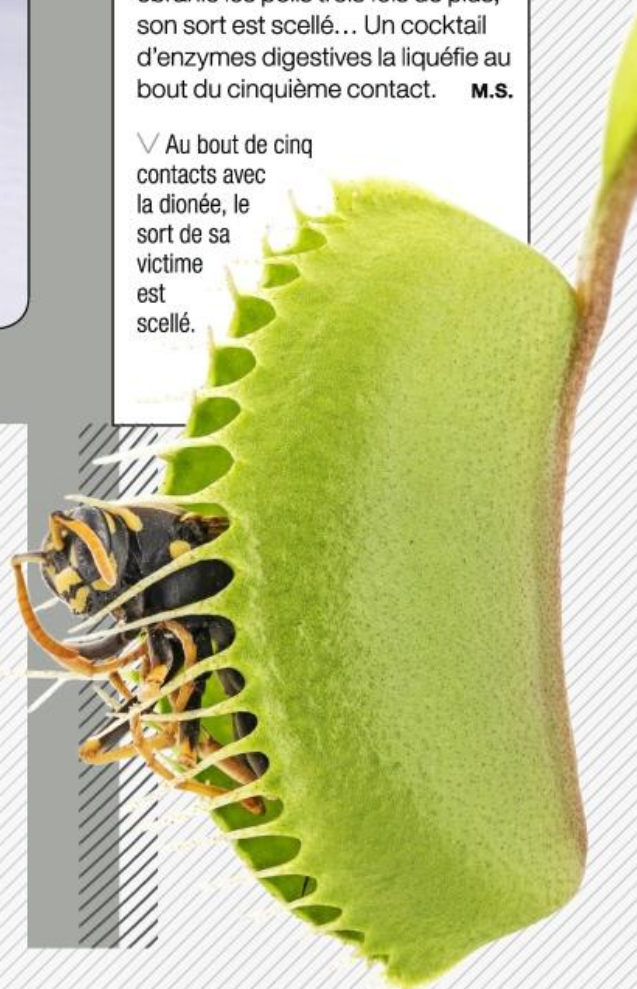


BOTANIQUE

Certaines plantes carnivores comptent pour mieux manger

La dionée attrape-mouche est capable de compter... pas pour la prouesse mathématique, mais pour évaluer la taille de sa victime, son potentiel nutritif et la quantité d'enzymes nécessaire à sa digestion, révèlent des chercheurs allemands. Quand un insecte se pose à la surface de la plante, elle le détecte grâce à ses poils sensitifs et émet une sorte de décharge électrique. A la deuxième stimulation, elle se referme. Si l'insecte ne bouge plus, elle le libère : il n'est pas assez vigoureux à son goût. Mais si la proie, en se débattant, ébranle les poils trois fois de plus, son sort est scellé... Un cocktail d'enzymes digestives la liquéfie au bout du cinquième contact. **M.S.**

✓ Au bout de cinq contacts avec la dionée, le sort de sa victime est scellé.



150 km/h

C'est à cette vitesse que le vent brise le plus d'arbres, quelle que soit leur épaisseur, leur hauteur ou leur flexibilité. Ce constat, établi notamment lors de la tempête Klaus qui a touché la France en 2009, a trouvé une explication grâce aux calculs de physiciens français. Certes, les plus gros arbres devraient mieux résister, la force du vent se répartissant sur un tronc plus large... mais comme ils sont aussi plus hauts, ils présentent plus de prise au vent.

A.D.

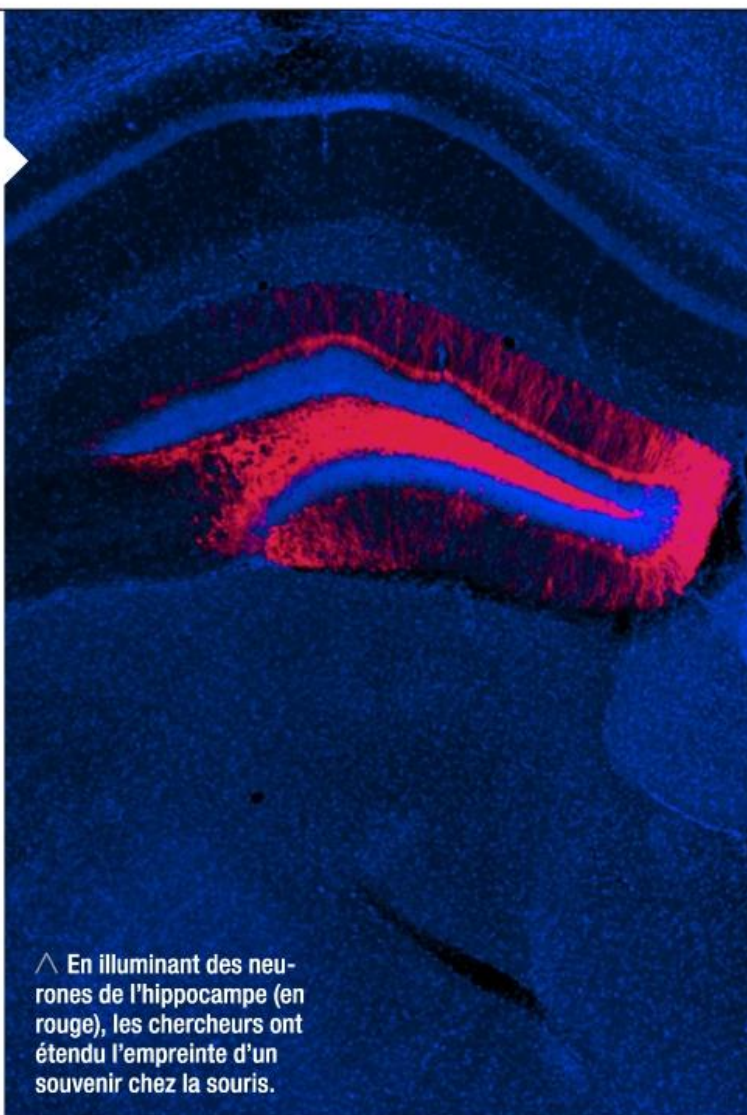


NEUROSCIENCES

UN NOMBRE PRÉCIS DE NEURONES CODE CHAQUE SOUVENIR

Ni trop, ni trop peu... Le nombre de neurones mobilisés pour coder un souvenir est déterminé par un mécanisme précis, que des chercheurs de l'université de Genève ont commencé à dévoiler. Ils ont d'abord identifié, chez des souris, les neurones gardant la trace du souvenir d'un petit choc électrique reçu dans une cage. Il s'agit d'un réseau de neurones qui se forme dans l'hippocampe au moment où a lieu l'événement, et qui est réactivé chaque fois que le souvenir refait surface. Les neuroscientifiques ont constaté que, lors de la mémorisation, les neurones mobilisés inhibent leurs voisins, limitant ainsi le nombre total de

neurones impliqués dans la trace mnésique (l'empreinte du souvenir). Ils ont ensuite eu recours à l'optogénétique, une technique très récente qui permet d'activer des neurones en les illuminant: en activant, grâce à cette méthode, des neurones au moment de la mémorisation, ils ont forcé le cerveau d'une souris à intégrer davantage de neurones dans la trace mnésique. Résultat: elle est restée plus longtemps figée de peur dans la cage dont elle gardait un mauvais souvenir. Pour Pablo Mendez, l'un des chercheurs, *"le souvenir est plus stable quand davantage de neurones y participent"*. Tout est une affaire de dosage... **A.D.**



△ En illuminant des neurones de l'hippocampe (en rouge), les chercheurs ont étendu l'empreinte d'un souvenir chez la souris.

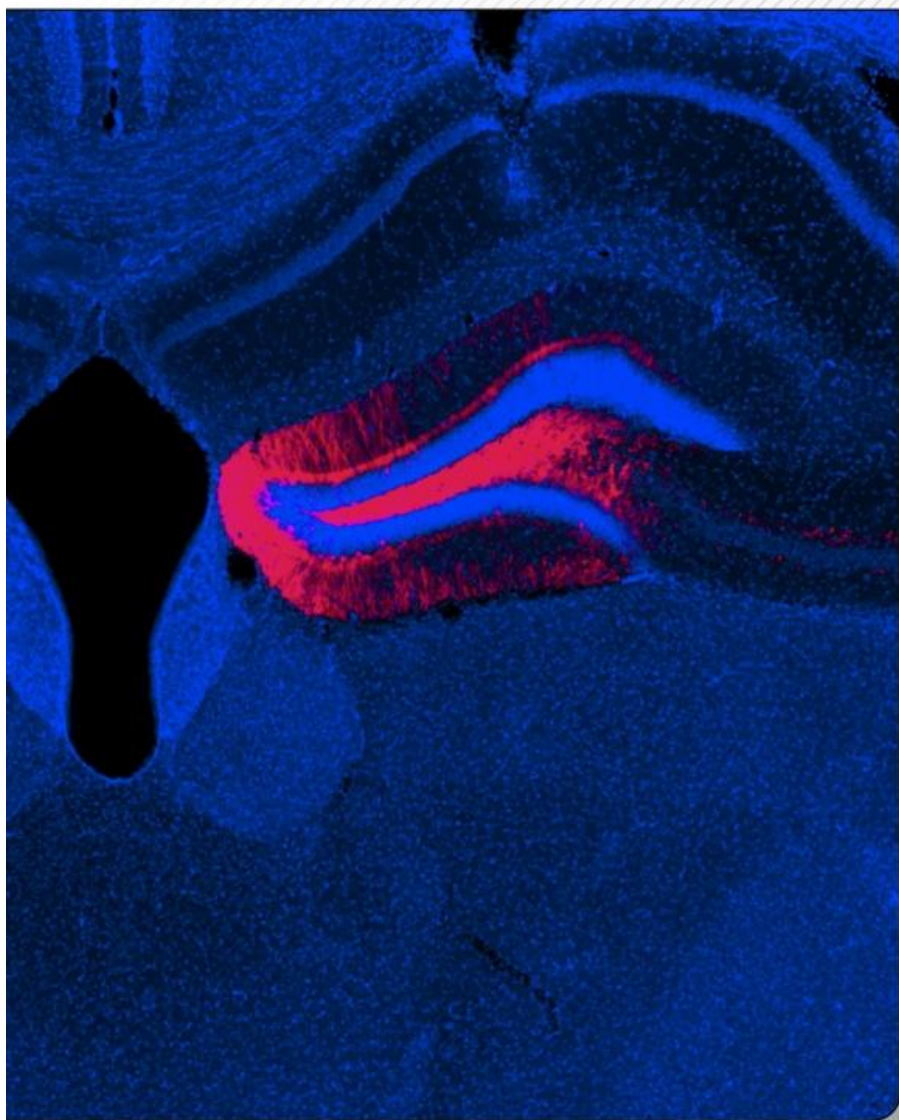
ÉPIGÉNÉTIQUE

Manipulées, des fourmis ont changé de rôle social

Chez les fourmis, on naît ouvrière ou soldat et on le reste toute sa vie. Du moins, c'était le cas jusqu'ici. Car des biologistes de l'université de Pennsylvanie (Etats-Unis) ont réussi à inverser leurs rôles. Sans modifier leurs gènes, mais en leur injectant des enzymes qui modulent l'expression des gènes par un simple changement de configuration de l'ADN. Un contrôle dit épigénétique qui pourrait jouer un rôle dans d'autres comportements sociaux chez la fourmi... et même chez l'homme. **O.D.**



△ Quelques enzymes qui modifient l'ADN, et l'ouvrière devient soldat.



54

C'est la distance, en centimètres, qui sépare deux positions où s'est tenu, simultanément, un seul et même "nuage" de 10 000 atomes de rubidium. Une preuve du don d'ubiquité dont jouit la matière quand elle obéit aux bizarreries de la mécanique quantique. Les physiciens de l'université Stanford (Etats-Unis) ont pour la première fois étendu cette ubiquité à notre échelle. *"Cette expérience très spectaculaire représente un tournant"*, s'enthousiasme Philippe Bouyer, du Laboratoire photonique, numérique et nanosciences (Bordeaux). De quoi enfin toucher du doigt l'étrange univers quantique.

M.G.



ÉTHOLOGIE

Les corbeaux ont conscience du regard des autres

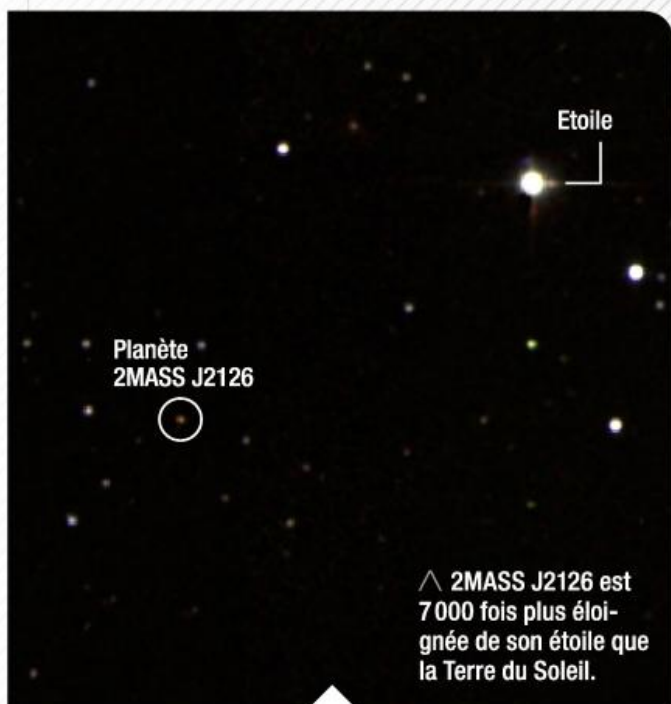
Vous vous sentez parfois observé à votre insu, et cela vous rend nerveux ? Les corbeaux aussi ! Lorsqu'on propose de la nourriture à un corbeau qui n'a pas faim, il la cache. Si la scène a lieu en présence d'un congénère, il agit plus vite, et évite par la suite de retourner à la cachette pour ne pas se trahir. Cameron Buckner, chercheur à l'université de Houston, s'est demandé quel comportement adopterait le corbeau si on lui suggérait (en lui faisant entendre des croassements enregistrés) qu'un congénère était présent dans une cage adjacente. Résultat : si une cloison le sépare de cette cage, il agit tranquillement. Mais si un petit trou a été aménagé, il s' imagine observé et se dépêche de cacher la nourriture ! Signe, pour Cameron Buckner, que la capacité d'attribuer des pensées à d'autres, même hors de vue, n'est pas une spécificité humaine.

A.D.

◀ Le corbeau prêterait des pensées à des individus même absents.



T.STEFANELLI/P.MENDEZ/CMU/UNIVERSITÉ DE GENÈVE - DARTS 5 - SHUTTERSTOCK



△ 2MASS J2126 est 7 000 fois plus éloignée de son étoile que la Terre du Soleil.

ASTRONOMIE

UN SYSTÈME PLANÉTAIRE GÉANT A ÉTÉ DÉCOUVERT

Mille milliards de kilomètres séparent la planète 2MASS J2126 de son étoile, soit 7 000 fois la distance Terre-Soleil ! Elles sont tellement éloignées l'une de l'autre que, d'après les calculs, la planète mettrait 900 000 ans à boucler son orbite... Difficile de croire que toutes deux forment un couple gravitationnellement lié. Et pourtant, il semble bien que cela soit le cas. Pour s'en assurer, l'équipe de Niall Deacon (université du Hertfordshire, Angleterre), qui a découvert ce système, a d'abord vérifié que la planète (une géante de 11 fois la masse de Jupiter)

et l'étoile (une naine rouge), visibles dans la même région du ciel, se trouvaient bien à égale distance de la Terre – à 104 années-lumière de nous précisément. Les chercheurs ont ensuite mesuré leur vitesse : elles avancent dans la même direction à environ 20 km/s. Enfin, elles semblent avoir le même âge : près de 45 millions d'années. *"Il y a moins de 5 % de chances que toutes ces similitudes ne soient qu'une coïncidence"*, conclut Niall Deacon. Ce système planète-étoile devient ainsi le plus grand jamais découvert : il est trois fois plus étendu que le précédent record ! **B.R.**

DES CHATS DOMESTIQUÉS EN CHINE

Plus de 3 000 ans av. J.-C., des chats ont été apprivoisés en Chine, indépendamment de leur domestication au Proche-Orient. Des ossements ont révélé qu'il s'agissait de chats du Bengale, dont le rapprochement avec l'homme est là aussi lié aux débuts de l'agriculture. **M.S.**

UN SECOND TROU NOIR CENTRAL

Voilà qui expliquerait le comportement anormal d'un nuage de gaz long de 10 années-lumière, qui semble étiré par un objet 100 000 fois plus massif que le Soleil, invisible depuis la Terre... certainement un trou noir intermédiaire, plus petit que le supermassif qui règne au centre de la Voie lactée. **B.R.**

LES GUÊPES, ALLIÉES DES VIGNERONS

La levure *S. cerevisiae*, responsable de la fermentation du raisin, se reproduit dans l'intestin des guêpes ! Elle s'y hybride avec d'autres levures, générant des souches plus résistantes. **F.G.**

ARCHÉOLOGIE

Les astronomes babyloniens étaient de bons géomètres

Des centaines de tablettes cunéiformes datées de – 500 à – 50 avant J.-C. avaient prouvé le talent des astronomes babyloniens en observation comme en calcul. Cinq d'entre elles ont permis de montrer qu'ils savaient aussi utiliser la géométrie pour calculer le mouvement de Jupiter le long de l'écliptique (le trajet apparent du Soleil dans le ciel). Les astronomes de l'Antiquité ont déployé une méthode équivalente à celle dite des trapèzes, où *"la figure géométrique renvoie à un plan mathématique abstrait défini par le temps et l'espace"*, indique Mathieu Ossendrijver (université Humboldt, Berlin). Une prouesse intellectuelle que l'on croyait dater du xiv^e siècle ! **E.R.**

▽ Sur cette tablette sont gravés des calculs ayant servi à suivre la trajectoire de Jupiter.



Une autre façon de voir la vie.



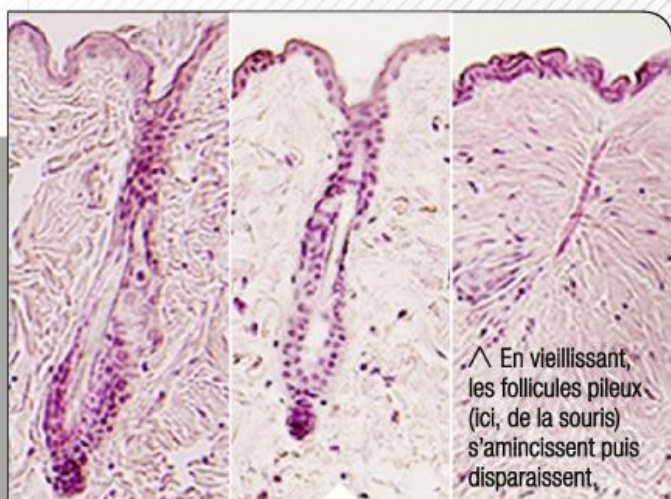
ECOSPORT
Ford

Consommations mixtes (l/100 km) : 4,4/6,3. Rejets de CO₂ (g/km) : 115/149 (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.



Go Further

ford.fr



△ En vieillissant, les follicules pileux (ici, de la souris) s'amincissent puis disparaissent.

BIOLOGIE CELLULAIRE

ON SAIT POURQUOI LES POILS CHUTENT AVEC L'ÂGE

Tous les mammifères se dégarnissent en vieillissant, mais pourquoi ? Une équipe de l'université de Tokyo a observé, chez la souris, le mécanisme qui conduit à l'amincissement, puis à la disparition des follicules pileux, ces cavités dans lesquelles poussent les poils. Les coupables : les cellules souches du follicule pileux. Elles engendrent les cellules

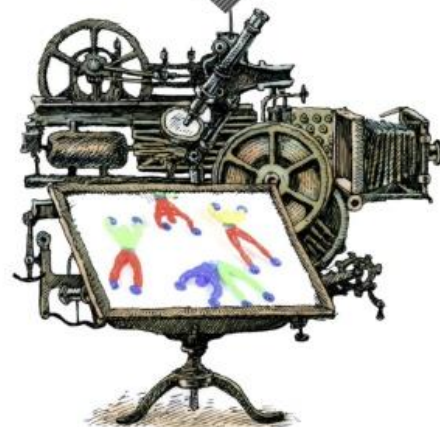
spécialisées (kératinocytes folliculaires) qui, en mourant, constitueront la fibre du poil. Or, avec l'âge, leur ADN s'altère, et elles ne produisent plus un certain type de collagène essentiel à leur maturation. Un travail salué par Daniel Aberdam (hôpital Saint-Louis, Paris), qui précise toutefois que *"chez l'homme, le mécanisme pourrait être différent"*. A.D.

LINGUISTIQUE

Le climat façonne les langues

Plus la température est élevée et la végétation dense, moins il y a de consonnes dans une langue ! Pour l'équipe franco-américaine qui a croisé 633 idiomes avec des mesures géo-climatiques, l'explication est acoustique : l'humidité et la chaleur, comme le feuillage des arbres, freinent la propagation des hautes fréquences. Or, celles-ci permettent de différencier les consonnes : ces dernières sont donc plus difficiles à distinguer (et plus rares) sous les tropiques. L'environnement expliquerait environ 10 % de la variabilité des langues. E.H.

Drôle de science



Tout espoir n'est pas perdu pour les fans de Spiderman

Coup dur pour les disciples de l'homme-araignée... Des zoologues et ingénieurs américains, australiens et britanniques affirment, dans la très sérieuse revue *PNAS*, que l'homme ne parviendra jamais à marcher au plafond. Pour le démontrer, ils ont passé en revue 225 espèces "collantes" (insectes, grenouilles, araignées, lézards, etc.) et en ont extrait une relation entre leur poids et leur surface d'adhérence. Selon cette loi, pour pouvoir tenir au mur, Spiderman devrait être adhésif sur 40 % de son corps, soit 80 % de sa face avant... Une démonstration qui n'a pas convaincu Alain Thiéry, spécialiste de biomimétisme à l'université d'Aix-Marseille : *"Ils comparent les ventouses des grenouilles aux nanopois électrostatiques des geckos, des systèmes d'adhérence très différents."*

Alors, peut-on espérer pouvoir un jour grimper aux murs à l'aide de nos seuls pieds et mains ? Des scientifiques de l'université Stanford en sont convaincus, eux qui travaillent sur des surfaces inspirées des pattes de gecko. En 2014, l'un d'eux a même réussi à se hisser le long d'une paroi vitrée sur plus de 3 m, grâce à des plaques de la taille d'une main (voir *S&V* n° 1169, p. 29). Fans de Spiderman, vous pouvez ressortir le justaucorps ! A.D.

VENDREDI SAMEDI DIMANCHE

Week-end **PROLONGÉ,**
BELAMBRA VOUS OFFRE
1 JOUR GRATUIT⁽¹⁾

SAUMUR "Le Domaine du Golf"
À moins de 2h30 de Paris

119⁽²⁾€
LE WEEK-END
DE 3 NUITS
AU LIEU DE 180€ À SAUMUR

CODE OFFRE : WD

Belambra
clubs

N°1 des clubs de vacances
en France

comme par magie
TOUT EST LÀ

belambra.fr

0 892 35 36 37 Service 0,35€/min
+ prix appel

(1) Une nuit supplémentaire offerte pour toute réservation d'un week-end de 2 nuits, hors week-end fériés et hors vacances scolaires françaises. Réduction sur la base de 33% de remise sur un week-end de 3 nuits comprises entre le jeudi et le lundi. Offre valable sur une sélection de sites, de périodes et sur un stock de logements alloués à cet effet. (2) Sur la base d'un week-end de 3 nuits compris entre le jeudi 02/06 et le lundi 06/06, dans un logement de type « confort » de 2 pièces 4 personnes. Belambra Clubs au capital de 28.712.160€. LI : IM 092 120 049. RCS Nanterre : 322 706 136. Siège social : Centralis, 63 avenue du Général Leclerc - 92340 BOURG LA REINE. Garant : BNP PARIBAS, 16 Boulevard des Italiens, 75009 Paris. Assurance : AXA France IARD, 26 rue Drouot, 75009 PARIS. Crédit Photos : iStock

Océanographie

LES ICEBERGS GÉANTS FERTILISENT L'OcéAN AUSTRAL

C'est un phénomène extraordinaire que révèlent les 175 images satellite de 17 icebergs géants (plus de 18 km de longueur) collectées par Grant Biggs et son équipe de l'université de Sheffield (Grande-Bretagne). A savoir: une fertilisation de l'océan, parfois sur des centaines de kilomètres, due aux nutriments libérés par la fonte de l'iceberg. Des nutriments qu'il a arrachés au continent alors qu'il n'était encore qu'une partie du glacier raclant la roche. Cette fertilisation est révélée par le contenu en chlorophylle de l'eau, autrement dit, la densité des algues microscopiques qui y flottent. "On distingue parfaitement un panache

de chlorophylle presque linéaire, indique Grant Biggs, surtout à l'avant de l'iceberg, car le courant de surface, qui va plus vite que l'iceberg lui-même, emporte l'eau de fonte." Selon les calculs de l'équipe, jusqu'à 20% des algues de l'océan Austral seraient dues à cette fertilisation, qui persiste durant des mois. "Or, elle est aussi favorable au climat parce qu'elle enlève du carbone de l'atmosphère, souligne Grant Biggs. Et quand ces algues finissent par mourir et couler, leur carbone est éliminé au fond de l'océan." La multiplication annoncée des icebergs devrait donc atténuer légèrement le réchauffement climatique! **Y.S.**



> Ces glaces libèrent les nutriments qu'elles ont arrachés à la roche pendant leur formation, favorisant le développement des algues.

Halieutique

La pêche mondiale a été sous-estimée d'un tiers!

109 millions de tonnes de poissons au lieu de 77 millions officiellement! Ce sont les chiffres de la pêche mondiale en 2010, corrigés par un projet international piloté par Daniel Pauly, de l'université de la Colombie-Britannique (Canada). Les chiffres habituellement donnés par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ne tiennent en effet compte que des déclarations des professionnels, négligeant la pêche artisanale et clandestine, et les rejets en mer de captures involontaires. Les chercheurs appellent à investir dans un suivi plus précis. **Y.S.**



< Les chiffres officiels ne tiennent pas compte de la pêche artisanale.

H.TABARANT/ONLYWORD.NET - P.J. ENDRES/ALASKAPHOTOGRAPHICS/CORBIS - SHUTTERSTOCK



SANTÉ ANIMALE

Le virus qui décime les ruches du monde entier est exporté d'Europe

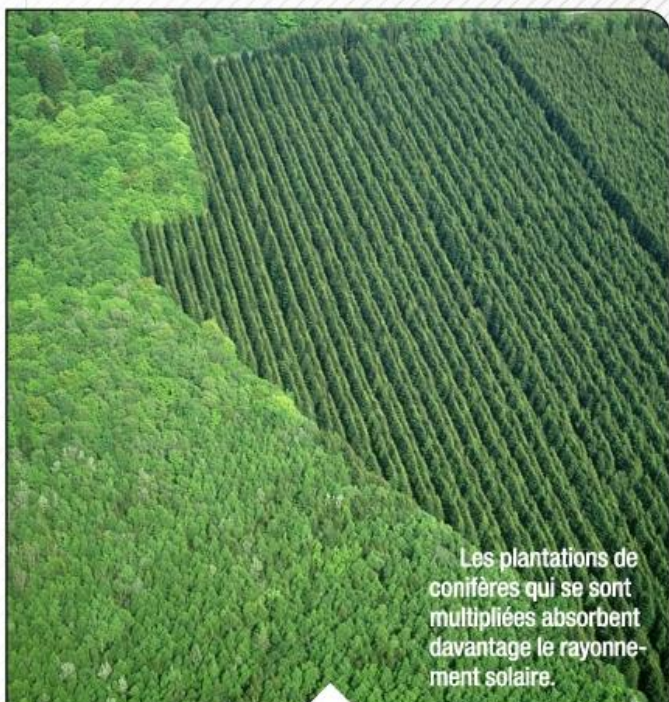
Les abeilles sont la proie de nombreux parasites et pathogènes. L'une des combinaisons les plus virulentes auxquelles elles sont confrontées désormais est l'alliance d'un acarien parasite des larves, le varroa, et d'un virus qu'il transporte, le DWV (Deformed Wing Virus, le virus des ailes déformées). Ce duo qui frappe à la fois le couvain et les adultes est devenu un fléau mondial, détruisant d'innombrables colonies. En étudiant la séquence des virus, une équipe britannique et américaine a reconstitué l'histoire de cette expansion, et démontré qu'elle a suivi les routes du commerce d'abeilles, en partant de l'Europe – et non une trajectoire d'expansion de proche en proche. Les chercheurs appellent donc à limiter le commerce de colonies. **Y.S.**

> Les abeilles européennes sont décimées par un acarien porteur du virus dit des ailes déformées.

80 000

C'est le nombre de tonnes de gaz naturel qui se sont échappées lors d'une fuite découverte en octobre 2015 à proximité de Los Angeles, en Californie, dans un stockage souterrain de la compagnie Southern California Gas. Soit l'équivalent d'une marée noire atmosphérique, dont le débit (30 tonnes/heure) correspond aux émissions de 1,5 million de voitures.





Les plantations de conifères qui se sont multipliées absorbent davantage le rayonnement solaire.

ÉCOLOGIE

LA REFORESTATION A FAVORISÉ EN EUROPE LE RÉCHAUFFEMENT

La forêt européenne a gagné 200 000 km² depuis 1750 avec le changement du mode de chauffage et le bond de la productivité de l'agriculture, qui ont provoqué le reboisement d'énormes surfaces agricoles. Bonne nouvelle, alors ? Pas si simple. Malgré les vertus climatiques régulièrement attribuées à la reforestation, cette situation s'est en fait traduite, selon une modélisation publiée par une équipe franco-allemande, par un réchauffement local d'environ 0,12 °C (modeste, mais pas négligeable). "Depuis un siècle, beaucoup de conifères ont été plantés, qui se sont subs-

titués aux feuillus, indique Aude Valade, de l'Institut Pierre-Simon Laplace, co-signataire de l'étude. *Plus sombres, ils absorbent plus de rayonnement solaire. Un phénomène surtout marqué dans les zones enneigées où les forêts de feuillus et les champs, blancs tout l'hiver, sont très froids, et se réchauffent nettement une fois plantés de conifères.*" Sans compter que les feuillus transpirent plus de vapeur, et sont donc "rafraîchissants". "Reboiser ne suffit pas, conclut Aude Valade. Il faut tenir compte des essences et de la façon d'exploiter les parcelles." **Y.S.**

LE NIVEAU DES MERS MONTE PLUS VITE

La hausse du niveau marin, suivie par satellite depuis 1993, s'accélère. Selon le CNES, elle serait passée de 3,5 mm/an avant 2009 à 5 mm/an depuis : une hausse d'un tiers environ. A confirmer sur une période plus longue.

LE VOLCANISME A PROFITÉ DE LA FIN DE L'ÈRE GLACIAIRE

Deux éléments pourraient expliquer le regain d'activité volcanique de la fin de la dernière ère glaciaire, il y a 20 000 ans. La fonte des calottes qui, en allégeant la croûte terrestre, a abaissé le point de fusion du magma ; et les glaciers qui, en accélérant, ont érodé jusqu'à 10 cm/an et accentué le phénomène.

LES MICRO-PLASTIQUES PERTURBENT LA REPRODUCTION DES HUITRES

Une étude révèle que les fragments plastiques de quelques microns réduisent la reproduction des huîtres, organismes filtreurs emblématiques, d'au moins 40 %.

POLLUTION SONORE

Ce sont les hautes fréquences des navires qui gênent les orques

Si les navires ont un pic d'émissions sonores dans des fréquences relativement basses (autour de 50 Hz), une équipe de Seattle (Etats-Unis) révèle que la partie de leur spectre sonore située dans les hautes fréquences (supérieures à 10 000 Hz) reste considérable dans un rayon de 3 km ! Or, ces fréquences sont utilisées par les cétacés, dont les orques qui occupent la zone étudiée, pour communiquer et chasser. Pour pallier ce problème, on pourrait utiliser des systèmes de réduction du bruit ou... réduire la vitesse des bateaux. **Y.S.**

> Les fréquences supérieures à 10 000 Hz des bateaux couvrent celles utilisées par les orques pour communiquer.



Vous avez du diabète ?

Le lecteur de glycémie OneTouch Verio Flex™ et l'application mobile OneTouch Reveal® fonctionnent ensemble pour vous aider à mieux gérer votre équilibre glycémique



Simple, fiable et
rapide à utiliser

Indicateur d'objectif
simple avec 3 couleurs



Télécharger dans
l'App Store

DISPONIBLE SUR
Google play

Disponible en option, cette application vous
permet de visualiser vos résultats glycémiques
sur votre smartphone ou votre tablette

**OneTouch Verio Flex™ transmet vos
résultats par connexion Bluetooth®.***

Une version web est également disponible
sur le site : www.onetouchreveal.fr

Demandez plus d'informations à votre professionnel de santé.

Les seuils " inférieur " et " supérieur " que vous définissez s'appliquent à tous les résultats glycémiques. Ils ne tiennent pas compte du moment où les tests glycémiques sont effectués (avant ou après les repas), de la prise de médicaments ni des activités pouvant avoir un impact sur la glycémie. L'objectif glycémique doit être fixé par votre médecin, il doit être individualisé en fonction de chaque profil et peut donc évoluer au cours du temps. Avec l'aide de votre professionnel de santé, confirmez ou modifiez les seuils de votre lecteur de glycémie en fonction de vos propres besoins.

Rev : 03/2016. OneTouch VerioFlex™ : le lecteur de glycémie et les bandelettes sont des dispositifs d'AutoSurveillanceGlycémique (ASG) destinés aux personnes atteintes de diabète. L'ASG est employée lorsqu'elle est susceptible d'entraîner une modification de la thérapeutique ; elle doit être systématique et pluriquotidienne dans le diabète de type 1 et limitée à certains patients dans le diabète de type 2. Elle nécessite une éducation avec un professionnel de santé. Lisez attentivement la notice. En cas de discordance entre le résultat et votre état de santé actuel, contactez votre professionnel de santé. Ces dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro* sont des produits de santé réglementés qui portent, au titre de cette réglementation, le marquage CE.

L'application Web et Mobile OneTouch Reveal® – interface patient – est destinée aux patients atteints de diabète, et est conçue pour recueillir et présenter les résultats des lecteurs de glycémie des pompes à insuline LifeScan. OneTouch Reveal® – interface patient – n'est pas un dispositif médical et ne se substitue pas aux conseils des professionnels de santé. Lire attentivement la notice. Pour connaître la liste des produits compatibles avec OneTouch Reveal®, appelez OneTouch® Services au 0800459 459.

■ LifeScan Europe, Division de Cilag GmbH International (Zug-Suisse). 1506LFSGP002 (Rev 01).

© LifeScan, Division de Cilag GmbH International 2015 – LFS160221GP.

LIFESCAN – 1 rue Camille Desmoulins – 92787 Issy-les-Moulineaux Cedex 9 - S.A.S. au capital de 1 112 064 €
- 330 202 334 R.C.S. Nanterre.

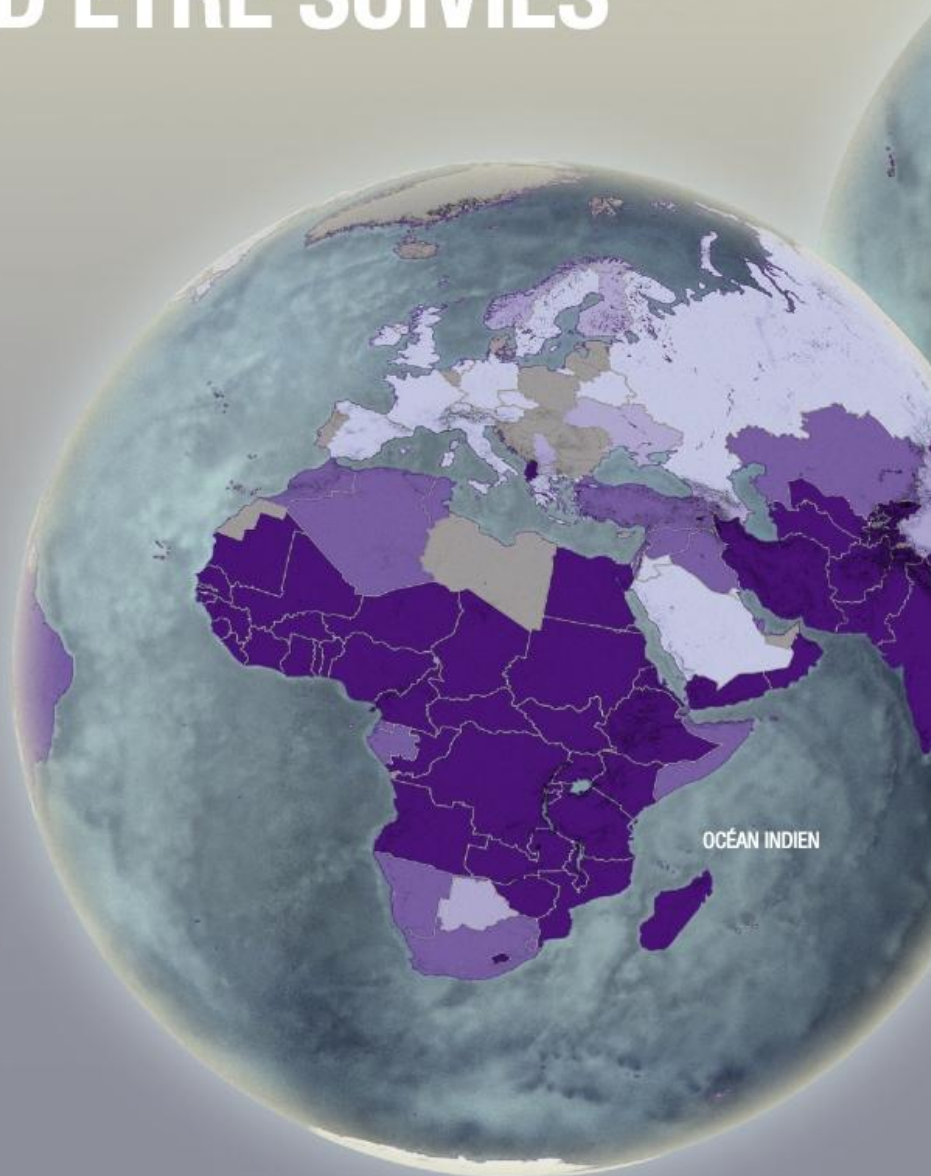
*La marque et les logos Bluetooth® sont des marques déposées appartenant à Bluetooth SIG, Inc., et toute utilisation de ces marques par LifeScan Europe est soumise à licence. Apple et le logo Apple sont des marques déposées par Apple Inc., enregistrées aux États-Unis et dans d'autres régions. App Store est une marque d'Apple Inc. Google Play est une marque déposée de Google Inc.

ONETOUCH®

SANTÉ PUBLIQUE

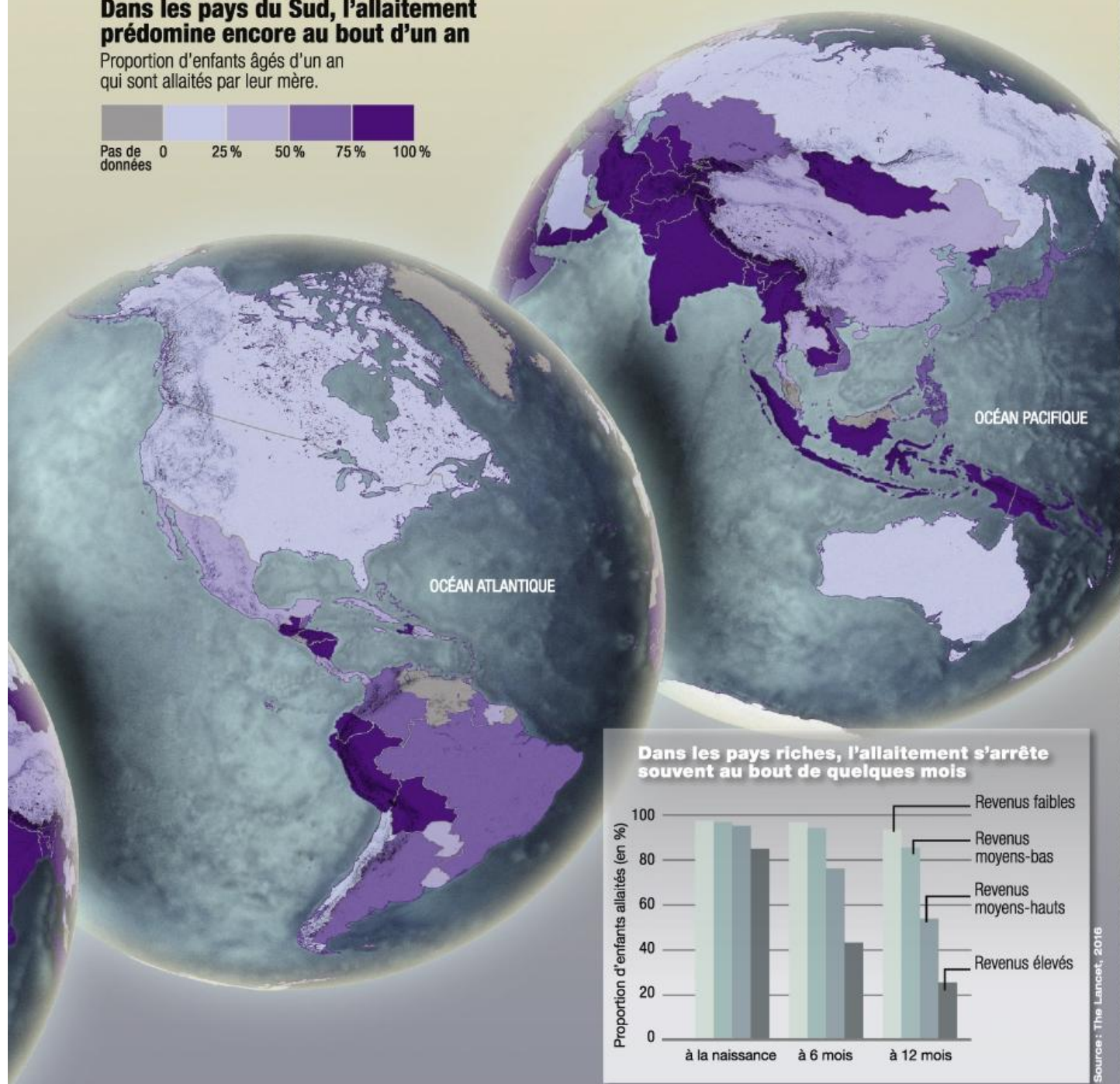
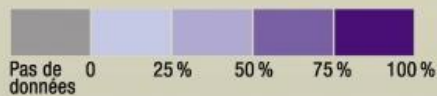
ALLAITEMENT : LES RECOMMANDATIONS DE L'OMS SONT LOIN D'ÊTRE SUIVIES

Exclusivement jusqu'à 6 mois, puis partiellement jusqu'à 2 ans : voilà ce que recommande l'OMS en matière d'allaitement. Pourtant, la carte établie par l'équipe de Cesar Victora, épidémiologiste à l'université de Pelotas (Brésil), montre que c'est loin d'être le cas. Dans les pays les plus riches, à peine 1 enfant sur 5 est encore nourri au sein à 12 mois. A l'inverse, les champions sont les pays d'Afrique subsaharienne (Sénégal, Gambie et Malawi en tête avec plus de 98 %), ceux du sud de l'Asie et certains d'Amérique du Sud. Mais la tendance y est partout à la baisse : de 76 % à 73,3 % entre 1993 et 2013. Pourtant, les bienfaits du lait maternel ne sont plus à démontrer, notamment contre la diarrhée et la pneumonie (premières causes de mortalité infantile). Si les recommandations étaient suivies dans ces pays, 800 000 vies pourraient être sauvées chaque année, estime Cesar Victora, qui ajoute : *"Il y a cette idée que les bénéfices de l'allaitement ne profitent qu'aux pays pauvres. Rien n'est moins vrai"* ! Dans les pays riches, il réduirait le risque de mort subite du nourrisson d'environ 1/3. Et pour les mères, les risques de cancer du sein diminuent de 6 % par 12 mois d'allaitement ; 20 000 décès pourraient ainsi être évités dans le monde. **E.H.**

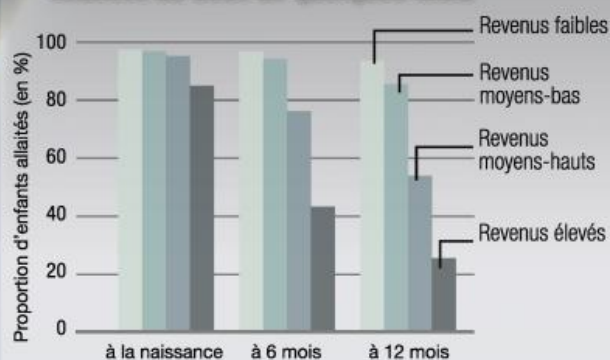


Dans les pays du Sud, l'allaitement prédomine encore au bout d'un an

Proportion d'enfants âgés d'un an qui sont allaités par leur mère.



Dans les pays riches, l'allaitement s'arrête souvent au bout de quelques mois



37%

Proportion d'enfants de moins de 6 mois exclusivement allaités dans les pays à faible et moyen revenus.

4

Nombre de pays qui ont un taux d'allaitement initial de moins de 80 % (France, Espagne, Irlande, Etats-Unis).

13,8%

Part des décès d'enfants de moins de 2 ans qui pourraient être évités dans les pays à faible et moyen revenus si l'OMS était écoutée.

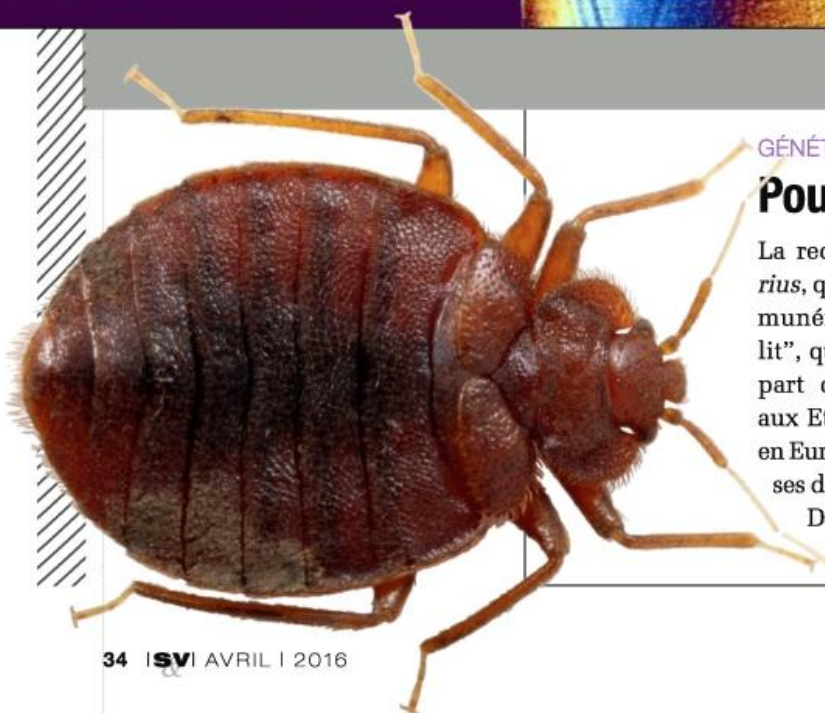
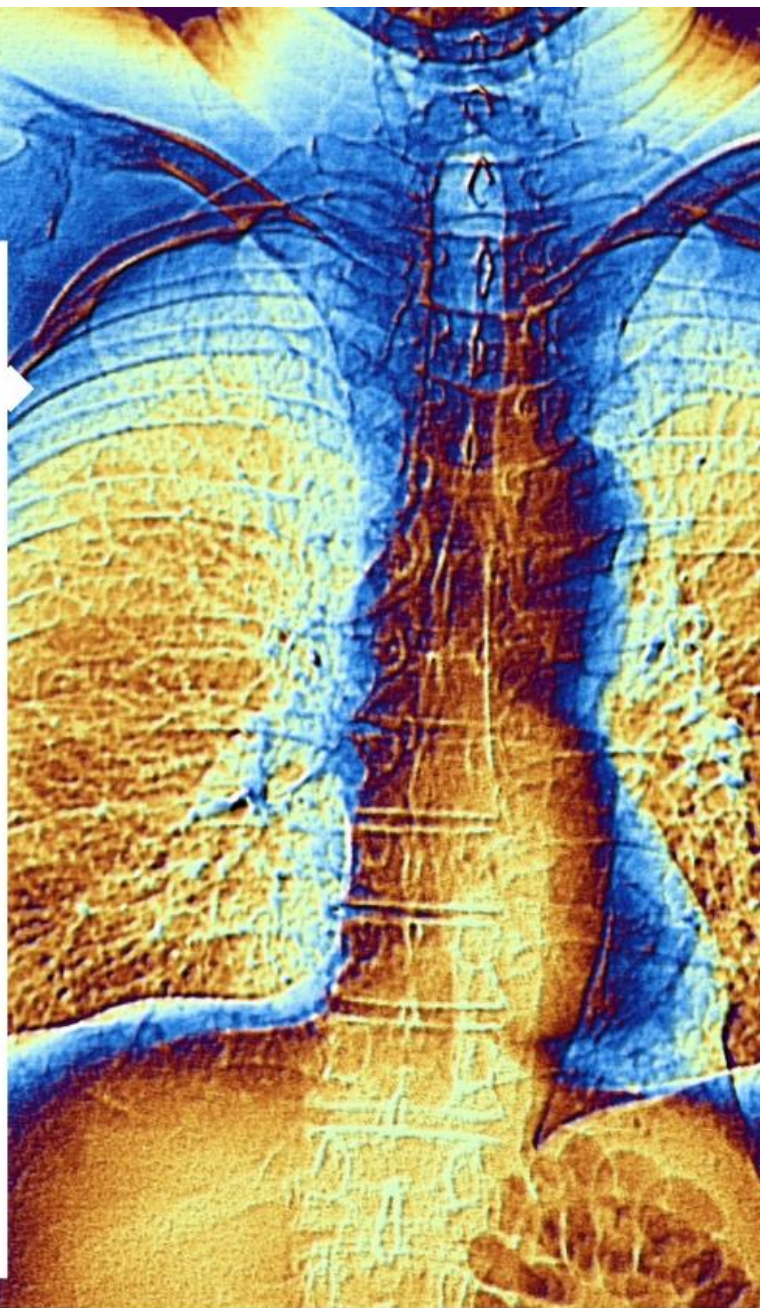
PNEUMOLOGIE

LE SOUPIR NAÎT DANS LE CERVEAU

Nous soupirons plusieurs fois par heure, sans toujours nous en rendre compte. Or, sans ce réflexe respiratoire, les alvéoles de nos poumons risqueraient de s'affaisser et de ne plus se regonfler. Cette forme d'insuffisance pulmonaire menace d'ailleurs les personnes souffrant d'un trouble lié au contrôle neuronal automatique du soupir. Pour les aider, des chercheurs de l'université Stanford (Californie) ont voulu comprendre le mécanisme qui, dans le cerveau, déclenche cette profonde respiration. Chez la souris, ils ont ainsi montré l'implication de deux petits groupes de neurones, situés dans le centre de

contrôle de la respiration. Le premier groupe fabrique deux neuromédiateurs ; le second possède les récepteurs correspondant à ces protéines. A intervalles réguliers, ce circuit neuronal donne l'ordre de prolonger une simple respiration en soupir. Un circuit très spécifique : sa destruction abolit les soupirs mais n'interfère pas avec le rythme respiratoire normal. De plus, il permettrait de détecter plusieurs signaux, comme ceux d'une mauvaise oxygénation du sang, ou de certaines émotions (ennui, tristesse...). Ces travaux éclairent d'une nouvelle lumière l'origine de la maladie des "sans soupir".

O.C.



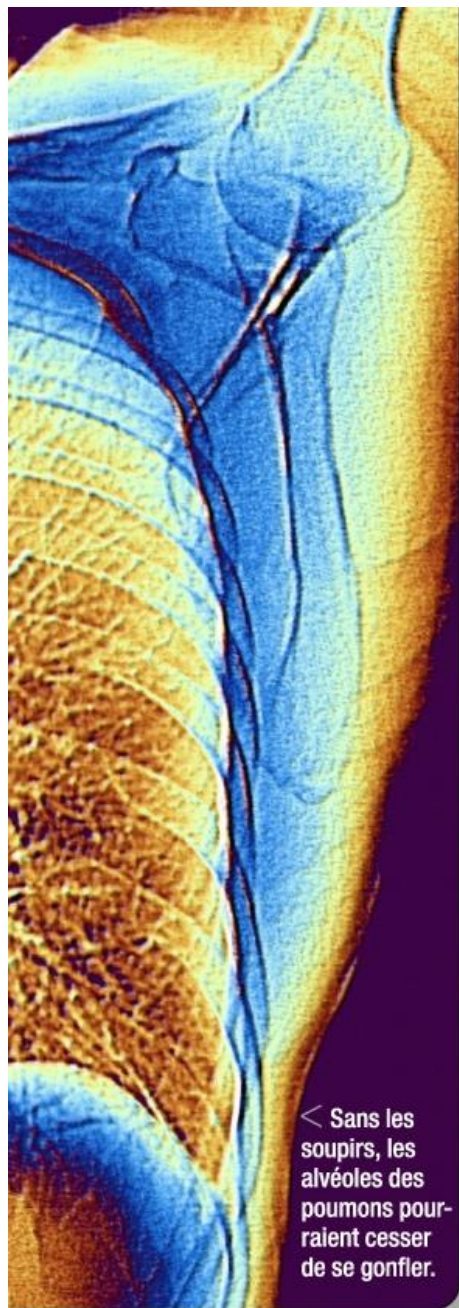
GÉNÉTIQUE

Pour être combattue, la punaise de

La redoutable *C. lectularius*, que l'on appelle communément "punaise de lit", qui sévit dans la plupart des grandes villes, aux Etats-Unis mais aussi en Europe, est connue pour ses douloureuses piqûres.

Des chercheurs américains viennent de

séquencer l'intégralité de son génome et de préciser lesquels de ses 38 985 gènes s'expriment aux différents stades de son développement et juste après une piqûre, histoire de clarifier les mécanismes de résistance aux insecticides. Ils sont même allés jusqu'à es-



< Sans les soupirs, les alvéoles des poumons pourraient cesser de se gonfler.

en bref

SOUFFRIR AGIRAIT SUR L'IMMUNITÉ

La douleur chronique pourrait reprogrammer le fonctionnement des gènes dans le système immunitaire. C'est ce qui ressort d'une étude canadienne sur le marquage de l'ADN dans certains globules blancs. **C.T.**

DES VACCINS ANTI-ZIKA À L'ÉTUDE

L'OMS a sélectionné deux vaccins parmi les premières pistes présentées par les laboratoires du monde entier. Mais l'organisation prévient : les essais sur l'homme pourront débuter au mieux d'ici un an. **C.T.**

LA COCAÏNE POUSSE LES NEURONES À SE SUICIDER

Soumises à de fortes doses de cocaïne, les cellules du cerveau des souris montrent une autophagie hyperactive – elles se suicident. Les scientifiques ont trouvé une molécule capable de bloquer ce processus. **M.S.**

ÉPIDÉMIOLOGIE

Les seniors souffrent moins de "démence" qu'avant

Le spectre de la démence serait-il de moins en moins menaçant ? Comparé à un senior des années 1970, un senior actuel risque moins de perdre ses capacités mentales à cause d'une maladie de type Alzheimer ou suite à un accident vasculaire cérébral ! Pour le démontrer, une équipe internationale a exploité les données issues du plus long suivi épidémiologique d'une population : l'étude de Framingham (Etats-Unis), initiée en 1947. Destinée, à l'origine, à l'identification des facteurs de risque cardio-vasculaire, elle recense aussi, sur une vaste population, tous les cas de démence depuis 1975. Résultat : 3,6 % des seniors étaient touchés dans les années 1970, contre 2,8 % dix ans plus tard et seulement 2 % entre 2000 et 2009. *"Cette baisse s'explique en partie par une meilleure maîtrise des facteurs de risque et accidents cardio-vasculaires qui contribuent à l'apparition des démences, mais il existe certainement d'autres raisons"*, explique Carole Dufouil, directrice de recherche Inserm et coauteur de ces travaux. L'augmentation du niveau d'études dans la population est ainsi régulièrement évoquée. Toutefois, cela ne signifie pas que le nombre total de cas de démence diminuera dans un avenir proche. En effet, puisque les baby-boomers vieillissent et vivent plus longtemps, le poids de la démence continuera d'augmenter. **A.R.**



△ La proportion de seniors atteints de démence ne cesse de baisser depuis les années 1970.

lit a été mise à nu

pionner l'activité de bactéries hébergées par l'insecte et liées à sa croissance ! Grâce à ces travaux, des cibles inédites sont en vue pour bloquer le développement des punaises, lutter contre leurs résistances et freiner leur diffusion dans les mégapoles. **A.R.**

MATÉRIAU

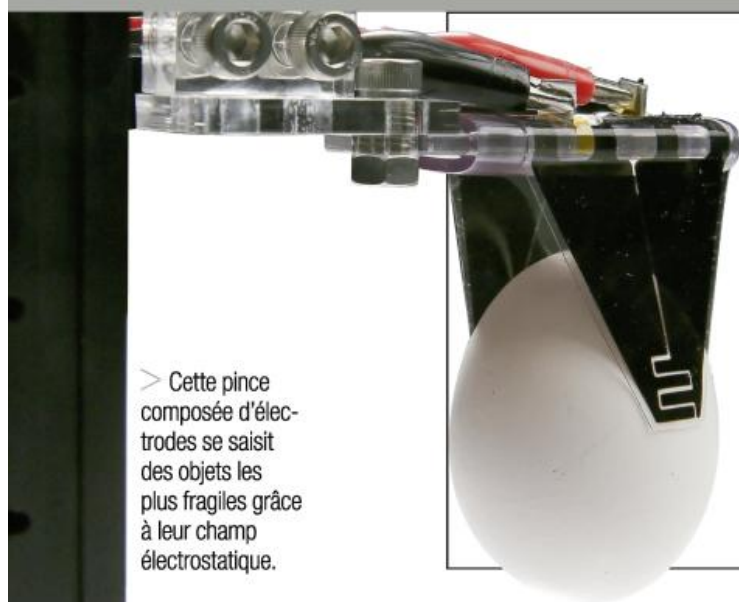
DES MINIROBOTS DYNAMIQUES ONT ÉTÉ IMPRIMÉS EN 4D

Des chercheurs de l'université Harvard (Etats-Unis) ont adapté l'impression 3D au domaine microscopique pour fabriquer des petits robots en forme de fleurs capables de changer tout seuls d'apparence. Cette technologie baptisée "impression 4D", en référence au côté dynamique de ces objets au cours du temps, s'inspire de la nature : comme les plantes peuvent s'adapter aux variations de température ou d'humidité en modifiant leur morphologie, ces robots changent de forme lorsqu'ils sont immergés dans l'eau. Pour

ce faire, les chercheurs les ont fabriqués à partir d'un hydrogel contenant des fibrilles de cellulose, issues de pulpe de bois. Une structure qui réagit à une immersion dans l'eau. Mieux : ils ont pu contrôler et prédire la forme que prendra la structure une fois immergée, en fonction de la disposition choisie pour ces fibrilles. Parmi les applications potentielles : les textiles intelligents et l'électronique souple. Les chercheurs misent surtout sur l'ingénierie tissulaire pour fabriquer des organes de remplacement. **S.D.**



> La structure de ces robots microscopiques, fabriqués à partir de pulpe de bois, se modifie quand ils sont immergés.



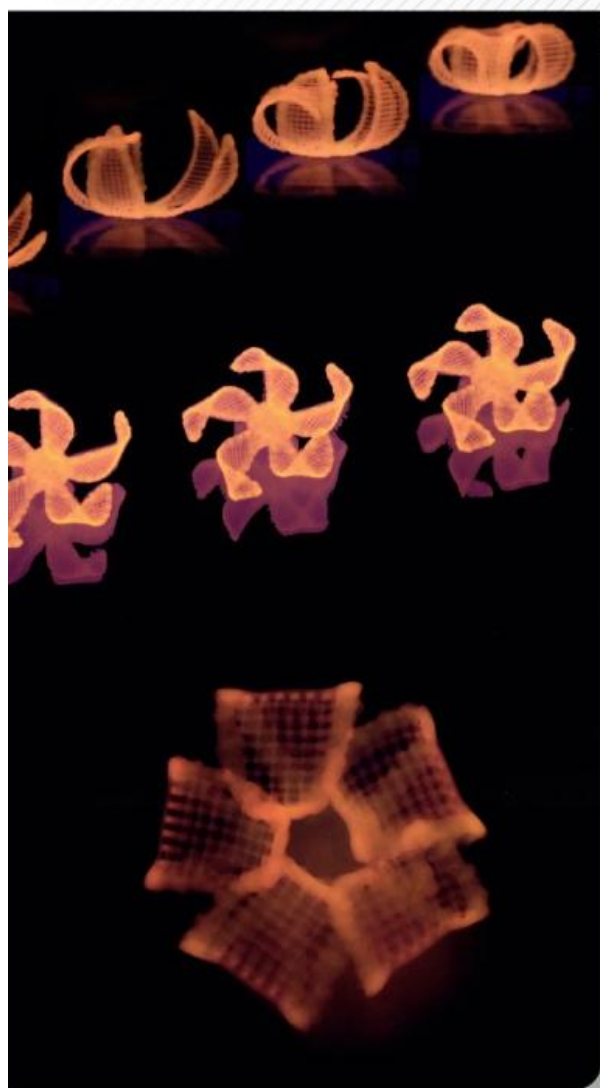
> Cette pince composée d'électrodes se saisit des objets les plus fragiles grâce à leur champ électrostatique.

ROBOTIQUE

Elle pince grâce à des électrodes

Ce robot-pince conçu par les scientifiques de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne peut saisir les objets les plus fragiles, quelle que soit leur forme, et soulever 80 fois son poids. Ses 2 lamelles sont constituées d'un élastomère pré-étiré entouré de 2 couches d'électrodes, elles-mêmes recouvertes de silicone. Soumises à un courant électrique, les électrodes font se rétracter l'élastomère : les silicones d'épaisseurs différentes se déforment et les lamelles épousent alors la forme de l'objet. Parallèlement, le champ électrostatique créé par les électrodes assure une adhérence optimale. Cette petite pince pourrait même aider à attraper des débris spatiaux...

A.P.



LE PREMIER AVION À PILE

Easyjet doit tester cette année un avion hybride. Si en vol, rien ne change, au sol, tous les trajets seront alimentés par une pile à hydrogène reliée à des moteurs électriques situés dans les roues. Economie de carburant: 4 % par an. **L.B.**

RENDEMENT RECORD POUR DES PANNEAUX SOLAIRES

Avec ses nouvelles cellules photovoltaïques organiques "multijonctions", qui combinent 3 types de matériaux, l'allemand Heliatak atteint un rendement de 13,2 %. Un record mondial ! En plus, elles sont moins chères à produire et plus souples. **L.B.**

JEU DE GO : MACHINE 5, HOMME 0

Score sans appel ! AlphaGo, l'intelligence artificielle conçue par Google DeepMind, mélange d'algorithmes et de réseaux neuronaux, a battu un champion au jeu de go (jeu réputé pour ses 10^{600} combinaisons possibles, contre 10^{120} aux échecs). **F.G.**

20 ms

C'est le temps mis par un logiciel pour analyser les ondes cérébrales de volontaires soumis au défilement de trois types d'images représentant une maison, un visage ou un écran vide. Le programme a réussi à déterminer quelles étaient ces images et à les classer par catégories avec un taux de réussite de 96 % ! **R.I.**



✓ Cette impression qui équivaut à la section d'un cheveu utilise des nanoparticules de semi-conducteurs.

TECHNIQUES D'IMPRESSION

Cette image ne fait que 0,0092 mm² !

Vous ne pourrez pas contempler ces poissons-clowns sans microscope ! En effet, la surface de cette image équivaut à celle de la section d'un cheveu : 0,0092 mm² ! Ce qui a valu aux chercheurs de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, et à leur partenaire industriel Scrona, d'entrer dans le *Guinness des records* pour l'impression jet d'encre de la plus petite image au monde. Son secret ? Utiliser des nanoparticules de semi-conducteurs, des points qui émettent de la lumière dans des longueurs d'ondes définies du spectre et dont les tailles sont modulées pour jouer plus finement sur les couleurs. Imprimées avec une résolution de 25 000 points par pouce (dpi) et une distance entre les pixels de seulement 500 nanomètres, ces nanoparticules ne renvoient pas moins de 16 millions de couleurs – 24 bits – pour un réalisme absolu. Une prouesse technique qui ouvre aussi de nouvelles portes dans le secteur de l'affichage. **A.P.**

A. SYDNEY GLADMAN ET AL. - A. HERZOG/EPFL - ETH ZURICH

L'avertisseur de radar sans abonnement !



- 100 % légal !
- Puissance et autonomie !

Spécial anti PV !

Cet outil d'aide à la conduite vous alerte par des annonces vocales à l'approche d'une « zone dangereuse ou à risques » si vous dépassez la vitesse limite autorisée. Il affiche aussi sur son écran votre vitesse réelle et la vitesse maximale autorisée.

Outil d'aide à la conduite Inforad v6 - 49,90 €

MODULE GPS : SIRF STAR III 20 CANAUX. ADAPTATEUR ALLUME-CIGARE USB. CÂBLE USB / MINI USB. TEMPS DE RÉACTUALISATION : 1 SECONDE. ALARME VOCALE ET VISUELLE. PASTILLE DE FIXATION. AUTONOMIE DE LA BATTERIE 7 H. DIM. 9,9 x 6,6 x 2,4 cm. POIDS : 94 g. MISE À JOUR GRATUITE. NORME NF. GARANTIE 2 ANS. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

LE SABLIER
15,90
seulement



Laissez-vous hypnotiser

Inlassablement, créez de nouvelles formes avec ce sablier écouant une très fine limaille de fer, hautement magnétique. Chaque sculpture créée est unique. Influencez vos créations en penchant plus ou moins le sablier !

Sablier magnétique

SABLIER EN VERRE. BASE AIMANTÉE EN MÉTAL CUIVRE.
SABLE : LIMAILLE DE FER (PARTICULES AIMANTÉES).
CRÉATION DE « SCULPTURES »
UNIKES LORSQUE LA POUDRE TOMBE.
DIMENSIONS APPROXIMATIVES : 14 x 8 x 8 cm.

LE LIVRE DU MOIS

Version numérique incluse !

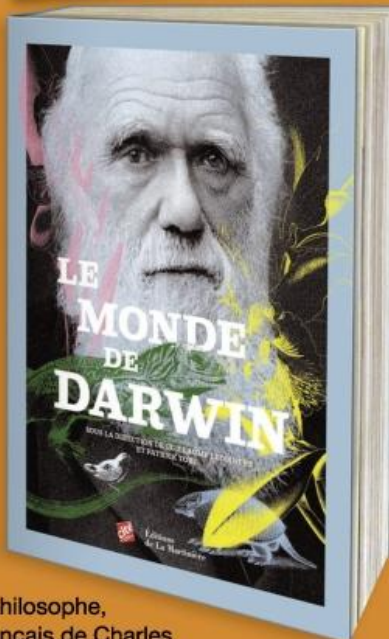
NOUVEAU

Entrez dans l'univers de Charles Darwin !

Ne passez pas à côté du livre officiel de l'exposition Charles Darwin à la Cité des sciences et de l'industrie, visible jusqu'à mi-août 2016 à Paris. Plongez dans l'univers du plus célèbre naturaliste anglais, découvrez son parcours, ses origines sociales, ses influences, la construction détaillée de sa théorie de l'évolution et comment ses idées ont été accueillies à l'époque. Richement illustré, cet ouvrage a été dirigé par un biologiste et un philosophe, parmi les meilleurs spécialistes français de Charles Darwin. Découvrez à l'intérieur 3 portfolios illustrant les moments clefs de ses recherches : son voyage sur le Beagle, ses objets d'étude (faune et flore), ainsi que les caricatures dont il fit l'objet.

Le monde de Darwin - 29,90 €

DIM. 19 x 25,5 cm. 192 PAGES. ÉDITIONS DE LA MARTINIÈRE. AUTEURS : GUILLAUME LECOINTRE ET PATRICK TORT.



Un classique scientifique à offrir !

Vous le savez sans doute, ce pendule de Newton illustre les théories de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie. Et en plus, avec son socle en bois et ses billes de gros diamètre, c'est un bel objet de décoration.

Pendule de Newton Deluxe - 19,90

DIM. 18 x 17,5 x 12 cm. SOCLE NOIR EN BOIS. MÉTAL ARGENTÉ. BILLE DIAM. 1,8 cm.

La Boutique

SCIENCE & VIE

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

NOUVEAU

**Cuisinez
« bon et simple »
avec seulement
2 à 6 ingrédients !**

Véritable phénomène littéraire, ce livre vous aide à cuisiner de bons plats avec un concept simplissime :

- ➔ 2 à 6 ingrédients par recette (condiments compris !), présentés visuellement.
- ➔ Une bonne recette très courte, claire et précise.
- ➔ Une belle photo du plat, explicite et gourmande.
- ➔ Un temps de préparation réduit.

Lancez-vous, et surtout régaliez-vous !

Simplissime

DIM. 20,5x26 CM. 384 PAGES. ÉDITIONS HACHETTE PRATIQUE.



Prix public : 19,95 €
18,95 € seulement
RÉDUCTION SPÉCIALE -5%



Retrouvez
nos anciens numéros
spéciaux et hors-séries sur
LABOUTIQUESCIENCEETVIE.COM



POUR COMMANDER ET S'INFORMER

www.laboutiquescienceetvie.com

Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®, PayPal®

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à
La Boutique SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

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

EN CADEAU pour toute commande

le livre **100 merveilles de la vie**
avec le code avantage **360 644**



BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Avertisseur de danger Inforad v6	382.028	x	49.00 €	= €
Livre Le monde de Darwin	395.541	x	29.00 €	= €
Sablier magnétique	385.773	x	15.00 €	= €
Pendule de Newton Deluxe	365.189	x	19.00 €	= €
Livre Simplissime	395.012	x	18.95 €	= €

SOUS-TOTAL €

Avec ma commande, je reçois en **CADEAU** le livre **Les 100 merveilles de la vie** OFFERT

FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)	<input type="checkbox"/> Envoi normal	6,90 €
<input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 49 €	Envoi Coliéco	GRATUIT
<input type="checkbox"/> Livraison rapide Colissimo		7,90 €
<input checked="" type="checkbox"/> Ma commande atteint 75 €	Livraison rapide Colissimo	GRATUIT
TOTAL		€

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 30/04/2016. Délai de livraison des produits : maximum 2 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidés descellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

À RENVoyer DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À :
LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

> **Mes coordonnées**

CODE AVANTAGE : 360.644

☐ M. ☐ M^{me} ☐ M^{lle}

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

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

CP _____ Ville _____

Tél. _____

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

E-mail _____

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

> **Mode de paiement**

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

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

☐ Je règle par carte bancaire

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

**PAIEMENT
SANS
FRAIS
3X**

Carte bancaire N° _____

Expire fin : ____ / ____

Date et signature obligatoires

Cryptogramme _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

CHUTE D'ASTÉROÏDE UN PREMIER MORT!

C'est la première fois ! En Inde, un homme a vraisemblablement été tué par une météorite. Un fait divers anodin ? Le risque est pourtant pris de plus en plus au sérieux. **Vincent Nouyrigat** a tenté de garder la raison face à une menace entre l'anecdote et l'apocalypse.

Nom : Kamaraj. Profession : chauffeur de bus. Date du décès : samedi 6 février 2016. Lieu du décès : Etat du Tamil Nadu (sud de l'Inde). Cause probable : chute de météorite.

Imaginez le choc généré par une pierre de près de 1 kg tombant en chute libre à plus de 200 km/h...

L'histoire de cet Indien tué par un météore a fait le tour du monde. Tout en soulevant quelques doutes – l'enquête est d'ailleurs toujours en cours. Complètement impensable, à la limite du grotesque, cette mort par corps céleste interposé serait une

première. Depuis le début du xx^e siècle, des milliers de bâtiments ou de voitures ont certes été endommagés par de petits cailloux spatiaux, et quelques malchanceux ont même subi de légères blessures... mais la voûte céleste n'avait jusqu'ici tué personne.

A suivre les chaînes d'information en continu, les occasions de frémir ne sont pas si rares. Comme cette pluie de météorites qui s'est abattue au-dessus de Grenoble le 17 février dernier. Ou le passage à proximité de la Terre d'un bloc de 30 m de diamètre

(l'astéroïde 2013 TX68) le 5 mars. Et on peut tout à fait se représenter l'espace interplanétaire comme un véritable champ de tir, où fusent à plus de 70 000 km/h une multitude d'astéroïdes prêts à croiser notre trajectoire : des géocroiseurs.

Le ciel peut donc bien nous tomber sur la tête !

Mais franchement : qui tremble, le matin au petit déjeuner, à l'idée de recevoir un débris cosmique sur la tête ? A peu près personne. *"D'après mes calculs, le risque d'être touché directement correspond à une personne* →



La Terre est bombardée en permanence

Notre planète est régulièrement touchée par des astéroïdes de plus de 1 m de diamètre : cette carte, issue des données de l'armée américaine, révèle au moins 556 événements de ce genre entre 1994 et 2013 – le plus explosif (Tchéliabinsk) a eu lieu dans le ciel de l'Oural en février 2013 (bilan : 1 200 blessés). Face à ce bombardement, notre épaisse atmosphère joue un rôle protecteur.

→ dans le monde par décennie, soit une probabilité annuelle pour un individu de l'ordre de 1 sur 100 milliards", lance Mark Boslough, physicien des impacts planétaires aux laboratoires Sandia (Etats-Unis).

Environ 40 tonnes d'astéroïdes tombent chaque jour dans l'atmosphère, essentiellement sous forme de poussières et de manière indolore. La plupart de ces fragments sont alors consumés avant d'atteindre le sol ; le reste a toutes les chances d'échouer dans un endroit inhabité : les océans représentent 71 % de la surface de la planète, sans compter les déserts, les forêts immenses, etc.

1 168 MORTS PAR AN EN MOYENNE

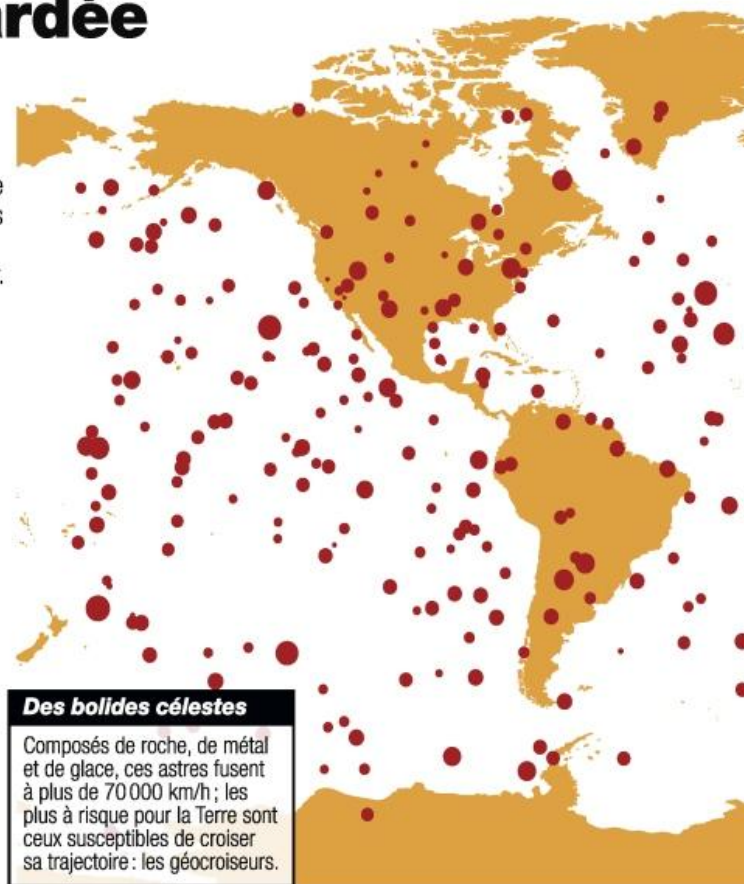
1 sur 100 milliards. Cette statistique est si insignifiante qu'elle ne peut être rattachée à aucun risque connu, ni l'impact de foudre, ni l'attaque de requin, ni l'accident nucléaire ou la rupture de barrage... La mort de Kamaraj semble devoir se ranger dans la même catégorie que celle d'Eschyle, tué par la chute d'une tortue lâchée par un rapace.

Une mort stupide, un risque grotesque, une menace fantôme ? Oui et non. Car un chiffre éclaire autrement cette menace céleste : même s'il a fallu attendre février 2016 pour connaître un premier cas, la chute d'astéroïdes sur Terre fait en moyenne chaque année... plus de 1 000 morts – 1 168 précisément, selon les dernières estimations.

Comment expliquer ce paradoxe ? Simple. Sans forcément nous tomber directement dessus, les plus gros objets, approchant les 10 km de diamètre, sont capables d'éradiquer la majeure partie des humains. Un sort connu par les dinosaures il y a 65 millions d'années...

Or, "ce type d'astéroïde s'abat environ tous les 100 millions d'années, ce qui, pour une population humaine de 7 milliards d'habitants, représente 70 morts par an – ou 70 millions de pertes chaque million d'années", calcule Alan Harris, de l'Institut de planétologie de Berlin.

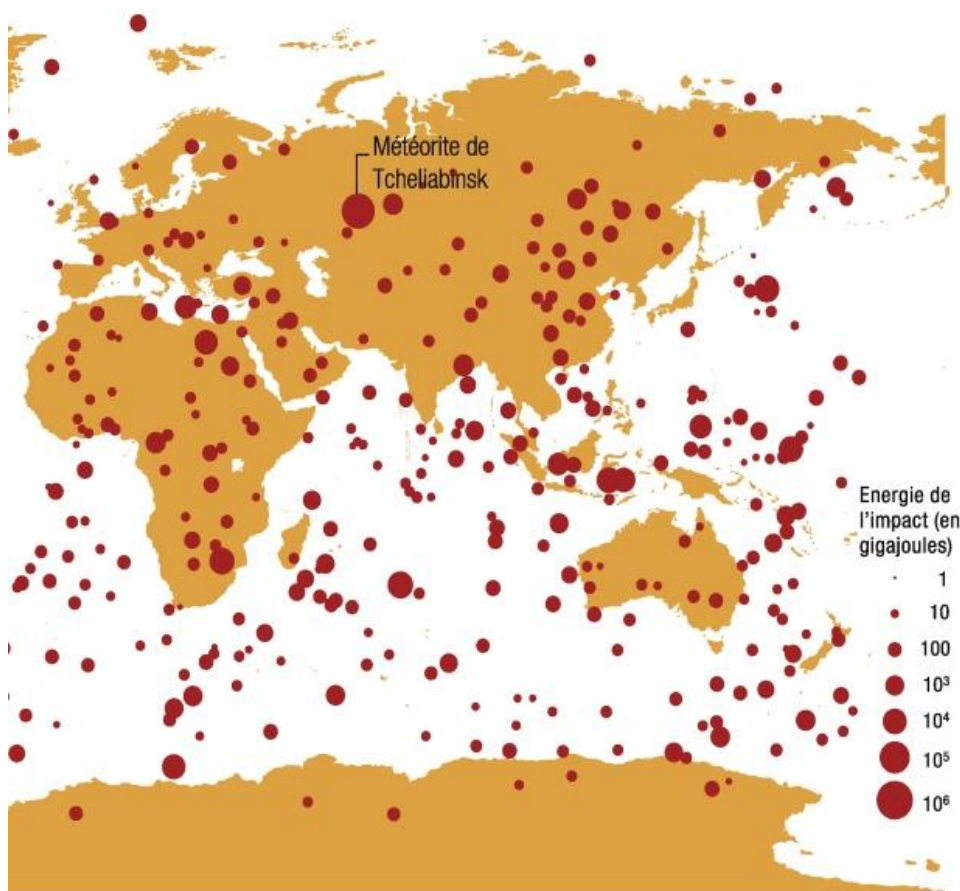
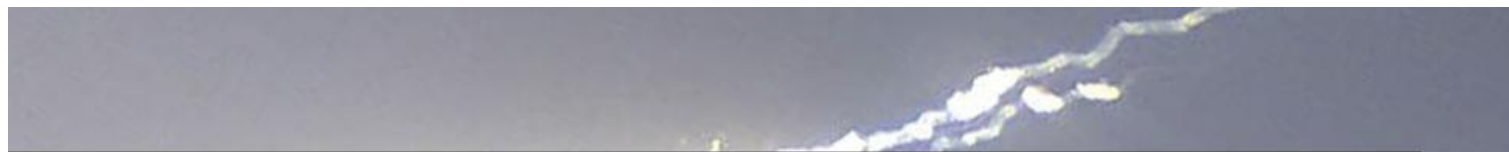
Ajoutez à cela des collisions plus fréquentes avec des météores de l'ordre du kilomètre ou de la centaine de mètres de diamètre, "susceptibles de



détruire des pays comme la France ou le Japon, ou de grandes aires urbaines telles que Londres ou Moscou", indique David Bancelin, chercheur à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Résultat : en prenant en compte toute la gamme des géocroiseurs, Alan Harris dénombre environ 1 200 morts par an. Des morts toutes virtuelles – sauf une, cette année.

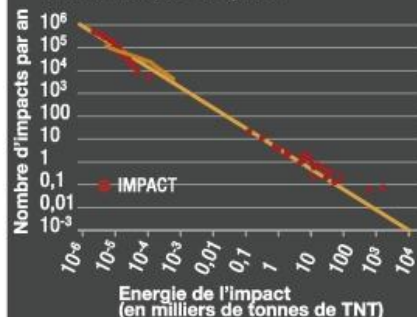
Il est sans doute difficile de s'en émouvoir quand les tempêtes et les inondations tuent réellement 30 000 personnes par an dans le monde... La menace astéroïde ne repose que sur des probabilités potentielles ; les autres risques naturels s'appuient, eux, sur des statistiques concrètes. Sauf qu'un seul impact suffirait à supplanter les pires catastrophes imaginables.

Le problème est donc pris très au sérieux par les plus hautes instances. La Nasa vient ainsi d'ouvrir, début janvier, un bureau de coordination pour la "défense planétaire". Le budget dédié à la détection et au suivi des corps célestes plus ou



Si les gros impacts sont rares...

Le phénomène suit une loi de puissance : beaucoup d'impacts minuscules, très peu de gros.



... ce sont les plus à craindre

Les impacts les plus violents (objets de plus de 1 km) ont un effet majeur sur la mortalité potentielle liée aux astéroïdes.



Sources : Nasa, M. Boslough, A. Harris

moins menaçants a été multiplié par douze depuis 2010. Tandis que l'ONU fait plancher un groupe de travail sur les mécanismes de décision en cas de risque de collision avec la Terre.

DES CALCULS HÉSITANTS

La menace astéroïde se situe entre le phénomène anodin et l'apocalypse; entre la douce indifférence et la terreur existentielle; entre la simple prudence et la paranoïa qui se répand allègrement sur Internet ou au sein de collectifs alarmistes, comme la fondation B612.

Il faut dire que la détection de ces cailloux errants est un défi permanent. "Nous ne parvenons à déceler que

les corps les plus gros et les plus lents, signale Jérémie Vaubaillon, de l'Observatoire de Paris. Et encore, les conditions optimales d'observation doivent être réunies." "Seulement 60 % du ciel est observable par des télescopes terrestres, le reste étant pollué par la

lumière solaire", ajoute Jiri Borovicka, spécialiste des météores à l'Union astronomique internationale.

Pour ajouter à la confusion, les calculs de probabilités de collision avec la Terre – simulés sur plus d'un siècle – sont parfois hésitants. Voire alarmants,

si l'on se souvient de l'astéroïde Apophis, large de 325 m, qui, en décembre 2004, affichait une probabilité de 1 sur 37 de s'écraser sur Terre le 13 avril 2029. "Connaître l'orbite précise d'un objet demande un long temps d'observation," explicite Timothy

Des précédents douteux

"Accuser une météorite d'avoir tué quelqu'un rappelle parfois l'excuse classique de l'étudiant : mon chien a dévoré mes devoirs", rumine l'astronome Alan Harris. De fait, les témoignages historiques sont peu convaincants ou difficiles à vérifier, comme ces chroniques chinoises attribuant à un météore la mort de l'Empereur Jaune, qui régna de 2697 à 2597 avant J.-C. La revue *International Comet Quarterly* rapporte de possibles cas plus récents : un Indien tué le 16 janvier 1825, un enfant chinois le 30 avril 1874, un fermier français le 31 janvier 1879 (à Dun-le-Poëlier, dans l'Indre), ainsi qu'un homme frappé en plein mariage en Yougoslavie le 8 décembre 1929. Les animaux ne seraient pas épargnés, à l'image de cette vache tuée au Brésil en 1836 ou de ce chien pulvérisé sur le sol égyptien en 1911.

→ Spahr, ancien directeur du Minor Planet Center, chargé de ces calculs officiels. *Lorsqu'on découvre un géocroiseur, celui-ci se trouve sur une toute petite portion de son orbite elliptique et nos calculs pour déterminer sa trajectoire sont entachés d'importantes incertitudes.*

PRÉVENIR LES IMPACTS

Jusqu'à présent, la Nasa a concentré ses efforts sur les géocroiseurs les plus imposants, susceptibles de provoquer des dégâts planétaires ou continentaux. *"Nous avons repéré plus de 90 % des objets appartenant au groupe des plus gros astéroïdes, d'un diamètre supérieur à 1 km, se félicite Donald Yeomans, responsable du programme de suivi des géocroiseurs à la Nasa. Et aucun d'entre eux ne représente une menace."*

Le bilan est moins glorieux pour les astéroïdes mesurant entre 140 m et 1 km de diamètre: seul un quart d'entre eux ont été repérés. Pour combler ce manque embarrassant, un nouveau télescope terrestre est en cours de construction au Chili et l'envoi

d'un satellite est en projet (voir ci-contre).

Objectif: réussir à débusquer tous les astres menaçants plusieurs années, voire plusieurs décennies avant une collision potentielle. *"Trouvons-les avant qu'ils ne nous trouvent!",* a coutume de dire Donald Yeomans à ses équipes.

La Nasa estime que la probabilité de collision avec un des astéroïdes répertoriés est de seulement 0,01 % pour le siècle à venir. Un risque de plus en plus évitable: des solutions pour dévier ces bolides sont d'ores et déjà à l'étude (lire l'encadré p. 46).

Bien sûr, il existe toujours la menace d'un monstre errant qui aurait échappé aux radars. En novembre 2013, l'Agence spatiale américaine découvrait ainsi l'existence de deux mastodontes larges de plus de 20 km à la trajectoire inattendue – et heureusement inoffensive. Tandis qu'une comète peut toujours débouler vers nous du fin fond du système solaire...

Mais ces risques sont incroyablement ténus. *"Si l'on se fie aux statistiques pures, un grand impact est*



très improbable, argumente Timothy Spahr. On doit désormais s'intéresser aux signaux plus faibles dans l'espace pour se préparer et prévenir les impacts des prochaines décennies."

De fait, la menace la plus concrète vient de corps épais de seulement 20 à

40 m. Une population d'astéroïdes mal connue, mais capable de provoquer des dégâts plus considérables qu'on ne le pensait jusqu'ici. Les scientifiques ont été secoués par la météorite de Tcheliabinsk (19 m), qui, en venant s'écraser dans l'Oural le 15 février 2013, blessa 1 200 personnes et endommagea quelque 7 000 bâtiments et usines.

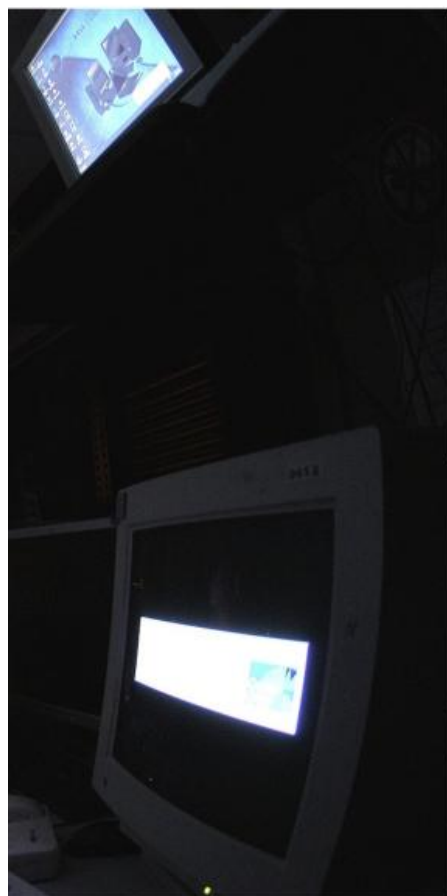
"Cet événement a montré que des objets de seulement 20 m pouvaient être dangereux: le choc a été suffisamment puissant pour projeter des gens en l'air, pulvériser les vitres et les cadres de fenêtres... C'est vraiment une chance qu'il n'y ait pas eu de mort", témoigne Peter



MARK BOSLOUGH

Physicien des impacts planétaires aux laboratoires Sandia (Etats-Unis)

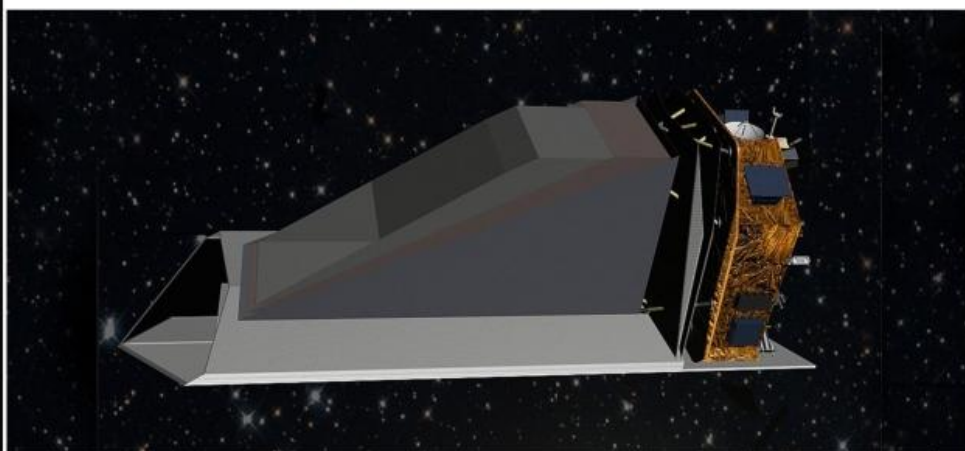
Il devient de plus en plus évident que les blocs larges de 30 m représentent un risque significatif



La traque s'intensifie



< \ Près de 14 000 géocroiseurs ont été détectés par trois télescopes installés sur le continent américain et à Hawaï (ci-contre). Tous sont scrupuleusement suivis. Cette chasse va prendre une nouvelle dimension avec l'installation d'un nouveau télescope au Chili (le LSST) et l'envoi, vers 2021, du satellite *Neocam* (ci-dessous), qui sera posté entre la Terre et le Soleil.



Jenniskens, chasseur de météorites attiré de la Nasa, qui a participé sur place à la commission d'enquête.

"Nous ne devons pas nous reposer sur la chance la prochaine fois", rétorque sèchement Mark Boslough. Avant de préciser sa pensée: "Le risque posé par les astéroïdes de ce gabarit ne vient pas de l'impact au sol, mais de leur éclatement dans l'atmosphère, qui produit une onde de choc très semblable à celle d'une explosion nucléaire."

30 À 60 FOIS HIROSHIMA

L'astéroïde de Tcheliabinsk a volé en éclats vers 30 km d'altitude. Le passage de ce bolide lourd de

10 000 tonnes et lancé à 19 km par seconde a libéré une puissance équivalente à 500 000 tonnes de TNT. Soit trente fois la bombe atomique d'Hiroshima!

Un cas malheureux mais isolé? Probablement pas. En plongeant dans les archives des systèmes de détection militaires, les chercheurs ont relevé un autre phénomène ultraviolet survenu le 3 août 1963 à proximité de l'île Marion, dans l'océan Indien: une explosion équivalente à 1 million de tonnes de TNT.

"Nos dernières estimations ont permis de réévaluer le risque de collision avec un tel astéroïde, rapporte Mark Boslough.

Jusqu'ici, on croyait que ce type de bolide entraînait en collision dans l'atmosphère une fois par siècle; or, ce serait plutôt tous les 35 ans. Il devient de plus en plus évident que ces objets représentent un risque significatif. Le prochain astéroïde qui blessera ou tuera fera très probablement partie de cette catégorie des 30 m."

Problème: la petite taille de ces bombes célestes les rend difficiles à déceler – elles renvoient une lumière trop faible. "Nous avons détecté seulement 2 250 astéroïdes d'un diamètre de moins de 30 m sur une population qui se compte en millions", reconnaît Donald Yeomans. →

CEUX QUI ONT MARQUÉ L'HISTOIRE

IL Y A 65 MILLIONS D'ANNÉES

Large de 10 à 20 km, l'astéroïde de Chicxulub (Mexique) a provoqué l'extinction des dinosaures.

30 JUIN 1908

En Sibérie, l'astéroïde de la Tougouska (40 m) dévaste 1 000 km² de forêts.

DÉCEMBRE 2004

La Nasa estime à 1 sur 37 le risque qu'Apophis, bolide de 325 m, heurte la Terre le 13 avril 2029; calcul démenti par la suite.

15 FÉVRIER 2013

En s'écrasant dans l'Oural, l'astéroïde de Tcheliabinsk, large de 19 m, fait plus de 1 200 blessés et de nombreux dégâts.

→ Même si ces objets ne nous sont pas forcément destinés, la statistique fait froid dans le dos. Et réaliser un inventaire complet paraît aujourd'hui impossible. Au risque de découvrir ces objets au dernier moment... "Pour prévenir un futur désastre, il faudra être capable de les repérer dans leur approche finale, leur 'plongeon de la mort'", lance Mark Boslough. Justement, "la Nasa vient d'ouvrir un dispositif d'alerte avancée, Atlas, constitué de huit télescopes destinés à détecter les petits astéroïdes sur le point de s'écraser sur Terre, informe Donald Yeomans. Avec pour objectif d'évacuer les régions qui pourraient être

sécurité civile. Tandis que le gestionnaire du trafic aérien européen, Eurocontrol, mène des réflexions sur le sujet. "Nous devons quantifier ce risque, au vu de la croissance du transport aérien", milite Tommaso Sgobba, responsable d'un projet sur ce thème.

L'IMPOSSIBLE DÉTECTION

En France, l'armée de l'air lorgne le réseau de 100 caméras astronomiques mises en place sur le territoire par plusieurs laboratoires – dans le but d'enrichir leur collection de météorites. "Tout ce qui pénètre dans un espace aérien intéresse les armées, ne serait-ce que pour éviter que la déflagration d'un météore conduise

Peter Jenniskens. Ce dernier, d'un diamètre de 4 m, a été découvert vingt heures avant la collision, et nous avons pu calculer sa retombée quelque part au Soudan, où des chercheurs ont effectivement retrouvé des fragments." Très encourageant... à ceci près qu'aucun astronome n'a vu venir le bolide de Tcheliabinsk, masqué par la lumière du Soleil!

"Dans ces conditions, je ne vois aucune solution technique, terrestre ou spatiale, qui permettrait de repérer à l'avance un astéroïde, soupire Alan Harris. Seuls les radars militaires, destinés à la détection des missiles balistiques, pourraient déceler sa présence

prononcé et une autre nature de météorite? Certes, il peut y avoir des situations plus destructrices... mais aussi beaucoup plus anodines. On dit souvent qu'à quelques heures près, l'astéroïde de la Tougouska [1908, en Sibérie] aurait pu tomber sur Londres et l'anéantir. C'est faux: s'il était passé quelques heures plus tard, cet objet n'aurait jamais rencontré la Terre!"

LE RISQUE NE GRANDIT PAS

"Ce n'est pas parce que nous détectons toujours plus d'astéroïdes que le niveau réel de la menace a changé, sermonne Clemens Rumpf, ingénieur spatial à l'université de Southampton, spécialisé dans les trajectoires terminales des météorites. Dans l'histoire de l'humanité, les astéroïdes n'ont jamais été vécus comme un problème central, et cet afflux de nouvelles informations ne doit pas changer cette attitude. Nous devons les surveiller, évidemment, mais cela ne doit pas nous empêcher de dormir."

Facile à dire. Même s'il n'y a pas plus d'astéroïdes qu'avant; même si, avant le 6 février dernier, nul mort n'avait jamais été à déplorer; même si les statistiques sont de notre côté, on ne peut s'empêcher de voir dans la mort tragique de Kamaraj autre chose qu'un simple fait divers: la première matérialisation du risque que le ciel nous tombe sur la tête. Un risque paradoxal, évanescent, infime, mais bien réel.

Pourrait-on éviter un "Armageddon" ?

Parvenir à dévier un astéroïde menaçant est devenu un sujet de recherche à part entière, âprement discuté en colloque. "Nous travaillons sur deux approches: celle de l'impact violent, à l'aide d'un projectile ou en exploitant l'onde de choc d'une explosion nucléaire; et celle d'une propulsion douce, de type voile solaire ou tracteur gravitationnel", expose Patrick Michel, à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Le choix de la technique dépendrait du temps imparti, de la taille, de la composition et de la porosité de l'objet... Les simulations numériques sont prometteuses, "mais on ne sait pas si ça marche vraiment", consent le chercheur, membre du Réseau international d'alerte aux astéroïdes. La Nasa et l'ESA vont justement mener un essai d'impact à 6 km/s sur l'astéroïde 65803 Didymos (200 m de diamètre). Verdict en octobre 2022.

touchées par la collision". Les scientifiques estiment pouvoir prévenir les populations quelques jours à une semaine avant l'impact.

Dans un monde parsemé de 500 villes de plus de 1 million d'habitants, cette vigilance devient indispensable. La nouvelle unité de défense planétaire de la Nasa s'est d'ailleurs mise en lien avec des organismes de

à une mauvaise interprétation et... à une riposte", révèle Jérémie Vaubaillon.

Tout n'est pas encore au point. Actuellement, les travaux de recherche visent à prévoir le lieu d'impact sur Terre de l'objet menaçant. "Jusqu'à présent, seuls deux astéroïdes ont été détectés dans l'espace avant de toucher la Terre: 2014 AA et, surtout, 2008 TC3, confie

quelques minutes avant l'impact." Un cas de figure forcément angoissant.

Pour autant, il faut raison garder. "Ce risque est trop faible pour être pris en compte dans notre vie quotidienne", rassure Jiri Borovicka. "Il est facile de spéculer, reprend Alan Harris. Est-ce que cela aurait pu être pire à Tcheliabinsk avec un angle plus

Musique et sourire garantis
chaque matin !



STÉPHANIE RENOUVIN
CHRISTOPHE NICOLAS

Photo Julien Weber

LE GRAND MORNING

MUSIQUE / INFO / BONNE HUMEUR

Suivez-nous sur    rtl2.fr

6H/9H



LE SON POP-ROCK

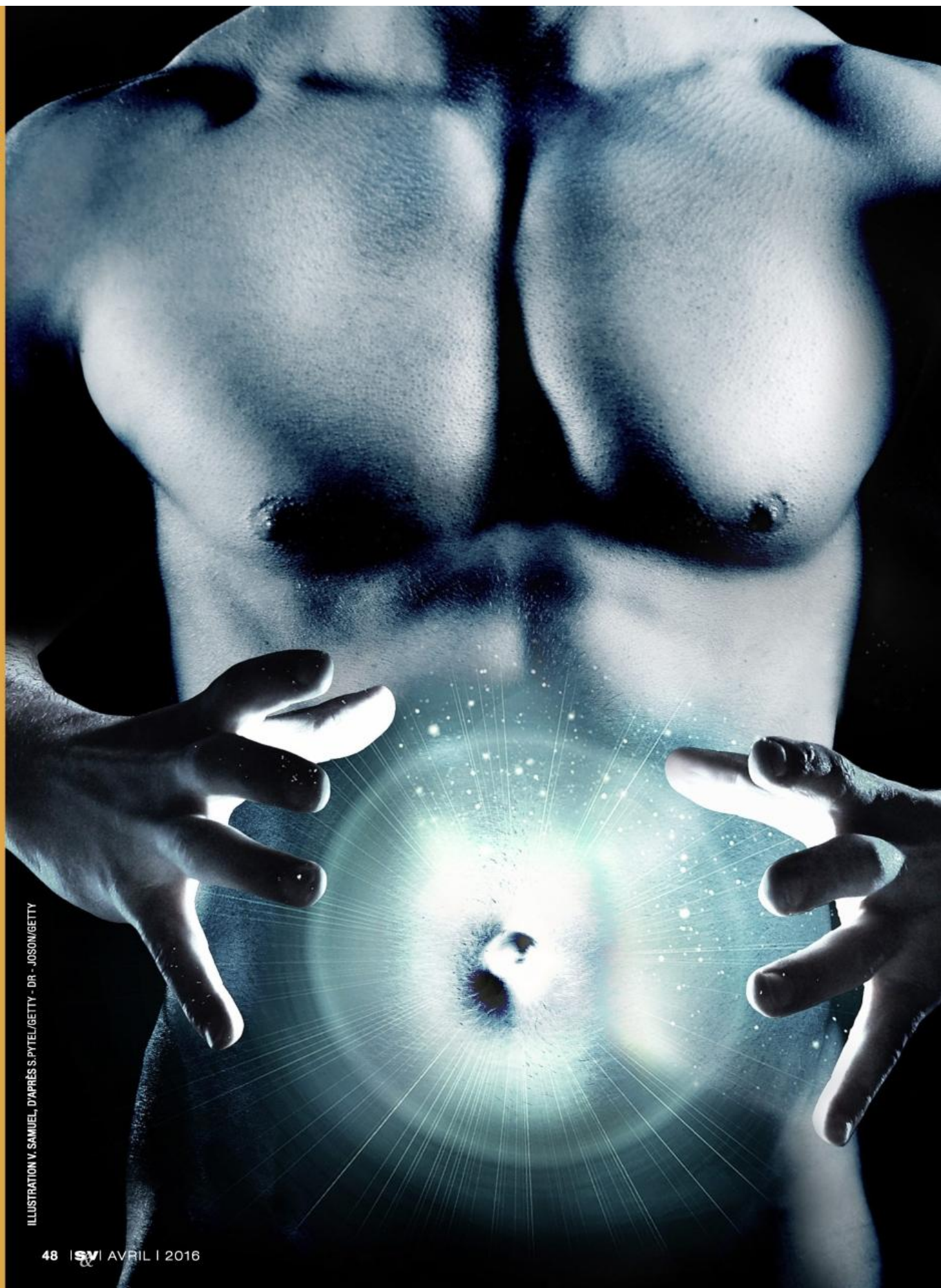


ILLUSTRATION V. SAMUEL, D'APRÈS S. PYTEL/GETTY - DR - JASON/GETTY



STRESS, TONUS, SOMMEIL...

LES SUPER-POUVOIRS DU VENTRE

À LA
UNE

Cela commence à se savoir : notre ventre est notre "deuxième cerveau". Mais au vrai : il est beaucoup plus que cela ! La science elle-même n'en revient pas de découvrir aujourd'hui les incroyables pouvoirs des bactéries qui composent notre microbiote intestinal : car en envoyant des signaux dans tout l'organisme, elles ont un impact aussi bien sur notre sommeil que sur notre stress, sur notre hérédité comme sur notre personnalité, sur notre humeur comme sur notre mémoire. Et même sur notre croissance ou notre vivacité d'esprit. En un mot : notre ventre gouverne nos existences. Une découverte fondamentale, qui ouvre d'ores et déjà la voie à une nouvelle médecine.

*PAR ELSA ABDOUN, AVEC KHEIRA BETTAYEB,
FIORENZA GRACCI, HÉLOÏSE RAMBERT*

Si l'on vous demandait de désigner l'organe le plus important de votre corps, à quoi penseriez-vous en premier? Le cerveau? Le cœur? Les poumons? Probablement pas les intestins. Tripes, boyaux, viscères... quel que soit le nom qu'on leur donne, il ne semble se cacher dans notre ventre qu'une espèce de cloaque, dont les tuyaux n'ont rien d'autre à offrir qu'un chemin tortueux vers la sortie pour nos aliments. Il est temps d'en finir avec cette image peu ragoûtante. Car nos intestins forment un organe bien plus complexe et plus noble qu'il n'y paraît.

Depuis une dizaine d'années, un bouleversement complet des connaissances s'est en effet opéré. Désormais, le ventre est reconnu comme un poste de commande central dans notre vie.

Personnalité, mémoire, préférences alimentaires, longévité, sommeil... : son influence ne cesse de s'étendre à mesure que les chercheurs progressent dans la compréhension du monde qui l'habite. Car c'est d'abord de ses résidents que le ventre tire son pouvoir : tous les microbes qui vivent en symbiose avec nous et composent le "microbiote intestinal".

UNE VÉRITÉ LONGTEMPS OCCULTÉE

Cette communauté de micro-organismes comprend des champignons, des virus, etc., mais reste largement dominée par une forme de vie : les bactéries. On en compterait plusieurs dizaines de milliers de milliards, concentrées principalement au niveau du côlon (le dernier des "tuyaux", entre l'intestin grêle et le rectum). Un véritable écosystème au cœur de notre organisme.

Comment ce monde microscopique d'organismes unicellulaires peut-il imposer son règne sur des êtres aussi complexes que nous?

Tout d'abord, notre ventre bénéficie d'une organisation spatiale optimisée pour multiplier les points de contact entre l'espace intérieur des intestins et les cellules de l'organisme. La paroi de l'intestin grêle forme, par exemple, de

nombreux replis, portant eux-mêmes des replis plus petits, les villosités, qui sont surmontées de microvillosités.

Surtout, derrière cette paroi, se cachent plusieurs voies de circulation permettant à notre ventre d'envoyer des ordres à l'organisme : le nerf vague, qui le relie au cerveau ; un important réseau vasculaire, qui achemine les messages moléculaires et cellulaires ; et une grande réserve de cellules immunitaires, qui voyagent dans le sang et envoient des signaux chimiques.

A partir de là, un schéma général se dessine : dans le ventre, les bac-

Chacun possède son propre microbiote, unique et personnel

téries produisent en permanence de nombreuses molécules (acides gras, neuromédiateurs...), qui peuvent traverser la muqueuse intestinale et pénétrer dans les vaisseaux sanguins, ou modifier l'activité des neurones et des cellules immunitaires (voir infographie, pp. 52-53). C'est ainsi que notre microbiote influence tout notre être, de façon aussi profonde qu'invisible.

Pourtant, cette possibilité a longtemps été occultée par les chercheurs, qui s'intéressaient surtout aux produits de la digestion (vitamines, minéraux...). Les bactéries n'étaient jugées utiles qu'à deux fonctions : la digestion, justement (par la production d'enzymes dont le corps humain est dépourvu), et les défenses naturelles (en occupant une grande place, elles rendent l'installation de bactéries infectieuses plus difficile).

"Le microbiote intestinal a longtemps été négligé", reconnaît Dusko Ehrlich, biochimiste à la tête du projet Metagenopolis, qui étudie les effets du microbiote sur la santé. Il faut dire que "les médecins n'avaient pas les outils pour l'étudier", explique le chercheur. Car il fallait alors multiplier les bactéries *in vitro* dans des boîtes de Petri, ce qui reste encore

impossible pour la plupart de celles qui colonisent nos intestins.

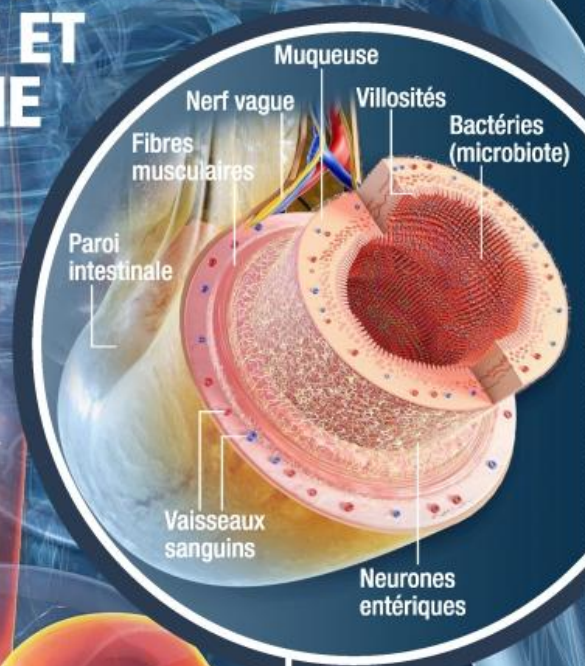
Résultat : "L'importance réelle du microbiote intestinal n'a commencé à être reconnue qu'il y a dix ans", raconte John Cryan, neuropharmacologue à l'University College de Cork (Irlande) et spécialiste du lien entre ventre et cerveau. Ce qui coïncide avec le développement d'une nouvelle technique, la métagénomique, qui offre la possibilité de séquencer l'ADN des bactéries sans avoir à les cultiver. Appliquée à l'analyse des selles (constituées pour plus de moitié de bactéries du côlon), sur des milliers d'individus à travers le monde, cette technique a permis plusieurs découvertes renversantes.

Tout d'abord s'est révélée l'incroyable complexité du microbiote intestinal. Ainsi, chaque individu porterait entre 500 et 1 000 espèces de bactéries différentes, totalisant environ 600 000 gènes différents ! "C'est trente fois plus que ceux qui composent le génome propre à l'humain", compare Dusko Ehrlich, qui en conclut que "génétiquement, nous sommes surtout microbiens".

Et sa composition varie beaucoup d'un individu à l'autre, en fonction du

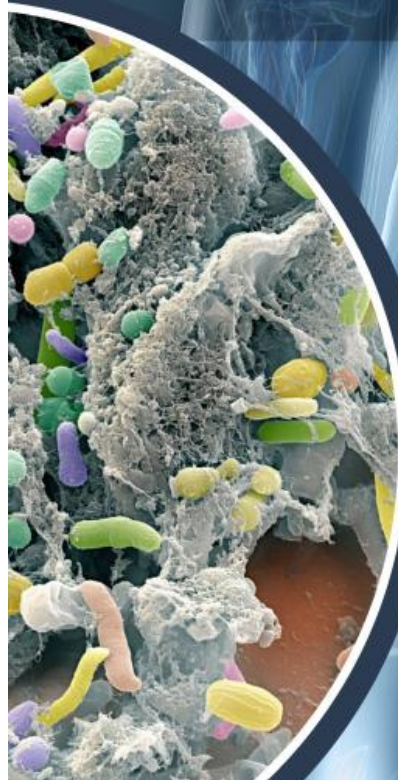


NOTRE VENTRE CACHE À LA FOIS UN CIRCUIT OPTIMISÉ ET UN VÉRITABLE ÉCOSYSTÈME



10 000

milliards de bactéries au moins peuplent notre tube digestif : c'est le microbiote intestinal. Il est propre à chacun de nous et sa composition (différentes espèces de bactéries présentes) dépend de facteurs génétiques et environnementaux.



500

espèces de bactéries minimum colonisent l'intérieur des intestins. Elles produisent des molécules qui peuvent influencer sur tout l'organisme via les nerfs, les vaisseaux sanguins et les cellules immunitaires de la paroi intestinale.

À LA UNE

10 m

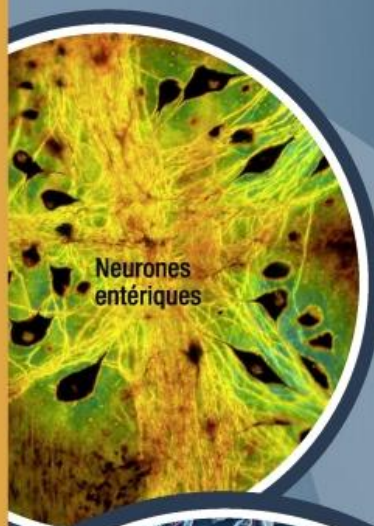
de longueur et au moins 200 m² de surface si on le déploie entièrement : telles sont les dimensions de notre tube digestif (œsophage, estomac, intestins).



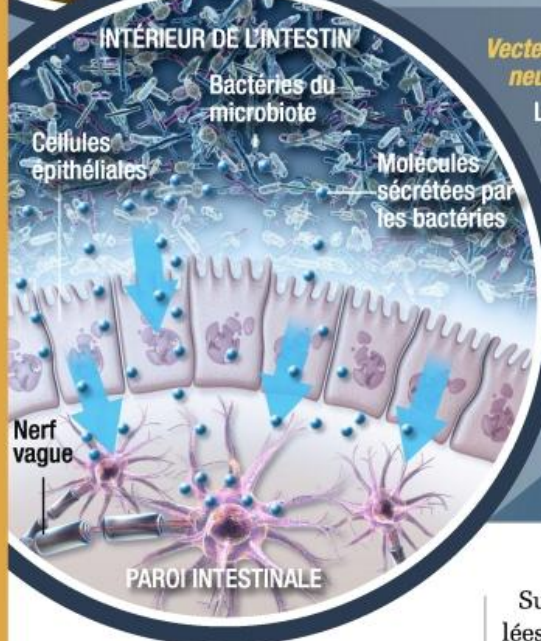
Gros intestin (côlon)

Intestin grêle

NOTRE MICROBIOTE GOUVERNE NOTRE EXISTENCE DE 3 FAÇONS



Neurones entériques

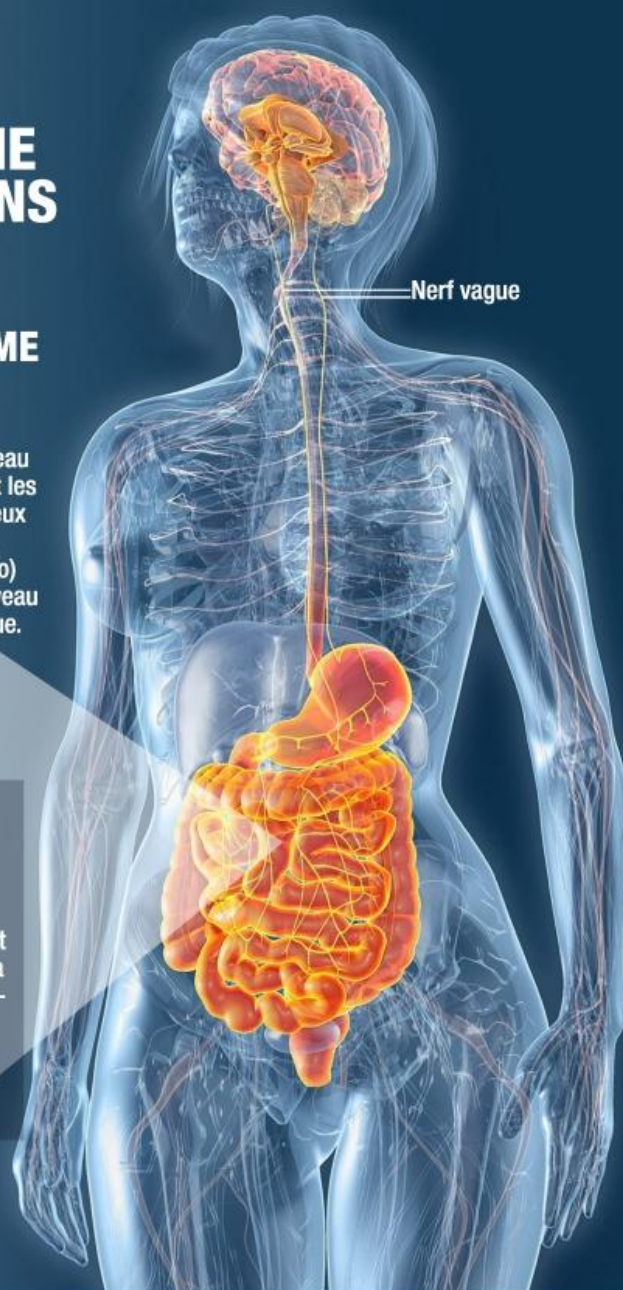


Vecteurs : neuromédiateurs

Les bactéries produisent des neuromédiateurs pouvant passer à travers la muqueuse intestinale et moduler l'activité des neurones entériques.

1 LA VOIE DU SYSTÈME NERVEUX...

Le ventre, avec son microbiote intestinal, peut agir sur le cerveau par voie nerveuse, en stimulant les terminaisons du système nerveux entérique composé d'au moins 200 millions de neurones (photo) qui communiquent avec le cerveau par l'intermédiaire du nerf vague.



Nerf vague

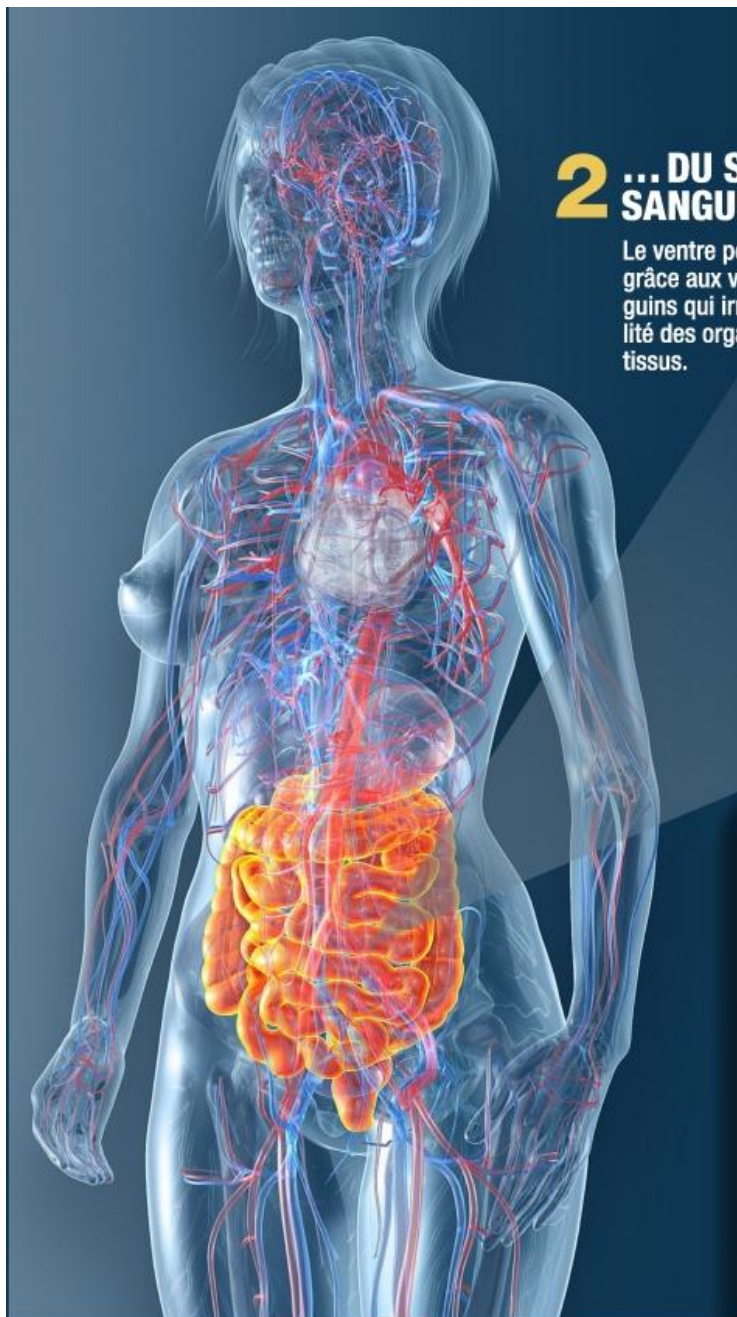
génomique, de l'âge, du mode de vie (alimentation, hygiène, etc.), et des bactéries léguées par notre mère au tout début de la vie. Des espèces peuvent ainsi être plus ou moins prédominantes, voire absentes chez certains. *"Cela a été une énorme surprise de découvrir à quel point le microbiote différait d'une personne à l'autre"*, confirme Rob Knight, directeur à l'université de Californie de San Diego d'un laboratoire spécialisé dans les communautés bactériennes.

Surtout, ces variations se sont révélées influentes sur de nombreux caractères individuels ! Et sur la manière dont ils sont partagés entre parents et enfants (voir pages suivantes).

Parfois, cependant, nos bonnes bactéries flanchent : on a découvert que de nombreuses maladies trouvent leur origine, au moins en partie, dans des dérèglements du microbiote intestinal. De quoi déboucher sur d'importantes avancées médicales (voir p. 62), même si *"on n'est encore qu'au tout début de l'histoire"*, prévient Gabriel Perlemuter, chef du service Hépatogastro-entérologie à l'hôpital Antoine-Béclère.

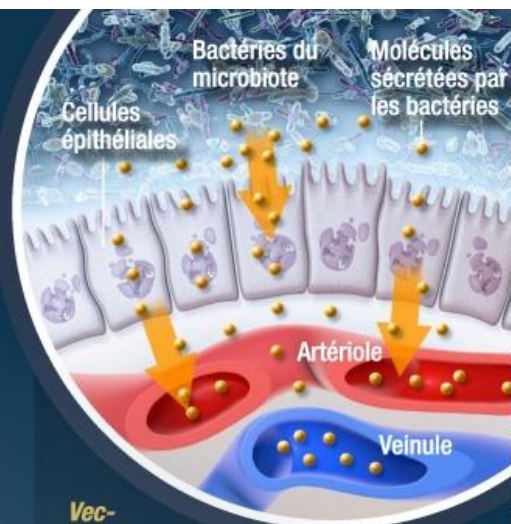
Pour aller plus loin, il faudra préciser les mécanismes qui permettent aux bactéries d'exercer une telle influence. Les voies vasculaire, neuronale et immunitaire ont déjà été repérées, mais *"il y en a peut-être d'autres"*, envisage Rob Knight. Pourquoi les mécanismes de l'évolution ont-ils autant intriqué notre vie et celle de nos bactéries ? *"Pourquoi pas ? répond le chercheur ; il est tellement difficile de conserver le moindre environnement stérile ! Quitte à ce que des bactéries soient présentes, autant qu'elles participent !"*

Partagée par l'ensemble du règne animal et végétal, cette intimité entre



2 ... DU SYSTÈME SANGUIN

Le ventre peut aussi agir grâce aux vaisseaux sanguins qui irriguent la totalité des organes et des tissus.



**Vec-
teurs :**
acides gras,
vitamines, acides aminés...

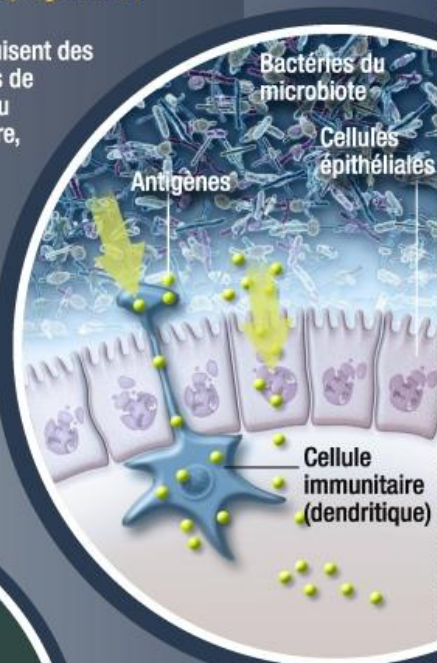
Les bactéries produisent un grand nombre de molécules qui peuvent traverser la muqueuse, entrer dans les vaisseaux sanguins, et circuler dans tout le corps.

3 ... DU SYSTÈME IMMUNITAIRE

Les bactéries peuvent influencer nos défenses naturelles en agissant sur les cellules immunitaires au niveau des intestins.

Vecteurs : antigènes, régulateurs d'inflammation...

Les bactéries produisent des molécules capables de moduler l'activité du système immunitaire, qui va lui-même impacter le reste de l'organisme, par exemple en sécrétant des messagers chimiques.



À LA UNE

le corps et ses microbes invite *in fine* à reconsidérer la notion même d'individu : si cette association gouverne notre vie, sommes-nous alors uniquement les représentants de l'espèce *Homo sapiens*, ou bien une communauté d'espèces, un métaorganisme, un "holobionte", pour reprendre le terme forgé au début des années 1990 par le biologiste américain Richard Anthony Jefferson ?

Le microbiote inspire des questionnements vertigineux... mais rappelle aussi quelques évidences, en remettant le nombril au centre de notre corps.

E.A.



Notre ventre contrôle... notre moral, notre anxiété et notre sociabilité

Souvent stressé ? Naturellement avenant ? Ou facilement déprimé ? Vos parents ne sont pas les seuls responsables ! En plus des gènes et de l'éducation, notre personnalité serait aussi sous l'influence... de nos microbes intestinaux. Qui joueraient même "les marionnettistes de notre cerveau", selon la formule de John Cryan, neuropharmacologue à l'University College Cork (Irlande).

Difficile à admettre ? Pourtant, c'est bien l'hypothèse qui ressort d'une multitude d'études menées suite à un constat : les troubles anxieux, de l'humeur et de la sociabilité (dépression, autisme...) s'accompagnent souvent de troubles intestinaux.

Depuis dix ans, des expériences menées sur des rongeurs ont permis d'en accumuler les

preuves. Les chercheurs ont notamment étudié les changements de comportement chez des rats ou des souris dont les intestins sont totalement dépourvus de bactéries.

Echanger son caractère

Chez ces animaux privés de microbiote, nés par césarienne et maintenus toute leur vie dans un environnement stérile, la sensibilité naturelle au stress est modifiée. Certains, appartenant à une lignée connue pour son tempérament anxieux, présentaient ainsi un niveau de stress nettement plus bas (mesuré par leur tendance à explorer des environnements lumineux et à découvrir, normalement plus stressants pour des rongeurs). Inversement, ceux issus d'une lignée paisible affichaient des comportements révélateurs d'anxiété (comme passer plus de temps collés aux parois de leur cage).

Plus incroyable encore : il est possible d'échanger les traits de caractère de deux individus en procédant à une simple permutation de leurs microbiotes ! La démonstration en a été faite en 2013, lorsqu'une lignée de souris stressées a reçu la flore intestinale de souris paisibles, et que leur niveau d'anxiété a diminué... tandis que, dans

l'autre sens, le stress a gagné les souris jusqu'alors paisibles !

La sociabilité serait un autre trait de caractère influencé par le microbiote. Une étude de 2014 a montré qu'en l'absence de microbes intestinaux, des rongeurs ont moins tendance à rechercher la présence de leurs semblables. "Une hypothèse est que les bactéries encourageraient la sociabilité de leur hôte pour favoriser leur propre transfert entre individus", avance John Cryan.

Enfin, des expériences ont prouvé que la "prise" de bactéries intestinales améliorait le "moral" des souris, mesuré par leur tendance à être plus ou moins vite découragées

au cours d'un exercice de survie à la nage.

Chez l'homme, bien que moins directes, les preuves suggèrent tout de même qu'un phénomène identique serait à l'œuvre. En 2013, des chercheurs ont ainsi montré que la prise quotidienne, pendant un mois, d'un produit contenant des bactéries naturellement présentes dans les intestins entraînait une modification de l'activité des aires cérébrales liées au traitement des émotions.

Plusieurs expériences d'ingestion régulière de bactéries intestinales ont également suggéré que cela pouvait réduire le

LA PREUVE PAR...



L'échange de microbiote entre des souris a montré qu'elles pouvaient changer de caractère : à g., des souris calmes recevant les bactéries de souris stressées le sont devenues, et inversement (à droite).

Source : Current Op. Microbio, 2013



stress (mesuré notamment par le taux de l'hormone cortisol dans la salive) et améliorer l'humeur.

Comment l'intestin peut-il avoir une telle influence sur le cerveau ? "Plusieurs mécanismes sont probablement à l'œuvre en même temps, propose Guillaume Fond, psychiatre (fondation FondaMental). Les bactéries agissent via le nerf vague, qui relie le ventre au cerveau, et qui envoie 80 % de ses informations du premier vers le second." Elles ont aussi, poursuit-il, la possibilité de "produire des neurotransmetteurs qui pourraient, en passant dans le sang, agir sur le cerveau". **E.A.**

ISM - S. HOBMAIER/PLAINPICTURE - M. KONTENTE

Il commande... notre état de forme et nos défenses naturelles

Chargées de contrôler les microbes dans notre corps, nos défenses immunitaires sont en fait elles-mêmes... contrôlées par des microbes : ceux de notre flore intestinale ! Tel est le concept contre-intuitif qui est venu ébranler le monde de l'immunologie ces quinze dernières années.

Cette emprise du microbiote sur notre système immunitaire commence très tôt : dès la naissance, quand les bactéries commencent à coloniser l'intestin, stérile jusque-là. En effet, il est apparu que le microbiote gouverne la maturation même du système immunitaire du nouveau-né. C'est ce qu'a notamment montré une étude chez la souris publiée en 2005 par l'équipe américaine de Sarkis Mazmanian – et devenue depuis une référence en immunologie. "Dans ces travaux,

nous avons observé que la bactérie intestinale *Bacteroides fragilis* dirige la maturation physique et cellulaire du système immunitaire", écrivent les auteurs.

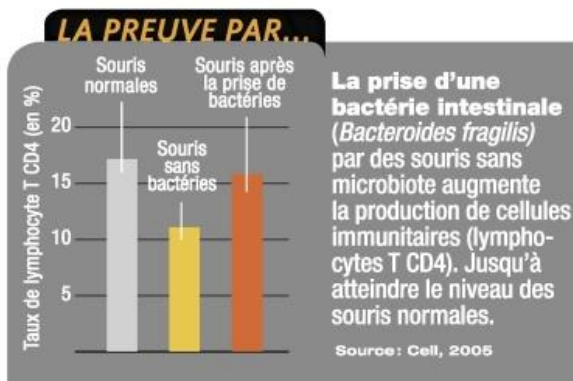
Plus précisément, l'équipe a constaté que cette bactérie produit une substance, dite PSA, qui induit "un taux normal en lymphocytes T CD4+ [des cellules immunitaires particulières], le maintien des proportions entre les différents types de lymphocytes T, et le développement des organes lymphoïdes [où se développent les cellules immunitaires]".

Bloquer les allergies

Mais ce n'est pas tout ! L'influence du microbiote sur nos défenses immunitaires ne se limite pas aux deux ou trois premières années de vie nécessaires à la maturation de notre immunité ! En effet, plu-

sieurs travaux ont montré que la flore intestinale régule également l'activité du système immunitaire adulte. Et ce, notamment, via des bactéries capables d'inhiber ou, au contraire, de susciter l'inflammation (un type de réaction immunitaire).

Ainsi, en 2008, l'équipe de Sarkis Mazmanian a constaté que la bactérie *Bacteroides fragilis* stimule le développement de cellules immunitaires régulatrices qui brident l'agressivité du système immunitaire. D'autres travaux plus récents, publiés en juin 2015 par une équipe franco-japonaise, ont conclu, eux, que la flore intestinale régule aussi la survenue des allergies, en bloquant spécifiquement les cellules immunitaires responsables du déclenchement de ces troubles. Et la mainmise du microbiote sur nos défenses naturelles est telle qu'"un déséquilibre de la diversité du premier peut complètement déréguler le fonctionnement des secondes, et pourrait induire des maladies parfois graves, comme la sclérose en plaques par exemple", souligne l'immunologiste suisse Gérard Eberl, directeur de ces travaux. **K.B.**



À LA UNE



Il régule... nos rythmes biologiques et notre sommeil

Même si vous comptez parmi les personnes les plus désorganisées et que vous ne portez jamais de montre, il y a pourtant une horloge dont vous ne vous départissez jamais : votre horloge interne. Cette horloge biologique contrôle, entre autres, la succession des périodes d'activité et de sommeil. Or, une fois de plus, les bactéries intestinales feraient entendre leur petite musique jusque dans cette belle mécanique.

"Le microbiote influence la machinerie moléculaire

qui contrôle les rythmes circadiens et le comportement relatif au sommeil chez les mammifères. Il semble donc que le microbiome puisse avoir une influence sur le cycle sommeil/éveil de l'hôte, même si des preuves tangibles de cette influence manquent encore", explique prudemment Eran Elinav, chercheur au département d'immunologie à l'Institut Weizmann des sciences, en Israël.

En 2013, une étude a relevé que des rongeurs élevés en condition stérile et dépourvus de tout

microbiote intestinal subissaient une nette diminution de l'expression des gènes de leur horloge interne. Autrement dit, leur horloge est comme "grippée" par l'absence de microbiote. A l'inverse, les chercheurs ont remarqué que les bactéries intestinales produisent naturellement des molécules – en particulier des acides gras à courtes chaînes – qui semblent capables de "dégripper" les rouages biologiques de l'horloge interne en modulant directement l'expression de ses gènes.

Plus directement, le microbiote jouerait également un rôle dans la survenue d'un bon sommeil... Pourquoi ? Parce que la qualité de nos nuits est influencée par la production de mélatonine, une hormone connue pour favoriser l'endormissement. Or, pour fabriquer de la mélatonine, notre organisme

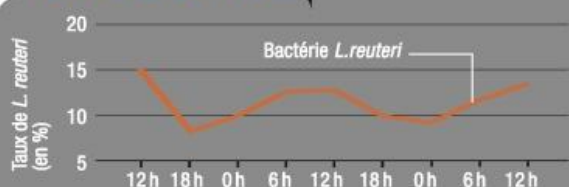
a besoin de sérotonine. Et il se trouve que la sérotonine est synthétisée à 95 %... au niveau des intestins, sous l'influence du microbiote ! Les bactéries la fabriquent en effet en utilisant un acide aminé baptisé "tryptophane".

La matière première de l'hormone du sommeil

Pour bien dormir, nous aurions donc tout intérêt à apporter du tryptophane à notre flore intestinale en consommant de préférence des aliments qui en sont riches, comme la banane, le lait, la dinde, l'ananas, les œufs, les dattes, les noix, la laitue. Mais l'alimentation n'est pas la seule source de tryptophane : le microbiote en fabrique lui-même une bonne part. Ce qui confirme un peu plus que nos bactéries ont donc bien la main sur la "matière première" de notre hormone du sommeil.

H.R.

LA PREUVE PAR...



L'évolution de la concentration, sur 24 h, de la bactérie *Lactobacillus reuteri* montre que microbiote et horloge biologique suivent le même rythme. Au plus haut à midi, elle chute dans la nuit.

Source: Cell, 2014

Il influe sur... notre vivacité d'esprit et sur notre mémoire

Et si la clé de notre vivacité d'esprit se situait dans notre ventre? De nouvelles études laissent en effet penser qu'il mérite définitivement son titre de "deuxième cerveau"! Ainsi, cette expérience publiée en août 2015 qui fait le lien entre les bactéries intestinales, la mémorisation et la flexibilité cognitive et adaptative, grâce à des souris dont la flore intestinale a été perturbée par différents régimes alimentaires. Un premier groupe a adopté des menus très riches en gras; un autre des plats très riches en sucres et le dernier s'est contenté d'un régime classique et équilibré pour rongeurs. Deux semaines plus tard, des changements majeurs dans la composition de leur microbiote étaient déjà visibles: chez les souris qui avaient mangé plus gras et plus sucré, le nombre de

bactéries de l'ordre des Clostridiales avait augmenté, alors que la proportion de Bacteroidales avait, elle, diminué (en particulier chez les grosses consommatrices de sucres). Un mois et demi plus tard, ces perturbations intestinales semblaient être "remontées" jusqu'au cerveau! En effet, les souris "trop nourries", au microbiote perturbé, affichaient de moins bons résultats lorsqu'elles étaient soumises à des tests de mémorisation et de flexibilité cognitive.

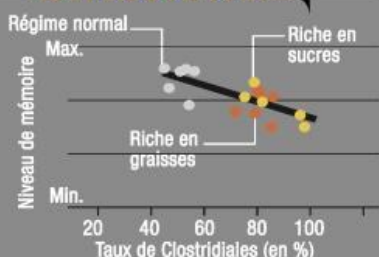
Capacité d'adaptation

Pour se faire une idée de la nature de ces tests, imaginez-vous dans votre voiture: vous avez appris le chemin le plus direct pour rentrer chez vous et ce parcours vous est devenu très familier. Or, un jour, la route est barrée. Face à cet obstacle, des personnes

dotées d'une grande flexibilité cognitive retrouvent immédiatement un itinéraire bis, quand celles qui ont des capacités cognitives moindres éprouveront des difficultés à s'adapter, et seront donc stressées.

Or, voilà précisément ce qu'ont vécu au cours de leur test les souris dont le microbiote avait été perturbé. Pour les auteurs de l'étude, les bactéries intestinales sont donc capables de produire des métabolites qui atteignent le cerveau. Par voie sanguine, en agissant sur les neurones de l'intestin et l'axe nerveux intestin-cerveau? Leurs modalités de transport restent encore bien mystérieuses. **H.R.**

LA PREUVE PAR...



Il fait basculer... notre hérédité du côté de la mère

Vous pensez que vous ressemblez plus à votre mère qu'à votre père ? Cela ne se joue pas forcément dans votre tête... mais peut-être du côté de votre ventre ! Contrairement à nos gènes, les bactéries qui peuplent nos intestins ne sont pas le fruit d'un mélange à parts égales entre nos deux parents : elles proviennent dans leur écrasante majorité de la mère.

En effet, les femmes transmettent leur microbiote à leur enfant au moment de l'accouchement, mais aussi pendant l'allaitement (le lait maternel contient un grand nombre de bactéries intestinales) et, si l'on en croit des études de plus en plus nombreuses, au cours du développement intra-utérin. Alimentation, prise d'antibiotiques, infections... tout ce qui agit sur le microbiote d'une femme est donc susceptible d'influer sur celui de ses futurs enfants. *"La mère a une*

influence importante sur le microbiote de son enfant", confirme Kjersti Aagaard, professeur associé au département de gynécologie et obstétrique de l'université Baylor (Etats-Unis).

Un héritage qui persiste

Mais alors, puisque le microbiote spécifique de chaque individu influence de nombreux caractères physiques et mentaux, ne pourrait-il pas aussi influencer la transmission de ces caractères des parents aux enfants ? Et par là même renforcer le rôle de la mère dans l'hérédité ?

Rien ne permet encore de le démontrer formellement, mais quelques observations amènent à le suspecter. Une dissymétrie entre le poids des héritages maternel et paternel a, par exemple, été observée pour plusieurs caractères, comme l'obésité, qui est plus fréquente chez les enfants de mère obèse

que chez ceux dont seul le père est affecté. Certes, d'autres phénomènes biologiques et culturels (éducation nutritionnelle, notamment) que la transmission du microbiote peuvent expliquer ce déséquilibre, mais des tests publiés en 2014 par des chercheurs américains montrent que, deux ans après leur naissance, les enfants dont les mères sont obèses présentent encore des proportions importantes de bactéries suspectées d'être impliquées dans l'obésité. Le microbiote pourrait donc bien, lui aussi, jouer un rôle.

Même si, avec le temps, les enfants s'éloignent de leur mère... tout comme leur microbiote intestinal, qui va évoluer et s'enrichir en fonction de l'environnement et du mode de vie de l'individu.

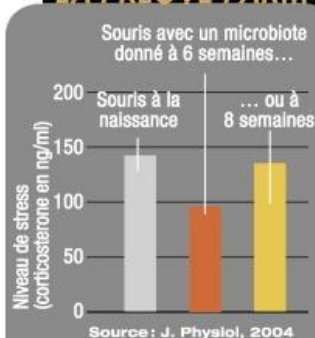
"Le microbiote est très dynamique durant les premières années de la vie", confirme Jörn-Hendrik Weitzkamp, chercheur en pédiatrie à l'université Vanderbilt (Etats-Unis). Le profil microbien hérité de la mère n'est cependant pas entièrement réversible. Ainsi, une étude publiée en janvier

dernier a démontré, chez la souris, que la faible diversité du microbiote intestinal de la mère, provoquée par un régime alimentaire pauvre en fibres, persistait en partie chez ses descendants, même si ces derniers adoptaient, dès la naissance, une alimentation riche en fibres.

Surtout, même si le microbiote pouvait être radicalement transformé à l'âge adulte, cela n'annulerait pas tous les effets induits par celui porté durant les premiers mois de la vie, car ce dernier *"exerce alors son influence sur une période critique du développement des organes et du système immunitaire"*, explique Jörn-Hendrik Weitzkamp. Plusieurs expériences sur des rongeurs l'ont démontré, par exemple celle menée en 2004 par des chercheurs japonais sur des souris nées sans bactéries : elles présentaient un stress excessif, que la transplantation d'un microbiote sain, quatre mois après la naissance, ne parvenait pas à apaiser.

E.A.

LA PREUVE PAR...



La transplantation d'un microbiote chez des jeunes souris a d'autant moins d'impact sur elles qu'on s'éloigne de leur naissance. Cette expérience prouve que le microbiote porté au début de la vie (habituellement hérité de la mère) est le plus déterminant.



À LA UNE

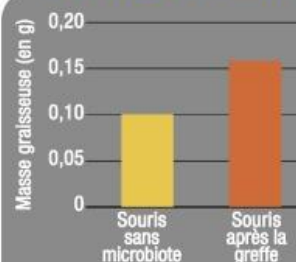
Il dicte... nos apports en énergie, notre croissance et notre prise de poids

Une fâcheuse tendance à l'embonpoint? Les chercheurs relèvent de plus en plus précisément l'influence directe de notre flore intestinale! Ainsi, Jeffrey Gordon et son équipe ont démontré, en 2004, que les bactéries du ventre favorisent le stockage des graisses. Ils ont d'abord constaté avec surprise que des souris sans microbiote, qui recevaient celui de souris normales, voyaient leur masse grasseuse grimper de 60% alors qu'elles étaient soumises à une restriction alimentaire. Puis, dans une

seconde étude, ils ont montré que tout dépendait de la composition de ce microbiote! En analysant celui de patients obèses, les chercheurs ont noté que ceux-ci ont une proportion de bactéries *Firmicutes* plus importante que les personnes minces, et une proportion de *Bacteroidetes* plus faible (rapport *Firmicutes/Bacteroidetes* de 95/5, contre 70/30). Ce n'est pas tout: sans les bactéries intestinales, impossible de tirer de l'énergie des fibres alimentaires; de produire les vitamines K et B, cruciales pour

la croissance des cellules ou la coagulation; ou les acides gras à courte chaîne, sources d'énergie et régulateurs de nos défenses naturelles. Toutes ces substances sont en effet dégradées ou produites par la flore intestinale. Enfin, le microbiote régulerait aussi directement notre croissance. "Nous avons montré que des souches particulières de *Lactobacillus plantarum* optimisent l'activité du système hormonal qui contrôle la croissance infantile", explique le biologiste François Leulier (ENS, Lyon). **K.B.**

LA PREUVE PAR...



Une greffe du microbiote de souris normales sur des souris stériles provoque une augmentation de leur masse grasseuse, même quand elles sont soumises à un régime strict.

Source: PNAS, 2004

Il décide de... notre faim et des aliments qu'on aime manger

Préférer les mets sucrés ou, au contraire, ne pas les aimer particulièrement. Apprécier la saveur d'une boisson alcoolisée, ou non... Nos goûts et nos dégoûts alimentaires sont, sans conteste, liés à notre culture et à notre éducation. Pourtant, ils se décident aussi au plus profond de nous : dans notre ventre, où règnent des milliards de bactéries dont les chercheurs découvrent, depuis une dizaine d'années, qu'elles pourraient aller jusqu'à nous dicter notre comportement alimentaire.

Fin 2015, l'équipe de Sergueï Fetissov (Inserm, université de Rouen) – un pionnier dans ce domaine – a ainsi démontré que nos sensations de faim et de satiété découlent directement de l'appétit de nos bactéries intestinales ! *"Réalisés sur la bactérie E. coli cultivée en éprouvettes et chez le rat, nos travaux montrent qu'une fois 'rassasiées', les bactéries intestinales produisent des protéines qui stimulent*

la sécrétion d'hormones de satiété [peptide YY...]; lesquelles signalent au cerveau qu'il est temps d'arrêter de manger", précise Sergueï Fetissov.

Des bactéries qui préfèrent le chocolat

Plus étonnant : nos aliments préférés pourraient bien être aussi ceux que nos bactéries préfèrent ! En plus de déclencher et stopper la prise alimentaire, les bactéries de notre microbiote nous imposeraient, en effet, "leurs" préférences pour le sucré, le gras ou le chocolat ! Et ce, *"en nous manipulant afin de nous pousser à manger ce qui favorise leur propre croissance, même si cela peut être néfaste pour notre santé !"*, explique la chercheuse américaine Athena Aktipis (université d'Etat de l'Arizona), co-auteur de cette surprenante thèse. Car nos bactéries intestinales ont des besoins nutritifs différents, selon leur type. Ainsi les *Prevotella* poussent mieux

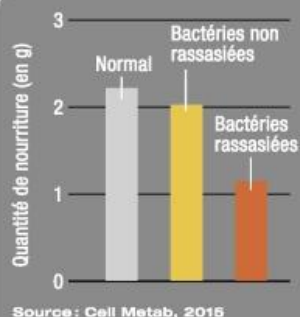
sur les glucides (sucres) et les bifidobactéries sur les fibres alimentaires.

"Des analyses dans le domaine de l'évolution suggèrent que les microbes pouvant manipuler le comportement alimentaire de leur hôte en leur faveur ont un avantage adaptatif sur les autres", précise Athena Aktipis. Pour atteindre leur but, les bactéries pourraient soit générer des envies pour leurs aliments "favoris", soit induire un sentiment déplaisant

(dystrophie) jusqu'à ce que l'on ingère ces mets. Ceci est possible grâce à différents mécanismes, *"dont la production d'hormones induisant la faim ou la satiété, la production de toxines perturbant notre humeur, ou l'altération des récepteurs du goût ou des signaux nerveux entre l'intestin et le cerveau"*.

D'autres travaux, publiés par l'équipe de Philippe de Timary (université catholique de Louvain), suggèrent, eux, que nos bactéries intestinales pourraient

LA PREUVE PAR...



L'injection de molécules sécrétées par la bactérie *E. coli* chez des rats affamés modifie leur appétit. Si ces molécules sont elles-mêmes issues de bactéries affamées, les rats mangent deux fois plus (en jaune), que ceux qui ont reçu des bactéries rassasiées (en rouge).



aussi expliquer pourquoi certains d'entre nous aiment plus que la moyenne... l'alcool (sans forcément en devenir dépendants)! "Menés à l'origine pour mieux comprendre les mécanismes de la dépendance à l'alcool, nos travaux indiquent qu'une perturbation de la composition et de l'activité de la flore peut induire une augmentation de l'envie de boire de l'alcool", résume Philippe de Timary. D'où l'hypothèse – non encore étudiée – que chez les personnes non dépendantes aussi, le niveau d'appétence pour l'alcool dépendrait de la composition de la flore intestinale. **K.B.**

Il détermine... la vitesse à laquelle nous vieillissons

Avec le temps, va, tout s'en va. A en croire les chercheurs, ce serait le cas de nombreuses espèces bactériennes qui composent notre microbiote intestinal. Les chercheurs se sont penchés de près sur le contenu des intestins de nos anciens et ont constaté qu'avancer en âge allait souvent de pair avec une réduction de la stabilité, et surtout de la diversité du microbiote. "Cette modification se fait progressivement et elle est particulièrement marquée si le régime alimentaire devient moins varié", explique Paul O'Toole, professeur en microbiologie à l'université de Cork en Irlande.

Mais ce que le scientifique a découvert, c'est que si la sénescence est la cause d'une dégradation de la qualité de notre microbiote, elle peut aussi en être la conséquence. Les bactéries qui tapissent nos intestins sont en effet

capables d'accélérer notre déjà inéluctable vieillissement! Il y a un siècle, Elie Metchnikoff, un scientifique russe, avait déjà suspecté que ce vieillissement pouvait être dû à une "auto-intoxication" intestinale par nos propres germes... Si, à l'époque, certaines espèces toxiques du genre *Clostridium* étaient tenues pour responsables, les choses sont moins tranchées aujourd'hui.

Pertes de fonctions

"Il est difficile de lier directement le vieillissement et un type de bactérie, affirme Paul O'Toole. Mais il est clair que des microbiotes appauvris en espèces sont plus enclins à induire une perte accélérée de fonctions liée au vieillissement."

Comment de si petites bactéries peuvent-elles jouer un rôle dans notre déclin? "La capacité métabolique totale des bactéries de l'intestin devient

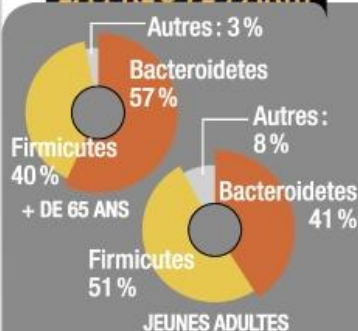
moindre. L'"usine" naturelle dans notre intestin ne nous aide plus à fabriquer des acides gras à chaîne courte, comme le butyrate, et des vitamines. Nous sommes fragilisés", développe Paul O'Toole.

Résultat: le microbiote influe sur l'état inflammatoire de son hôte et peut le rendre moins résistant.

Mais ce n'est pas tout. Selon lui, "nous vieillissons aussi parce que nous avons de plus en plus de difficultés à transformer les protéines en muscles. Or, nous pensons que l'appauvrissement des bactéries intestinales chez les personnes âgées rend leur intestin moins efficace pour absorber les protéines." Le microbiote jouerait donc un rôle actif dans l'apparition de ce que l'on appelle la sarcopénie.

Enfin, coup de grâce: il serait aussi responsable de la perte de fonctions cognitives (voir le module sur la mémoire, p. 57). "Les fonctions cognitives sont en partie liées à ce que l'on appelle l'axe cerveau-intestin, explique Paul O'Toole. Habituellement, elles déclinent lentement, mais ce déclin peut s'accélérer. Et des composés toxiques fabriqués par le microbiote pourraient jouer un rôle actif dans le processus." **H.R.**

LA PREUVE PAR...



L'évolution de la composition du microbiote montre, chez les personnes âgées, qu'il est non seulement moins varié, mais également dominé par les bactéries *Bacteroidetes*.

Source: PNAS, 2011

LE MICROBIOTE OUVRE LA VOIE À UNE NOUVELLE MÉDECINE

Les super-pouvoirs de notre ventre donnent de plus en plus d'idées aux médecins. Que ce soit dans la prévention ou les traitements, les recherches vont bon train. Avec des résultats déjà impressionnants.

Régulation du métabolisme, maturation du système immunitaire... Alors que nous commençons à mesurer à quel point nos bactéries intestinales participent à la plupart des fonctions biologiques nécessaires à notre survie, nous réalisons, en parallèle, combien notre mode de vie moderne les met à mal.

Prenez l'alimentation : elle est censée nourrir nos cellules, mais aussi nos bactéries. Or, la nourriture grasse, sucrée et pauvre en fibres que nous ingurgitons depuis quelques dizaines d'années ne leur réussit pas du tout ! De plus, "certains additifs présents dans les aliments industriels semblent néfastes", affirme Gabriel Perlemuter, chef du service Hépatogastro-entérologie à l'hôpital Antoine-Béclère (Hauts-de-Seine).

Idem pour la prise d'antibiotiques, qui attaquent de manière indiscriminée toutes formes de vie bactérienne. Ou pour l'hygiène excessive, qui semble être responsable d'une baisse de la colonisation de nos intestins.

Même constat pour les enfants nourris au biberon, qui sont privés des millions de bactéries présentes dans le lait maternel. Ou pour ceux, de plus en

plus nombreux, nés par césarienne, et qui héritent d'un microbiote moins varié que les enfants nés par voie naturelle, exposés aux bactéries vaginales et intestinales de leur mère.

NE PLUS AVOIR PEUR DES BACTÉRIES

Résultat, la flore intestinale des habitants des pays développés fait pâle figure. Des études ont montré qu'elle était beaucoup moins riche que celle de populations de chasseurs-cueilleurs de Tanzanie et d'Amazonie, ou que celle de fermiers africains. "Une personne sur quatre, dans les pays développés, a un déficit de bactéries intestinales d'environ 40 %. Or, résume le biochimiste Dusko Ehrlich, le microbiote doit être en bon état pour que tout l'organisme le soit."

Une inquiétude confirmée par les faits : obésité, diabète, autisme, dépression, schizophrénie, anorexie, alcoolisme, asthme, allergies, sclérose en plaques, cancers... En dehors même des pathologies digestives, la perturbation des bactéries intestinales a été corrélée à un nombre impressionnant de maladies. Parfois, le lien est même exceptionnellement fort : "L'analyse du microbiote permet de prédire avec

> Faire analyser sa flore intestinale puis manipuler sa composition pourrait constituer demain une piste de prévention courante.

une fiabilité de 90 % le risque d'obésité, contre seulement 60 % pour l'analyse de notre génome", affirme Rob Knight, directeur d'un laboratoire spécialisé dans l'analyse de communautés bactériennes à l'université de Californie de San Diego.

Certes, pour beaucoup de maladies, le lien de cause à effet n'a pas pour l'instant été formellement démontré. Et bien sûr, "les anomalies du microbiote ne suffisent probablement pas, à elles seules, à déclencher une maladie", précise Gabriel Perlemuter. Mais les études s'accumulent pour suggérer que la perturbation de nos bactéries intestinales favorise l'apparition de beaucoup d'entre elles.

Le constat est dur. Mais il représente en réalité une très bonne nouvelle. Car en révélant une cause jusqu'alors insoupçonnée d'une grande partie





À LA
UNE

des maladies qui nous accablent, il ouvre, du même coup, une piste inédite pour s'en débarrasser !

Certes, cela invite d'abord à renouveler les conseils de prévention bien connus. Ainsi, il s'avère toujours plus indispensable d'avoir un régime alimentaire équilibré, en particulier plus riche en fibres (céréales complètes, fruits et légumes...); ou d'être plus souple sur l'hygiène, *"en laissant, par exemple, les enfants mettre leurs jouets à la bouche"*, comme le conseille Gabriel Perlemuter; ou enfin, quand c'est possible, de privilégier l'allaitement.

Les médecins sont également invités à changer, encore plus qu'avant, certaines de leurs pratiques en limitant au strict nécessaire l'usage des antibiotiques et des césariennes. Tandis que des laboratoires travaillent,

d'un côté, sur des antibiotiques capables de reconnaître spécifiquement l'ADN de certaines espèces de bactéries pathogènes, afin d'éviter d'abîmer l'ensemble de la flore intestinale; et, de l'autre, testent la possibilité de normaliser le microbiote des enfants nés par césarienne, en les exposant aux fluides vaginaux maternels juste après la naissance, à l'aide d'une simple bande de gaze.

MANIPULER SON MICROBIOTE

Mais à l'avenir, la prévention ne se résumera probablement pas à renforcer les conseils existants. *"Les gens feront régulièrement analyser leur microbiote intestinal"*, prédit par exemple John Cryan, neuropharmacologiste à l'University College de Cork (Irlande). En effet, *"alors qu'on ne peut pas faire grand-chose aujourd'hui*

quand on identifie des facteurs de risque dans le génome, le microbiote, lui, permet d'agir", s'enthousiasme Dusko Ehrlich.

Comment ? C'est justement sur cet aspect que les scientifiques ont concentré leurs efforts. Avec, à la clé, plusieurs nouveaux outils préventifs, mais aussi thérapeutiques, bientôt à la disposition de tout le monde.

Il y a, évidemment, la bonne vieille méthode des médicaments chimiques. Il s'agit ici de compenser artificiellement les déficiences de notre microbiote intestinal, de manière à ce que ses problèmes ne deviennent pas les nôtres. Par exemple, en apportant les molécules que notre microbiote n'arrive plus à produire en quantités suffisantes ou, au contraire, en supprimant les effets de celles qu'il produit à l'excès. ➔

Cette deuxième voie a fait la preuve de son potentiel en décembre dernier : un médicament a inhibé la production, par des bactéries intestinales stimulées par un régime riche en graisses animales, d'une molécule qui favorise la formation de plaques d'athérome dans les vaisseaux sanguins, ce qui a amélioré la santé vasculaire des souris qui l'ont reçu. Et pourrait donc servir à prévenir l'infarctus chez des personnes à risque.

PRÉVENIR OBÉSITÉ, CANCERS...

Mais la véritable révolution thérapeutique est ailleurs, dans la manipulation directe de notre microbiote. Avec une promesse simple : en améliorant sa composition, les médecins pourraient agir directement à la source des maladies et améliorer durablement notre état de santé. Une promesse poursuivie depuis quelques années par de nombreux laboratoires et un nombre croissant de *start-up*.

La première stratégie consiste à soigner nos bactéries intestinales en leur apportant, à fortes doses, leur nourriture préférée. C'est le principe des prébiotiques, c'est-à-dire des composants alimentaires (principalement des fibres, comme les fructo-oligosaccharides présents dans les oignons, asperges, graines...) qui peuvent venir en supplément de

Vers de nouvelles façons de se soigner

l'alimentation, par exemple sous forme de gélules, dans le but d'activer la prolifération de nos bonnes bactéries.

Plusieurs études en ont déjà souligné les effets bénéfiques. Sur des modèles animaux, tout d'abord, des expériences ont montré une diminution de la masse grasse, une amélioration du profil métabolique (baisse du cholestérol, des triglycérides...) et même une diminution du risque de cancer. Puis, en février dernier, des travaux ont suggéré que l'enrichissement du lait maternel avec certaines molécules prébiotiques pouvait renforcer la croissance et améliorer l'état de santé des enfants dénutris. Enfin, chez l'homme, quelques études suggèrent aussi des bénéfices, tels que la prévention de l'eczéma du nourrisson et un léger amaigrissement chez les personnes en surpoids.

La seconde stratégie est, elle, encore plus radicale : plutôt que de mieux nourrir nos bactéries, pourquoi ne pas en importer de nouvelles directement dans notre corps ?



La transplantation fécale

Efficace contre certaines infections, cette technique, qui consiste à inoculer une partie du microbiote d'une personne saine chez un malade grâce à des échantillons de selles, est testée contre des maladies métaboliques et auto-immunes.

Une manière d'y arriver est d'ingérer une ou plusieurs espèces de bactéries sous la forme de gélules, afin qu'elles colonisent nos intestins. C'est le principe des probiotiques. Ce terme, l'industrie agroalimentaire l'a longtemps utilisé pour vendre des yaourts et autres compléments censés améliorer la digestion ou "renforcer les défenses naturelles". Sauf que ces produits n'ayant jamais fait la preuve de leur efficacité, aucun n'a plus le droit à cette appellation aujourd'hui en Europe. D'autres mélanges bactériens, encore au stade de la recherche, promettent cependant de tirer, bientôt, des bénéfices de véritables probiotiques. Car ils commencent à faire la preuve, parfois épatante, de leurs effets.

Ils semblent par exemple pouvoir agir sur le cerveau : des effets de diminution du stress et d'amélioration de l'humeur ont été observés (voir p. 54), et une expérience a même suggéré leur potentiel pour traiter l'autisme !

Un super-microbiote OGM ?

Et si on développait des super-microbiotes, à l'aide de probiotiques génétiquement modifiés de manière à exercer des actions bénéfiques inédites ? C'est ce qu'envisagent plusieurs laboratoires, dont celui de Philippe Langella, chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra). En 2012, il a soigné des souris atteintes de maladies inflammatoires chroniques de l'intestin à l'aide de bactéries OGM produisant une molécule anti-inflammatoire. Mais leur potentiel est plus large : *"Des micro-inflammations des intestins ont été retrouvées dans l'autisme, le diabète, l'obésité... donc on pourrait imaginer utiliser à l'avenir une technique similaire contre ces maladies"*, note le chercheur. Sans compter qu'une meilleure compréhension des effets du microbiote permettra sans doute la production d'OGM possédant d'autres modes d'action.

E.A.



Les bienfaits de l'exposition au microbiote maternel

La flore des enfants nés par césarienne est altérée. Les chercheurs envisagent de les exposer artificiellement aux bactéries vaginales de leur mère.

À LA UNE



Une nouvelle génération d'antibiotiques sélectifs

Si une utilisation plus raisonnée des antibiotiques est prônée, les laboratoires travaillent aussi sur des médicaments moins destructeurs de toute la flore intestinale.

Certes, chez l'humain, les données manquent encore, mais des résultats impressionnants ont été obtenus en 2013 sur des souris, dont la plupart des symptômes avaient été éradiqués par un traitement oral par bactéries *Bacteroides fragilis*.

Des effets positifs ont également été observés contre des maladies inflammatoires, tels qu'une prévention de l'eczéma ou une atténuation des rhumatismes. Mais c'est contre les troubles métaboliques que les résultats sont les plus nombreux, avec, chez l'animal comme chez l'humain, une baisse du cholestérol, une perte de poids →

Des pré- et probiotiques qui régulent la flore intestinale

Des bactéries (probiotiques), ou des molécules qui favorisent la prolifération des nôtres (prébiotiques) seraient prises en complément de l'alimentation.



Une alimentation équilibrée

Moins grasse, moins sucrée et surtout plus riche en fibres (céréales complètes, fruits, légumes), elle préserve la richesse du microbiote intestinal.



et une amélioration du contrôle de la glycémie constatés. Enfin, une étude publiée au mois de janvier dernier a montré, chez la souris, que la prise de probiotiques diminuait de 40 % le développement de tumeurs du foie !

En plus de tous ces effets potentiels, les probiotiques ont un avantage conséquent : *"Ils présentent peu de risques d'effets secondaires, car nous avons vécu et évolué avec ces bactéries pendant des milliers d'années, affirme Bernat Olle, biologiste et directeur de Vedanta Biosciences, une start-up qui développe des traitements agissant sur le microbiote. Je pense donc qu'ils constitueront des traitements de première ligne, qui seront testés avant d'envisager d'autres options thérapeutiques."*

A quand, alors, leur entrée dans les pharmacies ? *"Il faudra d'abord identifier les meilleures souches de bactéries à donner à chaque patient, et déterminer en quelle quantité et à quelle fréquence les administrer"*, prévient le psychiatre Guillaume Fond (fondation FondaMental). Ce qui nécessitera une meilleure connaissance du fonctionnement de l'écosystème extrêmement complexe que constitue notre microbiote intestinal.

UNE RÉVOLUTION THÉRAPEUTIQUE

En attendant, une autre piste est testée sur des patients : la transplantation fécale. Soit le transfert de l'ensemble des bactéries intestinales d'un individu en bonne santé à un autre, malade, par inoculation d'un échantillon de selles dans le côlon.

Une technique a priori rebutante, mais qui s'est beaucoup développée ces dernières années pour soigner les infections à des bactéries de l'espèce *Clostridium difficile*, résistantes aux antibiotiques. Ce qui a permis dans le même temps d'analyser ses effets sur les autres maladies dont les patients pouvaient souffrir. Et de constater quelques améliorations des symptômes sur une personne atteinte de Parkinson, et quelques autres souffrant de sclérose en plaques ou d'autisme.

L'intestin est aussi peuplé de virus et de levures

Un autre peuple, insoupçonné, colonise notre intestin : les virus. C'est en séquençant l'ensemble de l'ADN présent dans le tube digestif que les microbiologistes l'ont découvert. *"Comme une boîte noire qu'on vient à peine d'ouvrir, l'identité de ces virus est à 90 % inconnue !"*, indique Marie-Agnès Petit (Inra), cosignataire de l'une des études pionnières sur le sujet. La plupart seraient des phages, c'est-à-dire des virus infectant les bactéries, capables d'intégrer leur génome à celui de leur hôte. Avec quelles conséquences pour les bactéries du microbiote ? *"Ils peuvent favoriser les souches qu'ils infectent, mais aussi les détruire"*, rapporte la chercheuse. Des déséquilibres du microbiote pourraient ainsi bientôt trouver une explication. Et c'est sans compter d'autres microscopiques habitants de l'intestin : les levures, qui commencent à peine à être étudiées.

F.G.

Si ces observations isolées ne prouvent rien, elles ont cependant favorisé la mise en place d'essais cliniques visant à tester les effets de la transplantation fécale sur des maladies qu'on aurait pensé, il y a encore quelques années, n'avoir aucun lien avec nos intestins. Résultat : des chercheurs ont déjà observé une diminution des troubles liés au syndrome de fatigue chronique et une augmentation de la sensibilité à l'insuline (marqueur de bonne santé métabolique) chez des patients obèses. Des essais sont également en cours contre le diabète de type 2 et plusieurs maladies auto-immunes.

C'est donc bien une vaste et profonde révolution thérapeutique que nous promet la manipulation du microbiote intestinal. *"Je pense que cette stratégie va devenir un domaine important de la médecine, et transformer les pratiques"*, prédit Bernat Olle.

Une nouvelle médecine, dont il faudra, bien sûr, mesurer les limites. *"Tous les malades ne présentent pas d'altération du microbiote, et chez ceux-là, les interventions risquent de n'apporter aucun bénéfice, prévient Guillaume Fond. Les soins touchant au microbiote devront donc s'intégrer dans la médecine personnalisée."*

Une analyse partagée par de nombreux chercheurs, dont Bernat Olle, qui remarque cependant que *"cela va prendre du temps de reconnaître les personnes les plus à même de bénéficier du traitement. Il est donc probable que se développent dans un premier temps des cocktails de probiotiques standardisés, pour tout le monde"*.

Les paris sont lancés. Mais quelle que soit la forme qu'elle prend, si elle tient ses promesses, la médecine "microbiotique" devrait transformer de nombreuses spécialités médicales, de la cancérologie à la psychiatrie.

"L'origine de toutes les maladies se trouve dans l'intestin", affirmait Hippocrate, il y a vingt-quatre siècles. Les scientifiques sont en train de concrétiser la géniale intuition du "père de la médecine" : le ventre sera, bientôt, la clé de notre santé.

E.A.

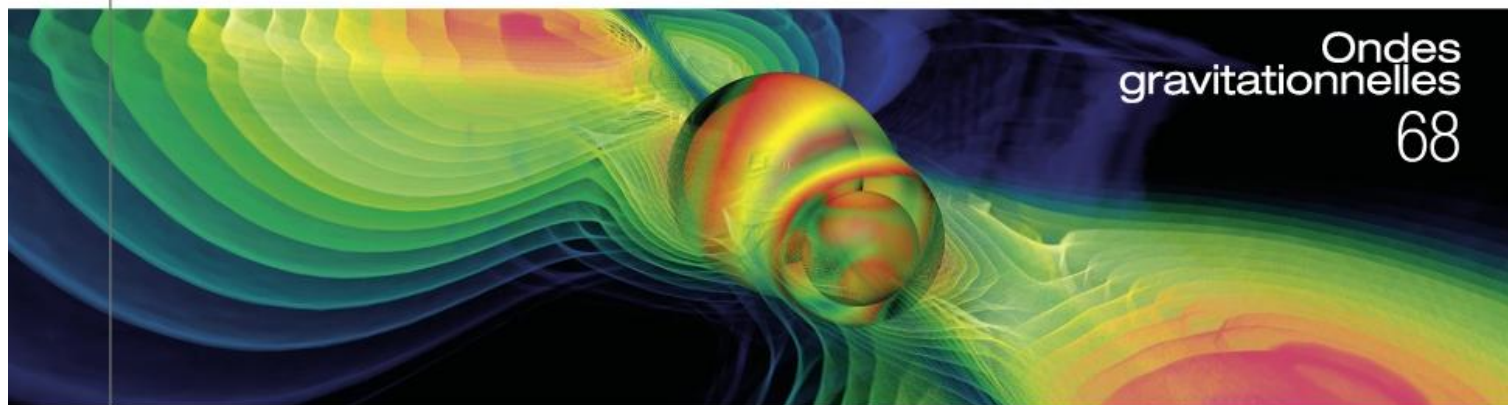


A lire : les principales études citées dans le dossier, et des ouvrages de référence de Gabriel Perlemuter et Patrice Debré.

A regarder : des vidéos des conférences de John Cryan et Rob Knight.

science-et-vie.com

& Science découvertes



Ondes
gravitationnelles
68



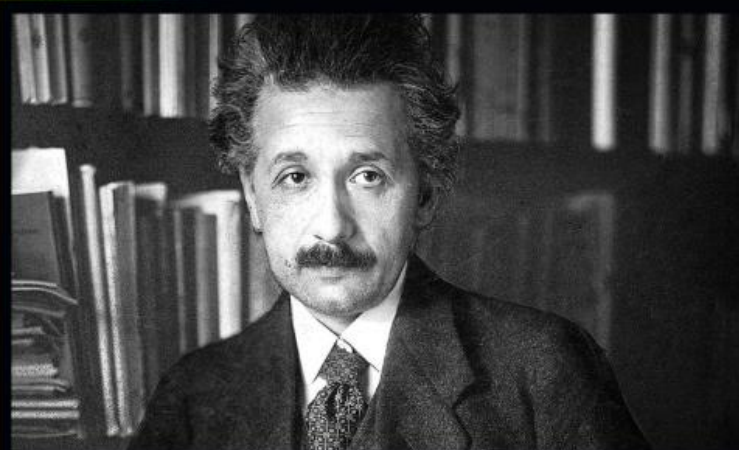
Loi de la jungle
71



Exoplanètes
74



Berceau de l'humanité
82



1916 Naissance théorique des ondes gravitationnelles

Peu après avoir présenté sa théorie de la relativité générale, Albert Einstein émet l'hypothèse des ondes gravitationnelles. Si l'espace-temps peut être étiré, contracté, replié... il peut également tressaillir et vibrer comme une corde de violon ou la surface de l'eau.

^ Avant d'en avoir la preuve, les physiciens étaient parvenus à simuler les ondes gravitationnelles générées par la collision de deux trous noirs.



1960 La première tentative de détection

Le physicien américain Joseph Weber comprend qu'à certaines fréquences les déformations de l'espace-temps prédites par la théorie de la relativité générale peuvent faire vibrer un solide. Il construit le premier détecteur d'ondes gravitationnelles. Sans succès.



1974 Elles sont mesurées indirectement

Russell Hulse et Joseph Taylor (de g. à dr.) découvrent le pulsar PSR B1913+16. Taylor va ensuite observer, cette fois avec Joel Weisberg, que la période orbitale de ce système stellaire double décroît précisément comme le prédit la théorie d'Einstein. L'existence des ondes gravitationnelles est indirectement démontrée.

Ondes gravitationnelles

Un exploit historique

RDA - DR - FRANCFORT UNIV. - MAX PLANCK INST. FOR GRAVITATIONAL PHYSICS / ZUSE INSTITUTE BERLIN / CENTER FOR COMPUTATION & TECHNOLOGY - LOUISIANA STATE UNIV.

Enjeu

La théorie de la relativité générale considère la gravitation comme une déformation de la structure de l'espace-temps. Quand des corps massifs sont en mouvement accéléré, cet espace-temps peut être traversé par des ondes dites "gravitationnelles" qui, comme les ondes mécaniques, se propagent à travers un corps. Une prédiction jusqu'ici théorique...

Enfin ! Cent ans après que leur existence a été prédite, les fameuses ondes gravitationnelles ont été observées. Preuve qu'elles se propagent bel et bien dans l'espace-temps et, donc, de la nature de celui-ci ! Un événement qui, assure **Mathieu Grousseau**, marque une date dans la physique.



2004 Le grand détecteur Ligo entre en service

Situé en Louisiane (Etats-Unis), le détecteur Ligo entame son premier round d'observation, suivi en 2007 par son alter ego européen Virgo. Pas assez sensibles, les deux expériences restent muettes et sont suspendues en 2011, le temps d'en mettre au point des versions plus performantes.



2015 La première véritable observation

Le 14 septembre, à 11 h 51, l'expérience Advanced Ligo enregistre un signal. Qui s'avère, après cinq mois d'analyses, la première preuve observationnelle de l'existence des ondes gravitationnelles. Celles-ci venant de la collision de deux trous noirs qui s'est produite il y a 1,3 milliard d'années.

Tout a commencé il y a 1,3 milliard d'années aux confins d'une galaxie lointaine. En orbite l'un autour de l'autre, deux trous noirs de 29 et 36 masses solaires sont entrés en collision à la vitesse de 200 000 km/s avant de fusionner. Dans la violence du processus, un échantillon de matière équivalent à 3 masses solaires s'est mué en énergie pure. Précisément sous la forme des ondes gravitationnelles prévues par la relativité générale, la théorie einsteinienne de la gravitation. A savoir: de la même manière qu'un caillou jeté dans l'eau en déforme la surface, l'espace lui-même s'est mis à bouger. A la vitesse de la lumière, cette déformation a alors commencé à se propager dans toutes les directions à travers le cosmos, comme une ride sur un lac.

LIGO - NSF
Le 14 septembre 2015, à 11 h 51, cette onde a atteint la Terre. Où, même très atténuée,

elle n'a pas échappé aux deux amplificateurs géants de l'expérience Ligo, situés en Louisiane et dans l'Etat de Washington.

"ON A VU L'ESPACE VIBRER!"

Ces deux interféromètres laser géants ont été conçus pour détecter les infimes déformations de l'espace générées par le passage d'ondes gravitationnelles entre leurs deux bras perpendiculaires distants de 4 km chacun. Cette fois, le rendez-vous eut lieu: Ligo a enregistré une contraction de l'ordre de 100 000 milliards de fois inférieure au diamètre d'un cheveu! Conséquence de l'onde gravitationnelle générée 1,3 milliard d'années plus tôt.

"Le signal était très fort et, au premier coup d'œil, conforme à la théorie", se souvient Jean-Yves Vinet, à l'Observatoire de la Côte d'Azur, membre de la collaboration Ligo/Virgo. "On a vu l'espace vibrer, s'enthousiasme Thibault Damour, à l'Institut

des hautes études scientifiques, à Bures-sur-Yvette. Cent ans après la prédiction, c'est un véritable triomphe de la raison, un événement majeur dans l'histoire de l'humanité!"

"C'est comme accéder à un nouvel organe des sens, se réjouit Carlo Rovelli, au Centre de physique théorique de Luminy. Avec les ondes électromagnétiques, nous avons désormais un deuxième type d'ondes fondamentales pour observer l'Univers." Coalescence d'étoiles à neutrons, explosion d'étoiles, pulsars atypiques... Autant d'événements jusqu'ici mal ou pas connus. "Tout commence maintenant", lâche Benoît Mours, au Laboratoire de physique des particules d'Annecy-le-Vieux, responsable en France du projet Virgo. Un peu comme tout avait commencé, il y a quatre siècles, lorsque Galilée décida d'utiliser sa lunette pour amplifier les ondes lumineuses des astres.



A consulter : la publication des chercheurs, le site de l'expérience et les pages de l'Institut des hautes études scientifiques.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Loi de la jungle

La preuve par les arbres

C'est une règle implacable : toutes les forêts tropicales s'organisent en une multitude de petits arbres dominée par quelques géants. Une étrange "loi de la jungle" dont les ressorts viennent d'être élucidés, nous explique **Vincent Nouyrigat**.

C'est un monde impénétrable. Un enfer végétal, capable d'égarer n'importe quel explorateur aguerri. Et de briser le moral de tout biologiste qui chercherait à comprendre cet écosystème d'une complexité folle. En un mot : la jungle. Ou, plus exactement, la forêt tropicale humide. Comme celle que l'on rencontre à Bornéo, au Brésil ou au Congo.

Repères

La forêt tropicale humide est présente en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie. Cette jungle constitue le principal réservoir mondial de la biodiversité : on y trouve une centaine d'essences d'arbres par hectare. Elle est aussi un acteur clé du climat : la biomasse de la seule Amazonie renferme l'équivalent de 700 milliards de tonnes de CO₂, soit quinze ans d'émissions anthropiques.

A première vue, cet univers ne semble obéir à aucune loi : la biodiversité exubérante qui y règne paraît s'être développée de façon totalement anarchique. Simple apparence ! Car ces espaces sauvages sont régis par une organisation implacable et... profondément inégalitaire.

Disons-le : ces jungles cachent une "loi de la jungle". Laquelle est même connue des spécialistes depuis une quarantaine d'années. Lorsqu'ils ont découvert que ces populations d'arbres faisaient émerger d'étonnantes régularités statistiques, confirmées depuis par nombre d'études.

Que dit cette loi ? Que dans n'importe quelle forêt tropicale, toutes espèces confondues, le gabarit des arbres – le

diamètre du tronc – se répartit à l'identique, suivant toujours la même courbe, qui longe une exponentielle décroissante avant de décrocher (voir p. 73).

Comprenez : la jungle se compose de très rares géants qui règnent sur la canopée et d'une armada d'arbrisseaux. C'est invariable. Toute forêt vierge s'organise en une petite clique de dominants et une plèbe de dominés assez insignifiants. Si c'était l'anarchie, on trouverait toutes les configurations forestières possibles, selon les espèces, les sols, les reliefs. Ici il y aurait plus de petits arbres, là le contraire, ou bien ce serait égal. Eh bien non !

"La forêt tropicale naturelle est un système très élitiste, lance Stéphane Traissac, chercheur en dynamique forestière

L'Amazonie absorbe de moins en moins de CO₂

La jungle amazonienne est en train de se transformer. Une nouvelle étude menée sur 321 stations de mesure au cœur de la forêt révèle que le taux de mortalité des arbres ne cesse d'augmenter: environ 11 pertes par hectare et par an aujourd'hui, contre 7 en 1985. *"On assiste à la prise de pouvoir d'arbres qui grandissent vite et meurent vite, des espèces 'James Dean' en quelque sorte",* évoque le biologiste Jérôme Chave. En cause? La concentration de l'atmosphère en CO₂, sans cesse croissante, doperait ces arbres... jusqu'à l'épuisement prématuré. Tandis que les dominants de haute stature paraissent très vulnérables à la multiplication des sécheresses – sous l'effet du réchauffement climatique. La conséquence est loin d'être anecdotique: la capacité d'absorption du CO₂ de cette forêt primaire a chuté de 30 % par rapport aux années 1990.

→ au laboratoire Ecologie des forêts de Guyane, à Kourou. *Elle est composée en grande partie de spécimens qui ne pousseront pas et périront sans se reproduire.*"

Seulement voilà: les raisons biologiques de cette hiérarchisation en règle demeuraient jusqu'ici obscures. *"Cette distribution est d'autant plus mystérieuse qu'elle s'applique à toutes les forêts tropicales, quelles que soient leurs caractéristiques",* ajoute Caroline Farrior, post-doctorante à l'Institut américain pour la synthèse mathématique et biologique

(NIMBioS, université du Tennessee). Laquelle vient de publier la théorie la plus simple, concise et convaincante sur cette incroyable inégalité forestière. *"Enfin une explication nouvelle et séduisante de ce phénomène!",* s'enthousiasme Stéphane Traissac.

Plutôt que d'y voir le résultat d'un hypothétique équilibre global de la forêt, la chercheuse américaine s'est concentrée sur les déséquilibres locaux: à savoir, la mort naturelle d'un géant. En effet, la chute d'un dominant crée une trouée de lumière dans la



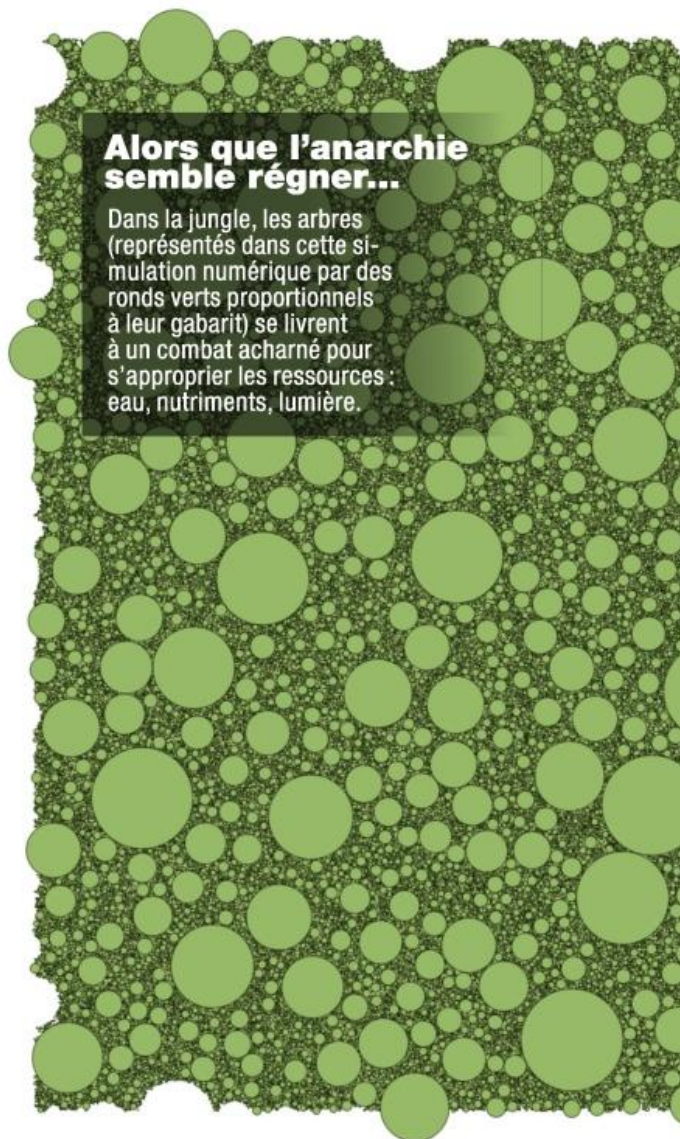
CAROLINE FARRIOR

Auteur d'une étude sur la loi de la jungle (institut NIMBioS, Etats-Unis)

Cette mystérieuse distribution s'applique à toutes les forêts tropicales, sans exception

Alors que l'anarchie semble régner...

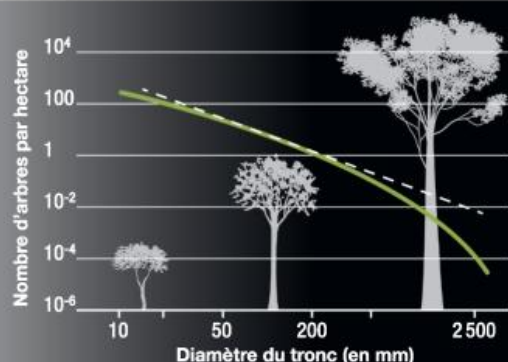
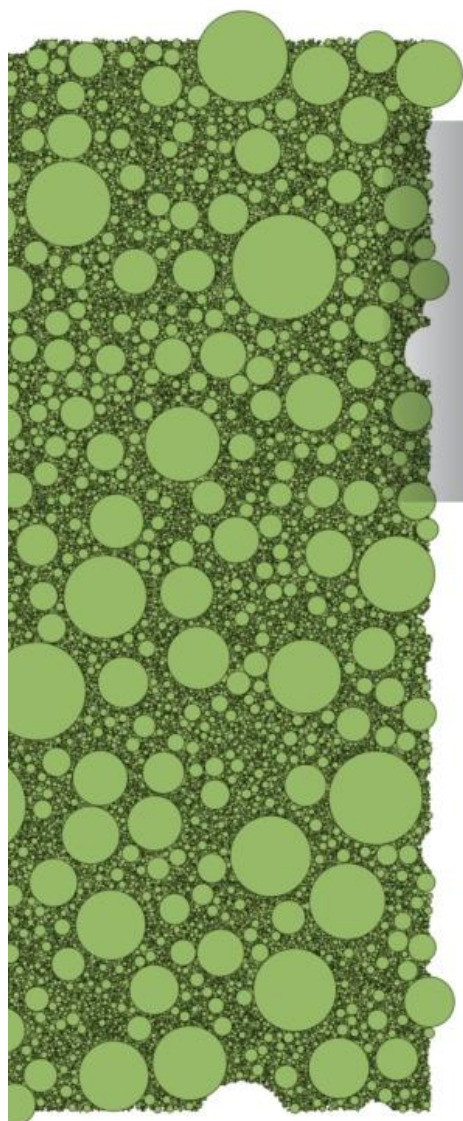
Dans la jungle, les arbres (représentés dans cette simulation numérique par des ronds verts proportionnels à leur gabarit) se livrent à un combat acharné pour s'approprier les ressources: eau, nutriments, lumière.



canopée, ce qui représente une aubaine pour les prochains arbres en puissance.

Caroline Farrior a épluché les mesures relevées durant trente ans par les biologistes de la Smithsonian Institution sur une parcelle de 50 hectares de la forêt de Barro Colorado, au Panama, en se concentrant sur des clairières de 5 m de côté où un grand arbre était tombé.

Son travail statistique a mis en chiffres la course à la lumière qui suit ce drame. Au début, la lutte entre les jeunes pousses se fait à armes égales: elles ont accès peu ou prou à la même quantité de lumière et leur vitesse de croissance est très proche... Jusqu'à ce que



... une hiérarchie se dessine

Dans toutes les jungles du monde, le gabarit des arbres suit une courbe exponentielle décroissante (en vert) : il y a beaucoup d'arbrisseaux et très peu de géants "dominants".

Sources : T. Anfodillo et al., *Proceedings of the Royal Society*, 2012 - C. Farrior et al., *Science*, 2016

Au bout de trente ans, la répartition de la taille des arbres dans la clairière maintenant disparue se met à suivre la fameuse courbe générale. Pour parfaire sa démonstration, l'équipe américaine a intégré dans un modèle numérique ce phénomène de lutte locale sur l'ensemble d'une forêt. Voilà qui a suffi à générer la loi de la jungle, globale et universelle.

LOI DU PLUS FORT OU HASARD ?

Les quelques grands gagnants ont-ils un mérite particulier ? L'étude ne peut rien en dire, et la question divise fortement les écologues.

D'un côté, il y a les tenants d'une vision déterministe. Comme Georges Kunstler, ingénieur forestier à l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture : "Notre dernière étude, menée sur 3 millions d'arbres à travers le monde, montre que l'aptitude à la compétition dépend des grandes caractéristiques morphologiques et physiologiques : par exemple, un arbre au bois peu dense sera moins compétitif qu'un autre à bois dur."

De l'autre, les partisans du hasard : "La diversité de la canopée montre qu'il y a une grande part de loterie dans sa formation, argumente Jérôme

Chave, du laboratoire Evolution et diversité biologique, à Toulouse. Une partie de la communauté des écologues commence à se rendre compte que la chance joue ici un rôle considérable, bien loin des explications purement génétiques." Et puis, fait remarquer Caroline Farrior, "quand vous êtes un petit arbre au milieu d'une forêt haute, vous devez avoir déjà un peu de chance pour qu'une trouée se forme au-dessus de vous".

Loi du plus fort ou pur hasard ? Au-delà de ces débats scientifiques, tous les chercheurs s'accordent sur un point : comprendre l'organisation des forêts tropicales est une urgence, car elles sont des puits de CO₂ essentiels. "Dans leurs modèles globaux, les climatologues ont tendance à considérer la forêt comme un stock de carbone bien gentil, aussi facile à mesurer qu'un seau rempli d'eau", déplore Jérôme Chave. Or, "l'absorption de CO₂ est sensible à la structure fine de la forêt tropicale, un paramètre pour lequel les simulations actuelles font des approximations énormes", reprend Georges Kunstler.

Une manière de rappeler que les lois de la jungle gouvernent aussi celles de la planète entière.

les cimes des différents compétiteurs se touchent et remplissent entièrement la trouée. A ce stade précis, le système change de régime : quelques arbres prennent le dessus ! Ceux-là vont prélever désormais l'essentiel de la ressource lumineuse, étouffant tous les autres. Ils ont définitivement gagné : "Les arbres tolérants à l'ombre ne grandissent que très lentement, de l'ordre d'un petit centimètre par an – il leur faut donc un siècle pour prendre un mètre", note Stéphane Traissac. "Notre simulation suggère que les plus grands arbres ont toujours été exposés pleinement à la lumière", confirme Caroline Farrior.



A consulter : des publications sur cette science de la forêt.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

INCROYAB EXOPLANE

Imaginez une planète constituée de diamant, une autre qui voit briller dans son ciel cinq soleils, une autre encore où pleuvent des pierres... Pure science-fiction ? Détrompez-vous. Grâce à leurs simulations numériques, les astronomes commencent à entrevoir la fabuleuse diversité qui se dissimule au-delà du système solaire. En témoignent ces 7 spectaculaires exemples, sélectionnés par **Benoît Rey**.

Repères

La première exoplanète (hors du système solaire) fut découverte en 1995 ; on en dénombre plus de 2 000 aujourd'hui. Les télescopes lancés dans la prochaine décennie devraient en détecter des dizaines de milliers d'autres... sur les centaines de milliards qui peuplent la Voie lactée.



LES TES

LA PLANÈTE DOUBLE

Quel spectacle! Avoir perpétuellement au-dessus de sa tête une autre planète, et distinguer, à sa surface, des océans, des continents, des montagnes... David Stevenson, astronome à Caltech, a simulé la rencontre de deux planètes du gabarit de la Terre. Le plus souvent, elles se percutent et fusionnent, ou survivent au désastre et continuent chacune leur chemin. Mais si l'approche a lieu de biais et à vitesse relative faible, il arrive que les planètes se frôlent... et se stabilisent en un étrange couple dont les deux membres se tournent autour à une distance de seulement une fois et demie leur diamètre! Et pour peu qu'elles soient assez loin de leur étoile commune, elles pourraient orbiter ainsi durant des milliards d'années. De quoi laisser le temps à des êtres intelligents d'inventer la lunette astronomique et de découvrir, stupéfaits, leurs voisins, la tête à l'envers...

LA PLANÈTE AUX CINQ SOLEILS

L'existence de planètes à plusieurs soleils est avérée. Plus de 50 d'entre elles ont ainsi été repérées autour d'étoiles binaires, lesquelles sont légion dans la galaxie : elles représenteraient la moitié des points blancs qui parsèment notre ciel nocturne. Peut-on imaginer des planètes ayant plus que deux étoiles ? *"La difficulté est de garder un système stable, explique Sean Raymond, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. Car les étoiles multiples perturbent les orbites des planètes par leur gravité."* Selon l'astronome, il est possible d'envisager des planètes ayant jusqu'à cinq étoiles pourvu qu'elles soient dans un même plan, gage de stabilité. Imaginons une planète qui tournerait autour d'un couple de toutes petites étoiles très resserrées, chacune deux fois moins brillante que le Soleil. Autour d'elles orbiterait un autre couple d'étoiles, plus brillantes que le Soleil mais plus lointaines, à 20 fois la distance Terre-Soleil. Enfin, une hypergéante rouge graviterait autour de l'ensemble, à plus de 200 fois la distance Terre-Soleil. Malgré cet éloignement, elle apparaîtrait aussi grosse que les autres dans le ciel, car elle mesurerait 200 fois la taille du Soleil...

ILLUSTRER.FR



LA PLANÈTE EN FORME D'ŒUF

Au lieu de former une boule bien ronde – à la rigueur légèrement aplatie aux pôles –, cette planète, 1,8 fois plus longue que large, affiche une grotesque silhouette d'œuf. Étirée à l'extrême par la gravitation de son étoile, elle orbite à la "limite de Roche", distance en dessous de laquelle elle se ferait impitoyablement déchiqueter. Tant qu'elle ne s'approche pas plus de son soleil, elle demeure en un seul morceau. Mieux, si elle orbitait autour d'une étoile aussi faiblarde qu'une naine brune, elle pourrait se situer dans la zone d'habitabilité !

"En vous baladant sur cette planète, vous verriez votre poids passer du simple au double selon votre distance au cœur", s'amuse Prabal Saxena, du Centre de vols spatiaux Goddard de la Nasa. Qui souligne que de tels mondes pourraient être courants : parmi les 2 000 exoplanètes découvertes, plusieurs semblent orbiter à la limite de Roche de leur étoile.

LA PLANÈTE OÙ IL PLEUT DES PIERRES

Rougi par l'océan de lave qui brille au loin, un nuage noir approche, prêt à éclater. Mieux vaut s'abriter : ici, il ne pleut pas de l'eau, mais de la roche. C'est que cette planète montre toujours la même face à son étoile : du coup, le sol fondu à plus de 1 000 °C n'est qu'un gigantesque océan de lave, duquel montent des vapeurs de silicates. Elles se diffusent dans l'atmosphère irrespirable jusqu'à atteindre le côté "nuit" de la planète, où elles se recondensent : de la même manière que l'eau sur Terre, elles forment alors des mini-gouttelettes de roches, qui retomberont en pluie, par exemple. "*Pluie, neige, bruine, grêlons... on peut tout imaginer*", précise Bruce Fegley, de l'université Washington à Saint-Louis (Etats-Unis), qui a simulé la vaporisation de telles planètes. On en aurait déjà découvert de semblables, sans qu'il soit pour l'heure possible de vérifier qu'il y pleut bien des pierres : Kepler-10, dans la constellation du Dragon, dont la face exposée est chauffée à 1 300 °C, et CoRoT-7b, dans la constellation de la Licorne, dont la température monte à 2 900 °C.



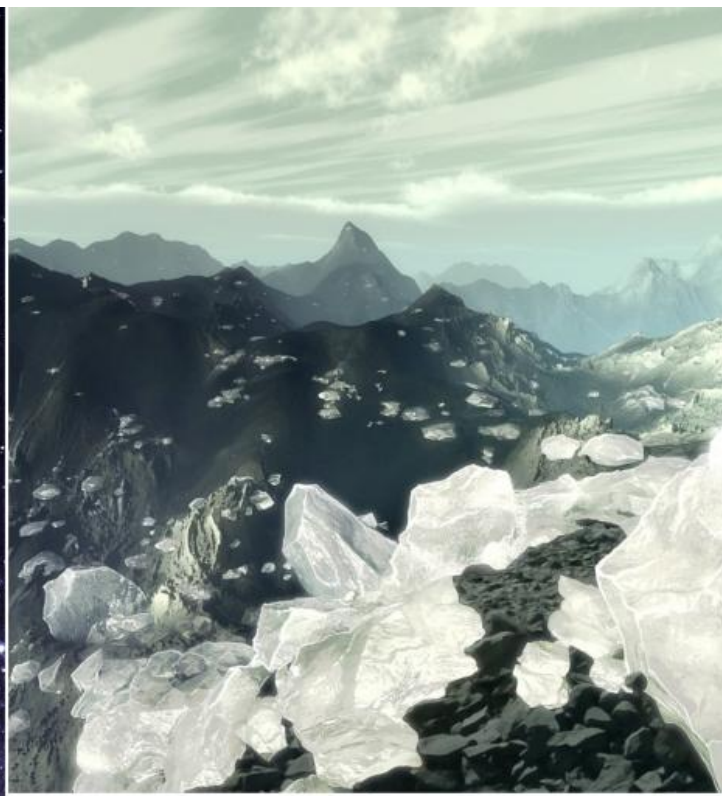
LA PLANÈTE ERRANTE

Ici, pas de printemps ni de lever du jour : cette planète ne tourne autour d'aucun soleil. Elle file droit dans la galaxie. Comme toutes les planètes, elle est née au sein d'un système stellaire, mais elle en a été éjectée à la suite d'instabilités dynamiques. Un processus finalement très banal. *"On pense qu'il y a entre 100 et 800 milliards de planètes errantes dans la galaxie"*, estime Sean Raymond, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. Certaines de ces planètes bannies pourraient abriter des océans souterrains, où des températures clémentes auraient permis à des formes de vie d'éclore. Mieux : certaines pourraient même avoir de l'eau liquide en surface ! *"A condition de posséder une atmosphère d'hydrogène au moins 10 à 100 fois plus épaisse que celle de la Terre"*, précise le chercheur.



LA PLANÈTE NOIRE

Personne n'avait imaginé que cela fût possible! D'où la surprise lorsque David Kipping, du Centre d'astrophysique de Harvard, découvrit cette particularité de TrES-2b, dans la constellation du Dragon: vue de l'espace, son atmosphère apparaît plus noire que la plus noire des peintures noires. Avec un albédo (la quantité de lumière réfléchie par sa surface) inférieur à 0,7 %, cette géante gazeuse garde jalousement presque toute la lumière qu'elle reçoit de son étoile. Et il ne s'agit pas d'une erreur de mesure: une équipe indépendante, du Ames Research Center de la Nasa, a reproduit l'observation, et conclu que l'albédo pourrait même être encore plus faible qu'annoncé! Quant à l'origine de cette étrange propriété, mystère... *"On a pensé à une couche de la haute atmosphère qui serait composée d'oxyde de titane et d'oxyde de vanadium, avance David Kipping. Mais on ne voit pas comment maintenir ces substances absorbantes en quantité suffisante à de telles altitudes."*



LA PLANÈTE-DIAMANT

C'est un monde où les diamants se ramassent à la pelle. Le sol en est jonché à perte de vue. Ils proviennent du cœur de la planète, qui est lui-même un gigantesque diamant, plus gros que la Terre ! Une pierre à plus de 100 milliards de milliards de milliards de carats... Ce type de planète peut exister dans la réalité. Olivier Mouis, du Laboratoire d'astrophysique de Marseille, en a la certitude depuis qu'il a étudié l'étoile 55 Cancri, dans la constellation du Cancer. Son spectre lumineux indique qu'elle est beaucoup plus riche en carbone que le Soleil. Et les simulations montrent que tout le carbone de la planète, sous la pression de sa propre gravité, pourrait former un cœur de diamant. *"A l'annonce du résultat, un diamantaire d'Anvers m'a appelé, inquiet que le cours du diamant ne se mette à chuter !"*, s'amuse l'astrophysicien. Cette planète ne serait pas un paradis pour autant : le peu d'oxygène présent dans le disque protoplanétaire dont elle est issue serait accaparé par les roches pour former des minerais. La planète-diamant serait donc désespérément sèche.



A consulter : un site répertoriant les exoplanètes connues.
 - A voir : une conférence vidéo du découvreur de la première exoplanète.

science-et-vie.com



^> Pas moins de 8 espèces d'hominidés (dont un fossile d'*Homo habilis*, à dr.) ont foulé les rives du lac Turkana, qui, il y a 4 millions d'années, bénéficiait d'un climat "idéal".

C'est au Kenya, au bord du lac Turkana, que serait née il y a plus de 3 millions d'années l'humanité. Un éden originel ? L'idée n'est pas nouvelle, mais une découverte relance les chercheurs sur sa piste. Explications de **Thomas Cavaillé-Fol**.



Lac Turkana

Et si c'était le berceau de l'humanité...

Regardez ce paysage, sur la page de gauche. C'est une touche d'émeraude dans le tableau ocre et aride du grand rift est-africain. Le lac Turkana, surnommé la "mer de Jade" en raison de la teinte particulière que lui confèrent ses

algues, est le plus grand des lacs de désert. Six mille kilomètres carrés d'eau alcaline et salée situés à l'extrémité nord du Kenya, et débordant sur l'Éthiopie où se trouve l'embouchure de la rivière Omo. Eh bien, vous êtes peut-être en train de contempler le berceau de l'humanité.

Tout pourrait avoir commencé ici il y a plusieurs millions d'années. Le genre *Homo* aurait pu naître sur les rives de ce lac alors bordé de forêts, avant de se disperser sur toute la planète. C'est en tout cas l'hypothèse avancée par le professeur de paléontologie évolutive Mikael Fortelius, de l'université d'Helsinki, en Finlande.

Cette quête d'un éden originel a-t-elle seulement un sens ? Peut-on vraiment imaginer qu'il existe un lieu unique de notre origine. Oui, tranche Brian Villmoare, paléoanthropologue à l'université du Nevada (États-

Repères

Il y a 3 millions d'années en Afrique de l'Est, un événement majeur a précipité l'évolution des pré-humains : le genre *Australopithecus* disparaît de la région et deux nouveaux genres émergent, *Paranthropus* et *Homo*. Celui-ci a donné naissance à de nombreuses espèces (*H. habilis*, *H. erectus*...) qui se dispersent déjà avant qu'*H. sapiens* ne conquière la planète.



→ Unis): "Le genre *Homo* a forcément émergé dans un lieu et un temps uniques au sein d'une même population, qui s'est ensuite dispersée pour donner les espèces que l'on connaît aujourd'hui." Reste à savoir où, exactement. Et si, au vu des fossiles de nos ancêtres, la plupart des spécialistes penchent pour l'Afrique de l'Est, rares sont ceux qui osent désigner un lieu un tant soit peu précis sur la carte.

UN SITE "TROMPEUR" ?

Ce qui est sûr, c'est que le bassin Turkana concentre à lui seul une bonne part de l'histoire humaine: pas moins de huit espèces d'hominidés, d'*Australopithecus anamensis* à *Homo sapiens*, ont été déterrées autour de ce lac, retraçant près de 5 millions d'années de présence continue. Sur la rive ouest, nos ancêtres ont fabriqué des outils, et même les plus vieux jamais découverts: des pierres taillées de 3,3 millions d'années. Ils y ont aussi déployé leur violence: 27 chasseurs-cueilleurs ont été assassinés il y a 10 000 ans sur cette même rive, le plus ancien massacre mis au jour jusqu'à aujourd'hui.

Sauf que ces nombreux vestiges de notre évolution ne suffisent pas à "sacraliser" le lac Turkana. "En effet, la région bénéficie d'une géologie particulière, souligne le paléontologue Yves Coppens, professeur émérite au Collège de France. La tectonique fait affleurer les dépôts sédimentaires ancestraux riches en fossiles. Pour les trouver, il suffit de marcher et de se baisser!" Il ne faut donc pas trop se fier à l'abondance des découvertes paléanthropologiques réalisées sur ce site.

"La très bonne préservation des fossiles ne veut pas dire que cette région est plus importante qu'une autre dans l'histoire humaine, insiste Brian Villmoare. Rappelons par exemple que l'*Homo* le plus ancien retrouvé à ce jour, daté de 2,8 millions d'années, vient d'Éthiopie, ce qui ne veut absolument pas dire non plus que le genre soit né là-bas."

Son hypothèse, Mikael Fortelius la fonde en fait sur une autre particularité du bassin. Une particularité unique, même, en Afrique de l'Est: il bénéficiait il y a 4 millions d'années d'un microclimat. Or, selon lui, cette anomalie aurait pu précipiter la naissance des premiers humains.

Pour affirmer l'existence de cette particularité climatique, le paléontologue ne s'est pas fondé sur les fossiles d'hominidés, mais sur ceux bien plus nombreux de mammifères herbivores (20 000 fossiles vieux de 1 à 8 millions d'années), et plus précisément sur leurs dents: elles renseignent en effet sur leur nourriture, et donc sur la végétation de l'époque.

"Nous avons étudié la relation existant entre les dents des herbivores et les variables environnementales, comme la température ou la pluviométrie", explique-t-il. Par exemple, une forte proportion d'animaux dotés de molaires à couronnes basses, comme les élans, est révélatrice d'une alimentation à base de végétation luxuriante (feuilles), et donc d'un environnement humide. À l'inverse, des couronnes très hautes, comme celles du cheval, sont le signe d'une mastication plus importante, qui use davantage les dents, et donc d'une végétation sèche (herbes



de savane). "Si un élan habitait la savane, il userait toutes ses dents avant d'atteindre la majorité sexuelle", résume le chercheur.

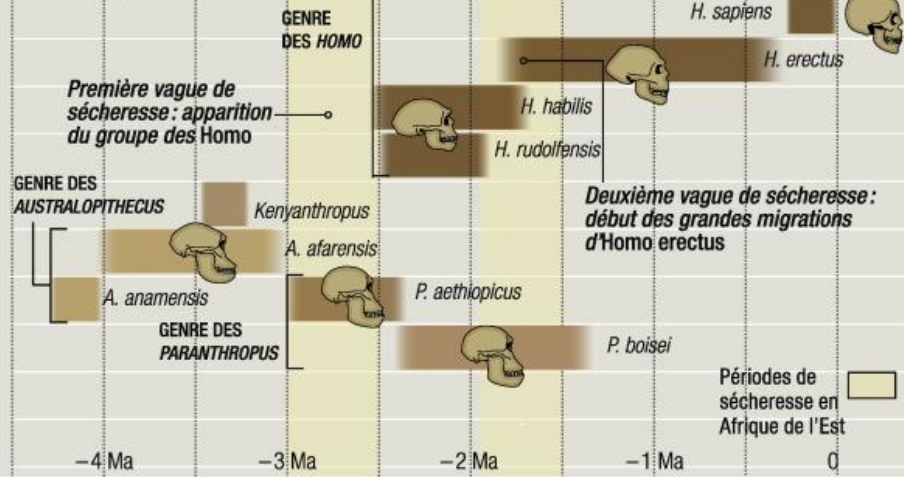
Résultat? Il y a 4 millions d'années, le bassin Turkana devient de plus en plus aride, un changement climatique qui ne s'observe pas dans le reste de l'Afrique de l'Est. Il faut attendre encore 1 million d'années pour que la vague de sécheresse s'étende hors de la région, et 2 millions pour que l'ensemble de l'Afrique de l'Est rattrape son retard sur le bassin.

"C'est un point particulièrement intéressant, souligne Mikael Fortelius. Ce microclimat en avance de plusieurs millions d'années sur son temps permet

△ Partout autour du lac Turkana affleurent les fossiles de la lignée humaine (ici les restes d'un chasseur-cueilleur assassiné il y a 10 000 ans), mais cela ne suffisait pas jusqu'à maintenant à en faire un possible berceau.

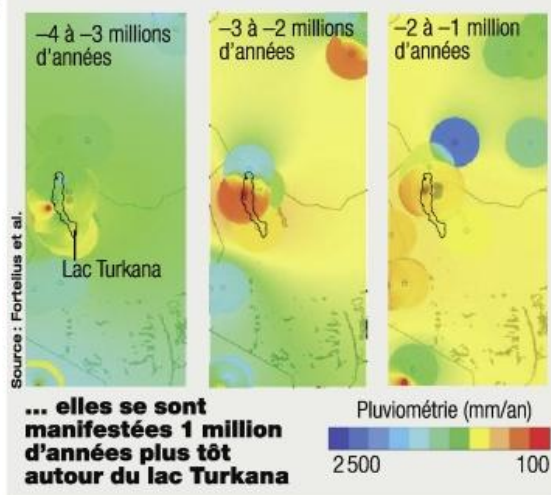


Alors qu'en Afrique de l'Est les sécheresses ont joué un rôle clé dans l'apparition d'Homo...



Un microclimat décisif dans l'essor d'Homo?

L'Est africain a connu deux périodes de sécheresse qui correspondent à l'extinction des australopithèques de la région il y a 3 Ma et aux premières migrations d'Homo vers -2 Ma (ci-dessus). Or, cette sécheresse a touché le lac dès -4 Ma : les espèces déjà adaptées auraient ainsi pu s'étendre dans tout l'Est africain lorsque le changement s'est globalisé.



aux espèces qui s'y sont adaptées de se disperser efficacement et de survivre quand le changement climatique devient global. Le lac Turkana a tout l'air d'être une 'usine à espèces', c'est-à-dire qu'il a pu contribuer à une proportion importante de la biodiversité est-africaine." Et en particulier à l'adaptation et à la dispersion du genre Homo.

L'idée selon laquelle le genre Homo a été façonné par un changement climatique n'est pas nouvelle. Elle a été décrite pour la première fois en 1975 par Yves Coppens, sous l'appellation "(H)omo Event". En analysant la quantité incroyable de fossiles détectés dans la vallée de l'Omo, au nord du lac Turkana, le

paléanthropologue français avait fait le lien entre la transformation du milieu forestier en savane sous l'effet d'une vague de sécheresse et l'évolution des hominidés : "Une idée moquée, oubliée, retrouvée, accaparée, affinée et finalement acceptée par toute une nouvelle génération de scientifiques", s'amuse-t-il aujourd'hui.

Ces scientifiques s'accordent désormais à reconnaître deux épisodes d'intense aridification dans toute l'Afrique de l'Est, qui semblent coïncider avec des bouleversements majeurs dans

la lignée humaine. Une première vague de sécheresse survenue il y a 3 millions d'années correspond à la disparition d'*Australopithecus afarensis* et à l'émergence d'Homo et de *Paranthropus*. Une seconde vague ensuite, il y a 2 millions d'années, aurait signé la disparition de *Paranthropus*, la suprématie des Homo et les premières grandes migrations d'*Erectus*.

UN CLIMAT EXCEPTIONNEL

Ce lien entre changement climatique et évolution est le même que pour les herbivores du lac Turkana étudiés par Mikael Fortelius : le genre Homo a dû changer son régime alimentaire pour s'adapter à ce nouvel environnement. "Les principaux changements sont crânio-dentaires : réduction de la taille des prémolaires et molaires, changement de la forme de l'arcade dentaire, de la mandibule, élargissement du cerveau... Ils peuvent être reliés à un changement de régime vers une alimentation plus variée", confirme la paléanthropologue Susan Antón (université de New York).

L'analyse des isotopes du carbone contenu dans l'émail dentaire des fossiles permet de constater que les premiers australopithèques se nourrissaient principalement de plantes adaptées aux environnements humides (arbres, herbes...). Alors que *Paranthropus boisei* et Homo ont adopté deux stratégies différentes face au changement de climat : le premier s'est ultraspécialisé dans une alimentation à base d'herbe sèche (80 % de sa nourriture environ), tandis que Homo, lui, a adopté un régime mixte : des végétaux des savanes et des forêts agrémentés d'un apport

→ carné opportuniste, qui, selon la préhistorienne Marylène Patou-Mathis, du Muséum national d'histoire naturelle, aurait même joué un rôle dans le développement de son cerveau.

Cette liberté alimentaire, a priori défavorable dans un milieu se transformant peu à peu en savane, aurait en fait permis à *Homo* de ne pas dépendre des

vière Omo, ses rives et son delta restaient probablement bordés d'arbres sur des centaines de mètres, tandis que la savane grignotait déjà les alentours du lac.

Ses résultats ont également mis en valeur l'asymétrie des apports hydriques du bassin: *"Le côté ouest, élevé, était dépendant des pluies locales, tandis que l'est était plus hu-*

la préservation de fossiles est la meilleure soit également le lieu de naissance de notre genre..."

Meave Leakey, professeur de paléontologie à l'université de Stony Brook, New York, compte les points: *"Turkana a été foulé par nos prédécesseurs pendant 5 millions d'années. La diversité humaine y était très forte, puisque les fossiles nous montrent que différents genres, Australopithecus et Kenyanthropus par exemple, auraient même pu y cohabiter. Et maintenant, les conclusions de Mikael Fortelius nous prouvent à quel point son climat était exceptionnel. Oui, selon moi, il y a de grandes chances pour que notre genre ait vu le jour au bord du lac. Les futures découvertes nous permettront peut-être de conforter cette hypothèse."*

Des découvertes comme ces traces de découpage de viande récemment mises au jour au pied de l'Himalaya, et datées de 2,6 millions d'années. Si ces actes de boucherie sont attribués à notre genre, comme l'estime la paléanthropologue Anne Dambricourt-Malassé, au Muséum national d'histoire naturelle, l'âge des premiers *Homo* serait alors repoussé, selon Yves Coppens, à au moins 3 millions d'années. Sauf que la vague d'aridité que l'on pense être à l'origine de notre évolution n'avait pas encore atteint l'Est africain. Excepté autour du lac Turkana. Là où tout aurait commencé...



A lire : les principales publications des chercheurs cités.
A écouter : une conférence de Mikael Fortelius.

science-et-vie.com

Afrique du Sud, Ethiopie... Les autres "berceaux de l'humanité"

D'autres régions disputent au lac Turkana son titre. L'Afrique du Sud, par exemple, où a été retrouvé l'*Homo naledi*, dont l'appartenance à notre genre divise les chercheurs: il n'a pas pu être daté et possède de nombreux caractères australopithèques. La région de l'Afar, en Ethiopie, a, elle, bousculé la chronologie en livrant une mandibule d'*Homo* vieille de 2,8 millions d'années. Enfin, des chercheurs s'intéressent aux lacs éphémères de la vallée du Rift, vallée qui s'étend de l'Afar au nord de la Tanzanie en passant par le lac Turkana. Selon eux, l'aridification en Afrique de l'Est était ponctuée par des épisodes d'extrême variabilité climatique, faisant apparaître et disparaître des lacs. Ces changements rapides du milieu, en plus de l'aridification à long terme, auraient pu pousser les pré-humains à évoluer et à se disperser.

caprices de son milieu et de traverser les différents âges climatiques tout en conquérant de nouveaux territoires. Le régime strict de *Paranthropus boisei*, au contraire, ne lui aurait pas permis de survivre à la seconde déferlante d'aridité africaine et à la disparition de ses principales sources de nourriture.

D'après les analyses de Mikael Fortelius, ces bouleversements climatiques ont commencé autour du lac Turkana il y a 4 millions d'années, soit 1 million d'années plus tôt que dans le reste de l'Afrique. Le bassin devait alors présenter des types d'environnements à la fois humides et arides. Grâce à la ri-

mide. Il s'y trouvait des lacs qui dépendaient de précipitations lointaines." Le bassin, avec ces différentes niches écologiques, pouvait donc très bien accueillir différents hominidés, sans que ceux-ci n'entrent en compétition pour les mêmes ressources.

UNE CHRONOLOGIE BOUSCULÉE

Alors? Le lac Turkana doit-il être reconnu comme le véritable berceau de l'humanité? L'hypothèse de Mikael Fortelius est en train d'être débattue. Mais Brian Villmoare reste sceptique: *"Le bassin Turkana est un site remarquable, mais selon moi, il est statistiquement très peu probable que le lieu où*

& Science techniques



Fusion
88



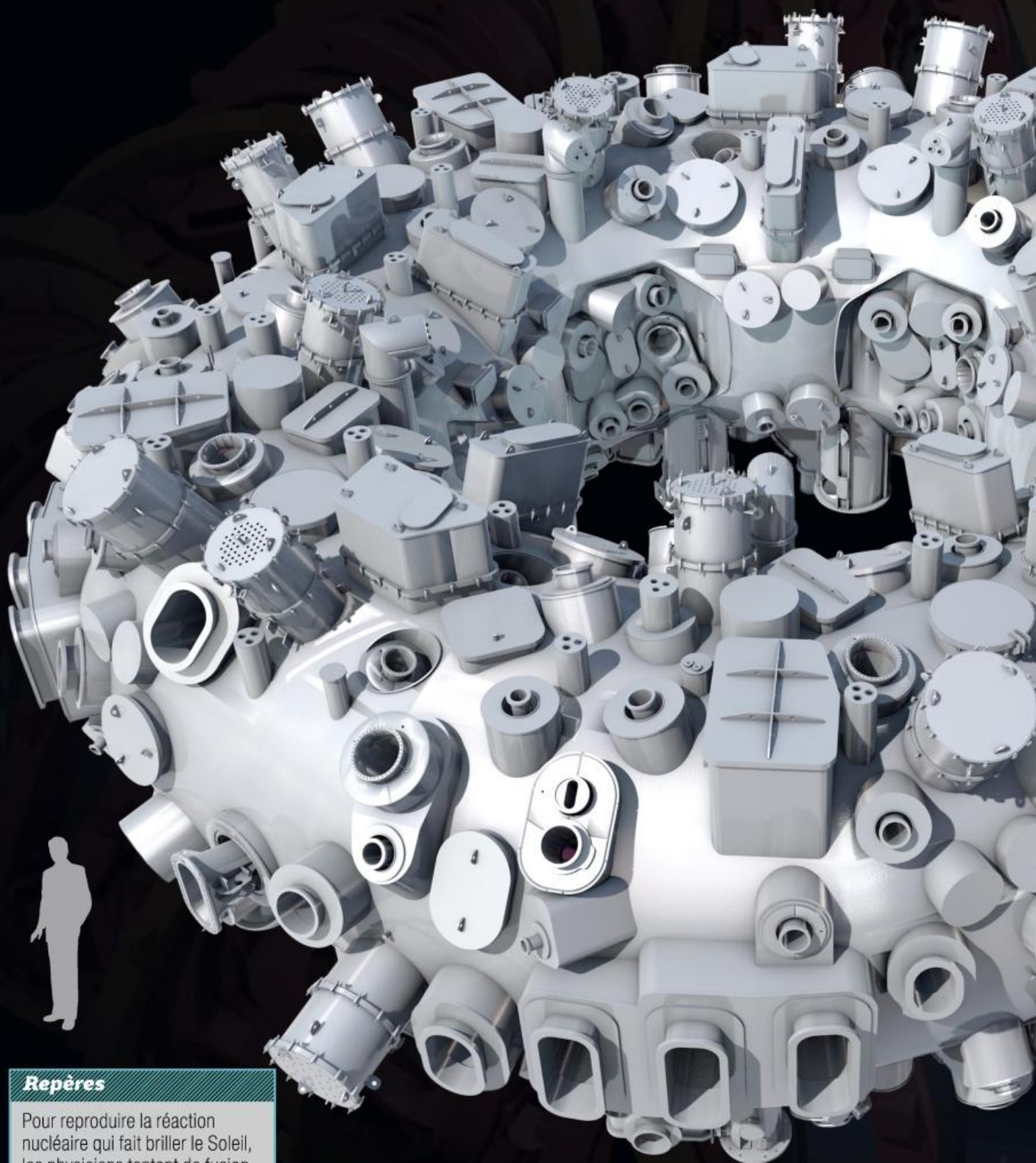
CO₂
98



Bioluminescence
104

IPP - BAYER - GLOWEE

AVRIL 2016 | sv | 87



Repères

Pour reproduire la réaction nucléaire qui fait briller le Soleil, les physiciens tentent de fusionner des noyaux d'hydrogène. Un seul gramme de ce combustible peut libérer autant d'énergie que 10 t de pétrole ou 1 kg d'uranium.

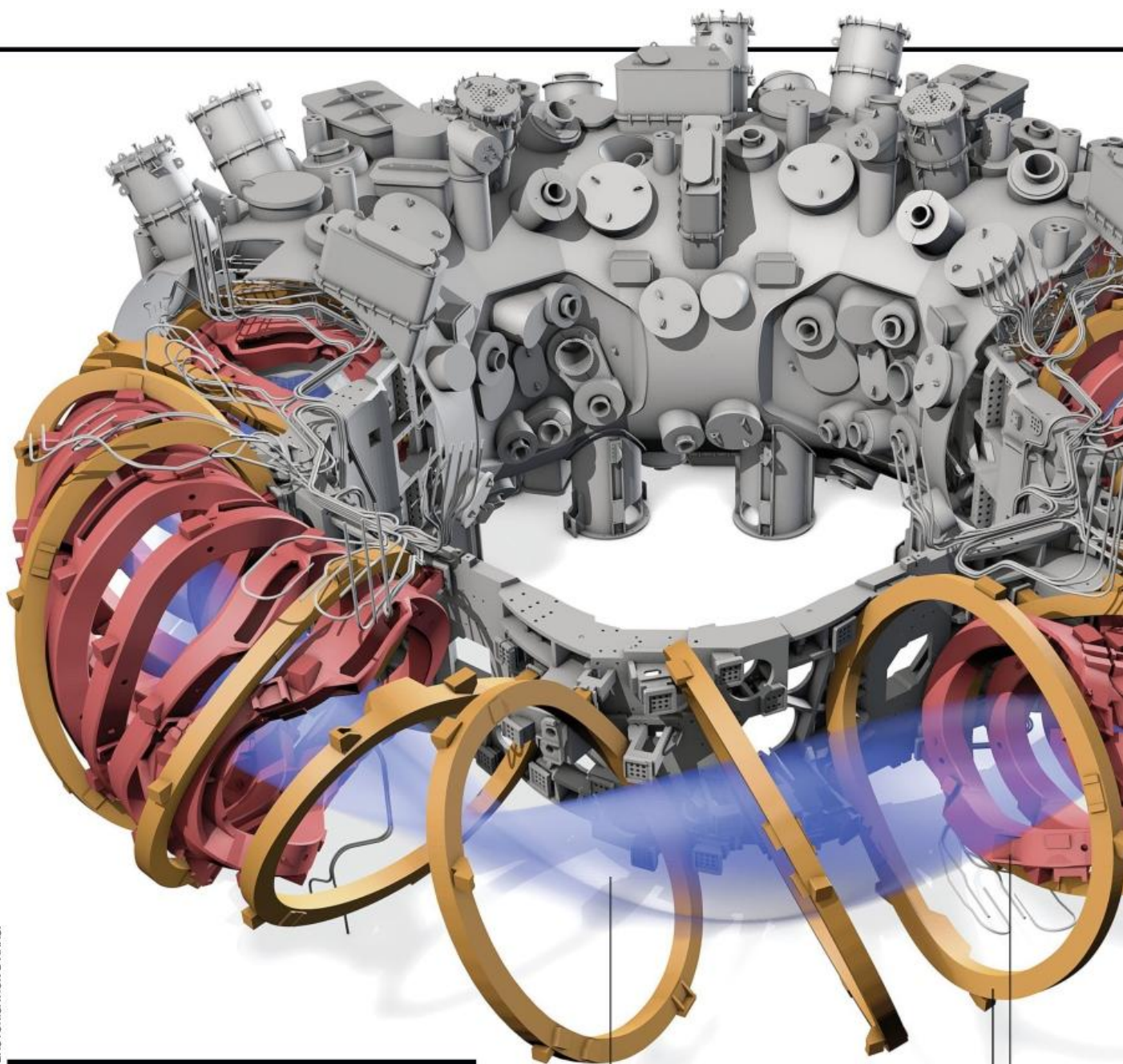
IPP



FUSION

La prouesse du stellarator

Comment réaliser la fusion nucléaire, ce graal d'une énergie propre et illimitée ? A l'origine, un réacteur avait été imaginé : le stellarator. Lequel fut supplanté par les tokamaks, devenus la norme. Or, un prototype de stellarator a malgré tout été mis au point... et il marche ! Un exploit, fruit de vingt ans de travail, qui rebrasse aujourd'hui les cartes de la fusion. Au point de concurrencer Iter ? Oui, répond **Mathieu Grousson**.



Le secret du stellarator : il torsade le plasma

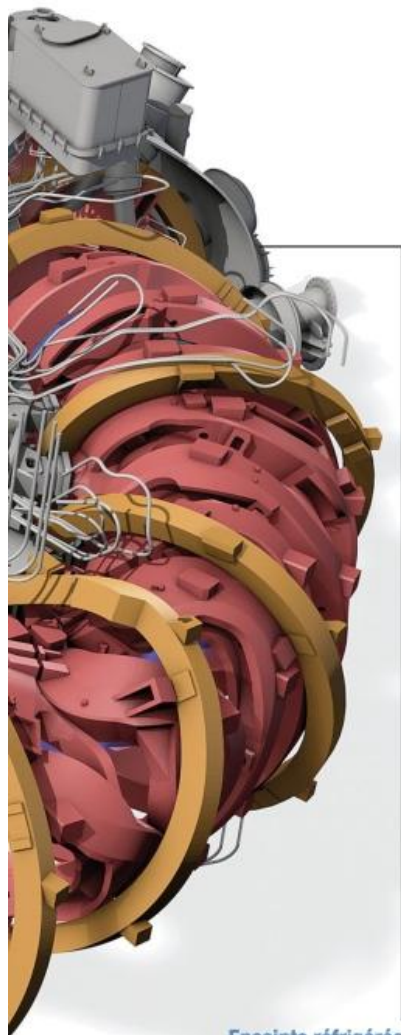
Tout l'intérêt de cette machine à fusion nucléaire – et toute la difficulté à la construire – réside dans la forme torsadée imposée au plasma – où se déroulent les réactions nucléaires énergétiques. Au lieu de suivre un chemin parfaitement circulaire, comme dans la plupart des autres machines à fusion, le plasma vrille ici 5 fois sur lui-même à chaque tour. De quoi garantir une meilleure stabilité. Mais de quoi aussi donner du fil à retordre aux ingénieurs – il a fallu dix-neuf ans pour mettre au point ce stellarator W7-X.

Plasma

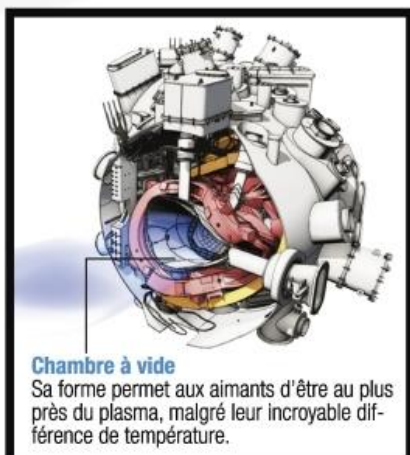
Chauffés à 100 000 000°C, les noyaux de deutérium et de tritium (isotopes de l'hydrogène) se mettent à fusionner, ce qui dégage une énorme énergie.

Aimants

Leur champ magnétique permet de vriller et de confiner le plasma au centre de la machine.



Enceinte réfrigérée
Elle permet de refroidir les aimants à -270°C .



Chambre à vide
Sa forme permet aux aimants d'être au plus près du plasma, malgré leur incroyable différence de température.

Avec le réacteur W7-X, 4 grands défis ont été relevés

Le défi du plasma

Quelle forme doit prendre le plasma de la machine afin qu'il soit stable, confine correctement les particules, présente de bonnes propriétés thermiques... ? Les ingénieurs ont dû prendre en compte sept contraintes physiques de nature différente. Et ont trouvé la forme optimale grâce aux derniers outils numériques et de simulation. Résultat : il ne s'agit pas d'un simple anneau, mais d'une torsade qui tourne cinq fois sur elle-même.



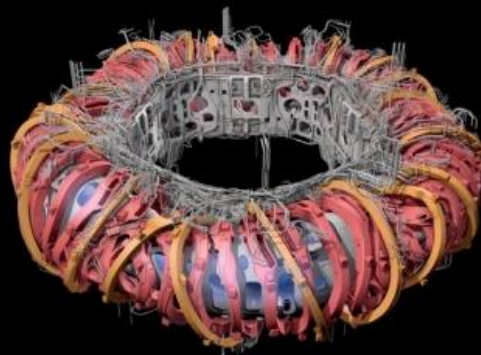
Le défi des aimants

Pour forcer le plasma à prendre cette forme torsadée, il a fallu concevoir un champ magnétique et donc des aimants d'une rare complexité pour l'engendrer. Concrètement, le champ magnétique du W-7X résulte de 50 bobines supraconductrices 3D totalement asymétriques d'environ 3,50 m de hauteur et 6 tonnes, pour lesquelles des méthodes d'usinage ont été spécialement inventées. Il a ensuite fallu les ajuster au millimètre près. Par ailleurs, 20 bobines planaires contribuent également au champ magnétique.



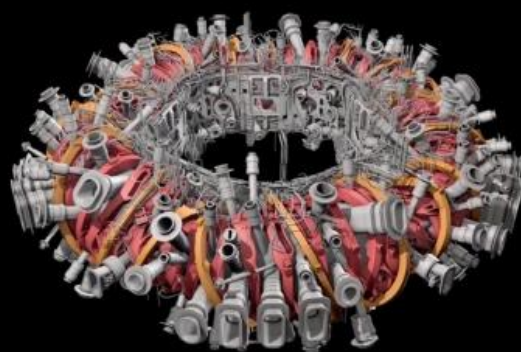
Le défi de la structure

L'ensemble du W-7X constitue un puzzle de haute technicité. La chambre qui contient le plasma est ainsi enchâssée dans les aimants, eux-mêmes contenus dans une enceinte cryogénique refroidie quasiment à la température du zéro absolu. Pour soutenir l'ensemble et le rendre résistant aux contraintes mécaniques extrêmes engendrées par les aimants supraconducteurs, il a fallu imaginer une structure annulaire capable de reprendre des efforts asymétriques.



Le défi des données

Le W7-X est une machine expérimentale : elle est criblée de 250 fenêtres permettant à une batterie de détecteurs de réaliser toutes les mesures nécessaires à l'étude du plasma. La composition de ce patchwork a constitué un véritable casse-tête pour les ingénieurs, à la fois pour garantir l'étanchéité thermique de chacun des accès, mais aussi les positionner sans que cela n'interfère avec les contraintes de construction de l'ensemble de la structure de la machine. Au total, l'assemblage du W7-X a nécessité 1,1 million d'heures de travail.



Un rêve de physiciens qui date de près de 70 ans

1951

Lyman Spitzer invente le premier stellarator, baptisé "Figure 8" en référence aux vrilles imposées à son plasma.



1968

Le tokamak T3 démontre la maturité de la technologie concurrente. Les stellarators tombent en disgrâce.

Le 10 décembre dernier, à l'Institut Max-Planck pour la physique des plasmas (IPP), à Greifswald, en Allemagne, une poignée de physiciens et d'ingénieurs de haut vol retiennent leur souffle. Dans la chambre de 30 m³ de leur faramineuse machine, le milligramme d'hélium qu'ils ont introduit est porté à ultra-haute température. Et instantanément, les capteurs sont formels : ce mini-plasma chauffé à 1 million de degrés est resté stable pendant 50 millisecondes, en suivant une trajectoire alambiquée, présentant pas moins de cinq vrilles le long des 35 m de circonférence de l'enceinte. Le démarrage du stellarator Wendelstein 7-X (W7-X) est un succès.

Avec le projet W7-X, le stellarator vient défier la suprématie du tokamak

Thomas Klinger, directeur scientifique du projet, ne cache pas sa satisfaction : *"Après dix-neuf ans de travail, c'est fantastique de constater que tout a fonctionné comme prévu !"* Et c'est le meilleur départ

possible vers l'objectif final : parvenir à stabiliser pendant 30 minutes un plasma (une sorte de gaz hyperchauffé) de fusion thermonucléaire.

Rappelons que la fusion, depuis les années 1950, constitue un véritable graal énergétique : contrairement à la fission réalisée dans les centrales nucléaires actuelles, qui tire son énergie de l'éclatement de gros noyaux atomiques, la fusion, qui marie ensemble des petits noyaux, promet de produire une énergie beaucoup plus propre, beaucoup plus sûre, et en quantité quasiment illimitée (voir "Repères"). L'enjeu de ces travaux est donc colossal.

"Le démarrage du W7-X est un immense événement en vue de maîtriser un jour la fusion", s'enthousiasme Rudolf Neu, à l'IPP, à Garching, pas directement impliqué dans le projet. *"C'est un succès des physiciens de l'IPP mais un événement de dimension mondiale",* confirme Bernard Saoutic, directeur adjoint de l'Institut de recherche sur la fusion magnétique au CEA.

Car la mise en route du réacteur expérimental allemand signe le grand retour des stellarators dans la course à la fusion. Depuis plus de soixante ans, la question est de sa-

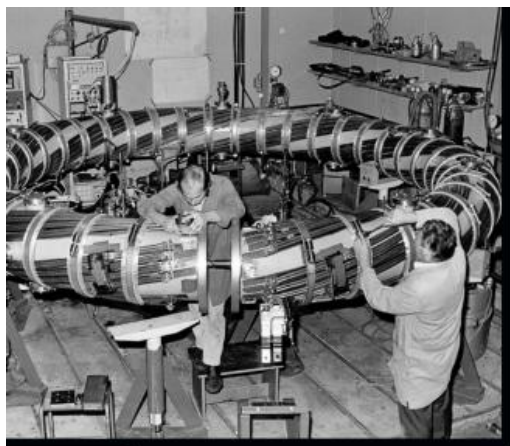
voir quelle forme donner au plasma pour qu'il fusionne le mieux possible : celle d'un anneau tout simple, comme c'est le cas dans les enceintes des tokamaks, ou bien d'un anneau torsadé, caractéristique des stellarators ? Après quarante ans de suprématie des tokamaks, le match est à nouveau plus ouvert que jamais.

PRODUIRE UN PLASMA

Stellarator ou tokamak ? Derrière la différence de forme, le principe de base est le même : une enceinte blindée dans laquelle un gaz composé de deutérium et de tritium (des isotopes de l'hydrogène) est confiné par de puissants champs magnétiques, puis chauffé jusqu'à des températures comprises entre 100 et 150 millions de degrés pour devenir un plasma. Objectif : communiquer à ces noyaux atomiques légers une énergie cinétique suffisante pour vaincre la faramineuse barrière électrostatique qui les repousse afin de les faire fusionner. Cette réaction s'accompagne de la libération d'une prodigieuse quantité d'énergie.

A ceci près que, dès le milieu du siècle dernier, il apparaît que la forme à donner au champ magnétique de confine-





1980

Le stellarator W7-A, ancêtre de W7-X, entre en fonction.

ment est tout sauf triviale, sans quoi les particules qui constituent le plasma dériveraient irrémédiablement vers les bords de l'enceinte. En 1950, le célèbre astrophysicien américain Lyman Spitzer, alors à l'université Stanford, comprend qu'une façon de l'éviter est de placer le plasma dans un champ magnétique lui conférant la forme d'une hélice. Et propose un réacteur en forme de huit aux allures de bretzel, qu'il nomme stellarator (du latin *stella* signifiant "étoile").

Sur le papier, la solution est brillante. Mais, en pratique, la construction d'aimants capables de confiner du plasma "en bretzel" s'avère d'une rare complexité. Comme le résume Guy Laval, directeur de recherche émérite au CNRS et spécialiste de la fusion, "*véritable rêve de physicien, les stellarators se sont vite révélés un épouvantable cauchemar pour ingénieurs*". Résultat : si quelques stellarators voient le jour dans le courant des années 1950 et 1960, pour l'essentiel ce sont d'affreuses "passoires".

Or, à la même époque, les Soviétiques Andreï Sakharov et Igor Tamm imaginent une machine bien plus simple, en forme d'anneau : le tokamak.

Alors que, dans un stellarator, l'intégralité du champ magnétique confinant le plasma est engendrée par des aimants extérieurs, dans un tokamak le plasma contribue à créer ce champ magnétique, à travers les électrons qui circulent en son sein. Autrement dit, le plasma s'auto-confine en partie, un peu à la manière d'un

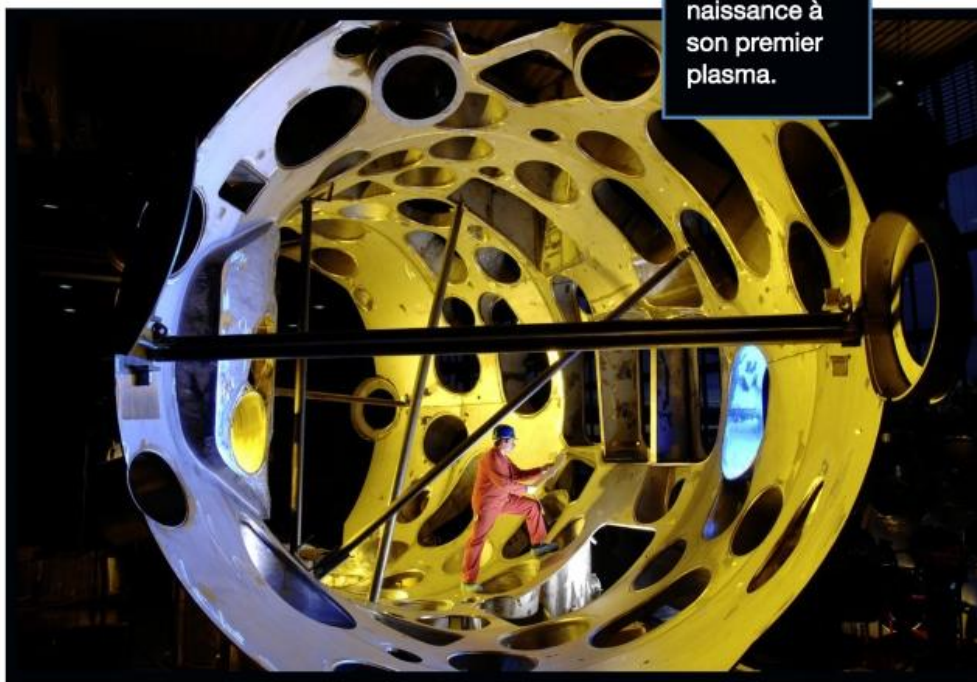


2005

Le stellarator japonais LHD, entré en service en 1998, bat le record de durée pour un plasma, soit 3900 secondes.

2015

Le stellarator W7-X donne naissance à son premier plasma.



cycliste maintenu en équilibre par son propre mouvement.

Et, dès 1968, le tokamak T3 parvient le premier à stabiliser pendant quelques millisecondes un plasma chauffé à 10 millions de degrés. "*Bien plus faciles à concevoir et à construire, les tokamaks ont totalement coulé les stellarators*", acte Guy Laval.

→ Devenus la nouvelle norme mondiale, les tokamaks mobilisent, depuis, la quasi-totalité des financements. C'est la configuration du JET, en Grande-Bretagne, qui détient le record mondial de puissance produite par rapport à celle injectée par chauffage, soit, pendant 2 secondes, 16 mégawatts produits pour 22 MW injectés. Un ratio qui en dit long sur le défi fondamental de la fusion : parvenir à extraire plus d'énergie qu'il n'en faut pour la produire, et cela sur la durée...

COURANT ALTERNATIF

Il n'empêche, cette configuration est aussi celle d'Iter, machine encore plus ambitieuse, en construction depuis 2006 sur le site du CEA de Cadarache, dans les Bouches-du-Rhône (lire encadré p. 96). Et c'est enfin celle envisagée pour Demo, futur réacteur à fusion préindustriel, dont la construction n'est pas prévue avant les années 2030, et qui n'existe actuellement que sur le papier.

Pour autant, le tokamak est loin de constituer une panacée. D'abord parce qu'à l'inverse des stellarators, les tokamaks ne peuvent pas fonctionner en courant continu : pour que le plasma participe à la création du champ magné-

tique le confinant, il faut que les électrons qu'il abrite soient animés d'un mouvement alternatif. Or, pour Guy Laval, il est évident que *"les futurs opérateurs d'un réacteur de fusion préféreront une machine capable de produire de l'énergie, et donc de l'électricité, en continu plutôt qu'une machine à impulsions, même longues"*. Un vrai handicap pour les tokamaks...

De plus, les cyclistes en conviendront, un équilibre en auto-stabilisation est intrinsèquement... instable. Il suffit d'un bref coup de foudre semblable aux éruptions solaires pour que le plasma des tokamaks provoque des dommages irrémédiables à l'enceinte de la machine, peu compatibles avec un fonctionnement industriel. L'étude de ces "disruptions" et des régimes de fonctionnement permettant de s'en protéger est d'ailleurs au cœur des objectifs assignés à Iter.

Or, un stellarator, lui, est intrinsèquement stable, puisque la totalité du champ magnétique qui confine le plasma est produit par des aimants extérieurs. Et il peut fonctionner en continu. *"C'est un rêve de physicien des plasmas !"*, insiste Frédéric Brochard, spécialistes du sujet à l'Institut Jean-Lamour, à Nancy.



THOMAS KLINGER
Directeur scientifique du projet
Wendelstein 7-X

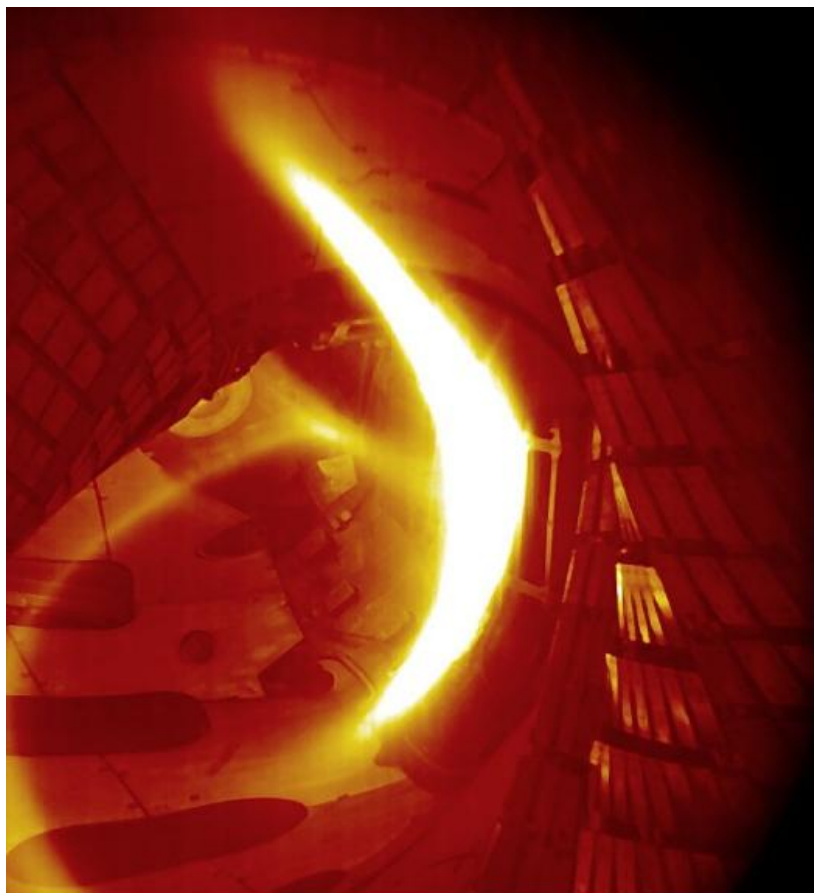
L'assemblage de la machine a été en soi un exploit, nécessitant 1,1 million d'heures de travail !



> Le 3 février dernier, un plasma a été produit à partir d'hydrogène, à 80 millions de degrés, pendant 250 ms : le W7-X a bel et bien démarré.

Un rêve qui, au tournant des années 1980 et 1990, commence à renaître de ses cendres. De fait, l'essor de puissantes méthodes de calculs numériques a permis à la filière de dépasser les bases essentiellement empiriques sur lesquelles reposait le design des stellarators depuis vingt ans. Certes, aucune machine de ce type n'a encore permis d'initier des réactions de fusion ; mais quelques-unes, dont notamment le Large Helical Device, au Japon, le plus grand stellarator actuellement en service dans le monde, ont crédibilisé le concept, notamment en battant en 2005 le record de durée de vie pour un plasma (mais sans réaction de fusion) : un peu plus d'une heure...

Dans le courant des années 1990, lorsqu'ils se lancent dans le projet W7-X, l'ambition des physiciens de l'IPP se situe un cran au-dessus : ils veulent construire un stellarator capable non seulement



de faire fusionner des noyaux atomiques, mais aussi de maintenir ce plasma en activité de fusion durant 30 minutes (tous types de machines confondus, le record mondial de durée de vie d'un plasma de fusion est de 6 minutes, établi en 2003 par le tokamak Tore Supra, installé sur le site du CEA à Cadarache).

CASSE-TÊTE ASYMÉTRIQUE

Comment mettre en place un plasma capable de se retourner cinq fois sur lui-même en même temps qu'il boucle un tour dans l'enceinte? Le recours à des super-ordinateurs va leur permettre de prédire la configuration du champ magnétique. Mais la forme alambiquée à donner aux 70 aimants supraconducteurs nécessaires à ces circonvolutions va, elle, donner de l'urticaire aux ingénieurs.

Pour construire ces pièces de 3 à 4 m, à ajuster au millimètre, il a fallu tout inven-

ter: méthodes de conception, techniques d'usinage, métrologie pour le contrôle... *"Habituellement, dans ce genre d'installation, les différentes pièces présentent des symétries, commente Didier Chauvin, ingénieur en mécanique au CEA, détaché sur le W7-X. Là, rien qu'à les regarder, on se dit qu'on est à la frontière du technique et de l'artistique... C'est le projet le plus dingue sur lequel j'ai travaillé."*

L'assemblage de la machine s'avère être également un véritable casse-tête. *"Ça a été le plus difficile, témoigne Thomas Klinger. Un projet de recherche en soi qui a nécessité 1,1 million d'heures de travail."* Un exemple? La reprise des efforts mécaniques titanesques engendrés par des bobines magnétiques asymétriques en fonctionnement a nécessité la mise au point d'une structure dont le concept même n'existait pas avant le démarrage du projet.

Fusion : où en sont les autres projets ?

La fusion par laser

Comprimer un échantillon de matière sous 100 milliards de bars grâce à des lasers surpuissants est l'autre grande voie de la fusion. En 2014, les physiciens du NIF (National Ignition Facility) sont parvenus à amorcer un tel processus de fusion s'auto-entretenant. Mais à ce jour, les installations consacrées à la fusion par laser, tel le Laser Mégajoule, ont surtout été optimisées pour la simulation des armes nucléaires, et non à des fins civiles (voir S&V n°1167, p. 102).

La fusion à froid

Depuis 1989, les tenants de la fusion dite "froide" l'affirment: il est possible de dompter la fusion à température et pression ambiantes. L'idée même que ce soit physiquement possible est largement controversée. L'ingénieur italien Andrea Rossi affirme être sur le point de commercialiser un réacteur à fusion froide, l'E-Cat. Mais il l'a déjà annoncé plusieurs fois par le passé (voir S&V n°1040, p. 48 et n°1171, p. 100)...

La fusion miniature

En octobre 2014, la firme américaine Lockheed Martin a annoncé la mise au point d'un réacteur à fusion de poche susceptible d'équiper des bateaux, des avions ou des fusées sous cinq ans. Un an et demi plus tard, Lockheed Martin garde toujours le secret sur ses activités (voir S&V n°1171, p. 96).

"Beaucoup se sont demandé si on n'avait pas visé quelque chose de trop complexe", admet Didier Chauvin. "Il y a eu de sérieux doutes sur la capacité à construire avec succès une telle machine", confirme Rudolf Neu, à l'IPP Garching. Des doutes en partie fondés puisque, entre 2004 et 2006, il a carrément été question de tout arrêter. Avant de repenser entièrement l'organisation du projet en mettant en particulier sur pied un bureau



→ spécialement dévolu au design et à l'intégration des composants de la machine.

Finalement, tous ces efforts ont été récompensés. Depuis le 10 décembre dernier, la machine fonctionne – la température du plasma est même montée à 6 millions de degrés. Le 3 février, jour de l'inauguration de la machine par la chancelière Angela Merkel, les ingénieurs ont remplacé l'hélium

De fait, le W7-X n'en est qu'à ses premiers pas. Il sera bientôt mis à l'arrêt afin de préparer sa montée en puissance. Et il ne battra pas le record de durée d'un plasma de fusion avant la prochaine décennie. Le W7-X devra en particulier pallier l'un des points faibles des stellarators : leur difficulté à chauffer les particules jusqu'au cœur du plasma. Sachant que la machine restera incapable de par-

résultats d'Iter et de W7-X, et du développement des outils numériques de contrôle des plasmas, il n'est pas totalement exclu qu'on s'oriente in fine vers un Demo-stellarator".

DEUX CONCEPTS EN UN ?

Guy Laval nuance : *"Tout le monde est convaincu qu'Iter aura des résultats; aussi je pense que Demo sera un tokamak. Mais si W7-X est un succès, qui sait si, au stade industriel, les stellarators ne concurrenceront pas les tokamaks..."* Thomas Klinger abonde dans ce sens : *"Il se peut que les deux concepts soient fondus en un réacteur industriel tirant parti des avantages des tokamaks et des stellarators."*

Bernard Saoutic tranche : *"Tout ce que l'on peut dire à l'horizon 2060 ou 2070 ne sont que des plans sur la comète. Mais il est clair que le stellarator figure dans les plans européens de développement de la fusion. Ce n'est pas un hasard si l'UE a financé jusqu'à 45 % certaines phases de construction du W7-X."*

Depuis le 10 décembre, le match entre les deux machines *alter ego*, que l'on croyait fini, est donc totalement relancé. Et tout semble indiquer que l'avenir énergétique mondial dépendra de son issue.

Pendant ce temps, Iter se construit

L'objectif de la machine Iter, construite à Saint-Paul-lez-Durance, à proximité du site du CEA à Cadarache, est simple : fournir plus d'énergie qu'il n'en consomme. Précisément, ce tokamak vise à confiner 840 m³ de plasma de deutérium et de tritium porté à 110 millions de degrés, et à produire pendant 400 secondes dix fois plus de puissance issue de la fusion nucléaire que celle injectée dans la machine pour allumer la réaction (voir S&V n°1122, p.50). Lors du lancement officiel du chantier, en 2006, les premières expériences étaient prévues pour 2016. Rapidement, il est apparu qu'il faudrait plutôt attendre 2019. Un nouveau calendrier présenté récemment par la direction laisse envisager un retard supplémentaire de cinq ans.

(un gaz choisi pour le démarrage car il permet de nettoyer l'enceinte du réacteur) par de l'hydrogène, dont les isotopes sont le vrai carburant des machines à fusion. Et ils ont réussi à engendrer pendant 250 millisecondes un plasma à 80 millions de degrés, marquant véritablement le début des opérations scientifiques du W7-X.

De quoi faire des stellarators l'avenir de la fusion civile au détriment des tokamaks ? Thomas Klinger reste prudent : *"Nous en sommes au stade des recherches fondamentales, il est donc largement prématuré de répondre à cette question."*

venir à un rendement énergétique positif, un prérequis indispensable avant d'envisager un réacteur industriel. Et que, dans le même temps, Iter aura lui aussi probablement atteint son but, au-delà des possibilités du W7-X.

Au bout du compte, les stellarators compteront toujours une génération de retard sur les tokamaks. Raison pour laquelle Demo, le futur réacteur censé mettre la fusion en mode préindustriel, est actuellement envisagé comme un tokamak.

Il n'empêche, comme l'indique Rudolf Neu, *"selon les*

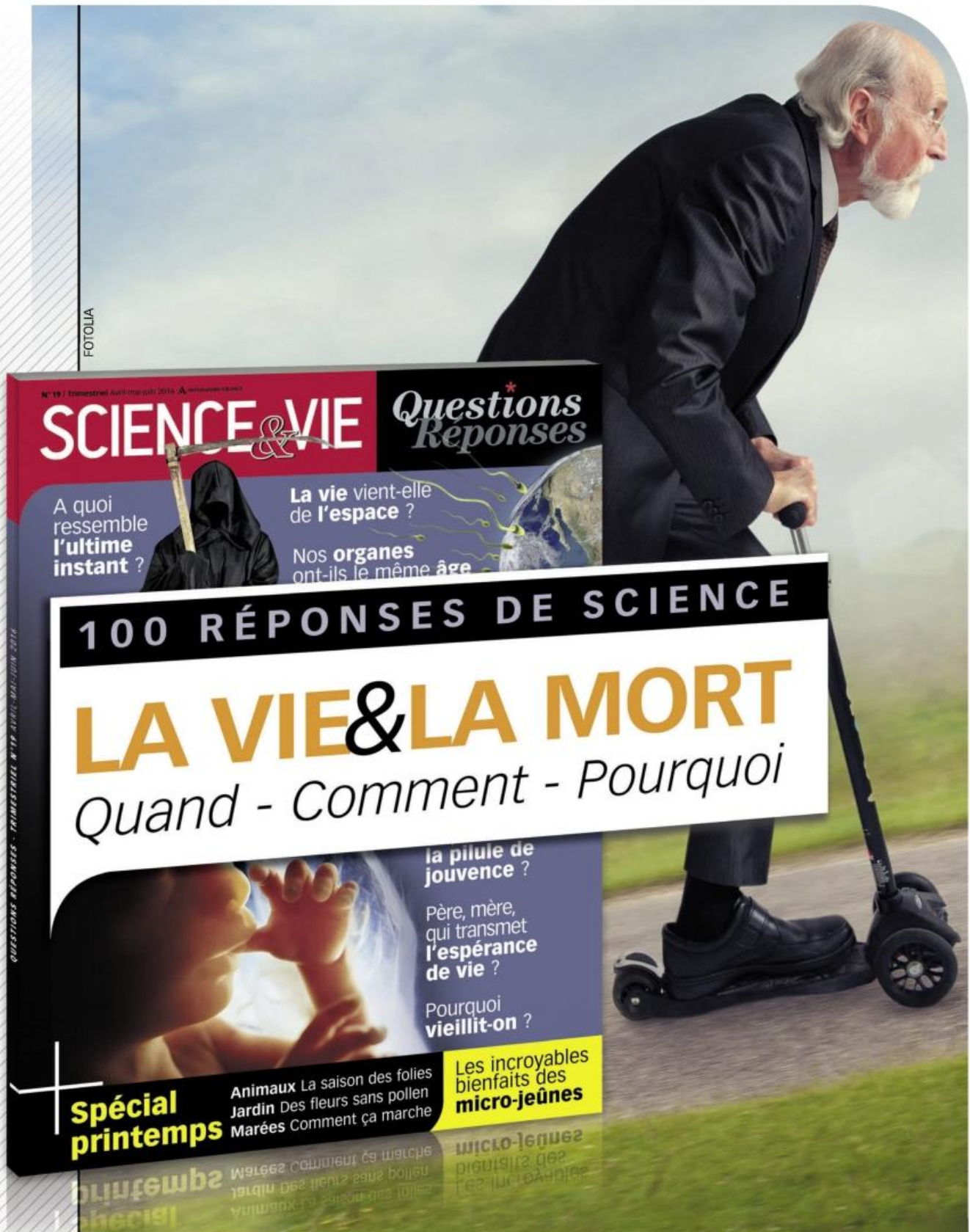


A voir : les vidéos de la construction et du fonctionnement du stellarator W7-X.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

LES QUESTIONS DE LA VIE, LES RÉPONSES DE LA SCIENCE



CO₂

3 idées de génie pour le recycler

Capter le dioxyde de carbone à la sortie des usines, techniquement, on sait faire. Et après ? Au lieu de le stocker, nous dit **Etienne Thierry-Aymé**, ce gaz honni pourrait servir à fabriquer des produits industriels, faisant ainsi coup double. Déjà, trois filières s'organisent...



Produits cosmétiques, plastiques, briques, parpaings, engrais et même carburants...

Tous ces produits pourraient prochainement porter l'étiquette "à base de CO₂ recyclé". Vous ne rêvez pas. L'ennemi climatique n°1 pourrait se métamorphoser en... matière première !

Le dioxyde de carbone, une ressource industrielle ? En réalité, l'idée n'est pas nouvelle.

L'industrie des boissons gazeuses s'en sert déjà comme additif ; l'industrie pétrolière l'emploie comme facilitateur d'extraction dans les puits d'hydrocarbures ; sans oublier l'industrie agroalimentaire, qui le transforme en fertilisant agricole.

Ces usages restent cependant marginaux. Surtout, le CO₂ utilisé n'est pas, en général, capté à la sortie des usines pour être recyclé... mais puisé dans des réservoirs naturels souterrains – un comble ! Si bien que seul 0,5 % du CO₂ émis par l'industrie est aujourd'hui recyclé.

Une situation absurde, à l'encontre des engagements pris par les Etats pour lutter contre le réchauffement climatique. D'autant que les techniques permettant de capter le CO₂ à la sortie des usines sont au

point ! La capture, le transport et le stockage du CO₂ constituent même une filière industrielle établie, connue sous le nom de CCS (en anglais : "Carbon Capture and Storage").

Cette filière n'a pas pour but d'extraire le gaz carbonique de l'atmosphère. Certes, ces derniers mois, ont été présentés des projets d'arbres artificiels et autres murs de ventilateurs censés capter le CO₂ dans l'air. Mais ce sont "*des non-sens énergétiques*", condamne Antoine Fécant, ingénieur de recherche à l'IFP Energies nouvelles (IFPEN), car le dioxyde de carbone atmosphérique n'est pas assez concentré.

En revanche, il l'est à des taux suffisants au sommet des cheminées d'usines. Sa pureté varie de 2 à 20 % au sortir des centrales thermiques, avoisine

Repères

Environ 36 milliards de tonnes de CO₂ sont rejetées chaque année dans l'atmosphère par l'activité humaine. La moitié de ces émissions proviennent de "sources industrielles concentrées" (cheminées de centrales thermiques, de cimenteries...), et pourraient être captées et réutilisées par l'industrie. Mais seules 200 millions de tonnes le sont aujourd'hui.



les 55 % à la sortie d'une raffinerie et les 90 % à la sortie d'une usine d'ammoniac.

C'est important, car l'industrie a besoin de gaz pur ou purifié pour pouvoir l'exploiter. *"C'est d'autant plus nécessaire quand on fait de la chimie fine"*, insiste Thibault Cantat, spécialiste de la chimie du CO₂ à l'Institut rayonnement-matière de Saclay (Iramis/CEA), dont les travaux visent à valoriser le dioxyde de carbone pour l'industrie chimique.

Le CO₂ concentré capté à la sortie des usines est stocké en sous-sol (séquestration géologique) ou dans des conteneurs industriels. A terme, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) estime que 90 % des rejets issus de centrales thermiques pourraient être piégés.

"Capturer le CO₂, aujourd'hui, on sait faire, résume Aïcha El Khamlichi, qui a coordonné l'étude de l'Ademe. La question, c'est plutôt de savoir ce qu'on en fait ensuite."

"VALORISER" LES ÉMISSIONS

A cette question, les réponses se font de plus en plus concrètes. Et pour cause: les pistes de recherche se sont multipliées ces dernières années, portées par l'impérieuse nécessité d'explorer toutes les solutions possibles pour limiter les émissions de CO₂. Au point que *"dans vingt ou trente ans, on devrait pouvoir valoriser entre 3 et 5 % des émissions industrielles"*, estime Aïcha El Khamlichi. Soit dix fois plus qu'aujourd'hui.

Sous quelle forme le recycler? Trois pistes principales

sont explorées (lire les encadrés pages suivantes): le CO₂ peut être incorporé tel quel aux produits en béton (parpaings, plaques, briques...); transformé en produit intermédiaire dans l'industrie pétrochimique (résines, polymères...); ou bien converti en carburant de synthèse.

Des projets explorant chacune de ces pistes fleurissent un peu partout dans le monde. Certains ont même déjà franchi le cap de la commercialisation: c'est le cas des produits en béton fabriqués à partir de CO₂ (lire p. 101).

Les deux autres filières (pétrochimie et carburant) sont, elles, plus délicates, car elles passent par une étape de transformation chimique du dioxyde de carbone. Or, sa molécule (deux atomes

^ DES PROJETS BIEN AVANCÉS

Les industriels travaillent avec des laboratoires spécialisés dans la chimie du CO₂, comme le CAT Catalytic Center de l'université d'Aix-la-Chapelle (Allemagne), qui teste notamment des mousses isolantes fabriquées à base de CO₂.



→ d'oxygène liés à un atome de carbone) est particulièrement stable. Si bien qu'il est nécessaire, pour la transformer en molécules plus complexes, et donc intéressantes pour l'industrie, d'"apporter une quantité importante d'énergie : soit physiquement, par l'électricité ou la chaleur ; soit chimiquement, en utilisant des réactifs à haut contenu en énergie, comme l'hydrogène", souligne Antoine Fécant.

Ce qui pose un problème évident : si l'apport d'énergie et de réactifs est trop important, le bilan carbone du procédé va s'alourdir. Au point de mettre en cause la pertinence même d'un recyclage du CO₂ ?

DES PROCÉDÉS PLUS SOBRES

L'étude de l'Ademe apporte la réponse. L'agence a simulé les émissions de trois procédés permettant de recycler du dioxyde de carbone : production de granulats, d'acide formique et de méthanol. Et constaté, dans les trois cas – qui valent référence pour l'ensemble des variantes possibles –, que non seulement les procédés utilisant du CO₂ recyclé font mieux que les procédés conventionnels, mais que leur empreinte carbone est négative : ils absorbent plus de CO₂ qu'ils n'en émettent.

Le secret de ce bilan favorable : des procédés globalement plus sobres en énergie, qui se passent des produits dérivés du pétrole, très riches en carbone, et l'emploi de catalyseurs qui optimisent les réactions chimiques.

En pratique, un véritable défi pour les ingénieurs chimistes... mais qui a bel et bien été relevé par certaines équipes de recherche.

Des mousses de polyuréthane à base de CO₂, ainsi qu'un carburant pour véhicules hybrides, ont d'ores et déjà vu le jour (lire pp. 102-103). Nul doute : le CO₂ récupéré à la sortie des usines fait désormais partie des matières premières de l'industrie.

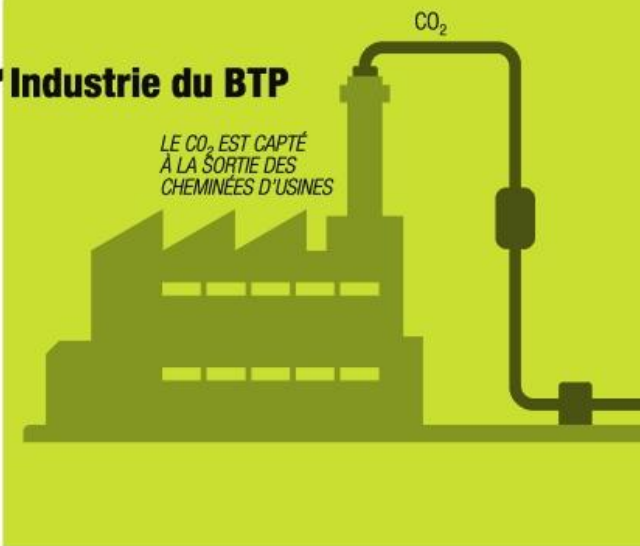
Bien sûr, recycler l'ennemi climatique numéro un ne suffira pas à remporter la lutte contre le réchauffement. Même multipliés par dix, les volumes traités ne seront pas assez importants. Sans compter que le CO₂ recyclé ne l'est qu'un temps : il est de nouveau libéré quand le produit qui l'incorporait se désagrège (béton) ou finit brûlé (carburants, plastiques). Il n'empêche : les procédés de fabrication qui l'incorporent sont en général eux-mêmes plus sobres en énergie. Et tout ce qui ne finit pas dans l'atmosphère est bon à prendre...

Surtout, dans le domaine de la pétrochimie, "il faut avoir en tête les extractions d'hydrocarbures qu'on aura ainsi pu éviter !", souligne Alessandra Quadrelli, chargée de recherche au CNRS et titulaire de la chaire Développement durable à l'Ecole supérieure de chimie physique électronique de Lyon, qui organise tous les deux ans le "CO₂ Forum".

"Si, demain, tous les produits de la chimie actuelle étaient produits à partir du CO₂ – ce que nous sommes bien loin de savoir faire –, on économiserait 2 milliards de tonnes de CO₂ par an", précise Thibault Cantat. Soit presque 6 % du total des émissions de dioxyde de carbone liées aux activités humaines. Une fière revanche en perspective pour le mal-aimé du climat.

Industrie du BTP

LE CO₂ EST CAPTÉ À LA SORTIE DES CHEMINÉES D'USINES



1. Du CO₂ à la place

Après l'eau, le béton est le matériau le plus utilisé au monde. La production de ciment, qui entre dans sa fabrication (il lie les grains de matière : sable, cailloux...), est numéro deux sur le podium des émissions industrielles de CO₂.

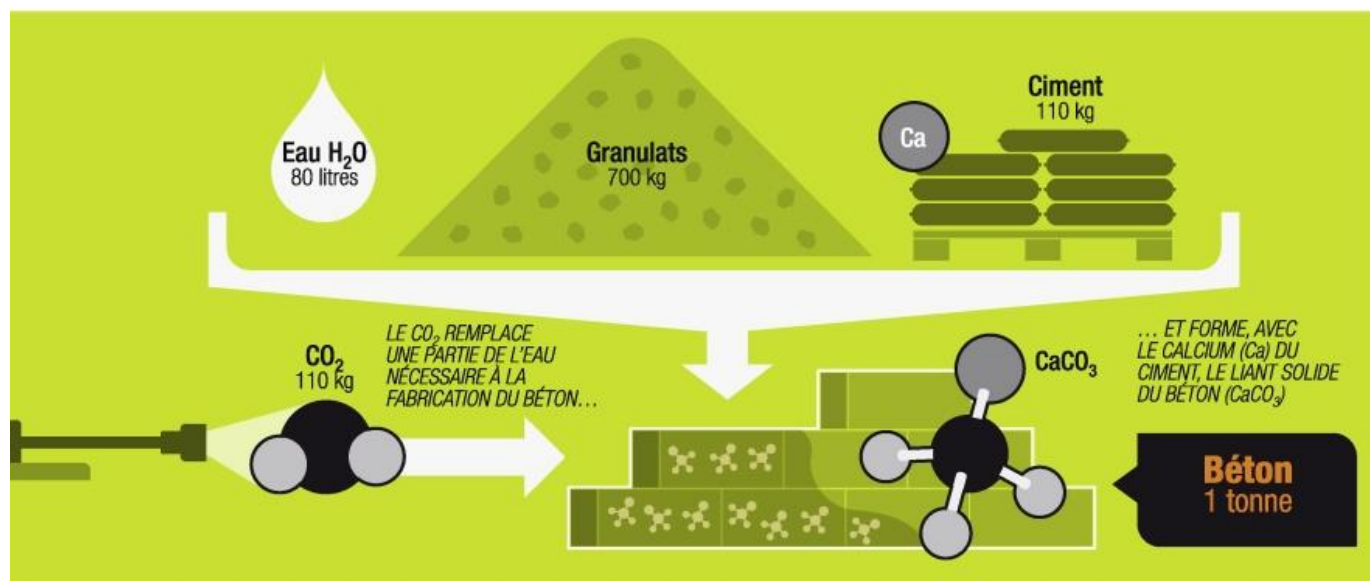
Autant dire qu'un béton dont la production émettrait peu de CO₂ et qui, en "bonus", pourrait stocker l'indésirable gaz, aurait tout du miracle. Eh bien... ce miracle existe !

Quelques sociétés ont en effet mis au point un procédé de fabrication du béton qui remplace une partie de l'eau nécessaire par du CO₂. Deux d'entre elles, la canadienne CarbonCure Technologies et le géant du BTP LafargeHolcim, associé à une start-up américaine, Solidia Technologies, commercialisent même, déjà, les produits issus de ce procédé en Amérique du Nord et en Europe.

En pratique, les ingrédients sont les mêmes que pour un béton ordinaire : silicates de calcium, sulfate de calcium, calcaire... Mais c'est le dioxyde de carbone, injecté dans le four où est cuit le ciment, qui lie et solidifie le tout, remplaçant la vapeur d'eau utilisée traditionnellement. L'eau reste nécessaire, mais seulement pour donner leur forme définitive aux différents éléments en béton préfabriqués (tuiles, blocs, pavés...). Cette eau pourra ensuite être récupérée et réutilisée.

Un vrai piège à CO₂

Aujourd'hui, le dioxyde de carbone utilisé est issu de cheminées d'usines diverses. A plus long terme, les fabricants de ce béton espèrent pouvoir extraire directement le CO₂ des gaz de combustion dégagés par les cheminées de leurs propres cimenteries.



de l'eau pour fabriquer du béton

Principaux avantages de ce nouveau procédé : le gaz indésirable est piégé sous une forme solide (jusqu'à 110 kg par tonne de béton) pour plusieurs années, voire décennies ; et l'empreinte carbone de la fabrication du béton est sérieusement diminuée.

"La réduction des émissions de carbone est de l'ordre de 70%", assure Tom Schuler, le PDG de Solidia Technologies. CarbonCure revendique, elle, une diminution de 80 % de ses émissions de CO₂.

Outre le piégeage direct du CO₂ à la sortie des cheminées d'usines, qui permet d'éviter que le gaz soit dispersé dans l'atmosphère, c'est tout le processus de fabrication, réalisé à une température inférieure à celle des procédés conventionnels, qui gagne en sobriété énergétique, réduisant les émissions tout en faisant de substantielles économies d'eau. "En adoptant ce procédé, les objectifs

de réduction de CO₂ fixés par le Conseil mondial des affaires pour le développement durable [un groupement d'environ 200 entreprises internationales] pour l'industrie mondiale du ciment à l'horizon 2050 pourraient être atteints d'ici trois ans et économiser 2 milliards de litres d'eau par an", estime Tom Schuler.

Tout le secteur du BTP concerné

Cerise sur le gâteau : les bétons à base de dioxyde de carbone prennent plus rapidement. "Notre béton atteint sa résistance maximale en moins de vingt-quatre heures, contre vingt-huit jours pour du béton ordinaire", assure l'industriel.

Si le béton est le matériau le plus courant envisagé par les spécialistes pour stocker le CO₂ durablement sous une forme solide, une autre voie est explorée. Celle de la "carbonatation accélérée",

une réaction chimique qui permet de solidifier le CO₂ sous la forme de carbonates (des minéraux) : incorporés aux résidus solides des incinérateurs de déchets, ils forment des granulats utiles à la construction de routes, de remblais...

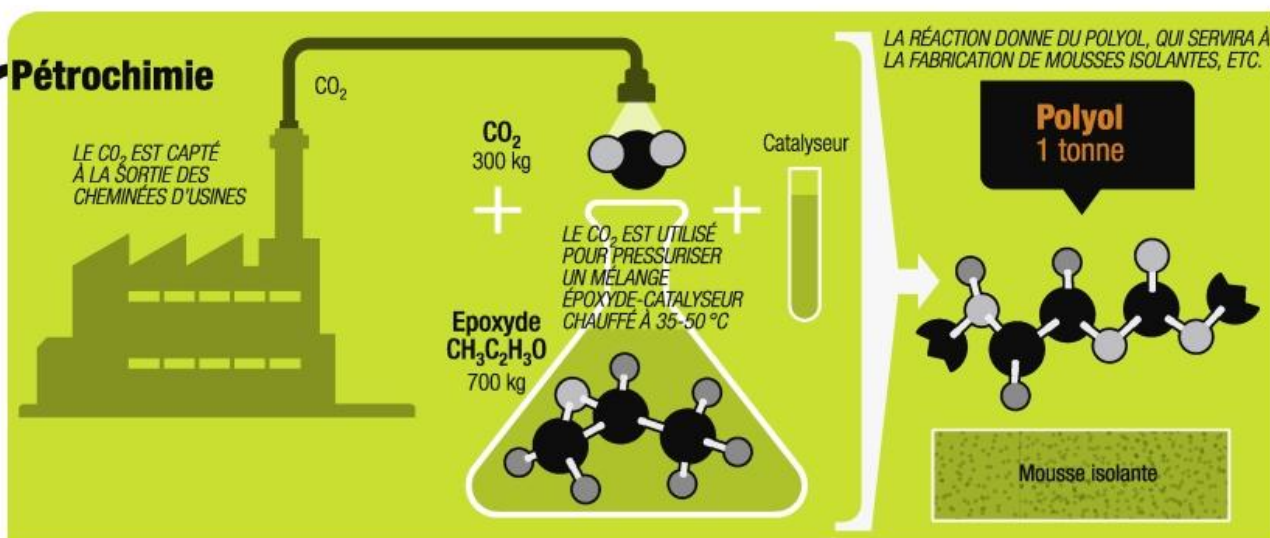
Là aussi, le CO₂ utilisé doit être extrait de fumées de cheminées pour être suffisamment concentré. Et là aussi, pour que le procédé soit intéressant, l'énergie nécessaire à la réaction chimique doit être issue de sources renouvelables : au final, le bilan carbone doit être meilleur que celui des procédés conventionnels. Deux conditions réunies par la société anglaise Carbon8 Systems, qui devrait produire cette année 150 000 tonnes de granulés à base de CO₂ recyclé.

Du soubassement des routes au sommet des immeubles, l'industrie du BTP se met bel et bien au recyclage du CO₂.



TOM SCHULER
PDG de Solidia Technologies

On pourrait réduire les émissions de 70 % et économiser 2 milliards de litres d'eau par an



2. Des plastiques moins polluants grâce à la polymérisation du CO₂

Plastiques, caoutchoucs, peintures... L'industrie chimique étudie plusieurs pistes afin d'exploiter le CO₂ extrait des gaz de combustion des usines. "L'objectif est de créer de nouvelles molécules pour remplacer le pétrole", résume Thibault Cantat, du CEA.

Parmi les projets déjà sortis des laboratoires, citons, aux États-Unis, ceux de l'entreprise Novomer, qui développe depuis cinq ans une technologie visant à fabriquer un nouveau polyol à partir de CO₂ polymérisé. Un polyol ? Un composé organique utilisé

dans la fabrication d'un polymère courant, le carbonate de polypropylène (PPC), qui sert au durcissement des résines époxy et est utilisé pour produire des mousses isolantes pour le bâtiment, des garnitures de siège...

Commercialisé depuis fin 2014 à hauteur de plusieurs milliers de tonnes par an, le polyol de Novomer, appelé Converge, contient jusqu'à 40 % de CO₂. Il est obtenu en combinant "de l'époxyde et un catalyseur dans un réacteur, qui sont ensuite chauffés entre 35 et 50 °C

avant d'être pressurisés à l'aide du CO₂", explique Peter Shepard, PDG de l'entreprise. La réaction de polymérisation se poursuit jusqu'à consommation complète de l'époxyde".

- 70 % d'émissions

En Europe, Covestro remplacera bientôt par du CO₂ environ 20 % du pétrole utilisé pour la fabrication d'un polyuréthane, également à base de polyols. Des essais réalisés avec le CAT Catalytic Center, à l'université d'Aix-la-Chapelle, ont montré que les mousses ainsi réalisées

étaient au moins aussi performantes que les produits classiques. "L'industrie des plastiques a longtemps cherché une alternative aux combustibles fossiles", insiste Karsten Malsch, directeur général du projet chez Covestro. Nous y sommes !"

Pour les deux équipes, le plus grand défi a consisté à trouver les catalyseurs qui amèneraient le CO₂, chimiquement inerte, à réagir efficacement avec d'autres substances. Défi relevé : à condition d'utiliser une source d'énergie faiblement carbonée (biogaz, par exemple) pour provoquer les réactions chimiques, le procédé recycle le CO₂... et en émet même moins que les procédés classiques ! "L'empreinte carbone de nos polymères est inférieure de 70 % à celle des polymères fabriqués à base de pétrole uniquement", fait valoir Karsten Malsch.

B. BOURGEOIS - D.R.



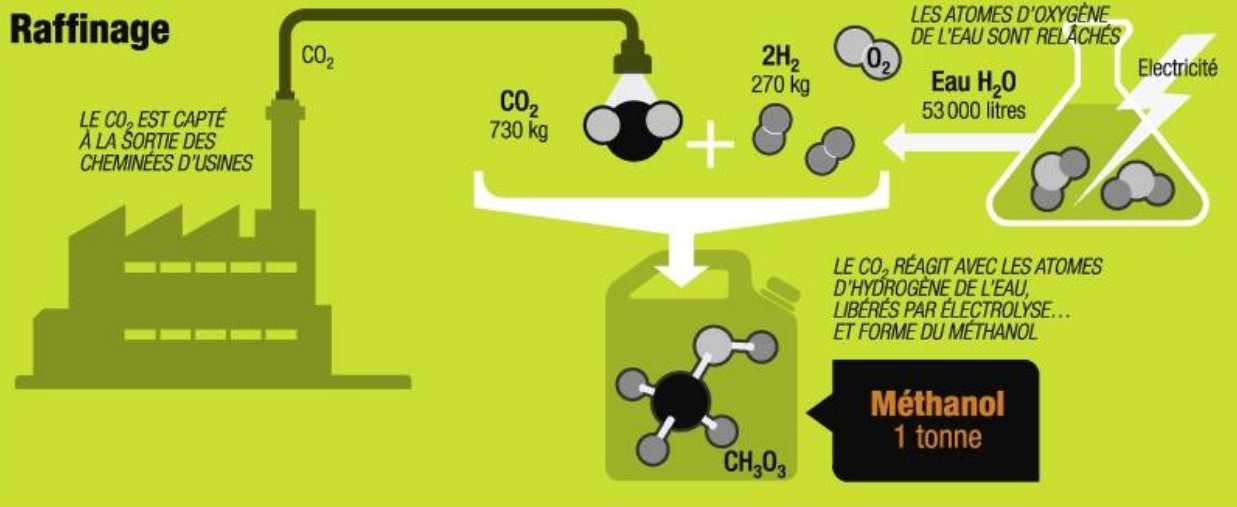
THIBAUT CANTAT

Spécialiste de la chimie du CO₂ au laboratoire Iramis (CEA)

L'objectif est de créer de nouvelles molécules pour remplacer le pétrole dans l'industrie chimique

Raffinage

LE CO₂ EST CAPTÉ À LA SORTIE DES CHEMINÉES D'USINES



3. Convertir le CO₂ en carburant écologique

Boucler la boucle : produire du carburant avec le CO₂ issu de la combustion des dérivés du pétrole. "Le Graal", lâche Thibault Cantat, du CEA. Mais sans viabilité économique à court terme. En tout cas, pas tant que les carburants fossiles resteront aussi peu chers." Un avis partagé par Antoine Fécant, ingénieur de recherche à l'IFPEN : "C'est une voie en laquelle nous croyons, mais qui n'a pas de potentiel commercial avant vingt ou trente ans."

La raison d'y croire, malgré tout ? Les technologies

sont au point. Plusieurs variantes existent, mais le principe reste le même : des réactions associant des atomes d'hydrogène au carbone du CO₂ donnent des molécules analogues à celles des carburants issus du pétrole.

Cela demande de l'énergie, forcément renouvelable – sinon à quoi bon recycler le CO₂ ? En France, l'énergie solaire est privilégiée ; en Islande, la chaleur des volcans a, déjà, permis de mettre au point une installation produisant du méthanol. La société Carbon Recycling Interna-

tional a exploité son avantage : les renouvelables représentent 87 % de l'énergie consommée sur l'île, qui dispose en particulier d'un gros potentiel géothermique. De quoi produire, selon la société, 4000 t par an de son "Vulcanol" adapté aux moteurs thermiques, en particulier ceux complétant un moteur électrique sur certains véhicules hybrides. La compagnie assure que son carburant à base de CO₂ "réduit les émissions carbone de plus de 90 % par rapport aux combustibles fossiles".



ANTOINE FÉCANT
Ingénieur de recherche
à l'IFP Energies nouvelles

Cette voie n'aura pas de potentiel commercial avant vingt ou trente ans, mais elle est déjà très prometteuse



A consulter :
l'étude de
l'Ademe sur les
différentes techniques de valorisation du CO₂ ;
un cycle de conférences du Collège de France sur ce thème.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

La lumière grâce à un champignon

Organisme

1 spécimen *Panellus*

Lumière

Verte, 10 lumens (équivalent à une bougie), 24 h/24

Durée de vie

Plusieurs années, entre 10°C et 30°C

Mécanisme

La lumière est produite par une enzyme naturelle du champignon, la luciférase, qui réagit avec l'oxygène de l'air.

Bioluminescence

Et l'éclairage devint vivant

Exit les traditionnels réverbères : des organismes bioluminescents pourraient bientôt éclairer les rues. Une féerie qui, en plus, réduirait la facture, explique **Muriel Valin**.

Quand, le soir venu, l'obscurité s'étend, vers quelles sources se tourner pour éclairer nos intérieurs et nos villes juste ce qu'il faut – en limitant la pollution lumineuse et la consommation d'énergie ? A l'heure actuelle, les agglomérations misent sur les LED, peu gourmandes en énergie, et sur l'éclairage "intelligent", via des dispositifs à intensité

variable, ajustant la quantité de lumière diffusée au gré des heures et de l'affluence.

Mais elles pourraient aller plus loin. Envisager, carrément, de se passer d'électricité pour éclairer la nuit, en confiant la lumière urbaine à des organismes vivants.

Farfelu ? Détrompez-vous. *"Les Indiens d'Amérique du Sud utilisaient déjà, il y a très longtemps, des insectes lumineux, des cucujos [une sorte de gros scarabée], pour s'éclairer"*, raconte Sandra Rey, l'une des pionnières françaises à travailler sur ce sujet, fondatrice de la start-up Glowee. Les récits de l'historien espagnol Gonzalo Fernandez Oviedo rapportent que ces insectes, installés dans des cages, servaient de lampes d'intérieur.

Mais alors... Pourquoi avoir attendu six siècles pour reprendre cette piste ?

C'est que la bioluminescence (lire "Jargon") est longtemps restée mystérieuse. Que des insectes, bactéries ou champignons produisent de la lumière, le fait est répertorié de longue date. Et l'explication chimique connue depuis 1887 grâce au physicien français Raphaël Dubois : à l'intérieur de certaines cellules ou directement dans la peau de certaines espèces vivantes, une réaction entre une molécule (la luciférine) et une enzyme (la luciférase) en présence d'oxygène provoque l'émission de photons, donc de lumière. Mais côté biologie, les chercheurs séchaient. Pourquoi certains organismes éclairent 24h/24, et d'autres seulement dans l'obscurité ? Pourquoi l'intensité varie suivant les espèces ?

Puis, ces vingt dernières années, les mécanismes génétiques à l'œuvre dans cette bioluminescence ont été percés à jour. Au point que l'idée

Repères

L'éclairage représente 12 % de la consommation d'électricité en France. Il comprend l'éclairage intérieur (25 points lumineux par ménage en moyenne, selon l'Ademe, soit 230 millions en tout) et l'éclairage extérieur (9 millions de points lumineux). Les lampes à incandescence ont une efficacité de 9 à 15 lumens/watt, et les LED de 40 à 80 lm/W.

→ d'utiliser des êtres vivants comme dispositifs d'éclairage à grande échelle a commencé à être sérieusement envisagée. A la clé : la possibilité de rendre bioluminescents des buissons, des haies, des arbres en bordure de route... Féérique !

Encore fallait-il lever un dernier obstacle : les organismes étudiés n'éclairent pas suffisamment pour être utilisables, ou s'illuminent dans des conditions impossibles à reproduire. Et pour cause : la plupart des

ainsi partis de plants de tabac (*Nicotiana tabacum* puis *Alata*), non bioluminescents à la base mais faciles à cultiver. Ils ont introduit dans leur chloroplaste – "l'usine énergétique" des plantes – une séquence d'ADN venant de bactéries bioluminescentes marines.

UN ARBRE POUR LAMPADAIRE

Résultat ? Les plantes obtenues se sont illuminées 24 h/24, de manière autonome et stable, pendant plusieurs mois. Mais

pour l'instant, pour des raisons de confidentialité, mais je crois que d'ici quatre ou cinq ans nous devrions obtenir des plantes et même des arbres qui pourront éclairer nos rues ! Des défis techniques demeurent, mais aucun ne me semble insoluble."

Dans la même logique, des chercheurs californiens, autour de la start-up Glowing Plant, ont tenté avec succès une expérience similaire avec une petite plante, *Arabidopsis*,

La lumière grâce à une plante

Organisme

Arabidopsis

Lumière

Verte, intensité non communiquée, 24 h/24

Durée de vie

Trois mois

Mécanisme

La lumière est produite par les gènes d'une bactérie bioluminescente qui a été insérée dans le génome d'*Arabidopsis*.



espèces bioluminescentes sont marines et vivent dans les grandes profondeurs – plus de 80 % de la population des abysses est bioluminescente.

C'est cet obstacle que plusieurs équipes de recherche ont essayé de contourner. Avec un atout décisif dans leur manche : la biologie de synthèse, qui permet de transférer la capacité d'émettre de la lumière d'une espèce à une autre.

Des chercheurs de l'université d'Etat de New York sont

pour l'heure, l'intensité de cet éclairage reste très modeste : tout juste une petite lueur visible dans le noir, l'équivalent de quelques lumens contre 400 lm pour une ampoule à incandescence de 40 watts ! Il n'empêche, le principe est au point et Alexander Krichevsky, à la tête de ces travaux, se montre très optimiste : "Nous sommes en train de progresser et d'obtenir des prototypes de plus en plus lumineux. Je ne peux pas en dire plus

et un gène de luciole. Mais eux se montrent prudents sur l'intérêt de la bioluminescence pour remplacer l'éclairage extérieur. "Je ne pense pas qu'avant dix ans nous puissions développer des plantes qui se substitueront à l'éclairage à grande échelle, parce que nos marges de progression sur la luminosité sont inconnues", explique Antony Evans, fondateur de l'entreprise. Mais la bioluminescence aurait bel et bien un avenir

Jargon

La bioluminescence

(en grec, *bios* signifie "vie" et *lumen*, "lumière") est un phénomène d'émission lumineuse qui se produit chez certains animaux (ver, luciole...), bactéries et champignons. **Ils n'ont pas besoin du soleil** pour que cette réaction chimique s'opère, à la différence des organismes fluorescents et phosphorescents.





La lumière grâce à une bactérie

Organisme

E. Coli

Lumière

Bleue-verte, 10 lumens (équivalente à une bougie), 24 h/24

Durée de vie

De trois à cinq jours

Mécanisme

La lumière est produite par des gènes d'une bactérie marine bioluminescente insérés dans le génome d'*E. Coli*.

commercial : "Une autre piste paraît crédible à moyen terme. On pourrait utiliser ces plantes pour éclairer des lieux ou des intérieurs de manière permanente et non intense." En clair : créer des veilleuses ou des éclairages d'appoint vivants.

Cette approche motive également deux équipes françaises, travaillant l'une sur des champignons et l'autre sur des bactéries bioluminescentes.

La première a testé, depuis 2011, diverses souches de champignons (60 espèces sont naturellement bioluminescentes), jusqu'à trouver l'espèce apte à éclairer autant qu'une bougie avec un seul spécimen. Didier Blaha, chercheur en mycologie à l'université de Lyon et responsable de ce projet avec la designer Hélène Amalric, imagine déjà l'avenir : "D'ici quelques années, nos systèmes bioluminescents pourront pro-

duire une lumière écologique, sans aucune alimentation. Ce serait idéal pour réaliser un éclairage de transition là où il sera nécessaire de voir mais pas forcément d'éclairer à fond."

VOIR SANS ÉCLAIRER À FOND

La start-up française Glowee, qui travaille, elle, sur des bactéries génétiquement modifiées, suit le même raisonnement : "Avec la bioluminescence, on ne remplacera pas tous les lampadaires de rue car la puissance ne suffira pas. Mais, dans le futur, on pourra éclairer des vitrines, des abribus, des squares, des rampes, des passages piétons ou encore des panneaux signalétiques", prédit Sandra Rey, qui a déjà réussi à développer une installation avec 70 adhésifs collés sur des murs et remplis de bactéries... permettant de voir dans une pièce plongée dans le noir.

Bien sûr, des progrès restent à faire, pour augmenter notamment l'intensité, la durée de vie des "lampes vivantes" – en trouvant le meilleur moyen de les "nourrir" facilement et durablement –, étendre la palette des couleurs disponibles, aujourd'hui cantonnée au vert et au bleu. Mais l'idée suscite beaucoup d'enthousiasme chez les éclairagistes interrogés. "Cette démarche me paraît très novatrice car elle utilise une source naturelle", reconnaît Marie-Pierre Alexandre, de l'Association française de l'éclairage. Or, le contexte actuel s'y prête plutôt bien... Car, rappelons-le, depuis le 1^{er} juillet 2013, un arrêté restreint en France l'éclairage des bureaux, vitrines et commerces la nuit. Nul doute que l'éclairage vivant, doux, limité, frugal, saurait s'y adapter.



A écouter : une conférence sur la "veilleuse-champignon".
A voir : de futurs lieux éclairés aux bactéries.
A lire : les publications de référence.

science-et-vie.com

Découvrez la nouvelle

Croisière SCIENCE & VIE

SCIENCE & VIE
JUNIOR



VACANCES DE TOUSSAINT - DU 21 AU 28 OCTOBRE 2016

ADRIATIQUE ITALIE • CROATIE • MONTÉNÉGO • GRÈCE & ILES GRECQUES

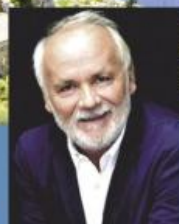


AU DÉPART DE VENISE, ALLER À VENISE C'EST FACILE,
NOS CONSEILLERS SONT À VOTRE DISPOSITION !



À BORD DU COSTA
MEDITERRANEA

**VOUS AIMEZ LA SCIENCE,
CETTE CROISIÈRE EST FAITE POUR VOUS !**



Jérôme Bonaldi,
Journaliste
et animateur TV



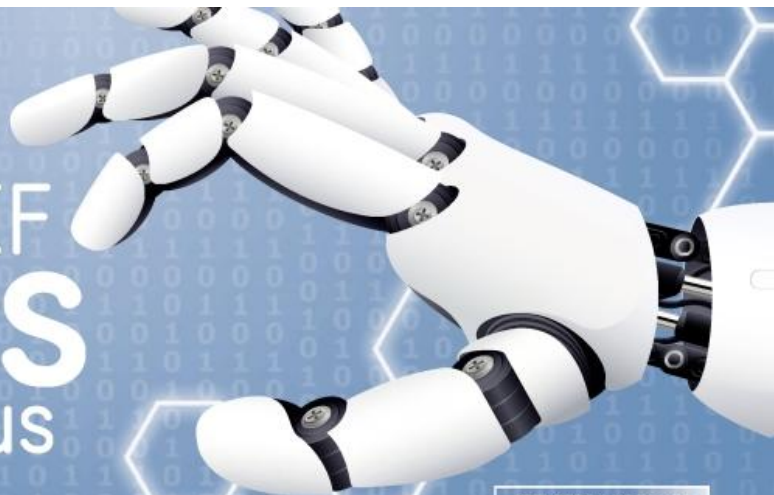
Jean-Pierre Bibring,
Astrophysicien



Pascal Picq,
Paléanthropologue

- **Des conférences passionnantes** avec l'astrophysicien Jean-Pierre Bibring*, le paléanthropologue Pascal Picq*, le journaliste et animateur TV Jérôme Bonaldi*.
- **Des escales pour les curieux** qui vous permettront de découvrir Venise, Dubrovnik, les bouches de Kotor, Split et les merveilles d'Olympie.
- **Des moments pour le plaisir et la détente** de tous à bord (piscine avec toit ouvrant, toboggans, espace de jeux virtuels mais aussi Spa, piste de jogging et transats).
- Juniors (à partir de 9 ans), parents, grands-parents, seuls ou en couple, **venez vivre une expérience unique !**

Croisière **OBJECTIF sciences** pour tous



ATELIERS LUDIQUES

RENCONTRES

CONFÉRENCES



à partir de
8 JOURS/7 NUITS

959 €

PENSION COMPLÈTE
ET UNE SÉLECTION DE BOISSONS

Forfait de séjour à bord inclus
Prix TTC/pers. en cabine double cat. IC

**OFFRE SPÉCIALE
TOUSSAINT**

Gratuité Croisière enfants
pour les - de 18 ans

Vivez une croisière inoubliable
entre conférences captivantes
et paysages magnifiques.

NOTRE TARIF COMPREND

- La croisière 8 jours/7 nuits
- La pension complète et une sélection de boissons aux repas
- Le port des bagages, le forfait de séjour à bord et les taxes portuaires
- L'ensemble des animations exclusives de la croisière Science&Vie
- Une équipe dédiée à la croisière Science&Vie

*Appelez-nous ! C'est rapide, facile
et cela n'engage à rien !*

INFORMATIONS & RÉSERVATIONS

01 41 33 57 01

Du lundi au samedi de 9h00 à 19h00

TÉLÉCHARGEZ LA BROCHURE COMPLÈTE SUR

www.croisieres-lecteurs.com/sv

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

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à LA CROISIÈRE SCIENCE&VIE « OBJECTIF SCIENCES POUR TOUS » COSTA CROISIÈRES - MD - 8 rue François Orly 92543 Montrouge Cedex

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

SCIENCE&VIE

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

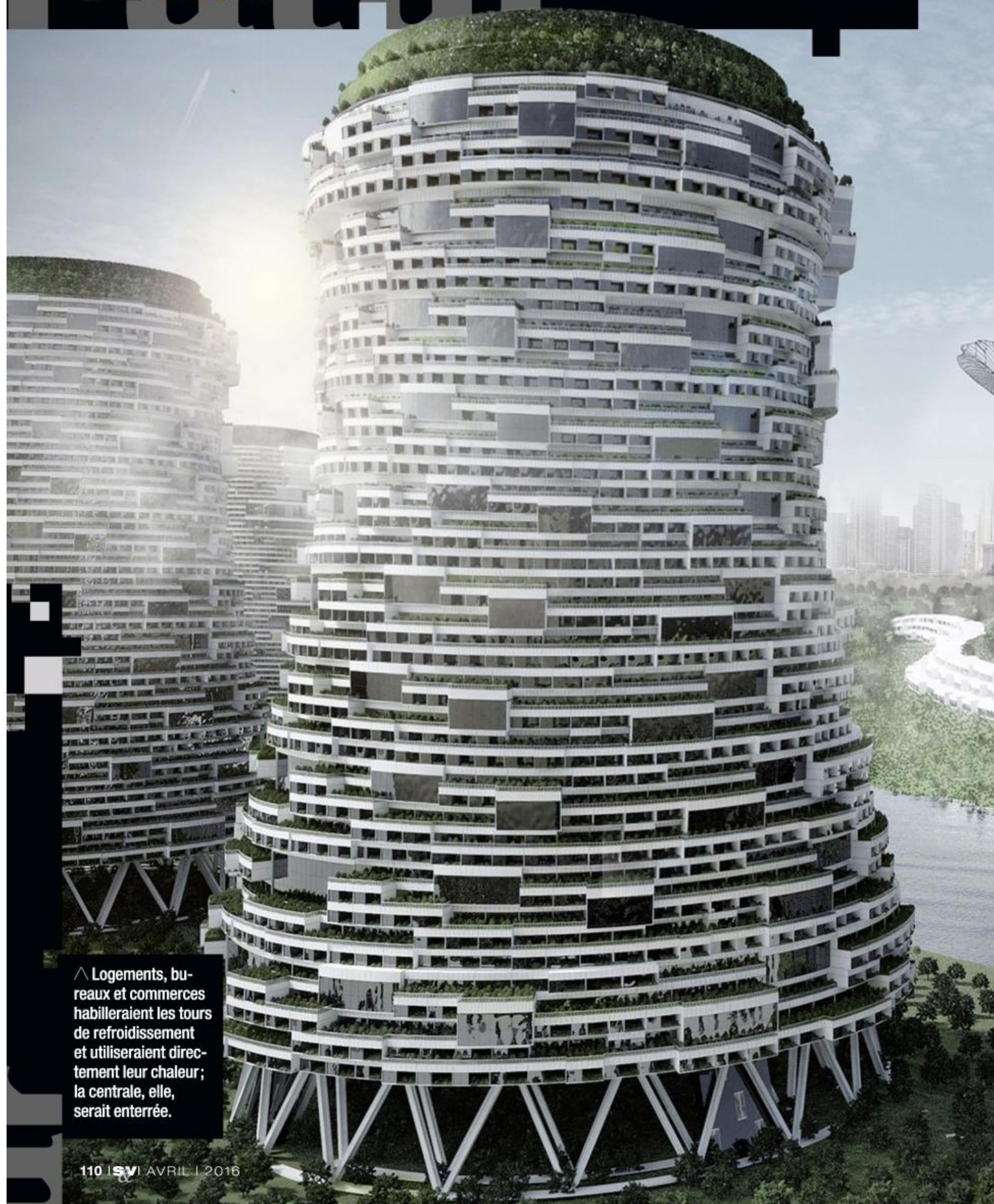
Tél. : Email :

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

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



*Sauf cas de force majeure. Ce programme non contractuel est susceptible d'évoluer.



△ Logements, bureaux et commerces habilleraient les tours de refroidissement et utiliseraient directement leur chaleur ; la centrale, elle, serait enterrée.



Iran

Un projet d'immeuble détourne les tours des centrales thermiques

Transformer les centrales électriques en espace habitable: c'est ce que propose une équipe d'architectes iraniens, avec le projet Cypher CO2ling Plants. L'idée est d'intégrer logements, bureaux et commerces dans la structure des tours de refroidissement des centrales (gaz, charbon...). Alors que la chaleur dégagée par la production d'électricité y est d'ordinaire évacuée par évaporation d'eau, ici, cette chaleur serait, l'hiver, récupé-

rée pour chauffer les logements, ce qui permettrait de faire des économies d'énergie. Et l'été, les tours rempliraient leur fonction usuelle. La hauteur habitable pourrait atteindre 200 m et compter jusqu'à 60 étages. Afin de limiter l'impact visuel et sonore de la chaudière et de la turbine avoisinantes, les architectes prévoient d'enterrer la centrale sous une colline. En surface, des cheminées surmontées d'un auvent végétal permettraient de filtrer le CO₂

rejeté. Enfin, l'équipe précise que d'autres aménagements fonctionnels pourraient venir s'ajouter aux fonctions déjà prévues, à l'instar de centres d'hydrothérapie, exploitant, là aussi, la chaleur dégagée par la centrale. Un bémol cependant: il n'est pas précisé dans quelle mesure les contraintes de sécurité d'une centrale thermique seraient compatibles avec une densité de population importante à faible distance des installations.

E.P.

K&S GOLMOHAMAD/S.MOAREFI

Cranfield (Royaume-Uni)

Des toilettes sèches alimenteront les usagers en eau et en énergie

Des toilettes sans eau et sans raccordement à un réseau ou à une fosse septique. Et sans odeur. Le secret ? Un système étanche de séparation mécanique des liquides et des solides permet de purifier d'un côté les liquides pour servir d'eau de lavage ou d'irrigation. De l'autre, les résidus solides, séchés *in situ*, sont récupérés – les toilettes sont livrées avec un contrat de maintenance – pour être utilisés comme source d'énergie dans une usine de gazéification.

Le tout pour "moins de 0,05 \$ par personne et par jour", estime Alison Parker, membre du projet: "Le moyen de faciliter l'accès aux sanitaires en Afrique subsaharienne." Premiers essais au Ghana cette année. **T.C.-F.**



Ile-Saint-Denis

De premiers écrans numériques antibruit testés le long des autoroutes

Dans les "smart cities" de demain, les murs antibruit le long des routes deviendront des éléments de communication numérique. C'est en tout cas la vision des architectes de l'agence parisienne Philippon-Kalt. Côté route, leur concept Ponkawall est une paroi creuse, constituée de bambous, qui absorbe plus de bruit qu'un mur acoustique classique. Côté ville, des panneaux solaires produisent l'électricité nécessaire pour afficher des flashcodes géants, que les habitants peuvent photographier, jusqu'à 50 m de distance, pour accéder à toutes sortes d'informations sur leur smartphone. Un module de 4x4 m est actuellement testé sur l'A86 en surplomb de l'Ile-Saint-Denis. "Techniquement, ça fonctionne, explique Brigitte Philippon. Mais il faut encore affiner le modèle économique pour qu'il devienne réalité d'ici deux ans."

L.B.

Birmingham (Royaume-Uni)

Une **expérience de réalité virtuelle** promet de soigner le **stress et la dépression**

Vivre avec les mêmes personnes des mois durant, dans un espace confiné sans possibilité d'en sortir : tel est le quotidien des astronautes à bord de la Station spatiale internationale. Une épreuve difficile, même pour les plus aguerris. Afin de pallier d'éventuels phénomènes de stress et de dépression, des chercheurs proposent de recourir à des casques de réalité virtuelle. Des tests ont commencé au sol, avec des soldats canadiens stationnés près du pôle Nord, très isolés aussi. La thérapie proposée ? Luminosité, météo, ambiance sonore... les scientifiques cherchent ce qui rendra l'isolement plus supportable. **S.F.**



NANO MEMBRANTOILET.ORG - PHILIPPON-KALT ARCHITECTES - DR

Idée neuve



“DES YAOURTS AUX BACTÉRIES OGM SOIGNERAIENT LES MALADIES PARASITAIRES”

Raffi Aroian, université du Massachusetts (États-Unis)

Se soigner avec des bactéries génétiquement modifiées pour produire une toxine très puissante : voilà la très provocante proposition de Raffi Aroian, directeur d'un laboratoire de médecine moléculaire à l'université du Massachusetts. Ce chercheur envisage de faire produire à des bactéries, à l'intérieur de nos intestins, une des fameuses toxines Bt habituellement réservées aux champs de colza, maïs et autres plantes génétiquement modifiées pour lutter contre les parasites. Son objectif : éliminer les vers parasites qui infectent plus d'un milliard de personnes dans le monde, avec des conséquences sur la croissance, les capacités cognitives... *“Nous avons besoin de nouveaux médicaments contre ces maladies, car non seulement ceux qui existent actuellement ne sont pas suffisamment efficaces, mais des résistances se développent contre eux. Avaler des bactéries OGM à la manière de probiotiques, dans des yaourts, serait très économique et facile à mettre en place dans les pays pauvres touchés par ces maladies.”* A condition que le statut OGM de ces bactéries ne soit pas une barrière... **E.A.**



Chicago

La future base de Mars sera en béton 100 % d'origine martienne

Charger des matériaux terrestres dans les soutes d'une fusée pour bâtir une base martienne coûterait trop cher. Aussi des chercheurs de l'université Northwestern proposent-ils de fabriquer du béton directement à partir du sol de Mars. Il serait composé des matériaux trouvés sur place, liés entre eux par du soufre fondu, un élément abondant sur la planète rouge. Ce béton pourrait être prêt en seulement deux ou trois heures et serait utilisé dans une imprimante 3D pour fabriquer des abris. Expérimentée sur Terre, sa résistance à la compression est trois fois moindre que celle du béton terrestre mais conviendrait à la gravité martienne.

S.F.

Chine

Le transport de passager par drone se concrétise

Oubliée la livraison de pizza par drone... Avec l'Ehang 184, la société chinoise change d'échelle et adapte le quadricoptère au transport de passager. Avec 8 hélices groupées sur 4 bras et une autonomie promise de 20 mn, ce drone transporte jusqu'à 100 kg à 100 km/h. Peu de chance toutefois qu'il franchisse l'étape de la certification. Trop de questions techniques et légales restent à ce jour sans réponse. Mais après le train et la voiture, on voit mal comment le transport de passager dans les airs pourrait résister longtemps à la lame de fond de l'automatisation... F.Le.

Lille

Bientôt de **nouvelles** éoliennes flottantes **encore plus efficaces**

En pleine mer, où la profondeur est trop importante pour ancrer le pylône qui supporte leurs pales, les éoliennes doivent flotter. Mais qui dit pleine mer dit aussi vents forts. Une manne, bien sûr... mais aussi un défi : comment éviter que les éoliennes gîtent trop ou chavirent ? La société française Nénuphar teste actuellement un nouveau design, baptisé Twinfloat, qui profite des vents forts tout en garantissant une stabilité suffisante. Les trois pales habituelles sont remplacées par deux éoliennes à axe vertical qui tournent chacune en sens inverse sur un même flotteur. Pourquoi deux et en sens inverse ? Parce que cela permet de doubler la surface balayée et donc d'améliorer le rendement et de créer un flux d'air supplémentaire entre les deux axes, contribuant à la stabilité. Bilan : le rendement énergétique de cette machine de 5 MW dépasserait celui des éoliennes classiques. Les premiers tests en mer auront lieu en 2017 au large de Port-Saint-Louis, en Méditerranée, pour une commercialisation envisagée en 2021. **L.B.**



NENUPHAR - EHANG

Rendez-vous en...
2030

LE VIRUS DU SIDA NE SE TRANSMETTRA PLUS À PARIS

Comme beaucoup de grandes capitales, Paris connaît une épidémie de VIH cinq fois plus élevée que dans le reste de la France. C'est pourquoi la maire Anne Hidalgo a fixé pour objectif l'extinction de la transmission du virus en 2030. Pour cela, il faudrait atteindre dès 2020 les "3x90" : 90 % de séropositifs diagnostiqués, 90 % traités et 90 % vivants avec une charge virale contrôlée. Pour y arriver, elle a missionné un comité d'experts. *"Une grande partie du chemin est déjà parcourue pour les deux derniers 90"*, indique leur rapport rendu début 2016. En revanche, encore 19 % des personnes infectées par le VIH ne sont pas diagnostiquées... Leurs propositions ? Intensifier le dépistage en mobilisant les professionnels de santé et en communiquant sur les différents tests disponibles (dont des autotests). Mais aussi en renforçant l'information, notamment auprès des populations les plus exposées, sur l'existence d'un traitement préventif : le médicament Truvada est en effet une alternative au préservatif et peut être prescrit, depuis janvier 2016, dans les hôpitaux et les centres gratuits d'information, de dépistage et de diagnostic de la capitale. Des mesures qui devraient être effectives dès cet été. **L.B.**

Casablanca (Maroc)

Une oasis mobile veut ensemen- cer le désert

L'architecte marocain Yachar Bouhaya et le studio Malka Architecture ont imaginé une énorme "Green Machine" qu'ils veulent lancer à la reconquête végétale du Sahara. Elle se présente sous la forme d'un plateau de 25 000 m² monté sur quatre chenilles géantes et surplombé par 9 ballons chargés de produire 430 m³ d'eau par jour, par condensation de l'humidité ambiante. Une eau essentiellement destinée à irriguer les sols préalablement labourés par les chenilles avant, tandis que celles placées à l'arrière y pulvérisent un mélange d'eau, d'engrais naturel et de graines – graines également produites dans les serres de la plateforme. Véritable oasis mobile, cette machine démesurée est, en théorie, énergétiquement autonome : 9 tours solaires doivent lui permettre de produire 450 kW d'électricité. **E.P.**



MALKA ARCHITECTURE

LA SCIENCE & LA VIE

118

Réforme du clavier AZERTY

**Voici ce
qui pourrait
changer...**



128

Technofolies

**Les runnings
qui propulsent
vraiment le pied**



132

Questions/Réponses

**Toutes les fleurs
sont-elles butinées
par les abeilles?**

**Science
& société**

118

**Science
& vie pratique**

126

**Science
& culture**

132

Réforme du clavier AZERTY

Voici ce qui pourrait changer...

Boom des jumeaux

Les grossesses gémellaires vont, à terme, diminuer

La TNT passe à la HD

La haute définition atteint ses limites

Cancers en France

On survit mieux à la maladie aujourd'hui qu'il y a 20 ans

Bon à savoir

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

Technofolies

Les runnings qui propulsent vraiment le pied ; un thermomètre connecté ultraprécis ; une i-carafe qui aère le vin en quelques minutes seulement ; une pompe à vélo qui se recharge en air comprimé quand on roule...

Questions / Réponses

Toutes les fleurs sont-elles butinées par les abeilles ? Pourquoi le café perturbe-t-il notre sommeil ?...

A voir / à lire

30 ans après la catastrophe de Tchernobyl, un livre fait le point...

Il y a... 150 ans

1866 : Mendel pose les bases de la génétique

L'VILLERET/DOLCE VITA - DR - SHUTTERSTOCK

Réforme du clavier AZERTY

Voici ce qui pourrait changer...

Il paraissait intouchable. Depuis près de cent vingt ans, le clavier AZERTY, qui nous sert d'interface avec la technologie, de la machine à écrire au plus récent ordinateur, n'a été que très légèrement modifié.

Sa dernière acquisition, en 2001, c'est le symbole € sur la touche E, que le passage à l'euro a rendu nécessaire.

En revanche, les caractères attribués aux touches ont été acceptés depuis tellement longtemps par les Français qu'ils semblent

gravés dans le marbre. Qui s'étonne encore qu'un point soit plus compliqué à taper qu'un point-virgule – et qui voudrait changer cela ?

Mais voilà que ce monument va être remodelé sous l'égide de l'Association française de normalisation (Afnor), qui soumettra au public une première proposition cet été. Pourquoi ? *“Parce que certains caractères très répandus de la langue française sont difficiles, voire impossibles à saisir”,* répond Stéphanie Guyard, chef de mission au ministère de la Culture. Et c'est vrai que la disposition AZERTY, pourtant une adaptation du QWERTY américain pour le français (bien que l'Histoire ait oublié comment et pourquoi), ne rend pas vraiment hommage à la langue de Molière.

Premier accroc, l'accès aux majuscules accentuées, pourtant largement utilisées en début de phrase ou dans les noms de famille, est difficile. Et ce problème

concerne aussi le fréquent “ç”. Les deux ligatures “œ” et “æ” n'apparaissent quant à elles tout simplement pas sur le clavier.

Certes, les logiciels corrigent généralement ces dernières grâce à ce qu'on appelle des “caractères spéciaux”. Et il existe même des raccourcis pour les majuscules : le “ç” avec la combinaison “Alt + 128”, ou encore avec “Ctrl + ,” puis “Maj + C”. Laborieux, pour le moins...

LES LETTRES RESTENT FIXES

“C'est là tout l'intérêt de notre travail, pointe Philippe Magnabosco, directeur de projet à l'Afnor. En effet, la grande majorité des signes sont intégrés dans l'ordinateur. Il faut donc que le clavier rattrape son retard pour que l'utilisateur puisse conserver le contrôle de son orthographe, sans dépendre d'un logiciel de correction.”

Certains signes propres au français, comme les guillemets en forme de chevrons, ou aux mathématiques, comme le “multiplié par” ou le “différent de”, sont également absents. Notons enfin l'espace insécable, utilisée pour toutes les ponctuations doubles (“;”, “:”, “!”, “?”) et dans les nombres de plus de trois chiffres, qui nécessite aujourd'hui une combinaison de trois touches.

Et ce n'est pas tout. En effet, selon la nouvelle norme, le clavier devrait désormais permettre d'écrire des langues régionales et européennes, comme l'occitan par exemple, où toutes les voyelles peuvent être



LE RAPPEL DES FAITS

En 2015, le ministère de la Culture énumérait les lacunes du clavier français et **lançait avec l'Afnor un projet de normalisation**. La commission, qui regroupe entre autres la Délégation générale à la langue française et aux langues de France, des industriels et des associations, **rendra une proposition cet été**. Elle sera soumise au public avant adoption.



La barre espace

L'espace insécable (utilisée devant "!" et ":", par exemple) serait directement accessible depuis la barre.

Des touches peu utilisées pourraient être remplacées

Celles correspondant aux symboles "µ", "σ", "£" et "²", qui ne sont presque jamais utilisés, seraient consacrées à des caractères plus courants.

Le point

Il pourrait prendre la place du point-virgule moins utilisé.

Les lettres accentuées

Comme le "ç", elles devraient être disponibles en majuscule.

L'accent circonflexe et le tréma

Ils s'appliqueraient à toutes les voyelles en majuscule.

Les 12 touches visées par le projet de normalisation

Les caractères qui apparaîtront peut-être un jour sur ces touches sont actuellement difficiles d'accès, voire carrément impossibles à trouver. La commission de normalisation envisage donc différentes solutions pour les rendre accessibles : combinaison de touches, changement de place...

accentuées en majuscule et en minuscule. Le tilde (~), que l'on retrouve dans le breton, le portugais et le castillan, est déjà accessible, mais qu'en est-il de l'eszett (ß) allemand, du ø barré (ø) des langues danoise et norvégienne, ou du plus obscur ej romani (3)?

C'est à se demander comment ces nombreux caractères seront incorporés aux 49 touches de saisie de texte. La disposition même des 26 lettres de l'alphabet en sera-t-elle chamboulée? Non, assure Philippe Magnabosco, les lettres ne bougeront pas, ce sont certaines touches au-

tour, qui seront modifiées. *"Beaucoup de personnes craignent que la disposition AZERTY disparaisse complètement, mais ce ne sera pas le cas, explique-t-il. Il y a un équilibre à trouver pour apporter de nouvelles fonctionnalités sans bouleverser les habitudes. Mais le clavier doit*

nécessairement être amélioré: c'est un vieil outil qui doit s'adapter à de nouveaux usages. Aujourd'hui l'ordinateur, même personnel, peut avoir une utilité professionnelle. Il lui faut un clavier à la hauteur des exigences. Et, bien entendu, tout ne pourra pas apparaître. Nous ne sou-

haitons pas augmenter le nombre de touches, il faudra donc faire avec celles qui existent déjà." Ainsi, certaines touches peu utilisées sont déjà considérées comme disponibles: c'est le cas par exemple du "²" situé sous "Echap".

Comme chaque caractère et sa place doivent faire



PHILIPPE MAGNABOSCO

Directeur de projet à l'Association française de normalisation (Afnor)

Le clavier est un vieil outil qui doit répondre aujourd'hui à de nouveaux usages: il est nécessaire de l'améliorer

→ l'objet d'un débat, il semble quasiment impossible de présenter une proposition dès cet été. Une grande partie de ce travail de réflexion – identifier les manques et avoir une logique de placement – a cependant déjà été entreprise par des associations comme Ergodis, qui promeut depuis 2004 le clavier alternatif BÉPO.

UNE DEMI-MESURE ?

La disposition de ce clavier BÉPO ne se contente pas d'intégrer les caractères absents des claviers classiques, elle va plus loin : les lettres sont mélangées pour une meilleure ergonomie. C'est que, à l'origine, les dispositions AZERTY et QWERTY ont été conçues en espaçant les lettres le plus souvent utilisées afin que les tiges des machines à écrire ne se percutent pas. Une contrainte d'un autre temps...

"De la même manière que le clavier DVORAK pour l'anglais, le BÉPO s'appuie sur une répartition intelligente des caractères, explique Jean-Christophe Groult, membre d'Ergodis. Vous avez remarqué les deux tirets gravés sur

CLAVIER AZERTY CLASSIQUE



CLAVIER ALTERNATIF BÉPO



Un clavier intelligent a déjà été pensé pour le français

Le clavier BÉPO inclut de nombreux caractères absents du clavier AZERTY (Ç et À) et offre une meilleure ergonomie. Les caractères les plus utilisés en français sont majoritairement placés sur la ligne dite "de repos" (en rouge), et mieux répartis entre les deux mains. La frappe est plus instinctive et moins fatigante.

les touches F et J ? Si on place au-dessus ses deux index, cela correspond à la position dite 'de repos'. Grâce à des algorithmes, nous avons donc pu positionner les lettres les plus utilisées en français sur cette rangée, et répartir ef-

ficacement le travail entre la main gauche et la main droite. Cela permet une frappe plus instinctive, plus rapide et aussi moins fatigante." Quant à l'AZERTY, pour Jean-Christophe Groult, "il doit être modifié et nous sommes heureux

d'apporter notre expertise, mais une simple évolution est, à notre avis, une demi-mesure".

Alors pourquoi ne pas profiter de cette occasion pour révolutionner complètement le clavier ? "Pour éviter un refus massif des Français", répond Philippe Magnabosco. Il faut dire que les tentatives du début du siècle dernier, parmi lesquelles le clavier DVORAK et la disposition française ZHJAY, bien que promettant une meilleure ergonomie, se sont soldées par un échec. QWERTY et AZERTY étaient alors des dispositions récentes. Elles

S.O.JOH./PLAINPICTURE - J.DERENNES/BANQUE DE FRANCE

Et dans les autres pays francophones ?

La Belgique, la Suisse et le Québec ont des claviers mieux adaptés que nous à l'écriture du français. Ainsi, le QUERTZ suisse propose des touches spéciales pour les lettrines accentuées, accessibles en majuscule. L'AZERTY belge dispose des touches "accent aigu" et "grave", applicables à toutes les voyelles. C'est aussi le cas du QWERTY québécois, qui dédie même une touche entière au "é". Le Québec possède de plus un clavier normalisé depuis 1994 avec énormément de caractères, des ligatures "œ" et "æ" jusqu'au "ø" scandinave. "Dans ces pays où le bilinguisme est très important, explique Jean-Christophe Groult (association Ergodis), ils se sont posé très tôt la question de l'écriture de ces langues."

datent en effet de la fin du XIX^e s., mais le conservatisme s'était déjà installé. Au point que l'histoire du clavier est utilisée pour illustrer ce qu'on appelle "la théorie de la dépendance du sentier", à savoir qu'un changement payant sur le long terme n'est pas adopté s'il demande trop d'efforts sur le moment.

La proposition rendue cet été sera donc attendue... au tournant. C'est pourquoi la nouvelle norme AZERTY sera "douce", et même non obligatoire, sauf dans les marchés publics de l'Administration. *"Mais nous espérons qu'industriels et particuliers suivront, pour que l'AZERTY soit peu à peu remplacé par sa nouvelle version"*, confie Philippe Magnabosco. Le ministère de la Culture, par la voix de Stéphanie Guyard, se montre moins audacieux: *"Les Français choisiront"*!

Thomas Cavaillé-Fol



POUR ALLER PLUS LOIN

A retrouver sur www.science-et-vie.com: le communiqué **"Vers une norme française pour les claviers informatiques"** sur le site du ministère de la Culture et de la Communication; et le site dédié à la **disposition du clavier BÉPO**.

Boom des jumeaux

Les grossesses gémellaires vont, à terme, diminuer

Science & Vie: Est-il vrai que le nombre de jumeaux a augmenté ces dernières décennies?

Gilles Pison: Depuis 1970, il a doublé en France, passant de 9‰ à 17‰ environ. Or, ces nouveau-nés sont plus fragiles que les autres: ils sont souvent prématurés et moins gros. Leur mortalité infantile est 4 fois plus élevée (12‰ contre 3‰ environ)! Ce qui laisse même penser que le boom des jumeaux a freiné le recul de la mortalité infantile ces deux dernières décennies.

S&V: Comment expliquez-vous ce boom?

G.P.: D'après nos travaux, deux facteurs entrent en ligne de compte. D'une part, l'âge de la maternité, qui n'a cessé d'augmenter depuis le milieu des années 1970. Aujourd'hui, les femmes font des enfants à 30 ans au lieu de 25 ans. Or, plus le temps passe, plus le risque d'avoir des jumeaux augmente en même temps que le taux de l'hormone FSH, nécessaire à la maturation des ovules. Si, à 20 ans, une femme a 6 chances sur 1000 d'avoir des jumeaux, à 37 ans, elle en a 15 sur 1000! Après cet âge, cette probabilité

chute à nouveau. Cependant, selon nos recherches, le retard de la maternité ne rend compte, en France, que de 40 % des grossesses gémellaires observées.

Le second facteur, c'est l'assistance médicale à la procréation (AMP), développée à partir des années 1970. Les femmes qui y ont recours ont plus de chances d'avoir des jumeaux. Notamment parce que les stimulations ovariennes produisent fréquemment des ovulations multiples, et que plusieurs embryons sont implantés dans l'utérus lors d'une fécondation *in vitro* (FIV).

S&V: Le phénomène va-t-il s'amplifier?

G.P.: Ce serait plutôt le contraire. Comme cela s'est produit dans d'autres pays développés (Japon, Pays-Bas,



GILLES PISON

Professeur au Muséum national d'histoire naturelle et chercheur associé à l'Ined

Danemark), les naissances gémellaires devraient atteindre un plateau, puis diminuer. Ceci en raison des nouvelles pratiques mises en œuvre au cours des AMP, alors même que de plus en plus de couples y auront recours: les médecins de la reproduction cherchent désormais à éviter les grossesses gémellaires, pour diminuer les risques qui leur sont liés. Ainsi, lors d'une FIV, il est recommandé de n'implanter qu'un seul embryon, au lieu de plusieurs comme cela est le cas aujourd'hui, suivi d'un autre si la première implantation a échoué.

Propos recueillis par F. Gracci



La TNT passe à la HD

La haute définition atteint ses limites

Début avril, la télévision numérique terrestre (TNT) bascule intégralement en haute définition (HD). Ainsi, le nombre de pixels affichés à l'écran va passer de 720x480 pour les chaînes restées en résolution standard à 1920x1080. En attendant l'ultra-HD (UHD), avec une résolution de 3840x2160 pixels pour la première déclinaison, la norme 4K, déjà intégrée sur certains téléviseurs, et

même 7680x4320 pour la 8K, à l'étude chez certains constructeurs.

Mais cette course à la résolution a-t-elle encore un sens? N'aurait-on pas atteint le seuil au-delà duquel notre œil ne fait plus la différence? *"La résolution spatiale de l'œil est de 1/60 de degré, explique Patrick Cavanagh, professeur au Laboratoire de psychologie de la perception de l'université Paris-Descartes. Imaginez 60 lignes fines tracées sur l'ongle de votre index, regardez-les avec votre bras étendu au maximum et vous aurez la limite de résolution de votre œil. Si les pixels sur votre télé sont encore plus fins, cela ne sert à rien."*

Concrètement, sur les vieux téléviseurs Secam, avec une diagonale de 66 cm, l'œil perçoit la pixellisation (le grain de l'image) dès qu'il s'approche à moins de 7 m de l'écran.

La haute définition multiplie par 5 la résolution d'image du standard actuel. Une précision que l'œil perçoit immédiatement.

Standard actuel

HD

C'est-à-dire tout le temps: on s'installe rarement à plus de 7 m de sa télé...

LE CERVEAU DÉPASSÉ

Le passage au format HD a donc un sens, d'autant que les tailles d'écran ont augmenté: pour une diagonale de 127 cm, cette pixellisation apparaît encore à 4 m en HD. Ce qui peut encore, à la limite, justifier le passage au 4K. Avec sa résolution, pour un écran de 165 cm, la pixellisation n'apparaîtra plus qu'à 2,5 m. Mais cela signifie qu'à partir de la norme 8K, il faudrait se coller à l'écran pour détecter une granulation de l'image.

Et encore, si l'on possède

une bonne acuité visuelle. *"Même chez les gens qui ont une bonne vue, la limite de résolution de l'œil, en dehors du centre du regard, est bien plus basse que 1/60 de degré", rappelle Patrick Cavanagh. Sachant que le cerveau détecte aussi moins de détails: hors de la zone centrale du regard (angle de 1°), il ne sait plus précisément ce qu'il voit, quelle que soit la qualité intrinsèque de l'image.*

Avec la norme HD puis UHD, la course vers des écrans toujours plus grands atteint donc ses limites. Que reste-t-il, dès lors, à amélio-

SHUTTERSTOCK - DR. S. AQUINO

LE RAPPEL DES FAITS

A partir du **5 avril 2016**, la télévision numérique terrestre (TNT) bascule en **haute définition** (TNT HD). Et déjà, se profile l'ultra-haute définition (UHD) avec les premiers téléviseurs 4K (résolution 4 fois plus fine que la HD). Dès 2018, la télé japonaise devrait initier la norme 8K (16 fois la résolution HD), en vue de la retransmission des J.O. de 2020.



EN CHIFFRES

1/3

C'est la part des 18-24 ans qui consultent leur smartphone dans les 5 minutes suivant le réveil; 39 % y sont encore 5 minutes avant le coucher; 6 % y retournent plus de 200 fois par jour, le plus souvent pour utiliser un service de messagerie (étude Deloitte, mai 2015).

2 millions

C'est le nombre de Français victimes de "phishing" en 2015, selon un rapport du Forum international de la cybersécurité. Chaque jour, une centaine de faux sites internet réclament coordonnées bancaires et autres données personnelles aux internautes.



rer? La fréquence de rafraîchissement de l'image? "Il y a très peu à gagner au-delà de 60 images par seconde", estime Patrick Cavanagh. Or ce seuil est déjà atteint depuis longtemps. Jouer sur les contrastes? "Ceux qui voient des émissions en HD ou UHD pour la première fois disent que c'est trop contrasté, non réaliste, qu'on voit trop les détails." Le "plus" finit donc bien par être l'ennemi du "mieux"...

E. Monnier

PATRICK CAVANAGH
Professeur de psychologie de la perception (univ. Paris-Des-cartes)

Si les pixels sur votre télé sont plus fins que la limite de résolution de votre œil, cela ne sert à rien

40%

C'est la proportion des élèves de CE1-CE2 (8 ans et demi en moyenne) qui ont déjà joué au "jeu du foulard", qui consiste à simuler un étranglement. Un peu moins de la moitié d'entre eux savent que ce "jeu" présente un risque mortel.



C'EST UNE PREMIÈRE



La vitrification a permis à une femme malade de reporter sa grossesse

C'est un heureux événement qui en annonce beaucoup d'autres. Pour la première fois en France, une femme atteinte d'un cancer a donné naissance à un enfant grâce à une technique de congélation de ses propres ovocytes appelée "vitrification". En pratique, avant une chimiothérapie qui allait la rendre stérile, quatre ovocytes (les précurseurs des ovules) lui ont été prélevés en 2013 et congelés très rapidement dans de l'azote liquide. Une fois le cancer guéri, la fécondation in vitro (FIV) d'un de ces ovocytes a permis à la jeune femme de mettre au monde, en décembre 2015, une petite fille.

D'autres bébés vont suivre : autorisée en 2011, la vitrification est déjà proposée par un centre d'oncologie sur deux en France, et des centaines d'ovocytes sont conservés dans l'attente que leur propriétaire guérisse. Mais, à la différence de la plupart des pays européens, la France n'autorise pas une femme non malade à vitrifier ses ovocytes pour enfanter plus tard, en fonction de sa carrière ou de sa situation relationnelle – c'est seulement dans le cadre d'un don qu'elle peut garder pour elle les ovocytes non utilisés.

Cette première relance donc le débat sur ce sujet (en 2014, Facebook et Apple avaient défrayé la chronique en voulant subventionner cette technique pour attirer des cadres femmes), pour lequel les gynécologues mettent tout de même en garde : la vitrification n'est pas la panacée. Pour obtenir un seul bébé, il faut en moyenne 8 à 15 ovocytes, voire plus à partir de 35 ans.

Concrètement, les prélever nécessite des traitements hormonaux lourds.

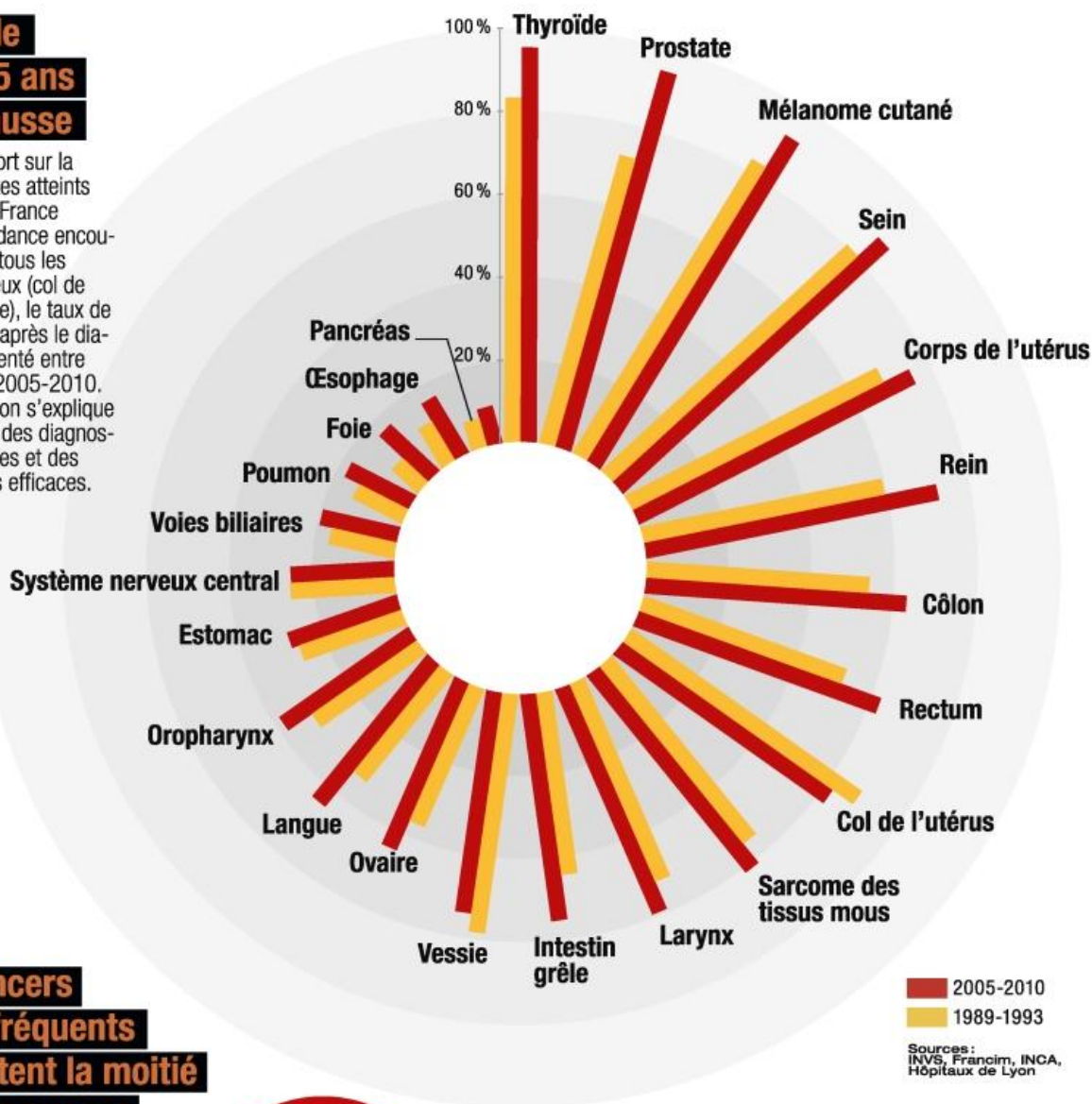
F. Gracci

Cancers en France

On survit mieux à la maladie aujourd'hui qu'il y a 20 ans

Le taux de survie à 5 ans est en hausse

Le dernier rapport sur la survie des adultes atteints d'un cancer en France montre une tendance encourageante : pour tous les cancers sauf deux (col de l'utérus et vessie), le taux de survie cinq ans après le diagnostic a augmenté entre 1989-1993 et 2005-2010. Cette amélioration s'explique notamment par des diagnostics plus précoces et des traitements plus efficaces.



Les 4 cancers les plus fréquents représentent la moitié des nouveaux cas

Chaque année, plus de 350 000 Français développent un cancer. Si l'on tient compte de l'augmentation et du vieillissement de la population, le taux d'incidence (nombre de nouveaux cas rapporté à une population) tend à baisser.

355 354
nouveaux cas
en 2012 en France

Tous cancers

56 841

Prostate

48 763

Sein

42 152

Côlon-rectum

39 495

Poumon

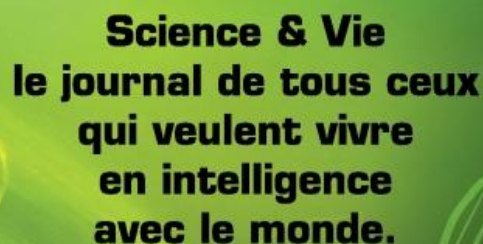
source : INCA

Printemps !

37,90 € seulement
au lieu
de 54 €

seulement
au lieu
de 54 €.

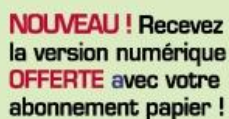
Soit
30%
de réduction



A compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 90125 - 270911 EVREUX CEDEX 9

848 028

848 036



Disponible sur
KiosqueMag.com

Nom : Prénom :

Adresse :

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

Code Postal : Ville :

Tél : _____ Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E-mail : _____

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori) ☐

➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

GE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Date et signature obligatoires

Expire à fin Code Crypto

Les 3 chiffres au dos de votre CB

*Prix public et Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/05/2016 et dans la limite des stocks disponibles. Le prix auquel chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,50€. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées.
Science & Vie - TSA 10005 8 rue François Ruy 920543 Montrouge cedex RCS B 572 134 773 - Capital : 1 717 360 €

©Designed by Freepik

LE CERVEAU GARDE SON VOLUME GRÂCE AU SPORT

Le sport permettrait de lutter contre le vieillissement du cerveau. Parmi un millier de personnes, celles qui, à 40 ans, étaient en moins bonne forme physique – évaluée par un test d'effort sur un tapis roulant – avaient un plus petit volume cérébral vingt ans plus tard. "Neurology", fév. 2016



LES ARACHNOPHOBES VOIENT LES ARAIGNÉES PLUS GROSSES

La phobie des araignées altère la perception de leur taille: les arachnophobes les trouvent toujours plus grosses qu'elles ne le sont! Aucun biais d'appréciation, en revanche, de la taille des guêpes ou des papillons. "Biological Psychology", sous presse.

LES PROMENEURS NE SE MÉFIENT PAS ASSEZ DES CARNIVORES

L'analyse de 700 attaques de carnivores (ours, puma, loup, coyote) depuis 1955 en Europe et en Amérique du Nord montre que la moitié des victimes ont pris un risque: courir de nuit, laisser des enfants seuls, approcher une femelle et ses petits... "Scientific Report", fév. 2016

UN CHAT MIS AU RÉGIME VOUS AIMERA TOUJOURS AUTANT

Votre gros chat arrêtera-t-il de ronronner et de vous câliner s'il est mis à la diète? Pas du tout, renseigne une étude américaine, ce serait même le contraire. Cinquante-huit chats en surpoids ont suivi un régime pendant 8 semaines, tandis que leurs propriétaires notaient leur comportement avant le repas (miaulements, mendicité, cent pas...), et après (ronronnement, saut sur les genoux...). Si, au fur et à mesure du régime, l'appétit des chats et les comportements associés ont augmenté, près de la moitié des minets sont aussi devenus plus affectueux. De quoi encourager les propriétaires de chats à privilégier ce qui est sain pour eux. "Journal of Veterinary Behavior", jan./fév. 2016

LES PETITS NE PEUVENT PAS ÉVALUER LEUR NIVEAU DE DOULEUR

"Aïe!". A 18 mois, un enfant exprime sa douleur et peut même localiser la zone qui le fait souffrir. En revanche, ses capacités cognitives ne lui permettent pas d'évaluer finement l'intensité de cette sensation, expliquent des chercheurs américains qui ont étudié des enfants utilisant des "échelles de douleur". Conclusion: les réglettes qui permettent de noter de 0 à 10 la douleur ne sont pas utilisables par les plus jeunes; même si leur niveau de langage est bon, ils ne parviennent pas à associer cet objet et la sensation douloureuse. Pour les interroger, médecins et parents doivent limiter les niveaux de douleurs proposés à trois, par exemple. "Pain", fév. 2016



SHUTTERSTOCK - BEUCHERIE/ANDIA - CORBIS



RÉVÉLER LES ÉCHECS DES GRANDS SAVANTS S'AVÈRE PÉDAGOGIQUE

Les livres scolaires seraient plus efficaces s'ils décrivaient aussi les échecs des grands scientifiques. C'est ce que suggère une étude américaine réalisée sur 402 lycéens. Leur moyenne en sciences, comparée à celle des autres élèves de leur classe exclus de l'étude, a d'abord été mesurée. Puis chaque volontaire a lu une de ces trois histoires : une racontant des déboires personnels d'Albert Einstein, une des expériences ratées de Marie Curie, et la troisième les grands accomplissements des deux savants. Six semaines plus tard, les élèves ayant appris les échecs des deux chercheurs (en premier lieu les lycéens les plus en difficulté) avaient significativement amélioré leurs résultats. En revanche, la moyenne du groupe confronté uniquement aux succès des deux génies avait, elle, dégringolé. "Journal of Educational Psychology", fév. 2016

SE SENTIR VIEUX AUGMENTE LE RISQUE D'ÊTRE MALADE

Indépendamment de leur état de santé, les personnes déclarant se sentir plus vieilles que leur âge ont 17 % de chances en plus d'être hospitalisées ! A l'inverse, continuer à se sentir jeune "dans sa tête" éloigne de l'hôpital. "Health Psychology", sous presse

ON TAPE MOINS VITE SI ON A APPRIS LA DACTYLOGRAPHIE

Selon une étude finlandaise, les personnes formées en dactylographie tapent un peu moins vite que les autodidactes : 57,8 mots/min contre 58,9. La rapidité dépend de l'anticipation, du déplacement des mains et des automatismes. "Aalto University", fév. 2016

GAGNER HONNÊTEMENT À UN JEU INCITE À TRICHER ENSUITE

Selon une expérience menée sur 86 personnes, après une victoire à un jeu mental, les gagnants trichent plus à un jeu de dés : ils s'attribuent des gains qui auraient dû revenir à leurs adversaires. Un sentiment de supériorité expliquerait leur mauvais comportement. "PNAS", fév. 2016

LES CARIES MENACENT LES RONFLEURS

Ronfleurs et enrhumés chroniques devraient surveiller leurs dents, selon une étude néo-zélandaise. Dix participants équipés jour et nuit d'un appareil mesurant le pH buccal ont dormi un soir sur deux avec un pince-nez les obligeant à respirer par la bouche. Alors que le pH buccal nocturne est neutre (7) lorsque la respiration s'effectue par le nez, il devient acide (6,6 en moyenne) en cas de bouche ouverte. L'acidité salivaire a même chuté chez certains à 3,6, bien en dessous du seuil critique de 5,5 à partir duquel l'émail se fragilise. Ce risque d'érosion et de caries serait aggravé par l'ingestion de boissons acides. "Oral Rehabilitation", déc. 2015



Les runnings qui propulsent vraiment le pied

Voici une chaussure de running au design pour le moins surprenant ! Dotée de deux amortisseurs réglables en fonction du poids du coureur, elle présente, selon son concepteur, deux caractéristiques inédites : elle limite les impacts de la course sur les articulations et restitue l'énergie du choc au sol en puissance de propulsion. Il aura fallu douze ans à son inventeur, Christian Freschi, un fondu de course à pied qui travaillait dans la conception d'outillage

destiné à l'aéronautique, pour développer ce modèle. Son nom ? Enko, pour "Energie Contrôle".

Le principe : sur une chaussure classique, lorsque le pied touche le sol, l'énergie est dispersée et entièrement perdue. Pas ici. Les ressorts réglables permettent à l'Enko d'emmagasiner et stocker cette énergie pour la restituer lorsque le talon redécoule du sol. À la clé, un gain d'énergie mécanique de 6 à 14 %, selon l'allure.

Ainsi qu'un amorti de 2 cm. Ces chaussures pourront être utilisées à l'entraînement, mais pas en compétition, pour des raisons de règlement. À noter : il est possible de désactiver le dispositif quand on marche. **E.T.-A.**

Prix : env. 360 €
Rens. : www.fr.enko-running-shoes.com

△ Les ressorts jouent à la fois le rôle d'amortisseurs et d'assistants à la propulsion.



> Le Thermo mesure la température sur la tempe et se synchronise avec la box internet en wi-fi.



Un thermomètre connecté ultraprécis

Un thermomètre connecté de plus ? Non, car le Thermo du fabricant français Withings se démarque par sa précision inégalée et sa connexion wi-fi. Aussi précis qu'un thermomètre rectal mais beaucoup plus pratique, il possède 16 capteurs infrarouges pour mesurer la température au point le plus chaud de la tempe (correspondant à l'artère temporale). Et, pour communiquer l'information au smartphone, il ne se contente pas du Bluetooth mais se synchronise en wi-fi via la box internet de la maison. Un mode de connexion qui a l'avantage d'être automatique et de portée plus étendue. L'application (iOS ou Android) permet alors de suivre l'évolution de la température ou de renseigner l'heure de prise d'un médicament. Les deux piles AAA du Thermo lui assurent jusqu'à deux ans d'autonomie. **L.B.**

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



LE COIN DES PROTOTYPES

Une ceinture pour géo-guider les malvoyants

Selon l'Organisation mondiale de la santé, plus de 285 millions de personnes souffriraient de déficience visuelle à travers le monde. Pour les aider, des chercheurs de l'Institut de science cognitive d'Osnabrück, en Allemagne, travaillent depuis 2005 sur un nouveau dispositif qui pourrait les guider. Feelspace, c'est son nom, est une ceinture équipée d'une boussole, d'une batterie et de seize petits moteurs vibrants répartis tout autour. Il suffit d'attacher ce dispositif autour de son ventre, puis d'indiquer sa destination sur son smartphone: celui-ci calcule alors l'itinéraire, qu'il partage, via Bluetooth, avec la ceinture. A gauche, tout droit, à droite... Les vibrations sur le ventre indiquent quand tourner.

E.T.-A.

Rens. : <http://feelspace.cogsci.uni-osnabrueck.de>

> Ses petits moteurs vibrent quand il faut tourner à droite ou à gauche.



L'interrupteur portable qui gère l'éclairage de la maison

Les Montpelliérains d'AwoX, spécialistes des objets connectés pour la maison, viennent de présenter un petit galet intelligent de 30 g, le Smart Pebble. Son rôle? Piloter d'un simple geste l'installation domotique (prises, ampoules... à condition qu'elles soient de la même marque). Il suffit de presser le galet pour allumer ou éteindre les lumières, le retourner pour les allumer progressivement,

le secouer pour jouer sur l'intensité de l'éclairage... La gestuelle est même personnalisable via l'application maison. Aimanté, le Smart Pebble se fixe sur la porte du frigo, un socle mural... ou se garde dans la poche. Il intègre un accéléromètre, un gyroscope, et fonctionne avec une simple pile. Autonomie annoncée: jusqu'à deux ans.

E.T.-A.

Prix : env. 50 €.
Rens. : www.awox.com/fr/



< Un geste égale une fonction: il suffit de presser, tourner ou secouer cet interrupteur pour régler ses lumières.

Une i-carafe capable d'aérer le vin en quelques minutes seulement

Oxygéner un vin permet de révéler ses arômes, d'en assouplir les tanins. Mais cela prend du temps, parfois plusieurs heures. Pour aller plus vite, voici la carafe connectée iSommelier: "Une minute avec iSommelier équivaut à une heure d'aération naturelle", expliquent les concepteurs de la startup bordelaise iFavine.

Comment ça marche? Le dispositif va d'abord purifier l'air ambiant à l'aide de trois filtres différents pour éliminer toutes les impuretés présentes (humidité,

poussières, odeurs), puis isoler l'oxygène des particules d'azote et du dioxyde de carbone. L'oxygène ainsi obtenu, purifié et concentré, se propage alors, de haut en bas, dans un tube spécialement conçu à l'intérieur de la carafe, avant d'être diffusé de façon homogène dans le vin, sans aucune intervention chimique.

Plus de quatre années de recherche ont été nécessaires pour mettre au point cette carafe. iSommelier indique en outre le temps d'oxygénation recommandé pour chaque

vin par des sommeliers et vignerons du monde entier, ainsi que des programmes paramétrables à l'aide d'une application dédiée (Android et iOS). Un clic sur son smartphone suffit alors à lancer, en wi-fi, l'oxygénation du vin avec les bons paramètres d'aération.

E.T.-A.

Prix : env. 1 500 €. Rens. : www.ifavine.com



Cette pompe à vélo se recharge en air comprimé quand on roule

Plus qu'une pompe à vélo, la Bimp'Air développée par la start-up française Production Fonctionnal Factory est en réalité une réserve d'air comprimé autonome et rechargeable. Elle est composée de trois éléments : une "prise d'énergie", qui fonctionne à l'image d'une dynamo et vient se fixer sur la roue avant ou arrière au

< Cette petite pompe rechargeable de 11 litres fonctionne comme une dynamo.

niveau du moyeu ; un mini-compresseur amovible, fixé à cette prise et relié à la pompe. Enfin, disposée sur le cadre, la pompe dotée d'un réservoir qui se remplit d'air comprimé dès que le vélo est en mouvement : six minutes à 15 km/h suffisent à stocker 11 litres d'air comprimé à 50 bars.

Grâce à un indicateur de surpression, l'utilisateur peut actionner un poussoir de décompression en cas de dépassement.

Un bouton régulateur de pression gonfle ensuite tout type de pneu – route, VTT, trekking – mais aussi amortisseurs et fourches pneumatiques, grâce à un raccord universel, en moins de dix secondes. Légère (270 g) et plus petite qu'une gourde de vélo, la pompe dispose d'un manomètre et d'un indicateur de charge. Fini les coups de pompe ! A.P.

Prix : env. 300 €. Rens. : www.bimpair.com



La première cheville vraiment universelle

Quand on bricole, on a souvent besoin d'autant de chevilles différentes que de types de mur...

Pour simplifier les choses, le fabricant allemand

Fischer a conçu la cheville Duo-

Power qui s'adapte à tous les maté-

riaux. Grâce à sa conception

bi-matière (nylon souple et polyéthylène rigide), elle se déploie de diffé-

rentes façons au moment du

vissage : en "gonflant" légèrement

dans le béton, en formant un nœud

dans le parpaing ou en déployant ses

quatre ailettes dans les plaques de

plâtre. Plus de questions à se poser!

Et une fois fixée, elle supporte les

mêmes charges qu'une cheville en

nylon classique.

L.B.



Prix : env. 6 € (la boîte de 100). Rens. : www.fischer.fr

Un cadenas pour ordinateur

Partant du constat que la confidentialité des données devient un vrai enjeu, l'entreprise française Gablys vient de lancer un petit cadenas pour ordinateur (Mac ou PC récents). Le Gablys Lockit se porte dans la poche et protège l'accès à votre ordinateur en verrouillant et déverrouillant votre session automatiquement à l'aide d'une clé unique et cryptée, dès que vous vous éloignerez ou vous rapprocherez de l'ordinateur. Résultat : "Plus la

de passe, vous retrouverez votre session telle que vous l'avez quittée", explique Albert Proust, le fondateur de la société. Il suffit pour cela d'installer une application dédiée sur son ordinateur. Elle permet notamment de paramétrer le champ d'action du Lockit. Mais aussi, en cas de tentative d'intrusion, de prendre, grâce à votre webcam, une photo de l'intrus et de vous l'envoyer par mail.

E.T.-A.

Prix : env. 30 €. Rens. : www.gablys.com/fr

> Glissé dans votre poche, le Lockit verrouille votre session dès que vous vous éloignez.



9 cerveaux rendent-ils le poulpe plus intelligent ?

Question de Bernard Manceau, Fontaines-en-Sologne (41)

“Oui et non...”, selon Anne-Sophie Darmaillacq, spécialiste des céphalopodes, cette classe de mollusques qui comprend la pieuvre.

Non, car en réalité, explique l'éthologiste de l'université de Caen, “la pieuvre ne possède qu'un seul organe équivalent à notre cerveau : ce ‘cerveau central’, doté de 250 millions de connexions nerveuses, est logé dans une capsule cartilagineuse de la tête”.

Si l'animal renferme bien huit autres structures nerveuses (plexus brachial), celles-ci, situées à la base de chacun de ses 8 bras et connectées entre elles, ne sont constituées que de 50 millions de neurones chacune et ne sont pas douées

de fonctions cognitives supérieures (mémoire, prise de décision...). Elles ne traitent que des informations sensorielles simples – issues des récepteurs des ventouses impliqués dans la perception du goût, de l'odeur ou de la texture des objets environnants –, et ne permettent que des mouvements réflexes – par exemple, quand un bras est pincé par un crabe.

AMAS NERVEUX AUTONOMES

“Ces structures nerveuses sont davantage l'équivalent de notre moelle épinière, impliquée elle aussi dans les mouvements réflexes. Donc, en tant que tels, ces amas nerveux n'accroissent aucunement les capacités cognitives de la pieuvre”,

assure la chercheuse. Cela dit, “dans une certaine mesure, on peut dire qu'effectivement, les 8 amas nerveux brachiaux de la pieuvre augmentent son ‘intelligence’”, reconnaît la spécialiste. Car en filtrant l'information provenant des ventouses, ils libèrent le cerveau de cette information, “ce qui accroît, par exemple, son niveau de vigilance”.

Preuve de leur relative autonomie : “Même coupé, un bras continue à se rétracter quand il est plongé dans une solution d'eau douce... comme s'il était encore lié au corps de l'animal”, souligne le biologiste Juan-Carlos Fontecilla-Camps, de l'Institut de biologie structurale de Grenoble. **K.B.**



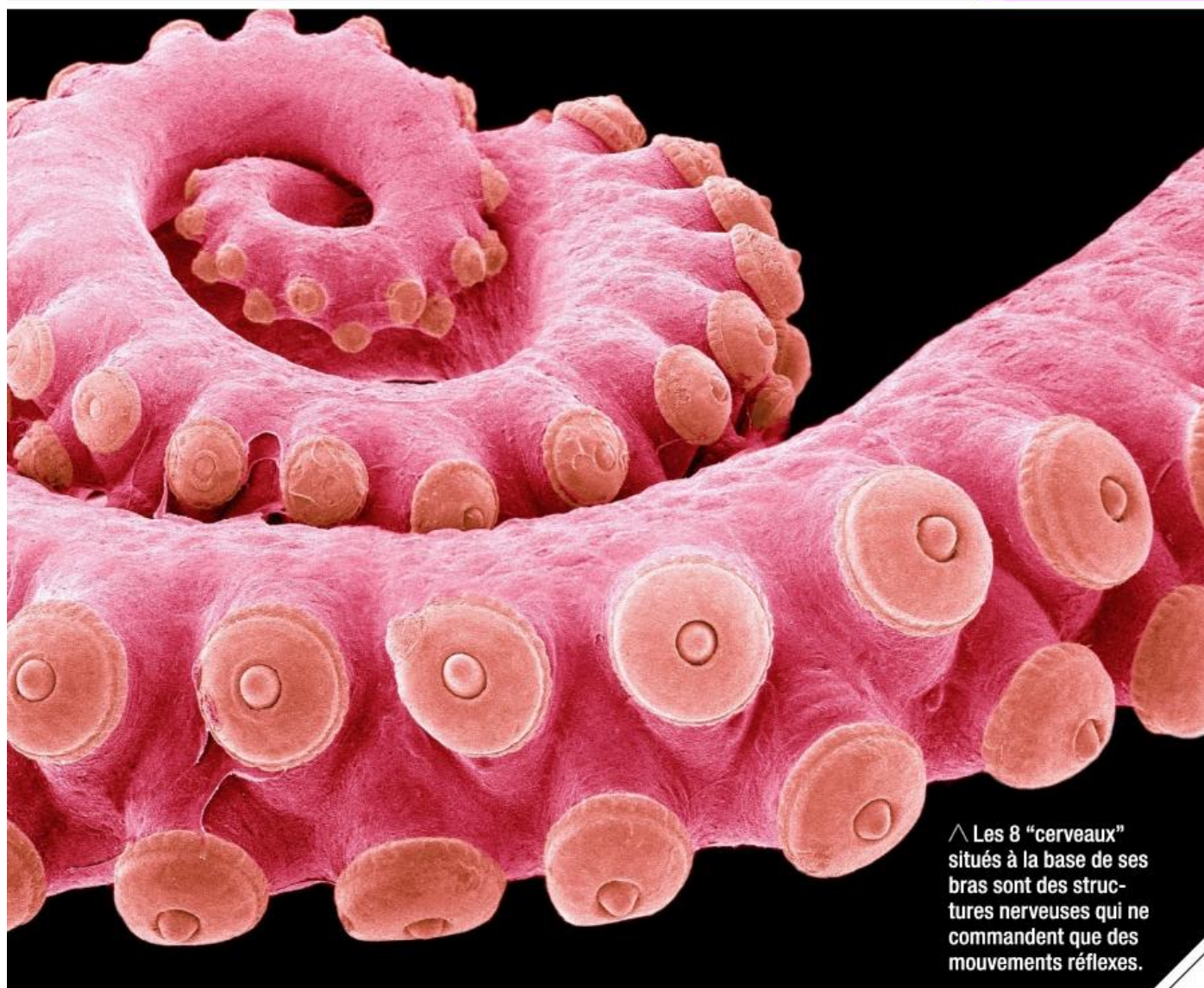
Pourquoi le café perturbe-t-il notre sommeil ?

Question de Damien Calmel, internet

A cause de la caféine qu'il contient, bien sûr ! Présente à raison de 1,4 à 1,8 g par litre d'expresso, cette molécule court-circuite l'action d'une molécule cérébrale responsable de notre envie de dormir en fin de journée : l'adénosine. Car la caféine présente une structure similaire à celle de ce neuromodulateur, et peut donc se fixer sur certains de ses récepteurs cérébraux, bloquant ainsi ses effets. Sans compter que la caféine perturbe aussi

notre horloge biologique : selon une étude récente, consommer une dose de caféine équivalente à un double expresso, trois heures avant l'heure habituelle du coucher, retarde de 40 minutes le cycle naturel du sommeil. Or, on trouve de la caféine dans les boissons énergisantes (0,32 g/l), les sodas au cola (0,13 g/l), le thé (jusqu'à 0,28 g/l)... Cela dit, chez les gros consommateurs, l'accoutumance amoindrit les effets. **K.B.**





^ Les 8 "cerveaux" situés à la base de ses bras sont des structures nerveuses qui ne commandent que des mouvements réflexes.

Combien d'arbres pourraient compenser nos rejets de CO₂ ?

Question de J. Matignon, St-Martin-d'Abbat (45)

Il faudrait couvrir l'Hexagone de forêts ! La France rejette en effet 500 millions de tonnes de CO₂ par an. Or, précise Jean-Luc Peyron, directeur du Groupement d'intérêt public Ecofor, "sous notre climat, les arbres stockent en moyenne l'équivalent de 10 t de CO₂ par hectare et par an". Il faudrait donc planter 50 millions d'hectares de forêt – contre 16 aujourd'hui. Soit 91 % de la surface nationale... "Certaines essences ont une productivité plus importante que la moyenne", tempère le spécialiste. Avec des pins maritimes ou des peupliers, il suffirait de boiser "seulement" 67 % du territoire. **K.B.**



A. DAGAN - SPL/COSMOS - FLORMON/HEMIS/CORBIS

D'où vient le bruit des doigts quand on les fait craquer ?

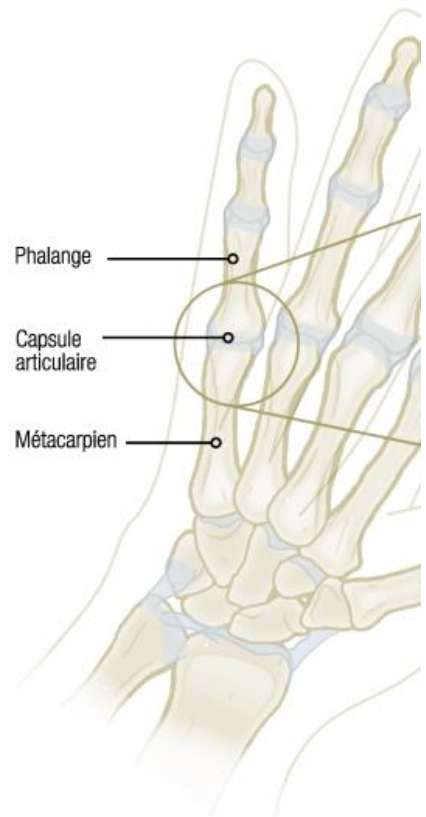
Question de Yael Dehhan, internet

Le bruit naît de l'apparition de petites bulles gazeuses dans les articulations chaque fois qu'on les étire. Si on a longtemps pensé qu'il était dû à l'éclatement de ces bulles, une étude de 2015 basée sur des IRM montre, au contraire, que le son serait la conséquence de leur formation : *"Nos travaux ne permettent pas de dire formellement ce qui provoque le bruit, mais nous constatons que le son apparaît en même temps que l'on voit la bulle se former"*, assure son auteur Gregory Kawchuk.

Peu d'études ont été menées sur les conséquences de ces craquements, mais la plus connue, parue en 1998, est due à l'allergologue américain Donald Unger. Il a, pendant cinquante ans, fait craquer les doigts de sa main gauche au moins deux fois par jour. Et n'a au final constaté aucune différence entre les articulations de ses deux mains ni signe d'arthrite. Une conclusion confirmée par une étude de 2011 menée par des chercheurs de Bethesda (Etats-Unis) sur 200 personnes âgées de 50 à

89 ans. Même si, en 1990, des scientifiques ont bien suggéré que ces craquements pouvaient réduire la force de préhension, les recherches sont trop limitées pour dégager des conclusions. *"On peut penser que des mouvements 'anormaux' imprimés toutes les 20 mn peuvent être nocifs à terme. Cela dit, les faire craquer de temps en temps est certainement sans conséquences"*, conclut le rhumatologue Pascal Richette (hôpital Lariboisière, Paris), qui préconise de limiter ce geste à deux fois par jour. **F.C.**

Le craquement



Pourquoi n'éternue-t-on jamais pendant qu'on dort ?

Question de Nicolas Verkin, Elancourt (78)

Parce que certains de nos muscles sont désactivés. Notre cycle circadien, qui permet de caler notre rythme biologique au rythme jour/nuit, déclenche des sécrétions d'hormones et de neurotransmetteurs plus ou moins élevées en fonction du temps et de notre activité. Lorsqu'on dort profondément, ces sécrétions diminuent drastiquement.

Or, ces neurotransmetteurs permettent à certains muscles de fonctionner. *"Durant le sommeil paradoxal ou profond, appelé aussi cinquième stade du cycle du sommeil, il y a donc une abolition partielle de l'activité musculaire périphérique [abdominaux, quadriceps...], qui ne*

concerne heureusement pas les muscles organiques [cœur, diaphragme, système digestif...], ainsi qu'une désynchronisation du cerveau par rapport au reste du corps, explique Eloïse Rozé, ostéopathe à la Maison de santé Laënnec, à Pleudihen-sur-Rance. Le seuil de sensibilité de la muqueuse nasale, à l'origine de l'éternuement, s'en trouve alors diminué, ce qui la rend donc moins sensible aux agents stimulants."

Cela dit, s'il arrive en quantité importante, le stimulant (poussière, virus, agent chimique...) provoquera un réflexe d'éternuement. Mais il tirera d'abord la personne de son sommeil. **F.C.**

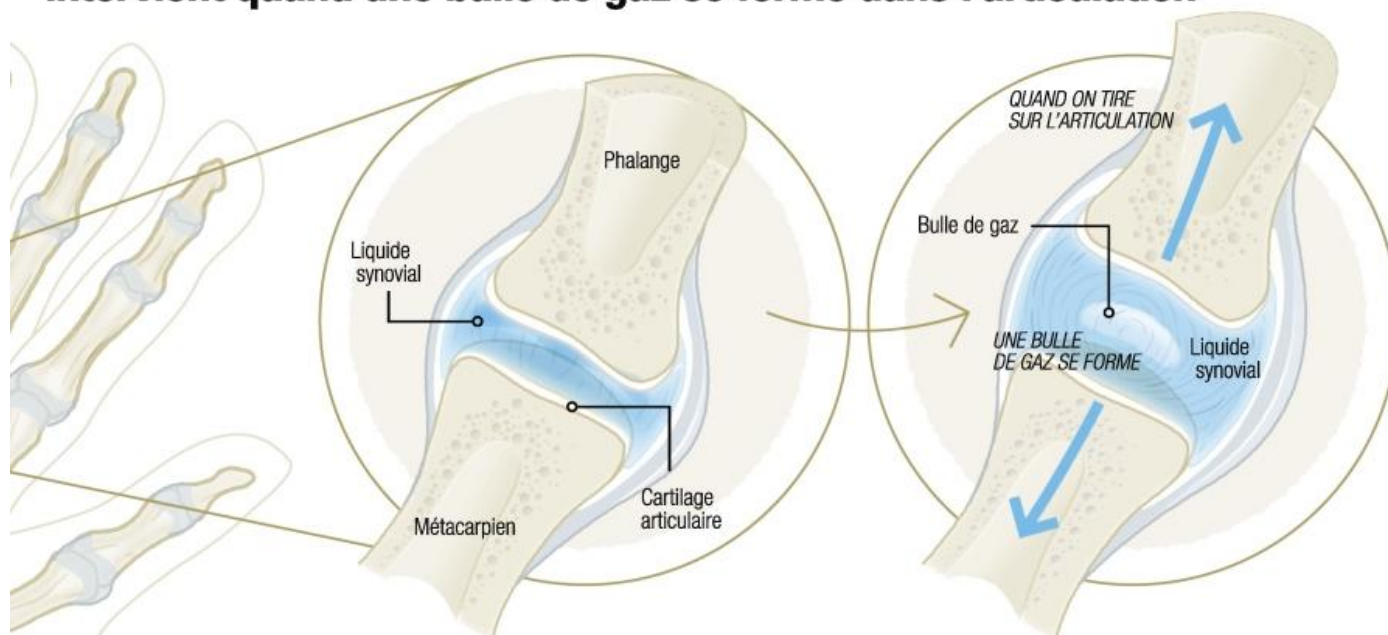
Toutes butinées

Question d'Edmond

"Aucune étude n'a fait le point pour l'ensemble des 10 000 espèces d'abeilles en France et des 20 000 dans le monde ; mais si on ne considère que l'abeille domestique élevée par les apiculteurs pour la production de miel, Apis mellifera, la réponse est non", répond Axel Decourtye, biologiste à l'Institut technique et scientifique de l'apiculture et de la pollinisation, à Avignon.

A. DAGAN - SHUTTERSTOCK

intervient quand une bulle de gaz se forme dans l'articulation



Les os sont maintenus par le liquide qui baigne l'articulation

Si l'on tire faiblement sur ses doigts, rien ne se passe, car le liquide synovial est visqueux et résiste à la traction. Il maintient les deux parties de l'articulation ensemble.

Quand on les écarte, une bulle de gaz se forme dans le liquide, produisant un craquement

L'espace créé fait brusquement chuter la pression dans le liquide synovial : les gaz dissous repassent à l'état gazeux et forment une bulle. C'est sans doute la naissance de celle-ci, et non son éclatement, qui serait responsable de ce craquement.

les fleurs sont-elles par les abeilles ?

Quintard, Vaux (86)

Toutes espèces confondues, les abeilles butinent deux types de substance : le nectar, liquide et très sucré, qui est l'ingrédient du miel ; et le pollen, l'élément fécondant mâle de la fleur dont elle se nourrit, qui lui apporte protéines et lipides. Or, toutes les fleurs ne produisent pas de nectar (coquelicot, rose, géranium...). Cependant, même celles-ci peuvent attirer les abeilles.

Pour autant, *Apis mellifera* ne se pose pas sur toutes les fleurs. D'abord, explique Axel Decourtye, parce qu'« il peut y avoir incompatibilité entre la morphologie de l'insecte et celle de certaines fleurs, empêchant la collecte de nectar ou de pollen. Ainsi, sa trompe est trop courte pour aller chercher le nectar au fond de l'ancolie ». Certaines plantes produisent aussi un nectar moins attractif pour l'abeille : il est peu sucré ou en quantité

insuffisante (hibiscus, pois de senteur...). Idem concernant le pollen.

Cela dit, ces fleurs délaissées par les abeilles domestiques peuvent être visitées par des espèces sauvages, voire d'autres pollinisateurs, comme les papillons, les bourdons ou les mouches. Ce qui assure leur reproduction. **K.B.**



△ L'ancolie fait partie des fleurs que l'abeille domestique ne peut pas butiner : sa trompe est trop courte.

Comment les cafards peuvent-ils résister aux radiations des essais nucléaires ?

Question de Philippe Jollet, Déols (36)

Contrairement à ce que laissent penser certains romans d'anticipation, où les uniques survivants sur Terre après une catastrophe nucléaire seraient des cafards, la radiorésistance est une capacité commune à tous les insectes. Par quel mécanisme physiologique ? Plusieurs hypothèses ont été testées : les insectes seraient-ils mieux protégés grâce à leur cuticule ? Auraient-ils une meilleure capacité de réparation des dommages causés par les radiations ? *"Ces hypothèses ont été abandonnées. Nous savons*

aujourd'hui que la radio-résistance est une propriété inhérente aux cellules des insectes, tranche John Moulder, docteur en radiobiologie et professeur à l'université de médecine du Wisconsin. *Selon la théorie dominante, cela s'expliquerait par la petite quantité d'ADN qu'elles contiennent."*

Reste que, comme le souligne Frédéric Legendre, chercheur en biologie de l'évolution au Muséum national d'histoire naturelle, *"les cafards ont une résistance limitée ; ils meurent lorsqu'ils sont irradiés à*

forte dose. Et s'ils ont bien une meilleure résistance aux radiations que les humains, ils sont loin d'être les champions : des scorpions et certaines bactéries résistent encore mieux qu'eux". N.P.

> Les cafards, comme tous les insectes, sont radio-résistants car leurs cellules contiennent peu d'ADN.



Qui a décidé que tous les sièges d'une voiture devaient être face à la route ?

Question de Jean-Guy Poulin, Sept-Îles (Canada)

"Il n'y a pas eu de recherche précise sur cette question, mais à mon avis cette position s'explique surtout par des considérations de confort des passagers", répond Xuguang Wang, chercheur en ergonomie et sécurité à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar), à Bron.

Le choix d'orienter les sièges vers l'avant ne vise-

rait jamais qu'à permettre de regarder défilier le paysage, ou de pouvoir fixer la route – pour les sujets supportant mal les trajets.

Une chose est sûre, reconnaît le spécialiste, cela n'est pas lié à des considérations de sécurité. *"Des sièges passagers dirigés vers l'arrière offriraient en effet une plus grande sécurité en cas de collision frontale : le dossier représente une surface de contact plus importante*

que la ceinture de sécurité pour amortir un choc."

On trouve bien quelques sièges passagers orientés vers l'arrière dans les trains, les avions, les bus, voire dans *"quelques rares modèles de camping-cars"*, mais c'est pour gagner de la place, ou pour améliorer la vie sociale en permettant, par exemple, aux passagers de discuter face à face. Ce n'est jamais pour des questions de sécurité. **K.B.**

**GAGNEZ UN
ABONNEMENT
D'UN AN À**

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à tous, mais les auteurs des questions sélectionnées se verront offrir un abonnement d'un an à la version numérique de *Science & Vie* (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Envoyez vos questions, en indiquant clairement votre adresse postale, à : sev.qr@mondadori.fr ou bien par courrier à :

SCIENCE & VIE
QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Orly
92543 MONTRouGE CEDEX

SHUTTERSTOCK

AVEC DU REcul LA PRESSE **MAGAZINE** VOUS DONNE DE **L'AVANCE**



LE 13 AVRIL

RÉVÉLATION DES MAGAZINES LES PLUS TALENTUEUX,
BRILLANTS ET AUDACIEUX DE L'ANNÉE 2016.

PRIX RELAY DES MAGAZINES DE L'ANNÉE.

RELAY **sepm** SYNDICAT
DES ÉDITEURS
DE LA PRESSE
MAGAZINE



LES MAGAZINES
DE L'ANNÉE
2016

30 ans après la catastrophe nucléaire, un livre fait le point

Au cœur de la génération Tchernobyl

Trente ans. Le temps d'une génération. Le temps aussi pour le césium 137, dont la centrale de Tchernobyl avait arrosé une partie de l'Europe au printemps 1986, de perdre la moitié de sa radioactivité – c'est encore largement trop dans cette région où se rencontrent l'Ukraine, la Biélorussie et la Russie.

UNE ZONE-TÉMOIN

En trois décennies, les biologistes ont fait de la zone contaminée un laboratoire à ciel ouvert; les sociologues un terrain de chasse; les industriels une vitrine de leur savoir-faire; les militants un solide argument antinucléaire; et les auteurs une source d'inspiration inépuisable.

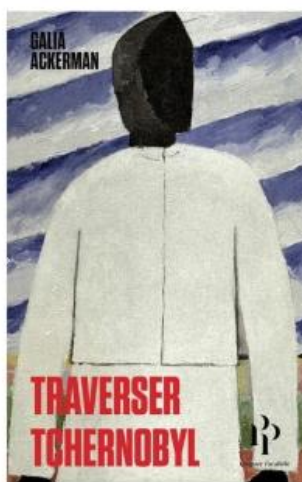
Qu'y a-t-il encore à dire? Beaucoup, étonnamment. La journaliste franco-russe Galia Ackerman raconte le quotidien de cette région devenue étrange, dans un style très précis. Un travail qui se distingue de l'œuvre de Svetlana Alexievich (prix Nobel de littérature 2015), dont les témoignages paraissent souvent exagérés.

La réalité des terri-

toires interdits est suffisamment épique. Des pompiers chargés de veiller aux risques de feux de forêt aux trafiquants en tous genres occupés à exploiter les arbres radioactifs pour en faire des meubles ou à recycler les milliers de tonnes de métaux contaminés encore présents sur place, en passant par la centaine de vieux Ukrainiens revenus clandestinement dans leur maison. Sans oublier cette petite fille, Maria, née sur place et surnommée "la Mowgli de Tchernobyl" pour n'avoir jamais vu d'autre enfant.

La zone interdite attire aussi de nombreux marseurs – beaucoup de jeunes adeptes du jeu vidéo *Stalker*, consacré à la catastrophe – qui y voient une sorte de Pompéi soviétique; les plus hardis tentent même d'escalader la tour radar haute de 150 mètres, monument d'un complexe militaire secret (Tchernobyl-2) trop peu raconté.

Mais Tchernobyl est aussi un chantier permanent: un nouveau sarcophage vient d'être assemblé autour de la centrale, en vue de son



► **Traverser Tchernobyl**
 ► de Galia Ackerman
 ► Editions Premier Parallèle
 ► 236 pp., 18 € (ebook: 6,99 €)

démantèlement. Tandis que les ingénieurs tentent de retrouver et réhabiliter les centaines de fosses de déchets radioactifs creusées à la hâte après l'accident. Les nouveaux stockages sont censés résister trois cents ans. Dix fois trente ans...

V.N.



S&V: Trente ans après la catastrophe, que reste-t-il de la région de Tchernobyl?

Galia Ackerman: Je la vois comme un modèle de désolation post-nucléaire... Quand on y songe, cette région formait avant 1986 un petit pays autonome et florissant: une ville nouvelle à la pointe du progrès (Pripiat), une cité médiévale (Tchernobyl), une source d'électricité (la centrale), une zone militaire équipée du plus grand radar à mis-

G. ACKERMAN - C. MOLTERNI



Les vestiges contaminés d'une région florissante : ici, une école ; à gauche, ce qui était le plus grand radar à missiles balistiques d'URSS.

“ ”

GALIA ACKERMAN

Historienne, écrivain, journaliste, spécialiste du monde russe

Un modèle de désolation post-nucléaire

siles balistiques d'URSS, des usines, des fermes agricoles. Aujourd'hui, on y trouve 10 000 personnes qui travaillent uniquement à contenir les conséquences de l'accident.

S&V : Est-ce que les habitants prennent encore des précautions ?

G.A. : Malheureusement, le travail de prévention a été étouffé. Plusieurs techniques avaient été proposées aux populations

locales, très démunies et peu éduquées : comme celle de tremper les champignons – les protéines du pauvre – dans de l'eau salée pour retirer un maximum de radioéléments ; ou la procédure qui consiste à éliminer le “petit lait”, très pollué. Même si, bien sûr, ce ne sont pas des recettes miracles... Le problème, c'est que le dirigeant biélorusse Alexandre Loukachenko veut à tout prix faire oublier la catastrophe.

S&V : Que va devenir la zone interdite ?

G.A. : Les autorités ukrainiennes veulent reconquérir le terrain et réduire la zone interdite à un rayon de 10 km au lieu de 30 actuellement. Certains ont l'intention d'en faire une zone touristique : je n'y crois pas ! La ville de Pripiat, près de la centrale, a reçu des particules lourdes de plutonium dont l'activité ne s'estompera pas avant des dizaines de milliers d'années ; ici, il est interdit de fumer, manger ou boire sous peine d'inhaler une “particule chaude”. Il me semble hors de question de faire visiter cette ville fantôme au grand public. C'est finalement un endroit assez horrible et glauque, qui se détruira de lui-même.

Propos recueillis par V. Nouyrgat

A voir, à lire

LIVRE

► **Contact - Pourquoi nous avons perdu le monde et comment le retrouver**

► de Matthew B. Crawford

► Editions La Découverte

► 354 pp., 21 €



D'où vient notre fascination pour les écrans ? D'une idéologie née au siècle des Lumières, répond le philosophe Matthew B. Crawford. Nous idéalisons l'individu qui ne fait confiance qu'à sa raison pour se prétendre libre. Les connaissances ne s'acquièrent pourtant pas ainsi, montre l'auteur. Nous ne sommes pas des cerveaux “isolés dans un bocal” : nous n'apprenons vraiment qu'en nous confrontant aux pensées des autres, et en manipulant notre environnement avec nos mains. Un rappel salutaire, à l'heure où tout savoir semble pouvoir se déverser d'un écran à un cerveau. **F.L.**

COURT-MÉTRAGE

► **I, Philip**

► <http://creative.artefr/episode/i-philip>

► Arte Creative



Blade Runner, *Total Recall*, *Minority Report* : trois références de la SF au cinéma... inspirées par des romans de l'Américain Philip K. Dick, disparu au début des années 1980. Son œuvre, déroutante et fascinante, où l'on croise sociétés totalitaires et multiples niveaux de réalité, fait singulièrement écho à notre siècle commençant. Arte lui rend hommage, notamment avec l'étonnant *I, Philip*. Un court-métrage à 360° dont le personnage principal est un androïde sosie de l'auteur. Réellement construit, le robot, en quête d'autonomie, installe le trouble... **F.L.**

1866

Mendel pose les bases de la génétique

Qu'est-ce qu'une espèce? Peut-on en créer de nouvelles? Seront-elles stables? Ces questions, qui déchirent scientifiques et religieux, n'apparaissent pas sous cette forme dans les *Recherches sur des hybrides végétaux* que publient en 1866 les Comptes rendus de la Société de sciences naturelles de Brünn (aujourd'hui Brno, en République tchèque). Elles transpirent, malgré tout, dans ce qui sera considéré par de nombreux biologistes comme le texte fondateur de la génétique.

Dans la quiétude de son couvent, les questions que se pose le moine Mendel sont plus modestes. Féru d'horticulture, il se soucie d'obtenir de nouveaux plants.

Pour cela on croise alors différentes variétés

pour obtenir des hybrides, souvent fertiles, mais instables, qui présentent toutes sortes de combinaisons des caractères des deux plants utilisés. Or, abandonnés à eux-mêmes, ces hybrides retournent vite aux formes originelles dont ils sont issus.

DANS SON PETIT POTAGER...

D'aucuns y voient la preuve, en ce milieu de xix^e siècle, que Dieu prend soin d'assurer la stabilité des espèces qu'il a créées. *"De consciencieux observateurs, écrit Gregor Mendel, ont, avec une infatigable persévérance, consacré une partie de leur vie à l'étude de ces questions."* Mais le moine souhaite les aborder avec plus de méthode. Le petit jardin de 7 m sur 35 du couvent lui offre un cadre propice.

Il a choisi d'hybrider *Pisum sativum*, un pois comestible capable de se féconder lui-même, l'autofécondation ayant lieu dans le bouton avant même que la fleur ne s'ouvre. Il y a donc peu de risque qu'un insecte y apporte du pollen parasite. *"La fécondation artificielle est certainement assez minutieuse, mais elle réussit cependant presque toujours. Pour la pratiquer, on ouvre le bouton encore incomplètement développé, on écarte la carène et on enlève chaque étamine avec précaution au moyen d'une petite pince; après quoi on peut aussitôt recouvrir le stigmate de pollen étranger"*, explique Mendel dans son mémoire.

Il s'est procuré 34 variétés de pois qu'il a semées durant l'été 1856, pour retenir les

plants qui présentaient des caractères stables. Il a ainsi obtenu 22 souches pures, selon 7 caractères principaux: la forme des graines (rondes et lisses ou anguleuses et ridées); la couleur de l'intérieur de la graine (jaune ou vert); celle de l'enveloppe (blanche ou colorée); la forme de la gousse; sa couleur (verte ou jaune); la position des fleurs et la longueur de la tige (longue ou courte).

Mendel croise une variété à pois lisses avec une autre à pois ridés. Que récolte-t-il? Uniquement des grains lisses. Un hybride présente donc le caractère d'un des deux parents, mais pas un mélange des deux. Mendel nomme le trait qui s'impose "caractère dominant". Il semble indépendant du sexe du parent qui le porte.

SCIENCE&VIE en parlait déjà... par Fiorenza Gracci

1935 LE GÈNE, CET "ATOME" DU VIVANT

"Les biologistes sont, eux aussi, en possession de leurs 'atomes', d'atomes de vie, [des particules] qui nous font ce que nous sommes." S&V se réjouit: si, jusqu'ici, on considérait que ce rôle était rempli par les chromosomes, découverts par Thomas Hunt Morgan, ceux-ci ont été, chez la mouche du vinaigre, "subdivisés, au microscope [...] en une infinité [de gènes], ce qui ouvre une ère de travail et de découvertes [...] illimitée". S&V n° 221



1952 LA FAUSSE PISTE DU MILIEU

"Le biologiste Lyssenko a formulé en URSS une nouvelle théorie de l'hérédité qui contredit les lois génétiques généralement admises en Occident", attribuant au milieu la capacité de changer radicalement les caractères de la descendance. S&V se félicite que le débat soit lancé: *"La science ne peut qu'y gagner."* Mais ces travaux perdront bientôt tout crédit... S&V n° 422





Résultat intéressant, tant les savants se querellent alors sur l'importance des sexes dans la fécondation.

Mais que deviennent ces hybrides si on les laisse s'autoféconder ? A la récolte suivante, Mendel observe que parmi une majorité de graines lisses, se trouvent

quelques graines ridées. Ce caractère n'a donc pas complètement disparu, il revient à la deuxième génération : il le baptise alors "récessif".

Ces résultats étaient alors déjà connus. Mais Mendel compte précisément combien il y a de pois lisses et ridés. Il en trouve respecti-

vement 5474 et 1850. Soit un rapport de 2,96 pour 1, qu'il arrondit à 3 pour 1. Or, ce rapport est le même à quelques décimales près, pour les sept autres familles de caractères qu'il observe.

Comment savoir, face à un plant au caractère dominant, s'il s'agit d'une souche

△ Pendant huit ans, Gregor Mendel a croisé dans le jardin de son couvent 34 variétés de pois pour étudier, chez leurs hybrides, la transmission de ce qu'il appelait leurs "caractères".

EN PROGRES

On n'hérite peut-être pas que de l'ADN

C'est une totale révolution dans la manière de penser l'hérédité : des chercheurs postulent à présent que les caractères acquis sous l'influence du milieu se transmettent eux aussi. Il n'y aurait donc pas que les gènes !

Le support matériel de l'hérédité ? L'ADN, plus complexe, plus riche, plus évolutif, plus capable de transmettre des informations que les gènes seuls. Il y a aussi des modifications chimiques, des épigénétiques, qui influencent l'expression des gènes. Elles sont héritées, mais elles peuvent aussi être influencées par l'environnement. C'est la révolution de l'épigénétique.

Le support matériel de l'hérédité ? L'ADN, plus complexe, plus riche, plus évolutif, plus capable de transmettre des informations que les gènes seuls. Il y a aussi des modifications chimiques, des épigénétiques, qui influencent l'expression des gènes. Elles sont héritées, mais elles peuvent aussi être influencées par l'environnement. C'est la révolution de l'épigénétique.

CONTENTS

Le support matériel de l'hérédité ? L'ADN, plus complexe, plus riche, plus évolutif, plus capable de transmettre des informations que les gènes seuls. Il y a aussi des modifications chimiques, des épigénétiques, qui influencent l'expression des gènes. Elles sont héritées, mais elles peuvent aussi être influencées par l'environnement. C'est la révolution de l'épigénétique.

2003 L'ÉPIGÉNÉTIQUE RÉVOLUTIONNE L'HÉRÉDITÉ

"Le support matériel de l'hérédité ?" L'ADN, "et rien que l'ADN. Pourtant, depuis peu, quelques généticiens [...] remettent audacieusement en cause ce dogme" : ils remarquent que "de subtiles modifications chimiques se produisant autour de la fameuse molécule d'ADN, les modifications 'épigénétiques', induites par le milieu, sont capables d'éteindre ou d'allumer les gènes. Pas de quoi réhabiliter Lyssenko pour autant. S&V n° 1029

→ pure ou d'un hybride? Il suffit d'examiner ses descendants. Lorsque Mendel sème les pois lisses obtenus, et qu'il laisse s'autoféconder les plants, certains ne donnent que des pois lisses (ce sont donc des souches pures), les autres, deux fois plus nombreux, un mélange de grains lisses et ridés (ce sont des hybrides). Les pois ridés, eux, ne donnent que des descendants ridés.

Mendel résume: lorsqu'on croise un caractère dominant "A" avec un caractère récessif "a", on obtient donc un quart de dominants purs "A", deux quarts de dominants hybrides "Aa" et un quart de récessifs "a". Ce qu'il écrit $A + 2Aa + a$.

VERS UNE NOUVELLE SCIENCE

Cette identité remarquable, pour reprendre l'expression mathématique consacrée, explique pourquoi, lorsqu'on laisse des hybrides se reproduire entre eux, la proportion de plants semblables aux sources pures ancestrales



^ Les lois de l'hérédité définies par Mendel dans *Recherches sur des hybrides végétaux* fondent ce que l'on appellera plus tard la "génétique".

augmente d'une génération à l'autre: la proportion de souches pures (A ou a) croît, en effet, selon une progression régulière.

Et si l'on croise plusieurs caractères en même temps? Des pois à grains lisses et jaunes avec des pois ridés et verts? Mendel montre que les couples de caractères obtenus se répartissent toujours selon les mêmes règles: tous les hybrides de première génération présentent les caractères dominants. Et aux générations suivantes, on observe toutes

les combinaisons possibles entre caractères dominants et récessifs.

Mendel n'a pas ménagé sa peine, examinant en huit ans 12 000 plants et 300 000 graines. Mais son mémoire ne soulève guère d'enthousiasme. "Personne à ma connaissance n'a entrepris de refaire mes expériences", écrira-t-il, déçu, en 1867, au botaniste munois Carl Nägeli... qui n'en perçoit pas davantage l'intérêt.

Il faudra attendre 1900 pour que trois botanistes, de

Vries, Correns et von Tschermak, lui donnent une publicité nouvelle. Car le paysage scientifique a changé. Avec, d'un côté, l'idée que l'hérédité est portée par des paires de chromosomes, qui se séparent pour former les cellules sexuelles; de l'autre la séparation proposée par Weismann entre ces cellules sexuelles, qui portent les caractères héréditaires, et les autres cellules du corps, où ces caractères se réalisent. Les proportions mendéliennes prennent alors sens.

Cinq ans plus tard, s'inspirant à son tour de Mendel, le Britannique William Bateson nommera "génétique" cette nouvelle science qui, à l'instar de ce qu'entreprend ce moine solitaire, quantifie la transmission des caractères dont on peut hériter. Et encore 1953 pour que Francis Crick et James Watson identifient enfin le véritable support matériel de cette hérédité: la molécule d'acide désoxyribonucléique, plus connu sous le nom d'ADN.

Emmanuel Monnier

J. KING-HOLMES/SPL/COSMOS

SCIENCE&VIE en parlait encore

2004 LES NOUVEAUX OUTILS DE LA GÉNÉTIQUE

"Quel prodige relie un minuscule brin d'ADN à un être vivant, avec des yeux, un cœur, des rayures... ? Depuis 50 ans, les biologistes pensaient trouver la clé dans les gènes." Mais entre un gène et un organisme, le degré de complexité est tel que la génétique seule ne peut en rendre compte. Des modèles intégrant maths et physique sont nécessaires. **S&V n° 1047**



2015 DE L'ADN, MAIS PAS SEULEMENT...

"Si l'on en croit les 'lois de l'hérédité' révélées [...] par Gregor Mendel", nous sommes le résultat "d'une simple addition des gènes de nos parents [...]". Sauf qu'aujourd'hui, nous savons que nous ne léguons pas que de l'ADN à nos enfants: nous saupoudrons aussi leur organisme de nombreux constituants du nôtre, qui modifient leurs caractères": cellules souches, bactéries... Comme les lois de Newton ont été intégrées à la relativité, "la génétique mendélienne devra [...] s'intégrer dans une théorie plus large". **S&V n° 1173**



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

RTL
#RTLBOUGE

PHOTO : ROMAIN BOË / ABACAPRESS

LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT
SIDONIE BONNEC ET THOMAS HUGUES LUNDI-JEUDI 20H-22H

MERCREDI 23 MARS

LE MICROBIOTE

Avec Caroline Tourbe, journaliste.

SCIENCE & VIE

RTL.fr