

ROSETTA BONHEUR MÉMOIRE DE L'EAU BOMBE IRANIENNE ERECTUS LUNE
MICROBES GOOGLE IMAGES TERRORISME PRIMATES ARIANE ASOLIMAR

SCIENCE & VIE

SCIENCE & VIE

FÉVRIER 2015 N° 1169  MONDADORI FRANCE

DÉCOUVERTE

L'ÉNERGIE DE LA VIE

ELLE TIENT DANS
UNE GOUTTE D'EAU !

**VOITURES SANS
CONDUCTEUR**
ELLES ARRIVENT

+ NIGERIA

LA NOUVELLE BOMBE
DÉMOGRAPHIQUE

GREFFE D'UTÉRUS

► LA MATERNITÉ BOULEVERSÉE
► ET POURQUOI PAS LES HOMMES

France métro : 4,30 € - D : 6,90 € - BEL : 4,70 € - ESP : 4,90 €
GR : 4,90 € - DOM surf : 4,90 € - DOM avion : 6,90 €
ITA : 4,90 € - LUX : 4,70 € - PORT CONT : 4,90 € - CAN :
6,50 \$ CAN - MAR : 48 DH - TOM : 5 / 750 CFP - TOM A :
1400 CFP - CH : 8,5 FS - TUN : 7,5 DTU

M 02578 - 1169 - F: 4,30 € - RD





Innovation
that excites

LES CITADINES NISSAN. VOUS ALLEZ LES AIMER SANS



NISSAN MICRA

- SYSTÈME DE NAVIGATION NISSANCONNECT 2.0⁽¹⁾
- RADAR DE REcul ET AIDE AU CRÉNEAU⁽¹⁾
- SYSTÈME D'OUVERTURE ET DE DÉMARRAGE SANS CLÉ "INTELLIGENT KEY"⁽¹⁾

À PARTIR DE
8 490 €⁽²⁾
SANS CONDITION

(1) Équipements disponibles de série ou en option et sur certaines versions (sauf Visia).

Réservez votre essai sur nissan.fr

Innover autrement. (2) Prix au 01/01/2015 de la Nissan MICRA Visia 1.2L 80 après déduction de 3 160 € de remise*. **Modèle présenté** : Nissan MICRA Acenta 1.2L 80 avec options peinture métallisée et Pack Style 15", accessoires Jantes alliage 15" Gris Arge psules centrales Rouge Sport, Pack City Rouge Sport et poignées de portes avant et arrière Rouge Sport : **13 046 €** après déduction de 2 960 € de remise*. (3) Prix au 01/01/2015 de la Nissan NOTE Visia 1.2L 80 après déduction de 3 660 € de remise*. **Modèle présenté** : Nissan NOTE Black Line 1.2L 80 avec option peinture métallisée : **13 180 €** après déduction de 3 160 € de remise*. *Prolongation jusqu'au 31/03/2015 de l'offre de remise valable initialement jusqu'au 31/12/2014. Offres non cumulables avec d'autres offres, valables du 01/01/2015 au 31/03/2015, réservées aux particuliers chez les Concessionnaires participants.

• CONDITION.



NISSAN NOTE

- HABITACLE SPACIEUX ET CONFORTABLE
- AIDE AU STATIONNEMENT NISSAN AVM - VISION 360°⁽¹⁾
- SYSTÈME D'ALERTE ANTI-COLLISION NISSAN SAFETY SHIELD⁽¹⁾

À PARTIR DE
9 990 €⁽³⁾
SANS CONDITION

Pour plus d'informations, rendez-vous sur **nissan.fr**

NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 €, RCS Versailles B 699 809 174 Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin - 2, rue René Caudron CS 10213 - 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex.

Nissan MICRA : Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 4,1 - 5,4. Émissions CO₂ (g/km) : 95 - 125.
Nissan NOTE : Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 3,5 - 5,1. Émissions CO₂ (g/km) : 90 - 119.



L'ANNÉE VUE PAR... LES SCIENCES

SAMEDI 14 FÉVRIER / LA SORBONNE (PARIS)

5 TABLES RONDES POUR COMPRENDRE LE MONDE D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

9h30-10h30 Bébés à la carte : le progrès a-t-il des limites ?
Animé par René Frydman (Révolutions médicales)

11h-12h Droits des animaux : le nouvel humanisme des sciences ?
Animé par Aurélie Luneau (La marche des sciences)

13h30-14h30 Ebola : la lutte contre les épidémies fait-elle progresser l'humanité ?
Animé par Sylvain Kahn (Planète terre)

15h- 16h Rosetta : la science au-delà du spectacle ?
Animé par Stéphane Deligeorges (Continent sciences)

16h30-17h30 Les robots arrivent : comment allons-nous vivre ensemble ?
Animé par Michel Alberganti (Science publique)

18h-18h30 Leçon de clôture

Grand amphithéâtre de La Sorbonne - 47 rue des Ecoles, 75005 Paris

Avec la participation de la rédaction de

SCIENCE & VIE

En partenariat avec

L'OB

Avec le soutien de

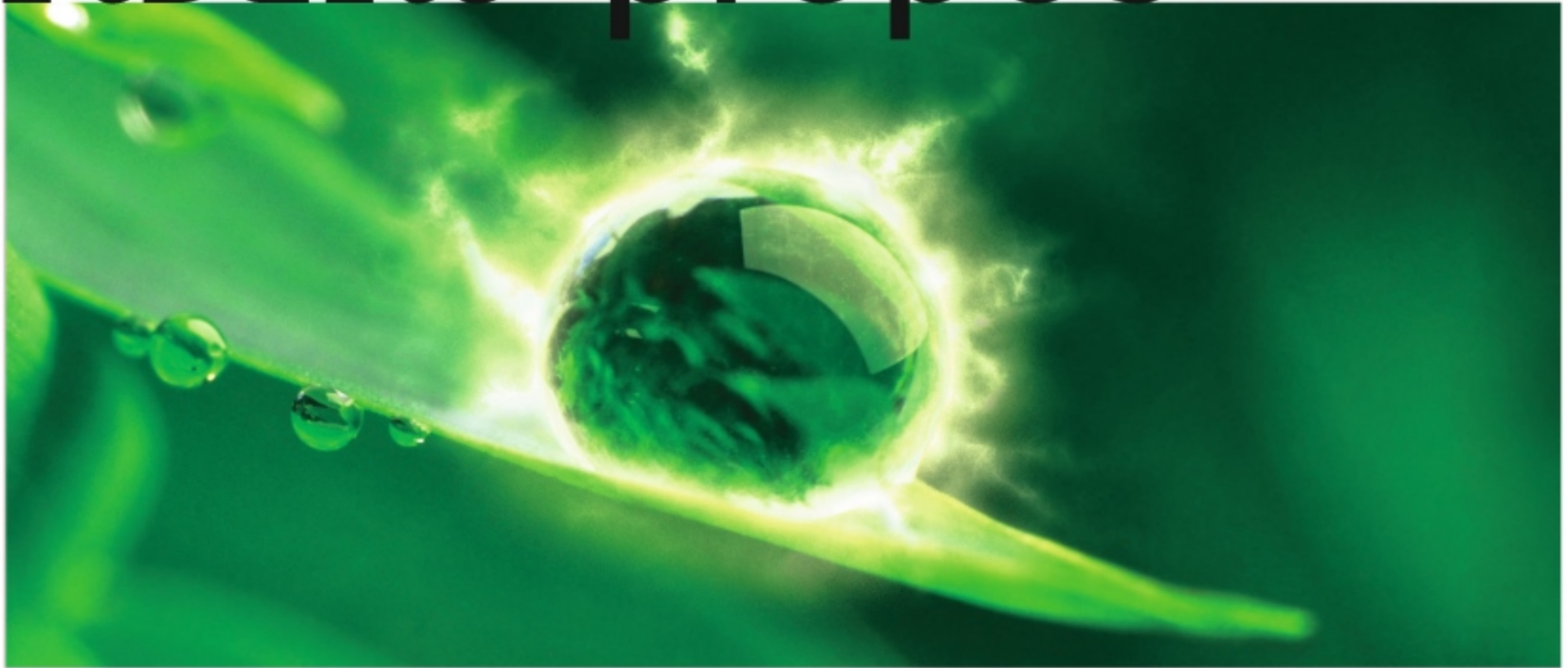
universcience

UPMC
PARIS SORBONNE UNIVERSITÉS



Muséum
national
d'Histoire
naturelle

ENTRÉE GRATUITE SUR INSCRIPTION
auditeurfranceculture@radiofrance.com
01 56 40 10 57



G. CIRADE

Ainsi va **la vie**

A l'origine, une goutte

D'où vient la vie? Par quel mécanisme la matière inerte vient-elle à s'animer? La question hante les esprits depuis toujours. Et c'est sans grand succès que de nombreuses hypothèses ont été formulées pour lever un peu du voile qui continue d'entourer cet épais mystère.

Mais en voici une nouvelle à laquelle, curieusement, personne n'avait pensé. Et qui fait dire aux scientifiques qu'ils tiennent proba-

blement enfin une pièce essentielle du puzzle. La clé du mystère? Elle pourrait tenir dans une goutte d'eau. Dans n'importe laquelle des gouttes d'eau dont regorge notre planète. Il suffisait juste de bien les regarder.

Voyez cette minuscule flaque d'eau accrochée au capot de votre voiture après l'averse. Observez cette petite bille translucide déposée aux premières heures du jour sur cette feuille tendre. Curieux,

non? Si ces gouttes d'eau ne s'écoulent pas, si elles conservent leur intégrité, c'est en raison d'une force qui s'exerce à leur surface. Une force dont on sait aujourd'hui qu'elle pousse les éléments les plus simples contenus dans ces gouttes à s'assembler entre eux pour former des structures plus complexes. Fabriquer du compliqué à partir du plus simple? Le vivant ne fait pas autre chose...

Demain, des hommes "enceints"?

Le premier enfant né d'une mère ayant bénéficié d'une greffe d'utérus a vu le jour en Suède en septembre dernier. Il est le fruit d'une longue épopée scientifique et d'une prouesse médicale de nature à donner de l'espoir aux femmes privées de cet organe nécessaire à la mater-

nit. Si l'exploit a été mondialement salué, il soulève une redoutable question curieusement restée dans l'ombre: une telle opération pourrait-elle être réalisée sur un homme? La réponse, plutôt déroutante, est oui. Oui, un homme pourrait tomber "enceint" grâce à cette technique. Stupé-

fiant! Même si les médecins à l'origine de cette première s'empressent d'ajouter qu'ils se l'interdiront pour des raisons déontologiques. Possible, à défaut d'être souhaitable ou légale, cette perspective fait voler en éclat nos représentations de la maternité et de la reproduction.

actus 12



L'EAU DE LA COMÈTE VISITÉE PAR ROSETTA EST UNIQUE

C'est fait : les scientifiques ont saisi l'eau de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. Elle est unique. Elle est la seule à avoir été analysée par la sonde Rosetta. Elle est la seule à avoir été analysée par la sonde Rosetta. Elle est la seule à avoir été analysée par la sonde Rosetta.

Science & société 30

70 % des Français se déclarent pessimistes

Ce que cache cette déprime collective

Les sondages le montrent : l'optimisme des Français a diminué. Ce n'est pas la première fois. Ce n'est pas la dernière. Ce n'est pas la dernière. Ce n'est pas la dernière.

L'ÉNERGIE DE LA VIE

ELLE TIENT DANS UNE GOUTTE D'EAU

C'est par hasard que des chimistes ont découvert le phénomène : en insérant dans une goutte d'eau deux molécules simples, celles-ci ont rapidement formé des molécules complexes... sans la moindre intervention extérieure ! Par la seule force de la "tension de surface" qui, au sein d'une goutte, incite toutes molécules à se lier entre elles. Une découverte majeure car elle offre enfin un scénario crédible à l'apparition de la vie : les réactions initiées dans les gouttes auraient pu se propager sur la Terre primitive, notamment via les nuages. Qu'y a-t-il à l'intérieur d'une goutte ? Il y a l'énergie de la vie. Une énergie que les scientifiques cherchent maintenant à maîtriser...

PAR MATHILDE FONTEZ

42

66

Bactéries, virus, champignons... Vous ne verrez plus votre maison comme avant

Les scientifiques ont découvert que les micro-organismes sont partout. Ils sont partout. Ils sont partout. Ils sont partout.

84

VOITURE AUTONOME

Un concept qui arrive à maturité. Comment l'électronique prend le contrôle. Les points forts de la conduite autonome. Les défis à relever. Les fonctions actuellement disponibles.

SCIENCE & VIE, 8, rue François-Cory 92543 Montrouge Cedex
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svnews@mondadori.fr Recevez Science & Vie chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 97. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com. Deux encarts abonnement sont jetés sur les exemplaires de la vente au numéro France Métro ; un encart abonnement sur les ex. de la vente au numéro Suisse / Belgique ; un encart Abonnement Science & Vie sur les ex. d'une partie de la diffusion abonnés France Métro.

Encart Science & Vie Croisières Islande jeté sur la diff. abonnés France Métro. Encart Boutique Science&Vie Encart Livre mars / Soldes jeté sur la diff. abonnés France Métro. Encart Cigale Voyage jeté sur la diff. abonnés France Métro. Encart Société Française des Monnaies jeté sur la diff. abonnés France Métro. Encart Livres jeté sur une partie de la diff. abonnés France Métro.

8 Forum

Actus

12 Labos

L'eau de la comète visitée par Rosetta a été analysée: elle est unique; Comment l'œil humain peut voir les infrarouges...

20 Environnement

Le gaz de schiste américain risque de faire un flop; les éruptions volcaniques atténuent le réchauffement climatique...

26 Médecine

Un virus a le don de maintenir en vie les neurones; comment le tabac augmente le risque de cancer masculin...

28 Technos

En ionisant l'air, les images 3D flottent toutes seules; la parade aux batteries qui surchauffent.

Science & société

30 70 % des Français se déclarent pessimistes

Ce que cache cette déprime collective

34 La mémoire de l'eau refait surface

Pourquoi l'hypothèse ne convainc toujours pas

36 Echec de l'accord sur le nucléaire iranien

Les coulisses d'une expertise sans fin

37 Apple se lance dans le paiement sans contact

La dématérialisation de l'argent désinhibe les pulsions d'achat

38 Pics de pollution

Peut-on comparer pollution et tabagisme passif?

A la Une

42 ÉNERGIE DE LA VIE:

elle tient dans une goutte d'eau

44 Une expérience qui fera date

48 Ainsi a pu naître la vie

54 La grande révolution des microgouttes

Science & découvertes

60 Paléoanthropologie

Origine de la culture: le choc Erectus

63 Minéralogie

Lune: le caillou des origines

66 Microbiologie

Bactéries, virus, champignons: vous ne verrez plus votre maison comme avant

72 Démographie

La bombe démographique

Science & techniques

78 Chirurgie

Utérus greffé: l'exploit qui bouleverse la maternité

84 Transport

Dossier spécial "voiture autonome"

98 Moteurs de recherche

Et voici qu'ils légendent les images

102 Terrorisme

Le défi des bombes improvisées

Science & futur

106 L'Europe fait coup double avec Ariane 6; le creusement d'un canal gigantesque au Nicaragua; des flotteurs pour transformer les vagues en électricité; un ascenseur à lévitation vertical et horizontal; un jardin public souterrain verra le jour à New York; des robots vigiles surveillent le campus californien de Microsoft...

Culture science

114 Bon à savoir

116 Questions/Réponses

120 A voir / à lire

124 Technofolies

128 Il y a... 40 ans: la conférence d'Asilomar sur les manipulations génétiques.

Forum

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

Médecines alternatives : la science ne convainc pas tout le monde

En lisant votre dossier, une réflexion me vient à l'esprit : comment expliquer que l'on peut soigner certains troubles chez un chien avec quelques granules d'homéopathie, alors que cet animal ne fait pas la différence entre ces granules et une friandise donnée par son maître ? Même constat avec les bébés.

Alain Rabot, Cusy (74)

S&V L'argument est régulièrement avancé par certains défenseurs de l'homéopathie : l'efficacité de cette dernière ne peut pas se résumer à un effet placebo puisqu'elle est efficace chez l'animal et le bébé !

Le problème, c'est que cet argument sous-entend que l'effet placebo serait inexistant chez l'un comme chez l'autre. Or, depuis



des décennies, plusieurs expériences scientifiques ont démontré le contraire. Le conditionnement joue un rôle essentiel dans l'effet placebo, y compris chez les

bébé. Un jeune enfant habitué à ressentir un soulagement de sa douleur après la prise d'un médicament aura tendance à répondre de la même façon après l'administration d'un remède homéopathique. Sans compter que les attentes du soignant, du parent, du maître... peuvent conduire ces derniers à surinterpréter les effets d'un remède sur le comportement de l'enfant ou de l'animal.

Reste que les données scientifiques sur l'efficacité de l'homéopathie chez l'animal ou le jeune enfant sont insuffisantes pour affirmer que l'homéopathie est plus efficace qu'un placebo chez ces deux populations.

“ Pharmacien depuis 40 ans, je suis choqué par votre article sur l'homéopathie. Elle soigne immédiatement, l'état général s'améliore. Si tant de gens l'utilisent, c'est bien parce que c'est efficace. Ils ne sont pas idiots. ”

Jean-François Vézin, Internet



A quand un débat sur la fin de la dissuasion nucléaire française ?

Dans le n° 1167 de décembre, vous présentez le Laser Mégajoule comme *“la nouvelle arme de dissuasion nucléaire”*. Soulignons que la France est, avec la Russie, l'Etat le plus arc-bouté sur cette dissuasion, quand bien même les arguments stratégiques la justifiant ne sont plus valables. Certains pays s'interrogent ouvertement, comme la Grande-Bretagne, qui ouvrira le débat en 2016. Et en France ? Nous avons pourtant signé le traité de non-prolifération, qui comporte un engagement de désarmement nucléaire.

G^{al} B. Norlain, ancien directeur de l'Institut des hautes études de défense nationale

Une salle de concert à l'acoustique sur mesure

Dans votre article sur la grande salle de la Philharmonie, qui ouvre ses portes à Paris, vous la comparez avec quelques grandes salles européennes. Vous auriez pu citer la Sala São Paulo, construite dans une gare toujours en activité, dont le plafond, composé de 15 éléments en bois de 7,5 t chacun réglables en hauteur, permet de faire varier le volume de la salle de 12 000 m³ à 28 000 m³. Le chef d'orchestre adapte ainsi librement la configuration du plafond à l'acoustique qu'il recherche.

Jean-Claude Chorrier-Collet, Internet

Rendements en baisse: l'agriculture bio pointée du doigt

Dans votre article "Rendements agricoles: La grande panne" (S&V n° 1168, p. 98), vous avez oublié un élément qui fait stagner le rendement national moyen du blé : le développement de l'agriculture biologique. En 2014, son rendement n'était que de 31 quintaux par hectare en raison de la rouille jaune. Le blé conventionnel, traité aux fongicides, n'en a pas été affecté.

Francis Hoes, Internet

S&V Votre remarque est intéressante. En effet, cet argument a déjà été avancé pour tenter

d'expliquer la stagnation des rendements dans une poignée de pays réputés très favorables à l'agriculture bio, comme la Finlande, la Suisse ou le Danemark. Néanmoins, en France, cette agriculture organique ne peut avoir qu'une influence infime: elle concerne moins de 4 % des surfaces cultivées. La stagnation des rendements depuis une quinzaine d'années est bel et bien relevée dans l'Hexagone sur les parcelles conventionnelles – et la bonne récolte en blé tendre de 2014 ne change rien à cette tendance.

On en reparle



TÉLESCOPE SUPER-GEANT: L'EUROPE SE LANCE ENFIN

Cette fois, c'est la bonne! Après une série de faux départs qui commençaient à faire tache de la part du plus grand institut astronomique de la planète, l'Observatoire européen austral (ESO) se lance enfin dans la construction du plus grand télescope du monde! S&V, en 2010, présentait en détail les plans et objectifs de cette machine à faire de l'astronomie géante: avec un miroir d'une taille jamais vue de 39,3 m de diamètre, et quelque 3 000 t, l'E-ELT (European Extremely Large Telescope) promet une moisson de découvertes dans les trois grands domaines de l'astronomie du XXI^e s.: la quête des premières étoiles et des premières galaxies, la naissance des systèmes planétaires au sein des nébuleuses et l'étude des exoplanètes.

L'annonce de l'ESO, qui débloque un milliard d'euros, est cependant accompagnée de quelques bémols... Le Brésil, dont l'ESO attend depuis cinq ans l'entrée (avec 300 millions), joue l'arlésienne... Or, l'institut ne peut plus attendre. L'E-ELT a de la concurrence. Deux géants internationaux, de 22 et 30 m, et le successeur du télescope spatial, JWST, sont prévus pour les années 2020. L'ESO vise désormais 2024, voire 2026 si de nouveaux partenaires ne s'associent pas au projet. Avec une ambition à la baisse: un système optique moins sophistiqué, un miroir moins performant... Il reste 300 millions d'euros à trouver d'ici à 2017, date à laquelle il faudra choisir entre le projet le plus ambitieux ou sa version "light".

S.B.

PÉNURIE DE RADIO-ISOTOPES : LA GRANDE CACOPHONIE

SV La direction du CEA a souhaité réagir (ci-contre) à notre chronique sur la pénurie de radio-isotopes attendue dans les années à venir (voir n° 1167, p. 36). Pour comprendre, il faut savoir que l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a préconisé cet été l'arrêt du réacteur de recherche Osiris, au plus tard le 31 décembre 2015. Une décision actée ensuite par le gouvernement français. En cause principalement, des faiblesses dans l'étanchéité de l'enceinte de confinement de ce réacteur démarré en 1966. Or, cet appareil du CEA – dédié à l'origine à l'étude des matériaux – génère environ 10 % de la production mondiale de technétium-99, un radio-élément massivement utilisé dans l'imagerie médicale pour des diagnostics en cancérologie, neurologie, cardiologie, etc. Seuls neuf réacteurs dans le monde assurent actuellement cette fabrication. A plusieurs reprises, en 2007-2008 et en 2010, les médecins ont travaillé avec des quantités restreintes de technétium. Et à court terme, un sérieux risque de pénurie se dessine : outre la fermeture d'Osiris, l'unité canadienne NRU devrait fermer en 2016 et le réacteur belge BR2 subir une longue opération de main-

Une mise au point du CEA

Suite à votre article intitulé "La pénurie de radio-isotopes n'aurait jamais dû avoir lieu!", le CEA tient à faire part de la réalité des faits concernant sa gestion de la fermeture du réacteur Osiris, programmée fin 2015.

Contrairement à ce qu'avancait l'article, le CEA a rapidement informé ses autorités de tutelle des risques de pénurie de technétium-99 que pourrait entraîner la fermeture du réacteur. Après avoir informé oralement les pouvoirs publics, il les a alertés par écrit en 2009, puis en 2011. Les premières exigences de renforcement de la sûreté exprimées par l'Autorité de sûreté nucléaire nécessitaient plusieurs années de travaux impliquant une indisponibilité du réacteur durant la période de pénurie potentielle (2016-2018).

L'ASN a posé *in fine* de nouvelles

conditions pour permettre le fonctionnement en toute sûreté du réacteur sur ladite période. Le CEA les a acceptées et a sollicité l'arbitrage du gouvernement au vu des coûts supplémentaires – quelques dizaines de millions d'euros – à prendre en compte. Le gouvernement a souhaité évaluer la réalité du risque de pénurie en consultant l'Académie de médecine puis en sollicitant l'Inspection générale de l'administration de l'enseignement supérieur et de la recherche et celle des affaires sociales. Au vu de leurs conclusions, il a statué et confirmé sa demande de fermeture du réacteur, fin 2015. Le CEA a pris acte de cette décision et a lancé les procédures correspondantes, tout en veillant à satisfaire au mieux les besoins des patients jusqu'à fin 2015.

Bernard Bigot, administrateur général du CEA

tenance de dix-huit mois... En attendant l'ouverture vers 2020 d'un nouveau réacteur du CEA, le Jules Horowitz, à Cadarache.

Pour trancher ce dilemme entre sûreté nucléaire et santé publique, le gouvernement a demandé l'avis, notamment, de l'Inspection générale des affaires sociales. Laquelle a fourni un rapport qui a conduit l'Etat à décider l'arrêt d'Osiris. Que dit ce rapport? Impossible de le savoir en détail : le document est resté confidentiel. Vraisemblablement, des alternatives sont envisagées comme le recours au thallium-201, l'iode-123 ou la tomo-

graphie par émission de positons. Les représentants de la médecine nucléaire se veulent d'ailleurs assez rassurants. Pour autant, ce risque de pénurie continue d'inquiéter.

Car dans un avis publié le 18 février 2014, l'Académie nationale de médecine avait signalé que le technétium n'avait aucun substitut dans six indications majeures, comme la détection du ganglion sentinelle avant le traitement chirurgical du cancer du sein (55 000 examens par an), la recherche d'embolie pulmonaire chez la femme enceinte, la scintigraphie rénale et la plupart des

scintigraphies de l'enfant. En insistant sur "les conséquences graves pour les dizaines de milliers de patients qui ne pourraient pas bénéficier de ces examens".

Certains craignent d'ores et déjà un scandale sanitaire, d'une nature comparable à l'affaire du sang contaminé. Et critiquent vertement la rigidité de l'ASN qui, lui, s'en tient à son statut de gendarme intransigeant de l'atome...

Entre discours fébriles et rassurants, polémiques internes et rapports inaccessibles, ce sujet sensible soulève aujourd'hui une grande confusion. Un dossier à suivre.

On tenait à vous dire!



Le film *Europa Report*, de Sebastian Cordero, est sorti en janvier 2014.



Quand Europe inspire le cinéma

J'ai beaucoup apprécié votre article sur Europe. Je recommande aux lecteurs le film peu connu *Europa Report*, qui raconte les premiers pas de l'homme sur ce satellite de Jupiter.

Thomas Faelli, Internet

S&V Nous avons nous aussi repéré ce film, dont l'affiche (ci-contre) trône dans notre salle de rédaction. Et nous ne sommes pas les seuls ! L'un des spécialistes du système jovien que nous avons interrogé nous l'a recommandé en précisant que, malgré son budget réduit, il offrait une vision très réaliste des paysages et de ce que pourrait être une mission vers Europe.

La boutique

SCIENCE & VIE

Plus de **400**

► Livres

► Objets scientifiques

► Idées cadeaux

www.laboutiquescienceetvie.com

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 (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEF DE SERVICE

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

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Vallin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Boris Bellanger,
Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat,
Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock, 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),

Isabelle Henneron ; Emmanuel Jullien
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

Anyforms Design, S. Aquino, K. Bettayeb,
L. Blancard, C. Bonneau, B. Bourgeois,
L. Bouyssou, S. Brunier, F. Cadu,
E. Casalegno, G. Cirade, M. Corniou,
A. Dagan, A. Debroise, D. Delbecq,
S. Devos, S. Fay, F. Gracci, M. Grousseau,
C. Hancock, R. Ikonikoff, M. Kergoat,
M. Kontente, O. Lapirot, C. Martin,
M.-C. Merat, E. Monnier, B. Perrin,
A. Pihen, A. Rambaud, 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),
Siham Daassa (responsable diffusion
marché)

MARKETING

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

PUBLICITÉ

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

Anne-Sophie Chauvière (opérations
spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD

(infodod@publieurope.com -
44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich

(infomunich@publieurope.com
0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne

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

Espagne : Publimedia Madrid

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

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck,
Marie-Hélène Michon

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon,
Murielle Luche

ÉDITEUR MONDADORI MAGAZINES

FRANCE

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

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Caroline Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

Dépôt légal février 2015

RELATIONS CLIENTÈLE

ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

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

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

Pour vous abonner par internet :

www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

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

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue
François-Ory,
92543 Montrouge Cedex.
Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS
NUMÉROS, RELIURES
ET VPC

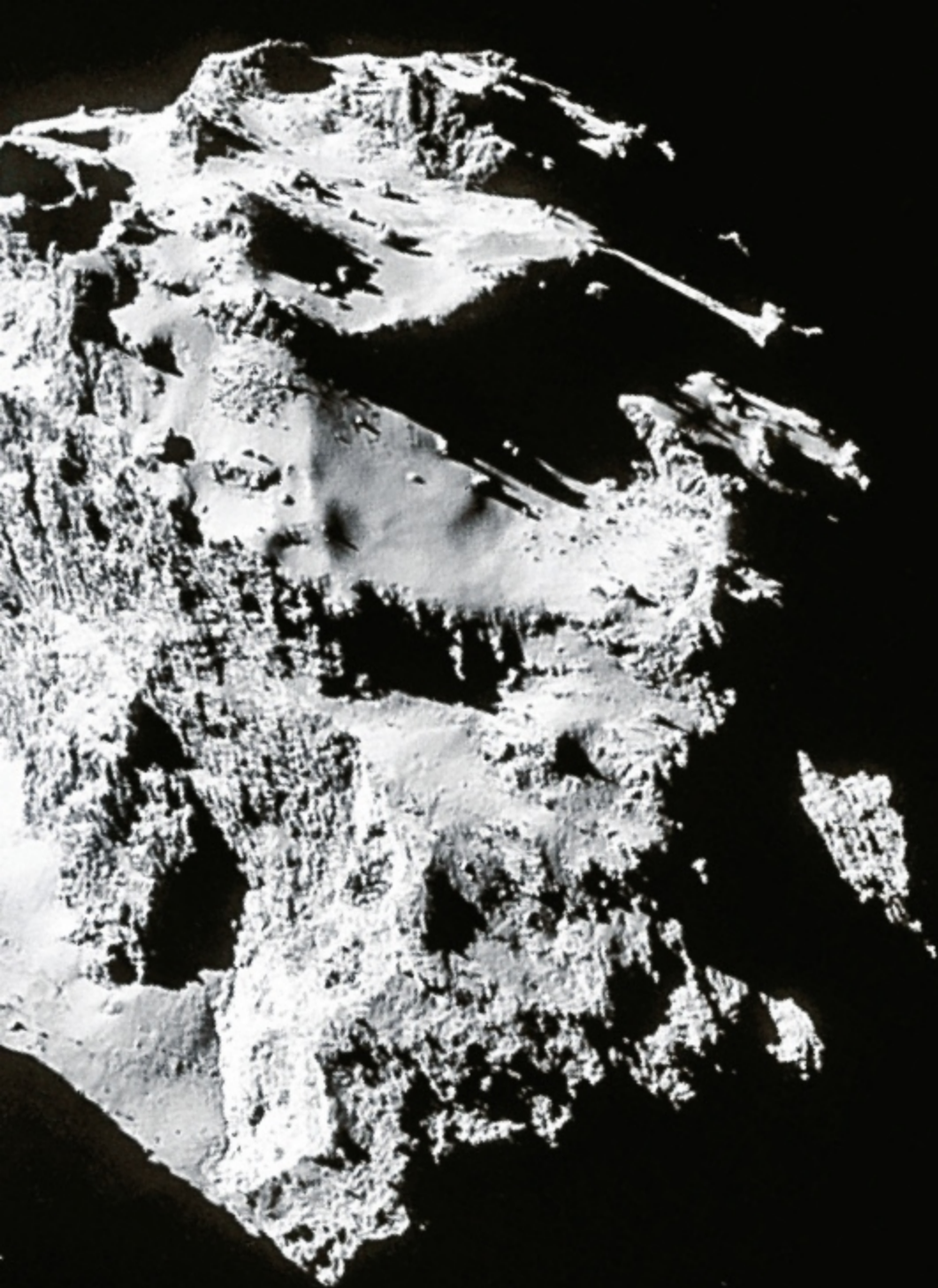
Tel : 01 46 48 48 83

Contact@laboutiquescienceetvie.com



actus

> Le spectromètre de Rosetta a livré son verdict : l'eau de nos océans ne vient pas des comètes.



COSMOCHIMIE

L'EAU DE LA COMÈTE VISITÉE PAR ROSETTA EST UNIQUE

C'est fait ! Les physiciens ont analysé l'eau de la comète 67P Churyumov-Gerasimenko. Elle est différente non seulement de l'eau terrestre mais aussi de celle des comètes de la même famille, issues de la ceinture de Kuiper ! Le spectromètre de masse Rosina, embarqué à bord de la sonde Rosetta, a livré ses mesures. Il s'agissait de cap-

ter des molécules d'eau dégazées par la comète, puis de compter combien étaient composées d'atomes d'hydrogène (au noyau formé d'un unique proton), et combien de deutérium (isotope de l'hydrogène dont le noyau contient un proton et un neutron). Verdict : 1 atome de deutérium pour 1 900 atomes d'hydrogène, soit un rapport isoto-

pique de 0,053 % (contre 0,0155 % pour l'eau terrestre), différent de ce qui a été mesuré dans d'autres comètes. *"Cela confirme la grande diversité de ces objets,* explique Nicolas Biver, spécialiste des comètes à l'observatoire de Meudon. *On n'en trouve pas deux de composition identique, même lorsqu'elles sont voisines."* Un immense bras-

sage a donc sans cesse remodelé le système solaire. Et nos océans ne se sont définitivement pas formés suite à un bombardement massif de comètes voilà 4 milliards d'années, comme les scientifiques l'ont longtemps pensé. La source de nos rivières est bien le ciel, mais plutôt du côté des astéroïdes... **B.R.**

LINGUISTIQUE

LE DISQUE DE PHAISTOS COMMENCE ENFIN, À ÊTRE DÉCRYPTÉ

Depuis sa découverte, il y a 106 ans en Crète dans un palais en ruine, le petit disque d'argile de Phaistos, unique en son genre, est resté une énigme pour les générations d'épigraphistes qui l'ont étudié. Mais après six ans de travail, Gareth Owens, linguiste à l'Institut technologique de Crète, et John Coleman, professeur en phonétique à Oxford, proposent enfin un début de traduction de l'écriture syllabique qui couvre ses deux faces depuis 3 700 ans. Dans ses 242 signes (dont 45 différents) organisés en 61 groupes de 2 à 7 signes, ils auraient identifié 3 mots

faisant référence à une femme attendant un enfant au recto et à une femme tout juste mère au verso – femme pouvant également être une déesse. Référence possible à la déesse de la fertilité du panthéon minoen, le texte serait alors une prière à cette divinité majeure. Selon les chercheurs, 90 % de la face A du disque pourraient désormais être interprétées, sans que la langue utilisée et l'écriture n'en soient pour autant connues. Une annonce audacieuse – ce n'est pas la première fois que des experts pensent avoir résolu l'affaire – mais qui intrigue les spécialistes. **E.R.**



➤ Un début de traduction évoque une déesse mère.

NEUROBIOLOGIE

La curiosité est source de plaisir pour le cerveau

Pourquoi retenons-nous mieux les informations qui nous intéressent ? Lorsque notre curiosité est stimulée, les interactions entre l'hippocampe – région clé de la mémorisation – et le circuit neuronal de la récompense – qui procure du plaisir – augmentent. C'est ce qu'a montré l'équipe de Matthias Gruber, de l'Université de Californie à Davis, après avoir scanné le cerveau de volontaires par IRM fonctionnelle. Avis aux enseignants : une fois cet état cérébral atteint, toute information sera mieux mémorisée ! **M.-C.M.**

La grive et l'homme ont les mêmes goûts musicaux

Les musiques humaines ne sont pas les seules à privilégier les harmoniques. Ces associations mélodieuses de notes (dont les fréquences d'ondes sont des multiples les unes des autres) sont aussi appréciées de la grive solitaire. Après analyse de 71 chants de cet oiseau, des chercheurs ont découvert que 57 suivaient des séries harmoniques ; sans qu'aucune contrainte anatomique ne l'explique. Or, jusqu'à présent, les spécialistes pensaient que la préférence humaine pour les harmoniques était due au fait que notre voix en contient beaucoup... **E. A.**



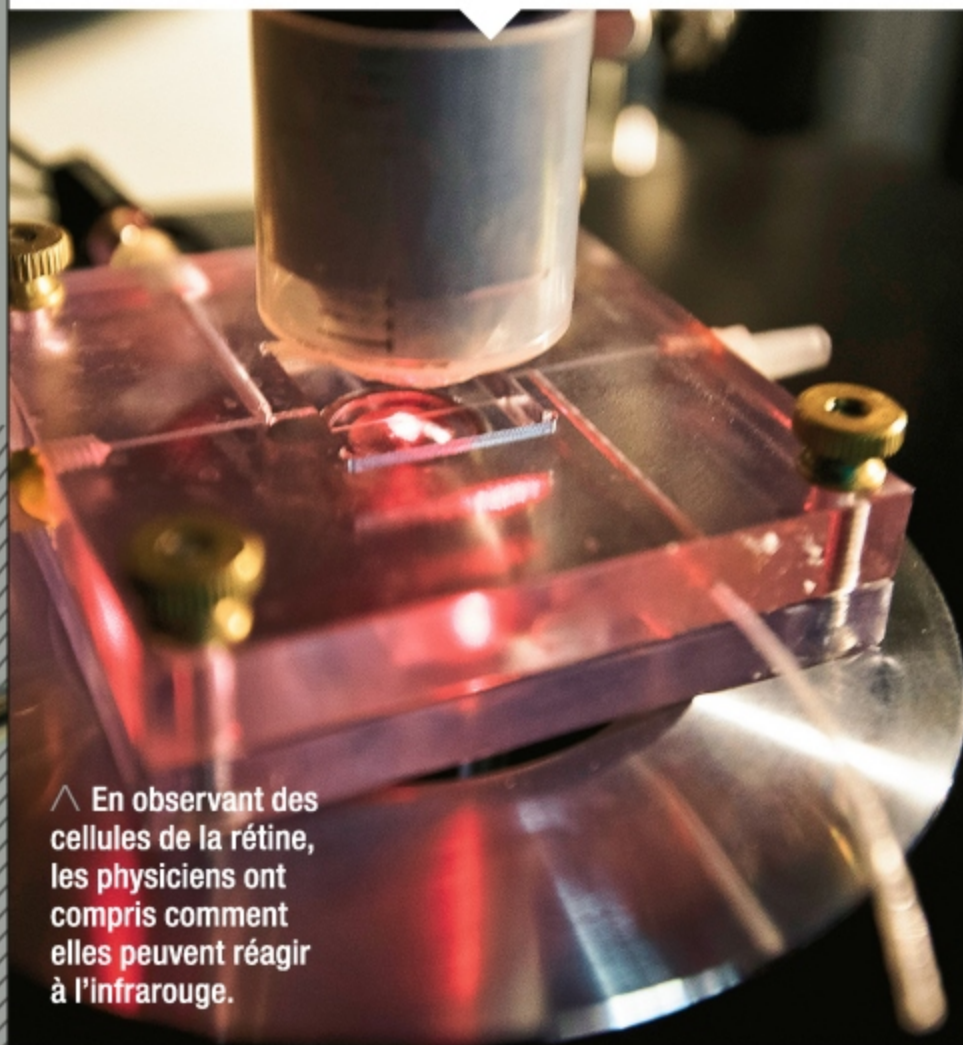
> L'harmonie caractérise aussi le chant de la grive.

BIOPHYSIQUE

Preuve est faite que l'œil humain peut parfois voir les infrarouges

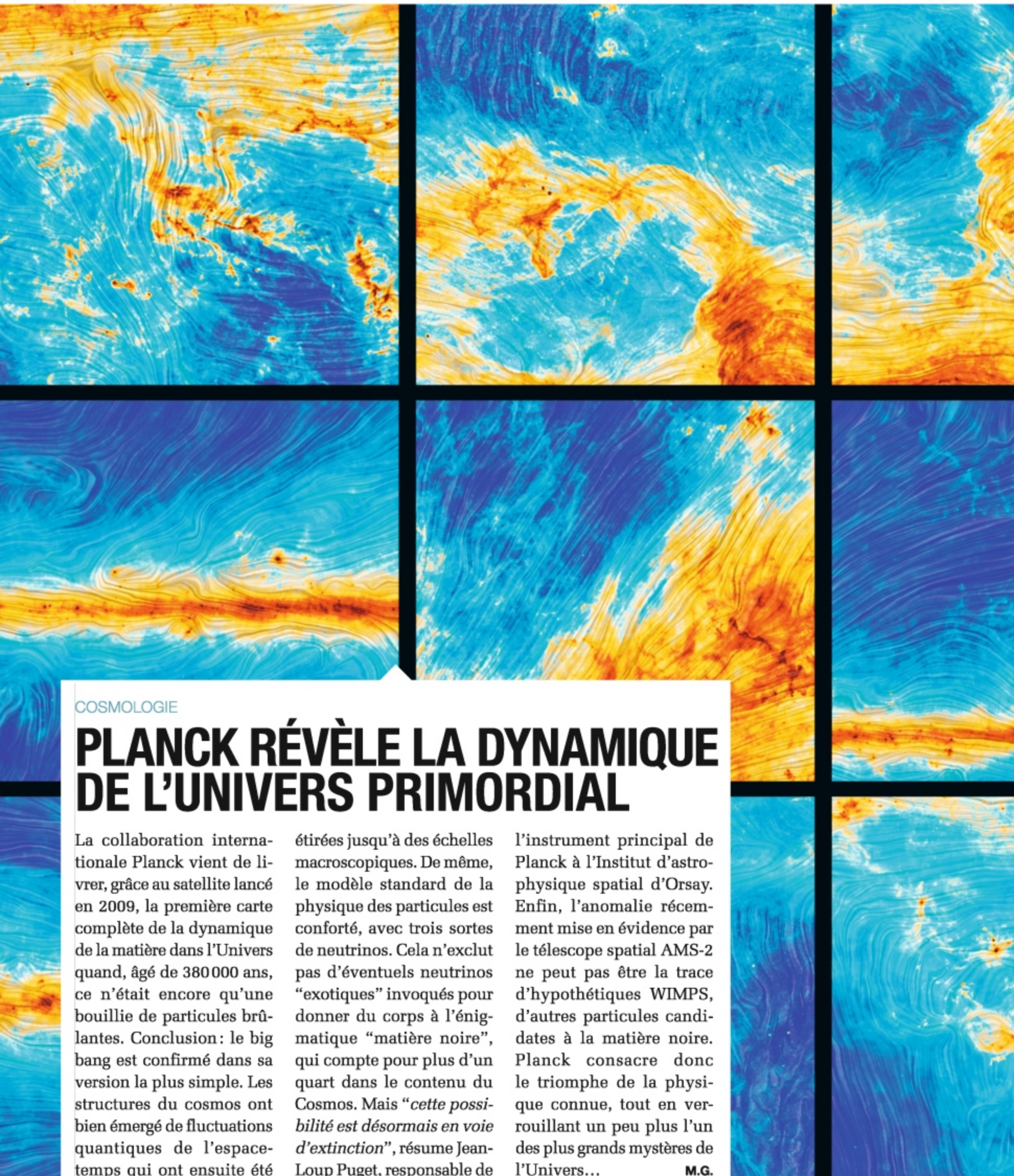
Des témoignages épars l'attestaient mais personne ne l'expliquait : il arrive que l'œil humain perçoive des rayonnements infrarouges (hors du spectre de la lumière visible). Une équipe de l'université Case Western Reserve de Cleveland (Etats-Unis) vient de découvrir que si seuls les photons du visible possèdent l'énergie nécessaire pour stimuler une cellule rétinienne, deux photons infrarouges absorbés simultanément en sont aussi capables. C'est après avoir eux-mêmes perçu des "flashes verts" en utilisant un laser pulsé infrarouge que les chercheurs se sont interrogés. La largeur du spectre visible est déterminée par les propriétés du rétinal, une molécule abritée par les cellules photoréceptrices de la rétine. Lorsqu'elle est heurtée par un photon de longueur d'onde de 400 à 800 nm environ (dans le visible, donc), elle change de conformation, ce qui déclenche le signal nerveux. Les scientifiques ont alors cherché à savoir si le rétinal pouvait être excité par des photons de plus faible énergie, tels ceux du proche infrarouge (de 900 à 1 200 nm) : oui, s'ils sont deux à la fois ! Le phénomène a d'ailleurs plus de chance de se produire avec des lasers pulsés, denses en photons.

A.D.



△ En observant des cellules de la rétine, les physiiciens ont compris comment elles peuvent réagir à l'infrarouge.

HERAKLION ARCHEOLOGICAL MUSEUM - T.ZUROWSKI/GETTY - R.BOSTON/WASHINGTON UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE



COSMOLOGIE

PLANCK RÉVÈLE LA DYNAMIQUE DE L'UNIVERS PRIMORDIAL

La collaboration internationale Planck vient de livrer, grâce au satellite lancé en 2009, la première carte complète de la dynamique de la matière dans l'Univers quand, âgé de 380 000 ans, ce n'était encore qu'une bouillie de particules brûlantes. Conclusion: le big bang est confirmé dans sa version la plus simple. Les structures du cosmos ont bien émergé de fluctuations quantiques de l'espace-temps qui ont ensuite été

étirées jusqu'à des échelles macroscopiques. De même, le modèle standard de la physique des particules est conforté, avec trois sortes de neutrinos. Cela n'exclut pas d'éventuels neutrinos "exotiques" invoqués pour donner du corps à l'énigmatique "matière noire", qui compte pour plus d'un quart dans le contenu du Cosmos. Mais "*cette possibilité est désormais en voie d'extinction*", résume Jean-Loup Puget, responsable de

l'instrument principal de Planck à l'Institut d'astrophysique spatial d'Orsay. Enfin, l'anomalie récemment mise en évidence par le télescope spatial AMS-2 ne peut pas être la trace d'hypothétiques WIMPS, d'autres particules candidates à la matière noire. Planck consacre donc le triomphe de la physique connue, tout en verrouillant un peu plus l'un des plus grands mystères de l'Univers... **M.G.**

SOLEIL TRIPLE

Même les étoiles triples ont des planètes : en étudiant le nuage de poussières gravitant autour du système de trois étoiles GG Tau, l'équipe d'Anne Dutrey (université de Bordeaux) a distingué une zone plus chaude : une planète géante en train de s'agglomérer. M. F.

DEUX NOUVELLES PARTICULES

Xib et Xib*, deux nouveaux baryons (famille du proton et du neutron) ont été vus par le détecteur LHCb, installé sur l'accélérateur du Cern (Genève). M. F.

LES VIKINGS PARTAIENT EN COUPLE

Les femmes Vikings étaient aussi des conquérantes. La comparaison d'ADN mitochondrial (transmis par elles) prélevé sur les squelettes d'anciens Nordiques et chez des populations modernes vivant sur les îles jadis conquises montre qu'elles étaient là dès le début. E.R.

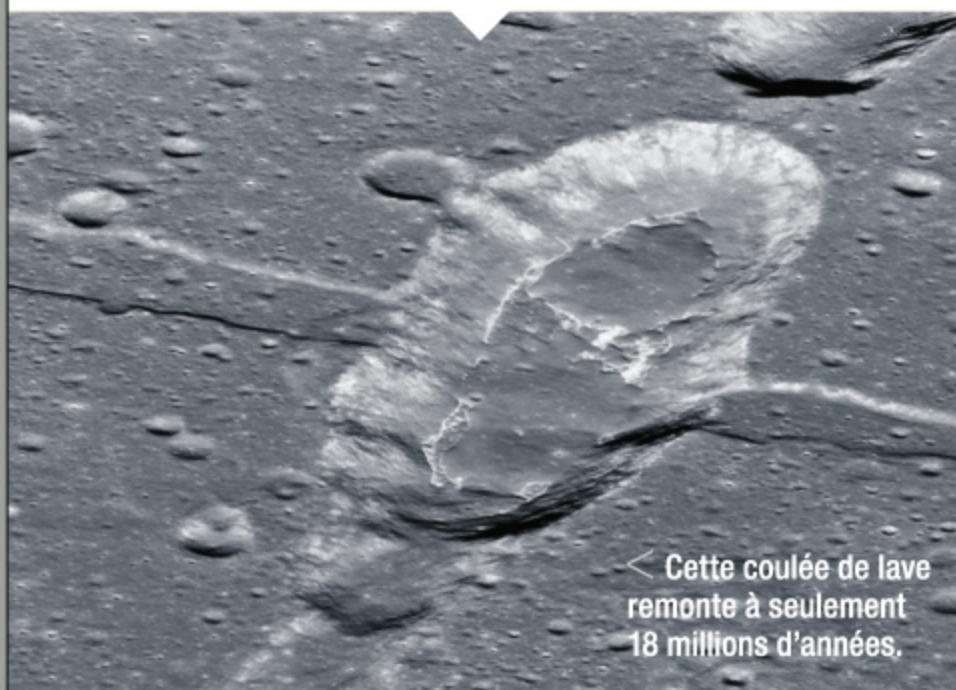
La carte de la dynamique de la matière dans l'Univers exclut les scénarios les plus exotiques.

PLANÉTOLOGIE

Il existait encore des volcans sur la Lune au temps des dinosaures

En observant 70 régions lunaires constituées de coulées de roches basaltiques à l'aide de la sonde de la Nasa Lunar Reconnaissance Orbiter, une équipe de l'université d'Arizona (Etats-Unis) et de l'Institut de planétologie de Münster (Allemagne) a pu établir leur âge. Surprise : nombre d'entre elles se sont formées il y a moins de 100 millions d'années. La plus jeune est même née d'une éruption il y a 18 millions d'années ! Tout cela alors que les spécialistes pensaient notre satellite inerte depuis au moins 1 milliard d'années.

M.F.



Cette coulée de lave remonte à seulement 18 millions d'années.

ZOOLOGIE

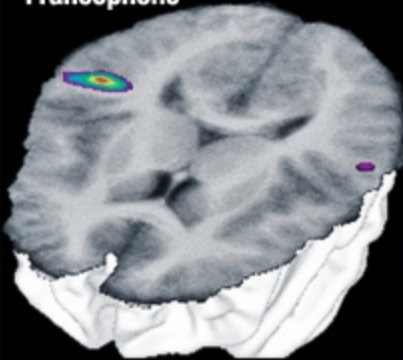
Le gymnote traque aussi ses proies à l'électricité

Kenneth Catania, biologiste à l'université Vanderbilt (Etats-Unis), vient de montrer que le gymnote, ou anguille électrique, qui vit en Amérique du Sud, produit des décharges pour repérer sa proie. Lorsqu'il est en chasse, le gymnote émet en effet périodiquement une série de deux ou trois décharges de haut voltage (jusqu'à 600 V), qui induisent à distance la contraction involontaire des neurones moteurs (et donc des muscles) de sa proie ; ce mouvement la trahit. S'ensuit alors une longue salve de décharges qui la paralysent, l'empêchant de fuir l'attaque mortelle.

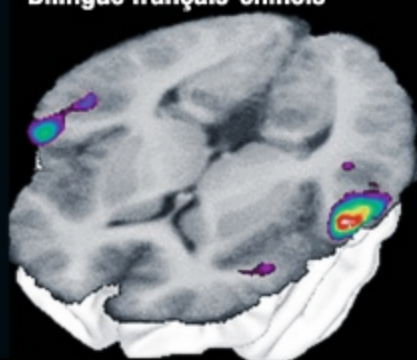
C.H.



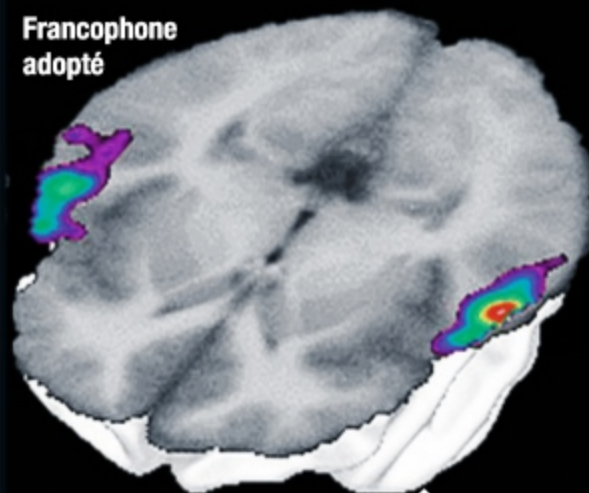
Francophone



Bilingue français-chinois



Francophone adopté



< Même s'il ne parle plus le chinois, un enfant adopté en France a un cerveau qui réagit à cette langue comme un bilingue.

NEUROLOGIE

UNE LANGUE PERDUE RESTE GRAVÉE DANS LA MÉMOIRE

Le cerveau garde en mémoire la langue maternelle d'un nourrisson, même si l'enfant cesse de l'utiliser. C'est ce qu'ont montré des chercheurs canadiens en analysant par IRM fonctionnelle le cerveau de 48 jeunes filles entre 9 et 17 ans. Elles ont été réparties en trois groupes : les francophones, les bilingues chinois-français, et celles nées dans une famille chinoise puis adoptées (vers 13 mois en moyenne) et ne parlant plus que le français. Les chercheurs leur ont fait écouter du chinois et ont enregistré les réponses de leur cerveau.

Chez les filles adoptées et chez celles parlant toujours le chinois, les mêmes zones du cerveau se sont activées. *"Pour ces deux groupes, les sons chinois sont interprétés comme un langage, alors qu'ils ont été traités comme une séquence de sons chez les francophones"*, explique Lara Pierce, première auteur de l'étude. Selon la scientifique, *"le cerveau a besoin d'un certain temps pour créer des schèmes neuronaux, mais une fois qu'ils sont établis, ils restent stables"*. Voilà qui souligne l'importance des premières expériences de vie. **M.S.**



Si les chiens boivent salement, c'est qu'ils sont carnivores

Si Rex met de l'eau partout en se désaltérant, n'en blâmez pas la pauvre bête : régime alimentaire et dynamique des fluides en sont responsables. En effet, comme carnivore, le chien possède des joues largement fendues : utiles pour chasser, elles empêchent en revanche toute succion... Rex doit donc procéder autrement, et Sunghwan Jung, de la Virginia Tech (Etats-Unis), a voulu savoir comment. Une meute de canidés a été sollicitée, et des caméras installées dans leur gamelle d'eau afin de suivre, sous 3 angles différents, l'opération, qui a ensuite été modélisée. Fréquence de lapement, géométrie de la langue et taille des animaux ont ainsi été analysés. Il s'avère que tout est affaire de langue. Rex commence par lancer la sienne avec force et longueur vers la surface de l'eau (d'où l'inondation), tout en l'enroulant dorsalement. Cette subtilité permet à une large section de la face ventrale de l'appendice buccal d'entrer en contact avec le liquide, qu'il emporte avec lui en remontant dans une accélération faramineuse (5 g!). Se crée alors une colonne d'eau que la force d'inertie projette vers la gueule de l'animal, qui l'intercepte. Un procédé des plus technique! **E.R.**

TESTEZ VOTRE ESPRIT GT SUR 308GT.COM

NOUVELLE PEUGEOT 308 GT

≡ ADOPTEZ L'ESPRIT GT ≡



MTX Automobiles PEUGEOT 602 144 503 RCS Paris.

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



BVCert. 6033203

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL Consommation mixte (en l/100 km) : de 4 à 5,6. Émissions de CO₂ (en g/km) : de 103 à 130.

NOUVELLE PEUGEOT 308 GT

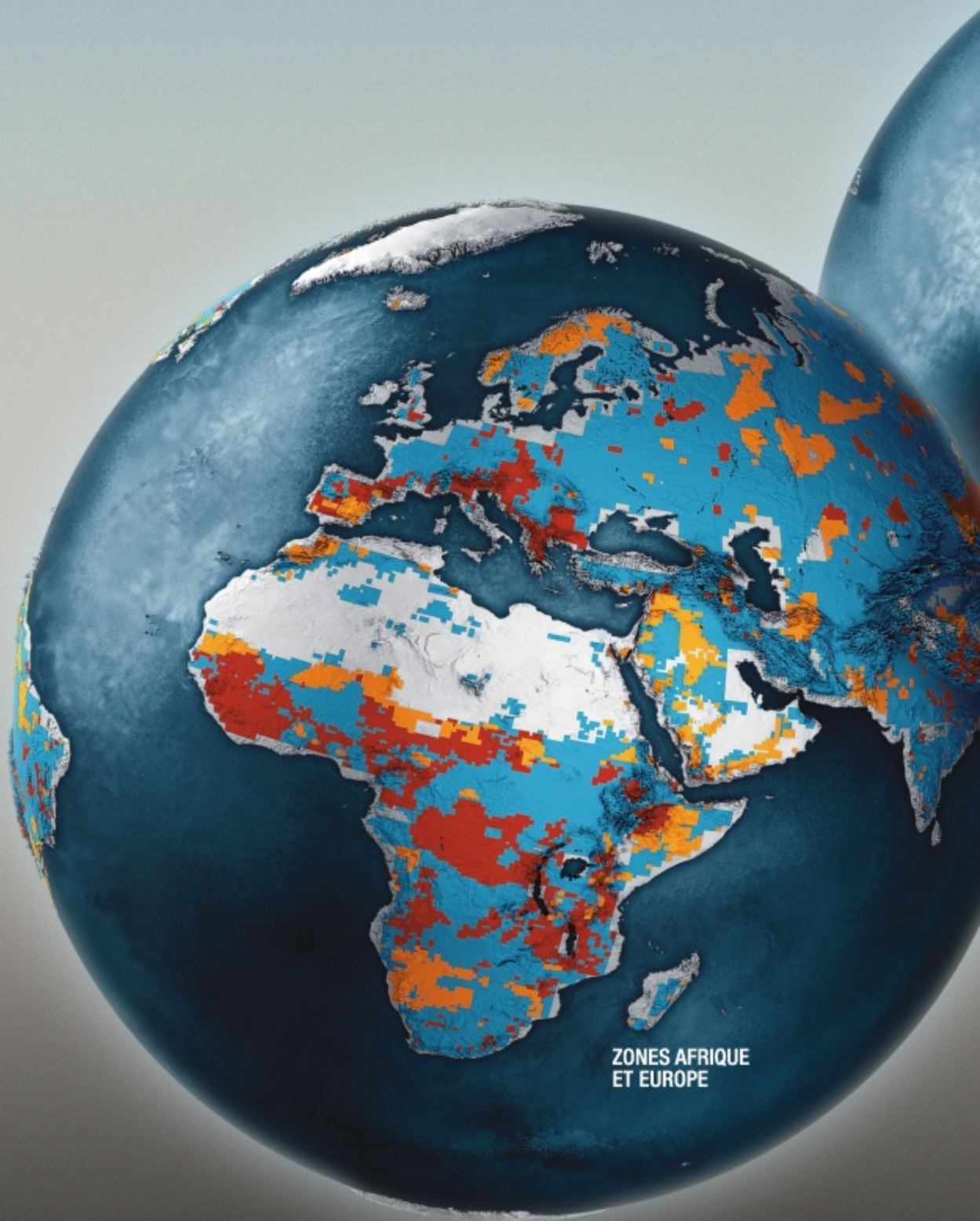
MOTION & EMOTION



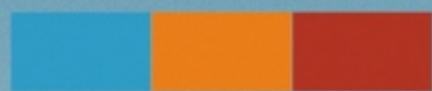
PEUGEOT

LE RÉCHAUFFEMENT N'AGGRAVE PAS LES EXTREMES CLIMATIQUES

Des territoires secs de plus en plus arides, des régions humides recevant toujours plus de précipitations : voilà ce que les climatologues observent depuis quelques décennies, au point d'avoir érigé ce constat en règle climatique pour l'avenir. Pas si sûr, rétorque Peter Greve, de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (Suisse). Avec une équipe internationale, il a analysé près de cinquante ans de données hydrologiques (évaporation, précipitations) mesurées en différents points du globe, toujours au-dessus des continents – contrairement aux précédentes analyses, qui portaient uniquement sur des relevés effectués au niveau des océans. Et les résultats offrent des perspectives beaucoup moins dramatiques. Ainsi, dans les trois quarts des régions, ils n'ont relevé aucune tendance claire vers un climat plus sec ou plus humide. Mieux : dans le quart restant, la règle ne se vérifie pas plus d'une fois sur deux, essentiellement parce que des régions humides connaissent de plus en plus d'épisodes de sécheresse (sud du Sahel, nord du bassin méditerranéen ou est de l'Asie). A peine 11 % des terres émergées évoluent donc dans le sens attendu : certaines zones d'Afrique (Sahel, extrémité sud et pointe est du continent) et le Moyen-Orient, où la sécheresse s'intensifie ; l'est des Etats-Unis, l'Amérique du Sud et le nord de l'Eurasie, de plus en plus arrosés. E.H.



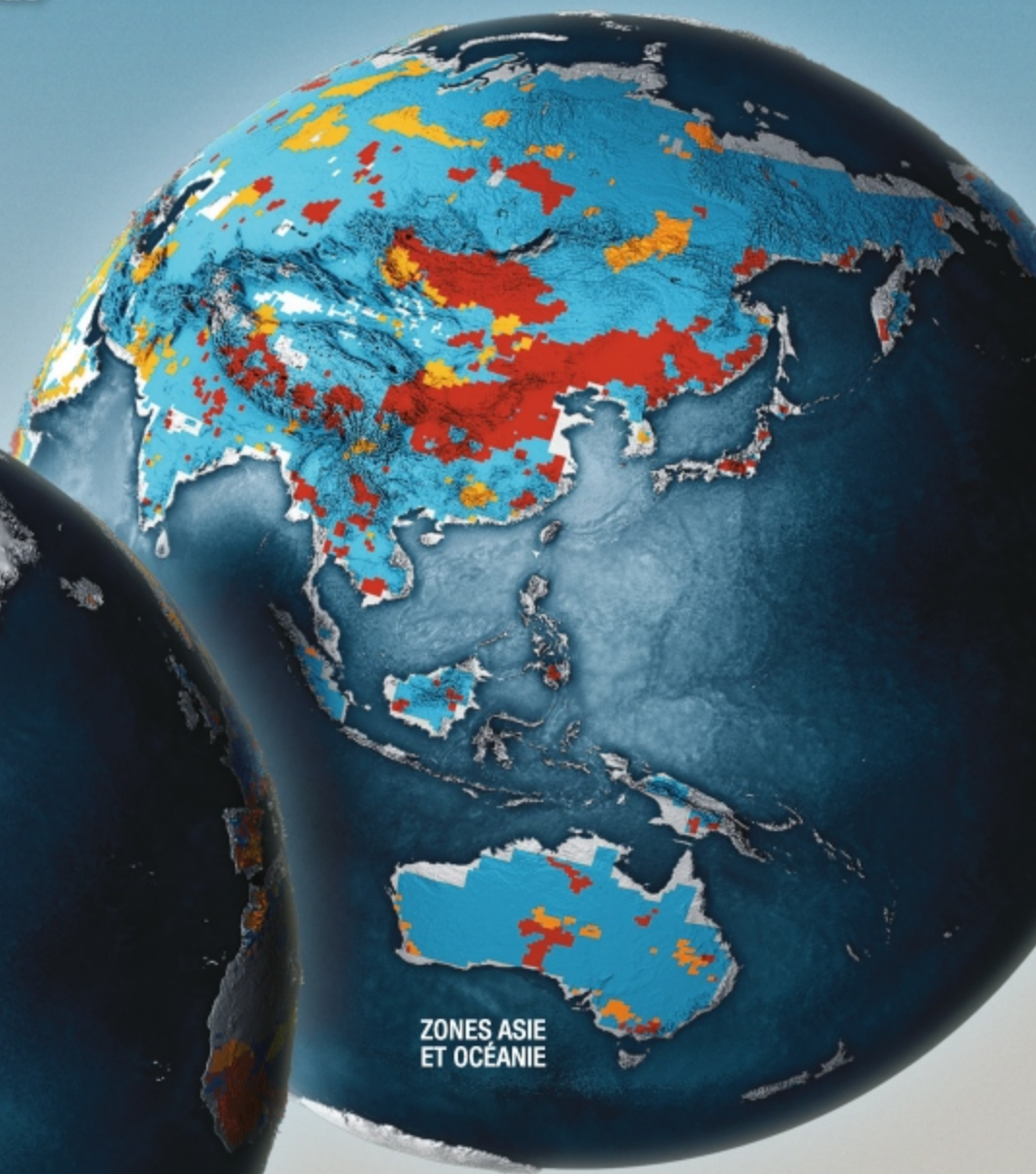
Dans la plupart des régions, le climat ne devient pas plus sec ni plus humide



Aucune
tendance
Tendance attendue
(climat sec plus sec...)
Tendance inverse
(climat humide
plus sec...)

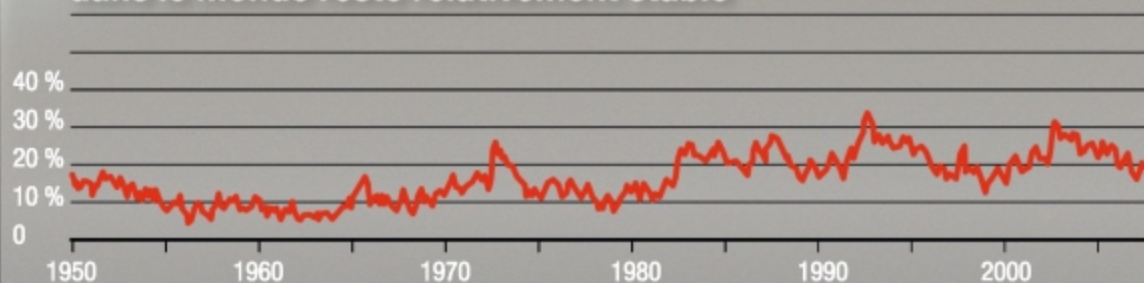


ZONE AMÉRIQUES



ZONES ASIE
ET OCÉANIE

La proportion de régions sèches dans le monde reste relativement stable



SOURCES: NATURE, 2012;
NATURE GEOSCIENCE, 2014

75 % des régions n'ont pas évolué vers un climat plus sec ou plus humide ces 50 dernières années.

61 millions de kilomètres carrés : c'est la superficie totale des zones sèches sur la planète.

2,8 milliards d'habitants vivent dans des bassins fluviaux soumis à une pénurie d'eau sévère au moins 1 mois par an.

GÉOLOGIE

LE GAZ DE SCHISTE AMÉRICAIN RISQUE DE FAIRE UN FLOP

C'est un sérieux avertissement à l'égard de l'euphorie américaine sur l'avenir des gaz de schiste qui vient d'être émis par Tad Pazez et son équipe, de l'université du Texas, à Austin. L'agence de l'énergie américaine (EIA) prévoit en effet une hausse de la production jusqu'en 2040, suivi d'un plateau d'au moins vingt ans.

Mais cette vision se fonde sur des estimations géologiques très fragiles, indiquent les chercheurs texans, dont le travail minutieux fait l'objet d'éloges même au sein de l'industrie pétrolière. Pazez et ses collègues se sont en effet

centrés sur les quatre mégagisements qui aujourd'hui assurent les deux tiers de la production américaine, les subdivisant en unités de 2,6 km² dont ils s'efforcent ensuite de définir le potentiel. Avec une précision vingt fois supérieure à celle de l'EIA.

Résultat ? Pour ces quatre grands gisements, les géologues prévoient que la production plafonnera en 2020 puis chutera sévèrement ; ils avertissent en outre qu'il est très improbable que d'autres gisements prennent la relève, et s'attendent à un pic de production national dans la décennie à venir, suivi d'un déclin rapide. **Y.S.**



ÉCOLOGIE

Lorsqu'ils sont chassés, les loups se reproduisent davantage

Des chercheurs canadiens ont comparé l'état physiologique d'une population de loups chassée, qui vit dans des espaces ouverts de l'est du pays, avec celui d'une population septentrionale libre de tout dérangement. A partir d'échantillons de poils, ils ont constaté que les premiers ont une concentration plus élevée en cortisol (l'hormone du stress), mais aussi en hormone stéroïde, liée à l'activité reproductrice. Ce qui suggère que les loups chassés se reproduisent davantage ; et qu'avec plus de portées à élever, ils infligent sans doute plus de dégâts aux troupeaux. **Y.S.**





< Selon des chercheurs texans, les stocks de gaz de schiste seraient beaucoup moins importants que prévu.

59 milliards d'euros

C'est le coût pour 2012 de la pollution atmosphérique industrielle en Europe (morts prématurées, jours de travail perdus, rendements agricoles réduits, dégâts aux bâtiments, dépenses de santé). La moitié est imputable à 147 établissements, soit 1 % du total, situés surtout en Allemagne et en Europe de l'Est.

en
bref

NUCLÉAIRE CHINOIS : LE GRAND BOND

La puissance nucléaire installée de la Chine passerait de 19,1 GW aujourd'hui à 58 GW en 2020. Elle deviendra ainsi la troisième puissance nucléaire civile, après les Etats-Unis et la France (63 GW), qu'elle devrait rapidement dépasser.

DES NITRATES DANS LE PACIFIQUE

Une équipe de l'université d'Hawaï a analysé 40 ans de données pour le Pacifique Nord, et y a constaté une hausse sensible de l'azote dans la couche de surface. Avec des conséquences encore inconnues.

LES INSECTES NETTOIENT NEW YORK

Les arthropodes des terre-pleins centraux des grands boulevards éliminent l'équivalent de 60 000 hot-dogs par an, selon l'université de Caroline du Nord. Et les fourmis limitent les populations de pigeons et de rats.

✓ En réfléchissant la lumière solaire, les éruptions comme celle de l'Eyjafjöll contribuent à refroidir la planète.



CLIMATOLOGIE

Si la hausse du thermomètre marque le pas, c'est en partie grâce aux éruptions

Alors que les émissions de gaz carbonique s'accroissent plus vite que jamais, le réchauffement climatique a semblé ralentir depuis l'an 2000. Une équipe internationale a trouvé une partie de l'explication : les particules issues des "petites" éruptions volcaniques seraient en cause. Ce type d'éruptions – telle celle du célèbre volcan islandais Eyjafjöll en 2010 – serait à l'origine d'un refroidissement de la planète de 0,05 à 0,12 °C, en réfléchissant la lumière solaire. Ces gouttes et poussières auraient en effet échappé aux satellites d'observation, en se répartissant dans une couche atmosphérique située entre 10 et 15 kilomètres, où la vapeur d'eau gêne les instruments.

Y.S.

J. BRANDENBURG/MINDEN PICTURES/CORBIS - SAN ANTONIO EXPRESS NEWS/ZUMA/REA - MIRA/PLAINPICTURE





△ Les turbulences marines concentrent les planctons, qui attirent oiseaux et poissons.

Océanographie

ON SAIT COMMENT SE FORMENT LES "OASIS Océaniques"

Ce sont des "oasis" aquatiques, des îlots de vie préservée dans les océans menacés par le réchauffement, concentrant planctons, poissons et oiseaux marins. A l'aide de mesures acoustiques au large de l'Amérique du Sud, des chercheurs franco-péruviens ont pu observer pour la première fois comment elles se forment : "Les tourbillons et les ondes marines déforment verticalement la couche d'eau superficielle, explique Arnaud Bertrand, de l'IRD, à Sète. La limite entre la zone oxygénée – propice à la vie – et non oxygénée, qui

se situe entre 100 et 500 m, devient alors plus profonde. Et ce sont ces creux qui, concentrant les planctons, attirent ensuite poissons et oiseaux." La biomasse des planctons y augmente ainsi de 150 %, celle des poissons de 950 % ! On supposait que ces oasis étaient dues à des mouvements de masses d'eau de dizaines de kilomètres. En réalité, ce sont plutôt des turbulences de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. Or, le changement climatique tend à réduire la taille des turbulences : de quoi diminuer le nombre et l'ampleur de ces oasis. **E.C.**

On tenait à vous dire !



Réchauffement : la limite des 2 °C ne doit pas virer à l'obsession

A dix mois de la conférence Paris Climat 2015, l'objectif est sur toutes les lèvres : tout, absolument tout doit être fait pour limiter en 2100 le réchauffement climatique à 2 °C au-dessus de l'atmosphère préindustrielle. Deux degrés, deux degrés, deux degrés... Répété tel un mantra, ce chiffre est en passe de devenir le nombre d'or du climat. Attention, danger ! Car cet objectif politique – très louable – n'a pas de signification scientifique particulière. Ces 2 °C ne correspondent à aucun point de bascule identifié : s'en tenir à 1,9 °C ne serait pas sans effets graves, atteindre les 2,1 °C ne promet pas non plus l'enfer sur Terre. Surtout, cette température moyenne de surface n'est pas forcément la mesure la plus pertinente de l'état de santé climatique de la planète. Les climatologues portent aujourd'hui leur attention sur les profondeurs des océans, qui recueillent 93 % du surplus d'énergie lié aux activités humaines. Contenu énergétique des océans, mais aussi niveau des mers, surface estivale des calottes polaires, teneur en CO₂ de l'atmosphère... Ces signaux vitaux n'ont certes pas la franche simplicité des deux degrés Celsius, compréhensibles par les décideurs. Mais ce ne serait pas une raison pour les négliger. **V.N.**

1| MAISON DU CAFE

Puissance et équilibre

Grâce au savoir-faire et à la passion de ses experts, L'Or signe une offre inédite de cafés instantanés. L'Or Sublime est un café riche en arabica, doux et équilibré aux notes légères de caramel pour un moment de dégustation intense. Présenté dans un bocal en verre qui préserve parfaitement les arômes, il est disponible en deux formats, 100g (soit environ 50 tasses, 3,59€) et 200g (soit environ 100 tasses, 5,99€). Pour les amateurs d'expresso, L'Or imagine L'Or Espresso Lungo Mattinata, un espresso long et équilibré spécialement conçu pour le petit-déjeuner. Aux notes de céréales, il est idéal pour vous accompagner dès le réveil (boîte de 10 capsules, 3,10€).



Consulter notre site internet
www.maisonducafe.com

3| FORD FOCUS

Moins de consommation et plus de technologie



Apparue en 1998, Ford Focus est la voiture la plus vendue dans le monde. La nouvelle version adopte un style extérieur à la personnalité plus affirmée et plus moderne, avec une allure plus basse et plus large, une face avant et une calandre redessinées. L'intérieur a été repensé, avec une disposition des commandes plus logique et plus intuitive ainsi que des habillages noirs et des détails chromés pour plus de qualité et de modernité. Parallèlement, elle est équipée d'une série de 18 systèmes d'aides à la conduite nouveaux ou évolués, tandis que ses motorisations abaissent sensiblement la consommation. Sans oublier le plaisir de conduite qui a fait sa réputation !

Consulter notre site internet
www.ford.fr

2| ARKOPHARMA

Max d'énergie dans un seul comprimé

Pour ceux qui sont en quête de toujours plus d'énergie pour profiter de la vie à 100%, Azinc Energie Max est une formule tonifiante avec 5 extraits de plantes (Ginseng pour l'effet dynamisant, Myrtille et Œillet d'Inde pour l'apport en lutéine et zéaxanthine pour stimuler les capacités visuelles, Curcuma et Poivre noir pour leur action synergique, antioxydante et réparatrice des cellules), 12 vitamines, 8 minéraux et oligo-éléments, et du coenzyme Q10, nutriment essentiel dans la production d'énergie par l'organisme et la récupération après l'effort physique et intellectuel. Pour adultes et adolescents à partir de 15 ans. Boîte de 30 comprimés à avaler, 9,90€ en pharmacie et parapharmacie.



Consulter notre site internet
www.arkopharma.fr

4| ROQUEFORT

Des classiques revisités

Lancée en 2014, l'innovation Société® Roq'Croque vient d'être primée aux Saveurs de l'année 2015. Ce signe distinctif, accordé à l'issue d'un examen gustatif approfondi sur des critères d'aspect, d'odeur, de texture et de goût, met en valeur une ou plusieurs qualités d'un produit : un gage de qualité, de confiance et de satisfaction qui promet un bel avenir aux premières tranchettes pour croque-monsieur, burgers et sandwiches au bon goût Société® ! La marque à l'ovale vert a fait fondre le cœur de toutes les générations de consommateurs avec ces tranchettes au fondant incomparable et au goût finement typé. Roq'Croque s'utilise en cuisine de multiples façons et son goût unique séduit les plus fins gourmets qui aiment se faire plaisir en toute simplicité. En paquet de huit tranches individuelles, au rayon tranchettes sandwiches, 1,70€.



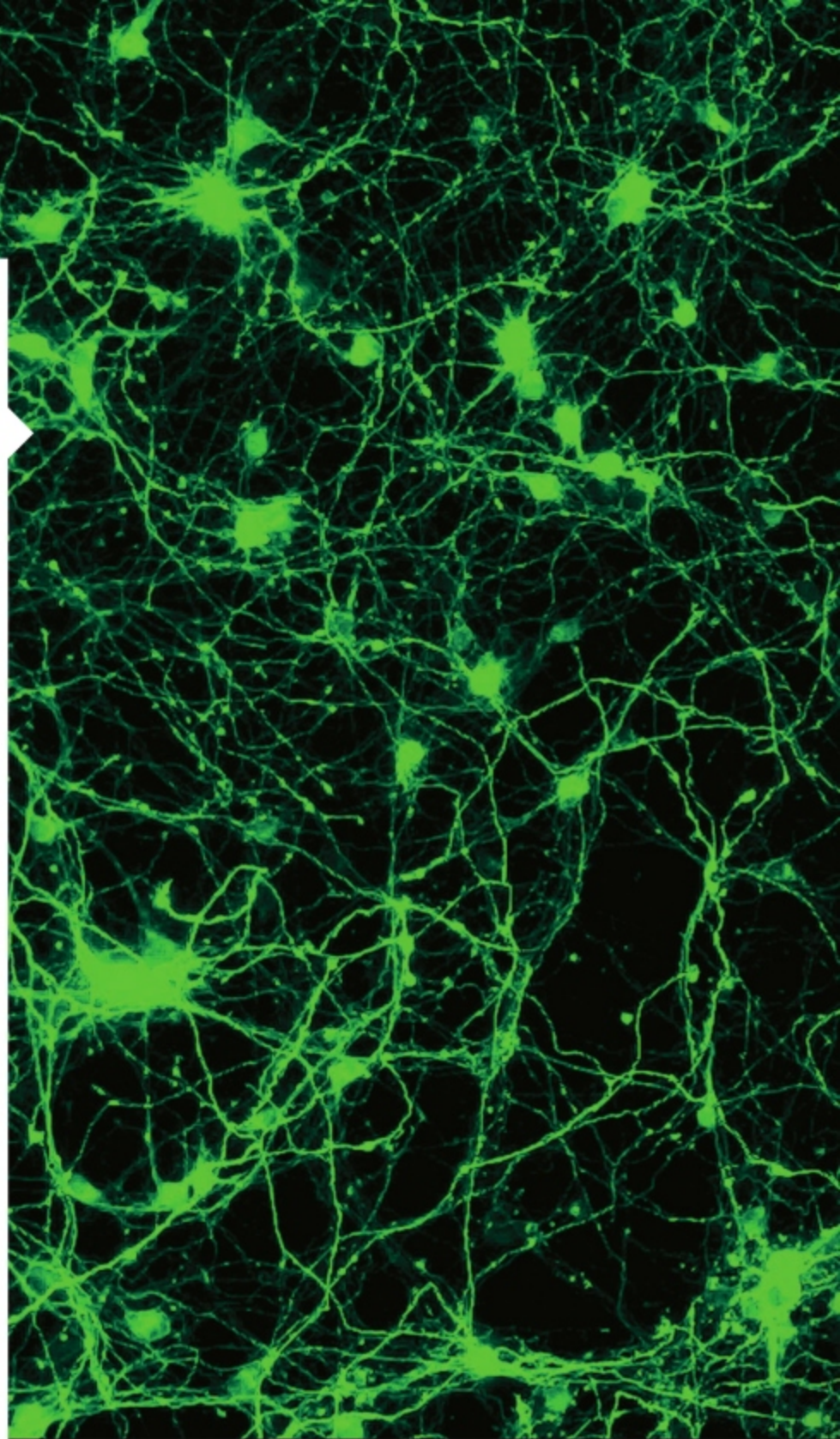
Consulter notre site internet
www.roquefort-societe.com

NEUROLOGIE

UN VIRUS A LE DON DE MAINTENIR EN VIE LES NEURONES

Bornavirus, ce virus au nom exotique est peut-être l'une des futures solutions contre les maladies neuro-dégénératives. C'est en tout cas ce que laisse entendre une étude française. Des chercheurs de l'Inserm et du CNRS qui travaillent sur ce virus responsable de troubles comportementaux chez l'animal ont découvert de façon tout à fait fortuite qu'il force les neurones dans lesquels il se niche à rester en vie pour garantir sa propre survie. Un effet dû à une protéine virale appelée X. Sitôt que la protéine issue du virus est inactive, les neurones dégénèrent rapidement et le virus est alors éliminé. Comment

ne pas penser à la possibilité de détourner cette protéine pour préserver les cerveaux de personnes touchées par des maladies neuro-dégénératives? Les chercheurs ont donc mis au point un petit peptide dérivé de cette protéine qu'ils ont administré par voie intranasale à des souris atteintes d'une maladie proche de Parkinson. Le traitement a réduit de près de 50 % la dégénérescence neuronale. Les chercheurs, qui ont également élucidé le mode d'action du peptide, travaillent maintenant sur son impact sur l'organisme entier pour évaluer son potentiel thérapeutique chez l'homme. **A.R.**

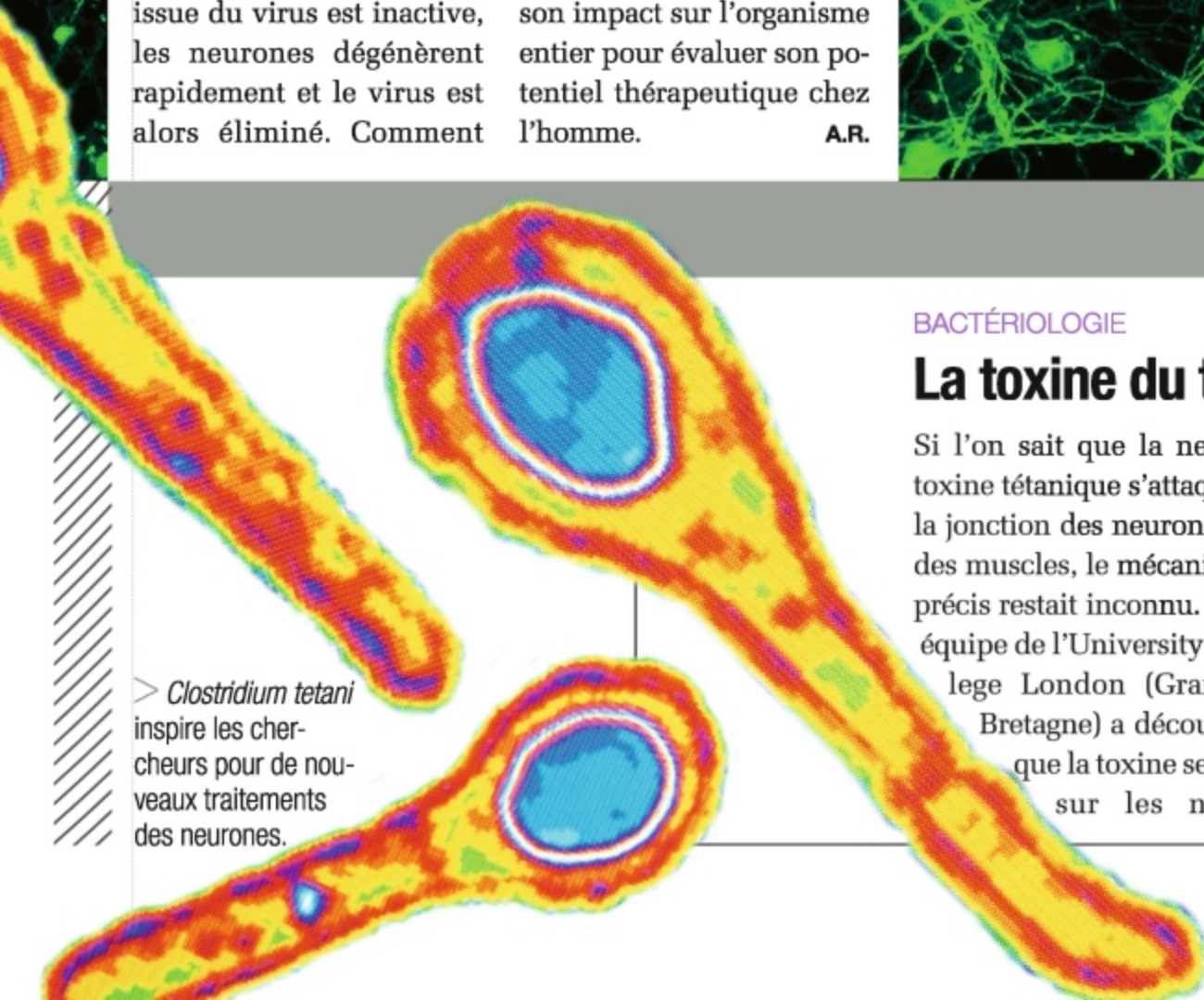


BACTÉRIOLOGIE

La toxine du tétanos révèle de belles

Si l'on sait que la neurotoxine tétanique s'attaque à la jonction des neurones et des muscles, le mécanisme précis restait inconnu. Une équipe de l'University College London (Grande-Bretagne) a découvert que la toxine se fixe sur les nido-

gènes, "*des molécules qui maintiennent la structure des tissus vivants, et qui peuvent pénétrer à l'intérieur des cellules*", selon Giampietro Schiavo. En se liant aux nidogènes 1 et 2, présents aux jonctions neuromusculaires, la toxine emprunte, ni vue ni connue,



> *Clostridium tetani* inspire les chercheurs pour de nouveaux traitements des neurones.

ENDOMÉTRIOSE ET TRAITEMENT

Les formes graves de cette maladie gynécologique sont liées à un stress oxydatif élevé dans les cellules, selon les chercheurs de l'Inserm. Ils envisagent des pistes de traitement pour lutter contre la production anormale de molécules oxydées. C.T.

FABRIQUER DE LA "BONNE GRAISSE"

Transformer la graisse "blanche" – néfaste – en graisse "brune", qui produit de la chaleur en utilisant des calories ? Des scientifiques de Harvard y sont parvenus sur des cellules, mais déjà leurs recherches intéressent ceux qui luttent contre l'obésité. C.T.

LE PALUDISME TUE DEUX FOIS MOINS

Selon l'OMS, 200 millions de personnes ont été atteintes en 2012. Près de 600 000 en sont mortes, soit 47 % de moins par rapport à l'an 2000, pour cette épidémie qui reste l'une des plus importantes au monde. C.T.

vertus cachées

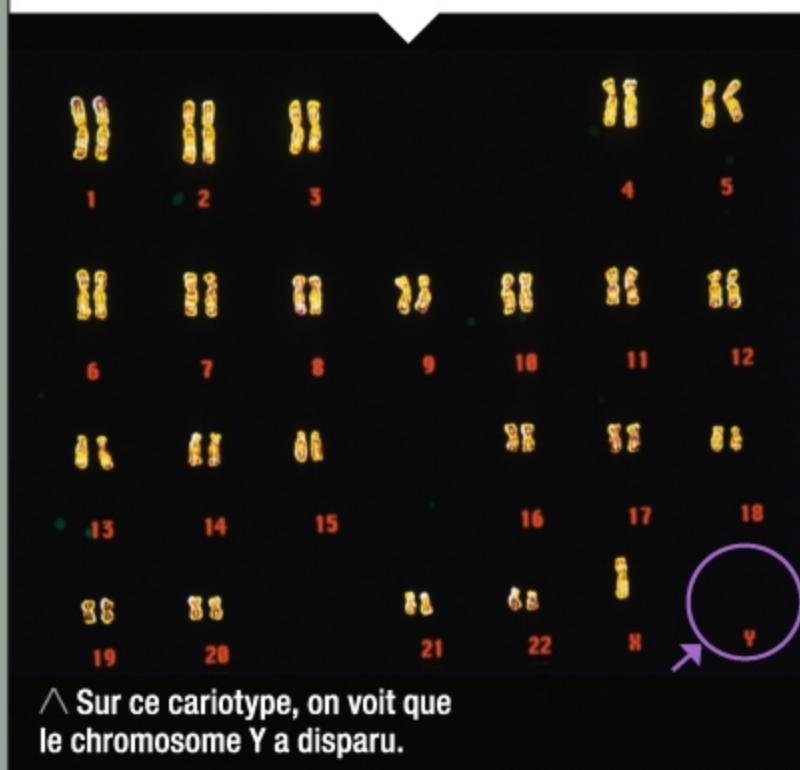
leur voie d'accès pour pénétrer dans les neurones. Deux perspectives thérapeutiques se dessinent ainsi : soigner le tétanos en bloquant la liaison toxine-nidogène, et s'inspirer du passage clandestin de la toxine pour délivrer des traitements ciblés dans les neurones. C.H.

Le bornavirus force les neurones à rester en vie : une piste pour traiter les maladies neuro-dégénératives.

GÉNÉTIQUE

En détruisant le chromosome Y, le tabac augmente le risque de cancer masculin

Le tabac provoque la disparition du chromosome Y chez les hommes ! Les généticiens estiment tenir là l'explication à la plus grande fréquence des cancers chez le sexe masculin, en particulier ceux qui sont favorisés par la fumée de cigarette. Une découverte détonante faite par des chercheurs suédois, épaulés par des chercheurs britanniques et américains, qui ont analysé l'ADN des cellules du sang de plus de 6 000 hommes ainsi que leur mode de vie. Ils ont trouvé que les fumeurs ont trois fois plus de cellules totalement dépourvues de chromosomes Y que les non-fumeurs, ou que les ex-fumeurs ! " Nous avons été très surpris d'observer un tel effet, rapporte Lars Forsberg, du département d'immunologie, génétique et pathologie de l'université d'Uppsala (Suède), qui a mené l'étude. On savait déjà que l'âge fait disparaître les chromosomes Y, et que cela augmente les risques de développer un cancer. Pour la première fois, on constate que le tabac a une forte influence sur cette mutation." Pour quelle raison perdre le chromosome Y est-il dangereux ? Celui-ci contient des gènes à l'aide desquels les cellules immunitaires peuvent supprimer les cellules tumorales. En le perdant, que ce soit à cause de l'âge ou du tabac, les hommes seraient moins armés contre le cancer. F.G.

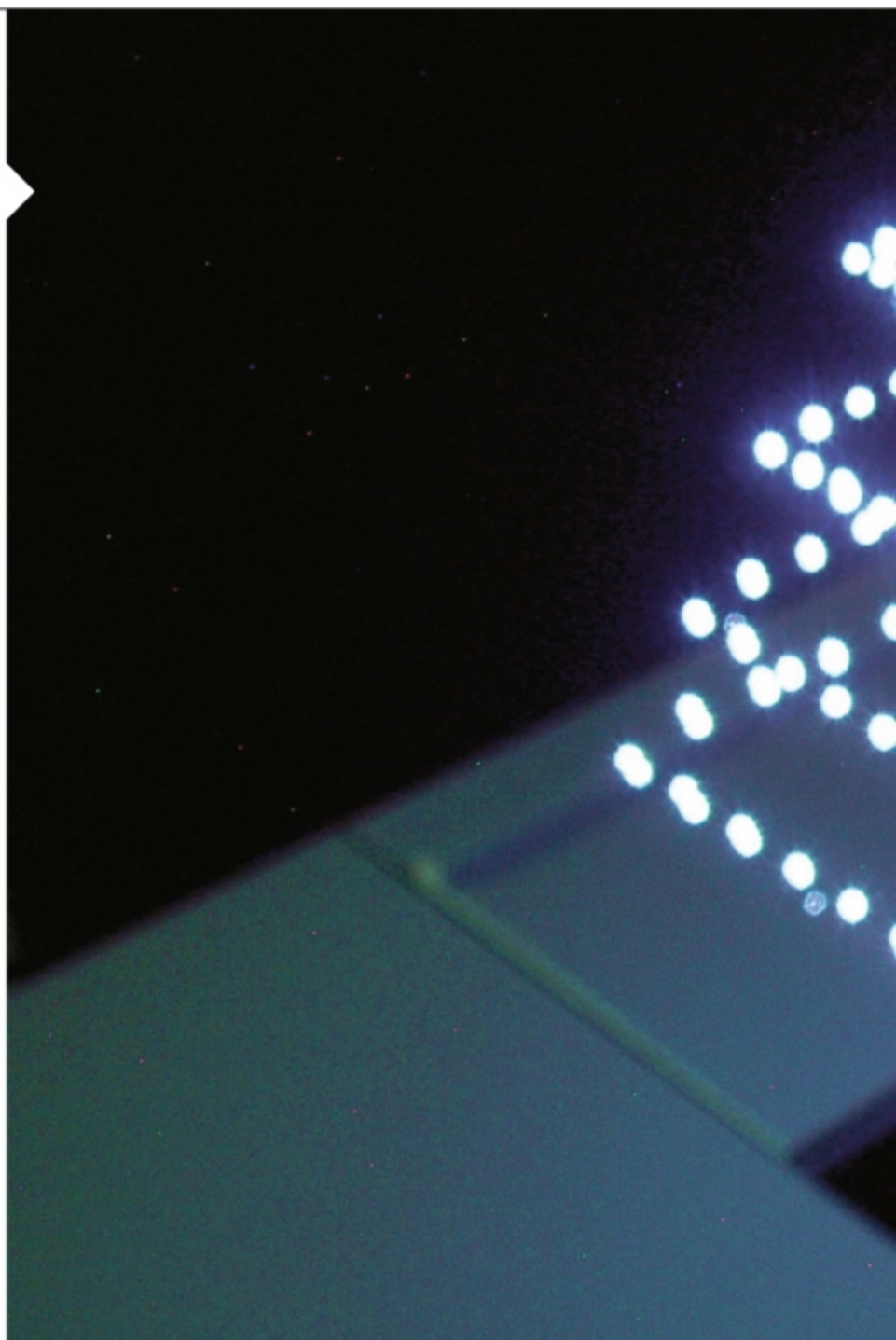


OPTIQUE

EN IONISANT L'AIR, LES IMAGES 3D PEUVENT FLOTTER TOUTES SEULES

Projeter des messages en relief dans l'air, on savait déjà le faire, mais on avait jusqu'à présent encore besoin d'un support, tel que du brouillard, pour servir d'écran. L'entreprise japonaise Aerial Burton vient d'inventer un nouveau procédé laser qui va beaucoup plus loin : il permet tout simplement de se passer du support de projection. Le principe ? Des pulsations lasers dans la fréquence de l'infrarouge (1 kHz) sont introduites dans un appareil qui les réfléchit et les focalise vers des points précis du ciel. En ces points, les molécules de l'air sont ionisées, ce qui émet un

flash de lumière visible. Mais ces flashes étant de courte durée, ils devront être renouvelés rapidement et en permanence afin que l'ensemble des points dessine dans l'air une image, mobile ou non, suffisamment longtemps. Ce dispositif offre d'intéressantes perspectives, comme celle, par exemple, d'afficher des messages aériens pour alerter les populations en cas de catastrophe naturelle imminente. Il permettrait ainsi d'indiquer, en dessinant dans le ciel une flèche géante, une direction à suivre pour échapper à un sinistre (incendie, tsunami...). **S.F.**



ÉLECTRONIQUE

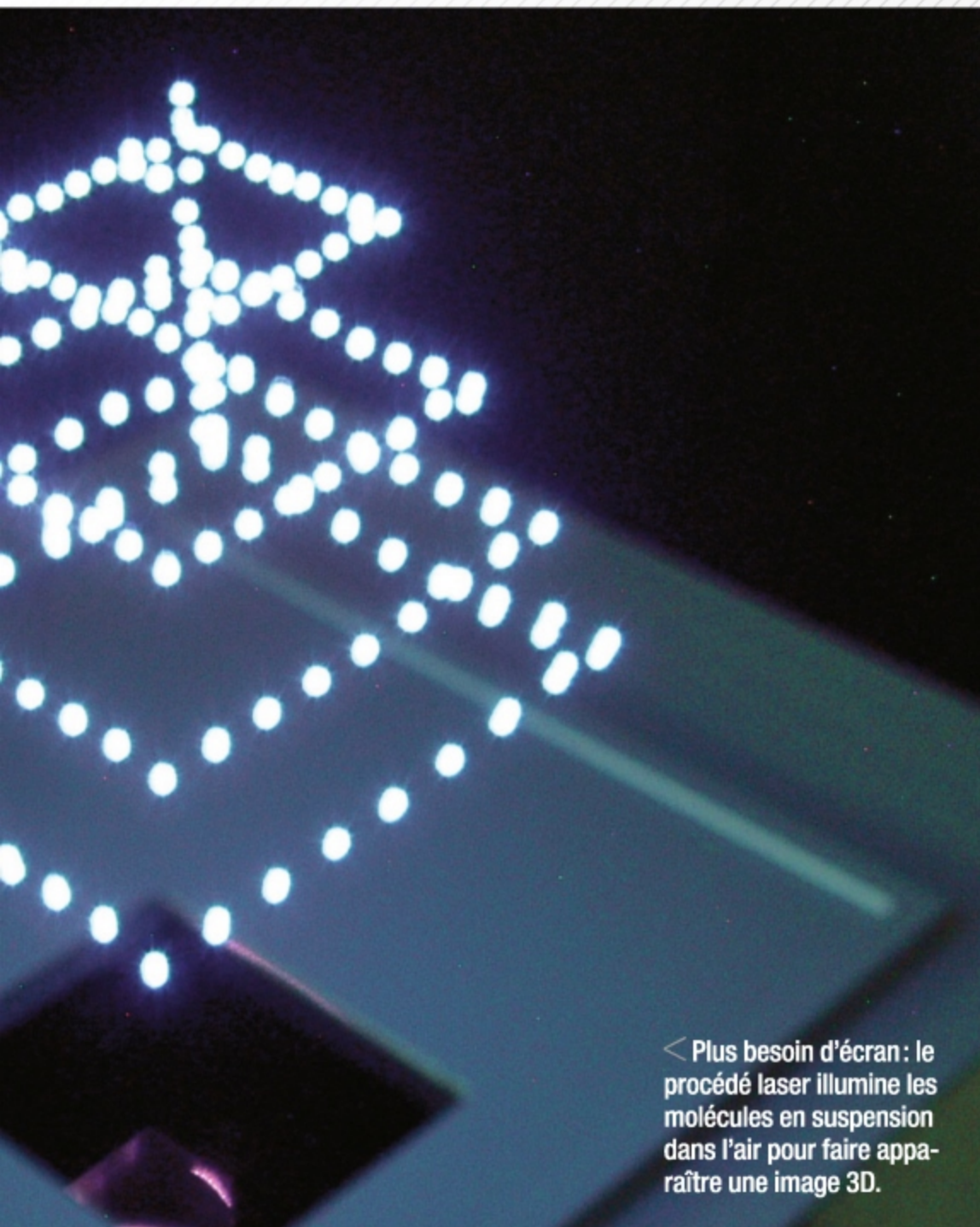
Désormais, les batteries préviendront avant d'exploser

Des scientifiques de Stanford (États-Unis) ont trouvé la parade aux batteries qui surchauffent et prennent feu. Un phénomène qui concerne potentiellement des centaines de millions d'appareils électroniques (ordinateurs, voitures électriques...). Leur solution ? Déposer une nanocouche de cuivre (50 nm d'épaisseur) sur le séparateur en plastique qui isole l'anode de la cathode. Grâce à elle, la batterie lithium-ion détecte à l'avance un potentiel court-circuit (en repérant quand la tension entre l'anode et le séparateur devient nulle) et alerte par un signal électrique qu'elle doit être remplacée... bien avant qu'elle n'explose. **L.B.**



< Déposée sur le film (à g.) une nanocouche de cuivre (à dr.) détecte la surchauffe.

M. SCHWARTZ/PRECOURT INSTITUTE FOR ENERGY - BURTON INC - E. DIEZ JIMENEZ/UC3



◀ Plus besoin d'écran : le procédé laser illumine les molécules en suspension dans l'air pour faire apparaître une image 3D.

3,70 m

C'est la hauteur escaladée en 90 secondes par un chercheur de 70 kg sur une paroi vitrée toute lisse. Son secret : des gants dont la surface mime la structure adhérente des pattes d'un gecko. Conçus par une équipe de l'université Stanford (Etats-Unis), ils sont garnis de 24 zones contenant de fines lamelles micrométriques de plastique siliconé, reliées par des tendons artificiels. Grâce à cette structure biomimétique, ils adhèrent parfaitement au verre tout en restant de taille modeste. Ce contrôle de l'adhérence sur paroi lisse pourrait être utile dans les domaines militaire et aéronautique.

A.P.

MÉCANIQUE

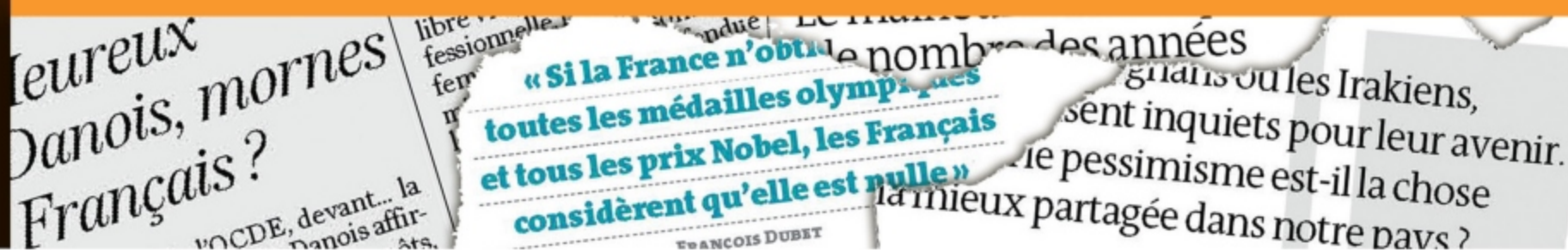
Un système de transmission qui ne s'use jamais

Les engrenages des systèmes de transmission mécanique – telle la boîte de vitesses de nos voitures – ont un défaut : ils s'usent sous l'effet des frottements. Pour pallier cet inconvénient, des chercheurs de l'université Carlos III de Madrid ont mis au point un système magnétique sans contact : les dents des engrenages sont remplacées par des aimants qui se repoussent et s'attirent. Alors que leur objectif était de créer un prototype fonctionnant dans l'espace (à -210°C et dans le vide), ils ont réussi à en réaliser un opérationnel à température ambiante. Ce système propre (sans lubrifiant) et à durée de vie plus longue pourrait avoir des applications dans de nombreux domaines industriels (transports, agroalimentaire...). **O.L.**



◀ Les dents des engrenages de cette transmission ont été remplacées par des aimants.

Science & société



70 % des Français
se déclarent pessimistes

Ce que cache cette déprime collective

Le rappel des faits

En novembre 2014, le baromètre CSA du moral des Français indiquait que près de 70 % d'entre eux se disent pessimistes pour l'avenir de la société, et que 50 % le sont pour leur propre avenir.

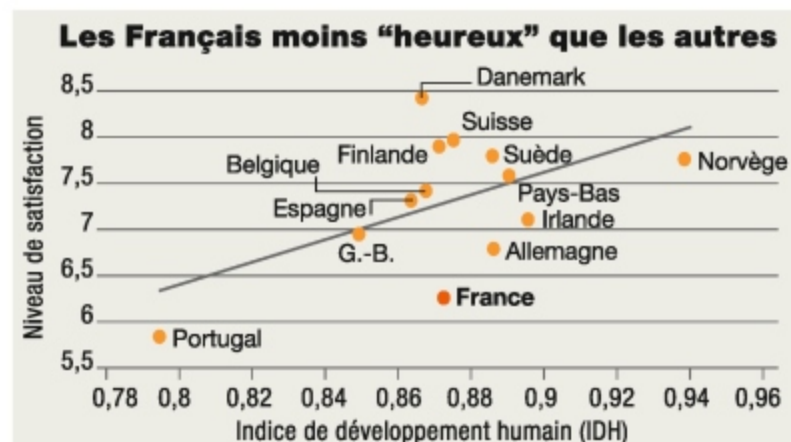
En juin 2014, l'enquête Eurobaromètre montrait que les Français sont moins satisfaits de leur niveau de vie que leurs voisins européens à revenus comparables. Une tendance observée depuis que le baromètre a été créé, en 1973.

Depuis 2011, l'Initiative du vivre mieux de l'OCDE, dont l'objectif est de faire le lien entre différents indicateurs et le bien-être déclaré, montre pourtant des conditions objectives de vie relativement favorables en France.

Les sondages le martèlent l'un après l'autre : les Français n'auraient pas le moral ! En novembre 2014, ils étaient encore 70 % à se déclarer pessimistes auprès de l'institut CSA, s'avouant d'une enquête à l'autre insatisfaits de leurs revenus, de leurs institutions, inquiets pour l'avenir...

Tous malheureux... vraiment ? Des indicateurs, en tout cas, le suggèrent. La France reste l'un des pays les plus consommateurs d'anxiolytiques et d'antidépresseurs au monde. Le taux de suicide y est aussi parmi les plus élevés d'Europe, avec une prévalence de 14,7 pour 100 000, quand la moyenne européenne est de 10,2.

Menées de façon systématique depuis les années 2000, les grandes enquêtes internationales font bien apparaître une réticence française à se déclarer très



Malgré un IDH (revenus, espérance de vie, éducation) comparable, le niveau de satisfaction des Français reste largement inférieur.

SOURCE : EUROPEAN SOCIAL SURVEY, 2002-2010

heureux. La Colombie, le Mexique, le Venezuela, mais aussi le Nigeria et le Ghana affichent des scores de bien-être supérieurs à celui de la France, pour des revenus par habitant jusqu'à 20 fois inférieurs !

Et vis-à-vis de nos voisins européens, le décalage est chronique.

"Sur une échelle du bonheur comprise entre 0 et 10, à caractéristiques sociales égales, par rapport aux autres pays de l'Europe de

l'Ouest, le seul fait d'être français réduit de 20 % les chances d'obtenir un score supérieur ou égal à 8", observe Claudia Senik, professeur à l'université Paris-Sorbonne et à l'Ecole d'économie de Paris.

LE PARADOXE FRANÇAIS

La vie en France serait-elle plus difficile que dans les autres pays industrialisés ? Les données rassemblées par l'OCDE dans son rapport de 2013 y montrent

DES CONDITIONS DE VIE POURTANT CONFORTABLES

Revenu moyen par habitant, espérance de vie, niveau d'éducation et taille des logements sont, en France, parmi les plus élevés des pays développés.

UN MAL-ÊTRE NATIONAL QUI DURE

Depuis quarante ans, les Français se disent moins satisfaits de leur niveau de vie que leurs voisins européens.

au contraire des conditions confortables, avec des ressources par foyer et une espérance de vie parmi les 20 % les plus élevées des pays développés. Sans oublier des scores très honorables dans tous les autres domaines mesurés, comme la taille des logements, la durée effective du travail, la santé, l'éducation, la qualité de l'environnement ou la sécurité. Les Français semblent donc avoir plus de mal que les autres à traduire ce confort objectif en sensation de bien-être.

Un paradoxe qui oblige à se tourner vers les mesures : jusqu'où parviennent-elles à estimer correctement la situation ? Comment mesurer le "bonheur" ?

Premier élément de réponse : dans les études, il appartient à l'individu lui-même d'estimer s'il est, ou non, satisfait de sa vie. Ce qui signifie que le niveau de bien-être mesuré est toujours un bien-être déclaré. Or, ces déclarations sont sujettes à caution : les enquêtes montrent ainsi que le niveau de bonheur, selon

qu'il est déclaré un samedi ou un lundi, un jour de soleil ou de pluie, un mois d'octobre ou de mai, peut varier dans des proportions significatives.

UNE QUESTION DE VOCABULAIRE ?

Par ailleurs, l'ordre des questions est important : demander à quelqu'un s'il est heureux après lui avoir demandé s'il était content du gouvernement influence forcément sa réponse.

Suffisant pour voir dans le "malheur des Français",

intrinsèquement subjectif, un artefact dû à la mesure elle-même, un "bruit" statistique sans consistance ?

Il n'y a pourtant pas de raison pour que ce "bruit" aille systématiquement dans le même sens dans toutes les enquêtes... Sans compter que les analystes savent neutraliser ces biais, dès lors que le nombre de personnes interrogées est suffisamment grand.

Reste une éventualité : le vocabulaire utilisé. Entre les mots "bonheur" en français, "happiness" en

→ anglais, "Glück" en allemand ou "felicidad" en espagnol, parlons-nous tous de la même chose? On peut en douter lorsque les Wallons (francophones) se déclarent moins heureux que les Flamands, alors que tous vivent en Belgique. Sauf que les Canadiens francophones, eux, présentent des scores de bonheur supérieurs à ceux de leurs compatriotes anglophones. Le biais linguistique ne tient pas.

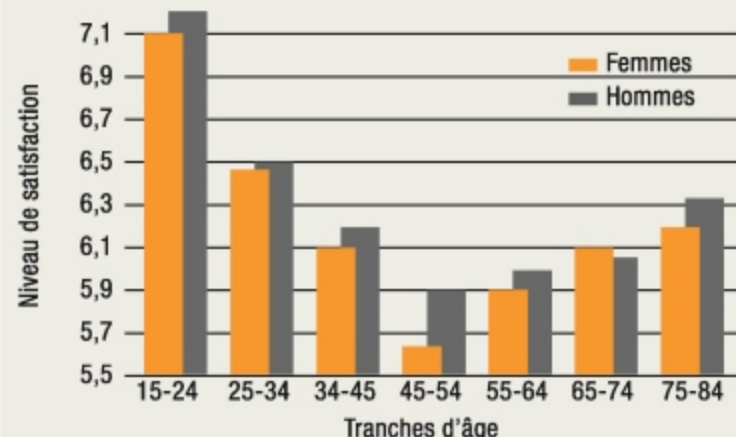
UN SUJET D'ÉTUDE MAJEUR

À l'évidence, les Français semblent donc bel et bien avoir moins le moral que les autres. Parce qu'ils attendraient davantage de la vie qu'une simple sensation de confort? L'OCDE recommande, dans son "Guide des bonnes pratiques sur la mesure du bien-être", de distinguer le bien-être émotionnel (le fait de ressentir, à un moment précis, des émotions positives ou négatives) du bien-être cognitif (une évaluation plus globale de sa vie ou de certains de ses aspects) et d'une troisième forme plus abstraite, liée au sens général que l'on donne à son existence.

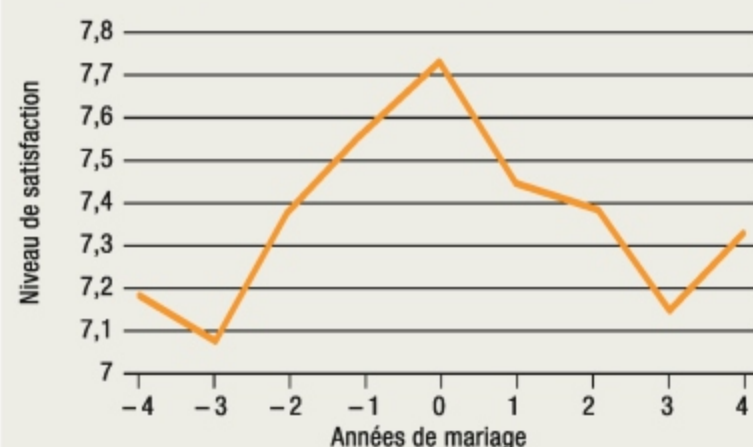
Car les trois ne sont pas forcément liés. Une étude publiée en 2010 montre en effet qu'un chômeur évaluera plus négativement sa vie qu'une personne salariée, sans vivre pour autant, dans son quotidien, des émotions plus négatives.

Les Français se déclarent-ils donc moins heureux parce qu'ils demandent plus de sens à leur vie? L'hypothèse est fragile,

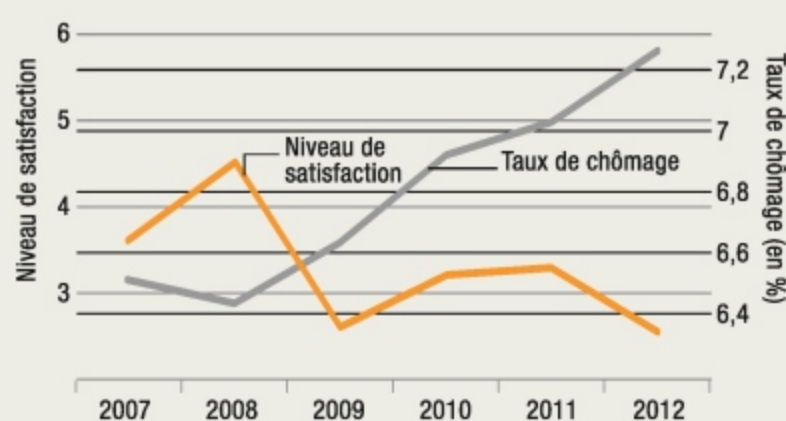
Le bonheur déclaré atteint un minimum à 45 ans



Le mariage rend plus heureux... pendant 2 ans



Le chômage fait voir la vie plus négativement



car lorsqu'on les interroge, ils déclarent avoir ressenti plus d'émotions négatives dans les jours précédant le sondage que la moyenne des autres Européens. Leur relatif mal-être n'a donc pas qu'une origine philosophique.

Autre hypothèse: les Français naissent-ils prédisposés à la mauvaise humeur? Même si diverses recherches, réalisées sur

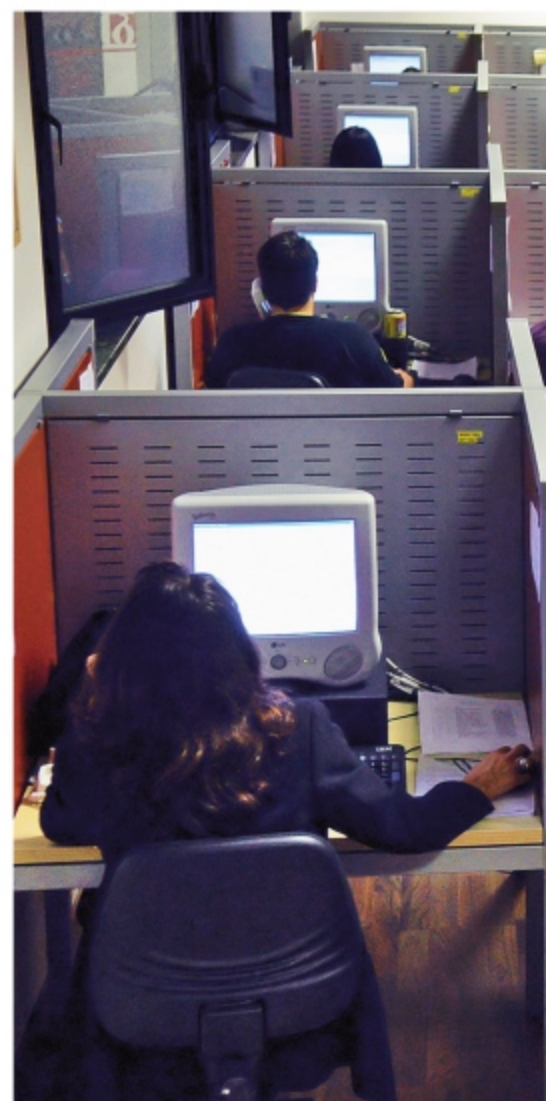
des cohortes de jumeaux, suggèrent que l'aptitude à être heureux ou malheureux est influencée par nos gènes, il n'y a aucune raison de penser que l'ADN tricolore soit significativement différent de celui de nos voisins suisses ou luxembourgeois, qui ont des scores de bonheur nettement plus élevés.

On le voit, le mystère demeure. Du reste, faire

LES LOIS DU BONHEUR SONT LES MÊMES PARTOUT

À partir des diverses enquêtes menées dans le monde, les statisticiens ont dégagé quelques principes "universels" sur la variation du niveau de satisfaction en fonction de l'âge, de la vie maritale et de la situation professionnelle.

le lien entre des conditions objectives de vie et le bonheur déclaré qui en découle est devenu depuis vingt ans un sujet de recherche majeur. "Parce que les économistes, les sociologues et les psychologues ont prouvé que leurs données étaient fiables, qu'ils pouvaient mettre au jour des phénomènes dont on soupçonnait l'existence mais qui étaient jusque-





là difficiles à quantifier”, explique Claudia Senik, qui a fait de l’“économie du bonheur” sa spécialité.

Preuve que les mesures sont solides, elles aboutissent à des corrélations stables. Ainsi, le bonheur déclaré atteint en moyenne, dans tous les pays, pour les hommes comme pour les femmes, un minimum autour de 45 ans, âge qui correspond par ailleurs au risque maximal de décès par suicide chez l’homme.

Les personnes en couple ou qui ont une pratique religieuse se déclarent par ailleurs plus satisfaites de leur vie.

Des économistes vont jusqu’à donner à chaque événement de la vie un “équivalent-revenu”, établissant qu’être marié a le même impact sur le

bonheur déclaré qu’un gain annuel moyen de 30 000 dollars; à l’inverse, être au chômage équivaut à une perte annuelle de 50 000 dollars.

Diverses études ont aussi démontré que les pertes avaient un impact beaucoup plus fort que les gains.

AMBITIEUX... OU JALOUX ?

Elles confirment que les aspirations d’un individu changent au fur et à mesure qu’il atteint ses objectifs – si l’on augmente les revenus d’une personne de 100 dollars, celle-ci réévaluera deux ans plus tard de 60 dollars le salaire jugé nécessaire pour vivre correctement. Il est également prouvé que se marier n’apporte un gain en bonheur que pendant deux ans en moyenne, le score

redescendant ensuite à sa valeur initiale. “Mais on ne sait pas si c’est parce qu’il y a réellement adaptation du bonheur latent ou parce que l’individu a réinterprété l’échelle”, s’interroge prudemment Claudia Senik, qui souligne que les individus peuvent avoir tendance à décaler leur notation pour ne pas buter sur la note maximale. Les Français pourraient alors paradoxalement se déclarer moins heureux parce qu’ils considéreraient davantage que les autres la possibilité d’être encore plus heureux qu’ils ne le sont...

Surtout, les études ont démontré que le revenu réel influait beaucoup moins que l’écart entre ce revenu et celui gagné par l’entourage (voisins, collègues...), et souligné l’importance d’anticiper des lendemains meilleurs. Or, c’est peut-être là que le bât blesse: “La France, en matière de revenu par habitant, s’est laissée distancer depuis les années 1970 par l’Angleterre, la Belgique, les Pays-Bas ou l’Allemagne”, note Claudia Senik. Pour la chercheuse, les Français pourraient vivre un syndrome de déclassement: l’Hexagone, malgré sa richesse accrue, n’est plus guère qu’une puissance moyenne parmi des pays plus riches.

Un pessimisme qui, en retour, freine l’économie: “On sait que les gens sont plus productifs quand ils sont de bonne humeur”, observe Claudia Senik. Au risque, donc, de s’enfoncer dans un cercle vicieux...

Emmanuel Monnier



CLAUDIA SENIK
Chercheuse en “économie du bonheur”

La France s’est laissée distancer par ses voisins, devenus plus riches qu’elle... d’où l’apparition d’un sentiment de déclassement

Aller plus loin

- L’Economie du bonheur, C. Senik, coédition Seuil/La République des idées, octobre 2014.
- Le dernier rapport de l’OCDE “How’s Life? 2013”: www.oecd.org/statistics/how-s-life-23089679.htm
- Le “Guide des bonnes pratiques de l’OCDE sur la mesure du bien-être”: www.oecd.org/statistics/Guidelines%20on%20Measuring%20Subjective%20Well-being.pdf

La mémoire de l'eau, toujours débattue
L'eau a-t-elle une mémoire ? Des molécules d'eau
mélangées avec l'ADN d'une bactérie ou d'un virus
s'extrêmement diluées, au point qu'il n'y ait
plus trace chimique de ces agents infectieux,
peuvent-elles conserver une signature spécifique
et, sous forme d'onde électromagnétique, la transmettre ?

Mémoire vive

Revoilà l'énigme de la mémoire de l'eau. Soignera-t-on, un jour, sans médicaments
juste avec des ondes et de l'eau ?

La mémoire de l'eau refait surface Pourquoi l'hypothèse ne convainc toujours pas

Depuis sa diffusion sur France 5, l'été dernier, un documentaire alimente les forums sur Internet. C'est que l'expérience décrite est révolutionnaire : elle donnerait la preuve que l'eau conserve la mémoire des molécules qui l'ont traversée – même une fois – sous la forme d'ondes électromagnétiques... Auquel cas on pourrait soigner toutes les maladies rien qu'avec de l'eau et des ondes.

Le rappel des faits

Le 4 août 2014, dans "On a retrouvé la mémoire de l'eau", sur France 5, Luc Montagnier, Nobel de médecine, montre que l'eau garderait les propriétés des produits avec lesquels elle a été en contact.
Le 8 octobre 2014, l'Unesco organise un colloque sur "l'émergence d'un nouveau paradigme en biologie faisant intervenir les ondes électromagnétiques et certaines propriétés de l'eau".

Sauf que, contrairement à ce que le documentaire peut laisser penser, la preuve se fait encore attendre.

Cette idée d'une eau douée de mémoire qui, au passage, justifierait l'efficacité de l'homéopathie en plus de promettre une armée de nouveaux médicaments à prix dérisoire n'est pas neuve. Elle est même à l'origine d'une retentissante controverse que *Science & Vie* a suivie de près dans les années 1980-90, suite à une expérience de l'immunologiste Jacques Benveniste montrant qu'une eau pure ayant été mise en contact avec des allergènes déclenche une réaction allergique... Expérience jamais reproduite (voir encadré) ; on croyait l'affaire close.

Mais depuis quelques années, le virologue Luc Montagnier, prix Nobel de médecine pour sa participation à la découverte du virus du sida, a repris le flambeau. Il utilise non plus des allergènes mais de l'ADN de virus (du sida en l'occurrence). Dans le documentaire, son expérience est présentée en deux temps : d'abord, dans son laboratoire à Jouy-en-

Josas (78), le médecin place un capteur près d'échantillons d'eau pure ayant été mis en contact avec un fragment d'ADN, enregistre des ondes électromagnétiques, les numérise et les envoie par e-mail.

Ensuite, à 1 700 km de là, à l'université de Salerne (Italie), une équipe de physiciens menée par Giuseppe Vitiello reçoit l'e-mail, reconstitue le signal, l'émet vers des tubes d'eau pure... et y trouve de l'ADN identique à 98 % à celui de Jouy-en-Josas. Conclusion du médecin : l'eau a gardé la mémoire de l'ADN sous la forme d'une onde électromagnétique.

TROP PEU D'ÉLÉMENTS POUR REPRODUIRE L'EXPÉRIENCE

Les théoriciens associés au projet, Giuseppe Vitiello et le chimiste Marc Henry (université de Strasbourg), proposent une explication à l'incroyable phénomène : les interactions entre les molécules d'eau engendreraient l'apparition, autour des "impuretés", d'une polarisation et donc d'ondes qui perdureraient, même en l'absence de ces impuretés.



Une explication qui surprend les spécialistes de la physique de l'eau. C'est peu de le dire. "A l'état liquide, l'eau ne présente pas de structures moléculaires ordonnées qui pourraient garder la trace d'une information, réagit José Teixeira, physicien au CEA. En tout cas, pas sur des échelles de temps macroscopiques : la durée de vie d'une liaison entre molécules d'eau est en effet de l'ordre de la pico-seconde [10^{-12} s] à température ambiante."

"Tout est très court dans l'eau ! renchérit Frédéric Caupin, physicien à l'uni-

DOC EN STOCK



UN PRIX NOBEL RELANCE L'HYPOTHÈSE

Célèbre pour sa découverte du virus du sida (prix Nobel de médecine avec Françoise Barré-Sinoussi en 2008), le virologue Luc Montagnier s'intéresse aujourd'hui aux propriétés de l'eau.

L'EAU SERAIT PORTEUSE D'INFORMATION

Selon Luc Montagnier, l'eau émettrait des ondes électromagnétiques qui témoigneraient des substances avec lesquelles elle a été en contact (ici, de l'ADN du virus du sida). En enregistrant ces ondes, il serait possible de reconstituer ces substances.

versité de Lyon. *Les molécules ne cessent de bouger, cela a été montré des milliers de fois. C'est le mouvement brownien : en une minute, une molécule d'eau peut sillonner 0,6 mm, une très grande distance pour elle. Très vite, elle va avoir changé complètement d'environnement.*

D'ailleurs, Luc Montagnier et ses collaborateurs constatent dans une publication *"qu'au stade actuel, [leur] analyse théorique ne peut [les] conduire qu'à un accord qualitatif avec les résultats observés"*.

"De toute façon, il y a un

problème de logique dans ce travail, conclut José Teixeira. *Ils ont pris comme conclusion ce qui devrait être une hypothèse...*" Comme si la mémoire de l'eau était un fait expérimental avéré qu'il fallait expliquer...

Or, malgré le documentaire, l'expérience pilotée par Luc Montagnier demeure mystérieuse. Le médecin a bien publié trois articles décrivant des expériences similaires, mais aucun ne détaille assez

le dispositif pour qu'elles puissent être reproduites – seul moyen de valider le résultat. L'eau est-elle vraiment pure? A-t-on bien pris soin d'éviter les contaminations d'échantillons? Comment les ondes sont-elles enregistrées? *"Nous préparons un article qui donnera tous ces détails"*, assure Giuseppe Vitiello.

En attendant, pour reprendre la formule d'un autre Prix Nobel de médecine, François Jacob, en 1997 : la chimie et la physique continuent d'exiger la présence effective de molécules.

Mathilde Fontez

Trois tentatives pour prouver la mémoire de l'eau, trois échecs

Après que l'immunologiste Jacques Benveniste a publié, le 30 juin 1988, son article retentissant sur la mémoire de l'eau dans la très respectable revue *Nature*, trois équipes ont tenté de reproduire l'expérience. La première, constituée d'un médecin et d'un spécialiste de la prestidigitation, a été envoyée par la revue *Nature* dans le laboratoire même de Jacques Benveniste dans la foulée de la publication de l'article. La seconde a été réalisée, à la demande de *Science & Vie*, au centre d'allergologie de l'hôpital Rothschild (Paris) quelques mois plus tard. La dernière, enfin, a été menée en 1997 par le Prix Nobel de physique Georges Charpak à l'ESPCI, avec des échantillons fournis par Jacques Benveniste. Toutes trois ont donné des résultats négatifs.

Le contexte régional de la guerre en Irak et en Syrie, contre l'Iran, a été tardé, faute de mieux, d'existait pas...
Jusqu'à l'été, l'Iran va bénéficier d'un dégel de ses avoirs par mois, et ne sera pas visé par des sanctions...
Mais il n'y a...

Les achoppent sur le « breakout », c'est-à-dire le temps nécessaire aux Iraniens pour assembler une arme nucléaire...

UN PROGRAMME MIS EN PLACE IL Y A 13 ANS

Initié en 2002, le programme nucléaire iranien a été accéléré par Mahmoud Ahmadinejad en 2005, notamment via des sites clandestins. Son successeur, Hassan Rohani, paraît sur une ligne moins dure.

Echec de l'accord sur le nucléaire iranien

Les coulisses d'une expertise sans fin

La course à la bombe atomique de l'Iran occupe l'espace médiatique depuis plus de dix ans. Une décennie durant laquelle l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et les membres du Conseil de sécurité de l'ONU se sont évertués à ralentir ce programme militaire.

Le rappel des faits

24 novembre 2013, l'Iran et les membres permanents du Conseil de sécurité de l'ONU – plus l'Allemagne – entament un processus de négociations d'un an. L'enjeu : l'Iran doit répondre à certaines exigences sur son programme nucléaire, en échange de la levée des sanctions économiques.
Au 24 novembre 2014, toujours pas d'accord. Les négociations sont prolongées jusqu'au **30 juin 2015.**

Voilà tout l'enjeu des négociations actuelles, qui s'appuient sur un paramètre technique crucial : le « breakout timeline ». Autrement dit, le délai qu'il faudrait aux ingénieurs iraniens pour produire, si Téhéran le décidait, assez de matière fissile pour façonner une première arme atomique. Une affaire de chimie...

Selon l'AIEA, il suffirait de 25 kilogrammes d'uranium comportant plus de 90 % de l'isotope fissile uranium-235. On parle ici d'uranium hautement enrichi. A l'état naturel, le minerai d'uranium contient seulement 0,7 % d'uranium-235. Afin d'accroître cette proportion, il faut convertir cet uranium solide en un gaz (l'hexafluorure d'uranium), avant de l'injecter dans une cascade de centaines de centrifugeuses. Lesquelles, tournant à plus d'un millier de kilomètres par heure, se chargent de faire le tri entre les isotopes.

Arrivée à une teneur de 3 à 5 % d'uranium-235, la matière est dédiée aux réacteurs civils classiques ; à 20 %, celle-ci alimente les réacteurs de recherche ; à plus de 90 %, l'uranium ne peut servir qu'à la bombe.

URANIUM CIVIL OU URANIUM MILITAIRE ?

Aujourd'hui, l'Iran produit massivement de l'uranium enrichi à 3,5 %. Mais cette concentration n'a rien de rassurant, car la progression de l'enrichissement n'est pas linéaire, souligne Scott Kemp, chercheur en sciences nucléaires à l'université de Princeton (Etats-Unis) : « A ce stade, près de 70 % du chemin a déjà été accompli vers l'uranium de qualité militaire. » Entre 700 et 800 kg de ce combustible « civil » permettraient ensuite de produire

une bombe. C'est pourquoi la communauté internationale a imposé à l'Iran qu'il convertisse immédiatement tout son hexafluorure d'uranium en poudre solide d'oxyde d'uranium, impossible à enrichir directement. Enrichir de nouveau ce stock demanderait une nouvelle opération de conversion en gaz.

Seulement voilà : l'Iran dispose aussi de stocks d'uranium enrichi à 20 %. Les négociateurs ont ainsi exigé et obtenu que ce pays dilue une moitié de ces stocks, l'autre moitié étant convertie en combustible pour réacteur, c'est-à-dire sous une forme difficilement réutilisable.

Tout est bon pour gagner du temps ! Encore faudrait-il aussi restreindre le nombre de centrifugeuses opérationnelles : l'Iran dispose





LES CENTRIFUGEUSES, AU CENTRE DES ENJEUX

L'une après l'autre, elles "essorient" l'uranium naturel pour en extraire l'isotope fissile uranium-235 d'intérêt énergétique mais aussi... militaire.

actuellement de 10000 appareils actifs sur les sites de Natanz et Qom, capables de produire en deux mois un début d'arsenal nucléaire. Ce nombre devra baisser, mais il est difficile d'établir un seuil admissible: en effet, le réseau de centrifugeuses, selon son architecture, est plus ou moins performant. A ce jour, les Etats-Unis veulent imposer aux Iraniens un maximum de 2000 centrifugeuses.

C'est que, une fois la matière fissile produite, il sera trop tard. *"L'assemblage d'une bombe nucléaire ne prend qu'une à trois semaines, relève Scott Kemp. Intervenir militairement sur ce site de fabrication inconnu serait extrêmement difficile."*

Vincent Nouyrigat

Apple veut transformer l'iPhone en carte

Le système « pay » devrait permettre de régler directement ses achats depuis son iPhone, dans les magasins, en plaçant son appareil devant un terminal et en validant la transaction. Il va être déployé dès le mois d'octobre aux États-Unis. Il fonctionne au moyen d'une puce

Le système « pay » devrait permettre de régler directement ses achats depuis son iPhone, dans les magasins, en plaçant son appareil devant un terminal et en validant la transaction. Il va être déployé dès le mois d'octobre aux États-Unis. Il fonctionne au moyen d'une puce

Le système « pay » devrait permettre de régler directement ses achats depuis son iPhone, dans les magasins, en plaçant son appareil devant un terminal et en validant la transaction. Il va être déployé dès le mois d'octobre aux États-Unis. Il fonctionne au moyen d'une puce

Google Wallet, un portefeuille électronique Amazon a récemment lancé un lecteur de cartes de

Apple se lance dans le paiement sans contact

La dématérialisation de l'argent désinhibe les pulsions d'achat

Après vingt-cinq siècles d'existence, la monnaie s'apprête à disparaître. Car s'ouvre l'ère du paiement sans contact: le simple effleurement d'une borne de paiement avec une carte ou un téléphone dotés d'une puce spéciale, dite NFC, permet, sans même taper de code, de régler des achats de moins de 20 euros dans les commerces équipés – 18 % des points de vente français en septembre dernier, selon les industriels du secteur.

Promise à un développement rapide, cette technologie pourrait, comme la Carte Bleue avant elle,

pousser à dépenser plus. Et pas seulement parce qu'elle assure, à tout moment, une plus grande disponibilité de ressources que ce que peut contenir un porte-monnaie. En 2001, une expérience a montré que des étudiants américains, s'ils payaient par carte de crédit, étaient prêts à acheter des places pour un match de basket... deux fois plus chères que s'ils devaient régler en liquide! En 2003, une autre étude révélait que si on fournissait à de jeunes Canadiens une carte prépayée plutôt que des espèces, ils s'autorisaient 48 % de

photocopies en plus et, dans une laverie, étaient 38 % plus nombreux à utiliser deux machines à la fois.

En cause: la dématérialisation de l'argent, qui, en rendant la dépense moins perceptible, produit moins d'émotions négatives inhibitrices de la consommation. Et *"le paiement sans contact étant encore plus aisé et rapide que celui par Carte Bleue, il devrait favoriser d'autant les dépenses"*, prévient Kam Leung Yeung, chercheur en psychologie à l'université de Floride du Nord et auteur d'une thèse à ce sujet.

Elsa Abdoun

Le rappel des faits

En septembre 2014, Apple a doté l'iPhone 6 d'une puce NFC qui permet de régler de petits achats.
En 2010, Nice était la première ville d'Europe à tester le paiement sans contact dans de nombreux commerces.



^ La puce NFC intégrée à un smartphone permet de régler de petites sommes en effleurant juste la borne avec son téléphone.

décembre comparab tabagisme

A Paris, la pollution équivaut

La Ville de Paris prépare à basses

ÉTUDE L'air de la capitale est surchargé de particules fines nocives. La mairie promet un plan début 2015.

Les rues de Paris, le 13 décembre 2013, étaient aussi polluées

à laquelle elle a participé aux côtés de la mairie de Paris et

l'asthme, des allergies, des maladies respiratoires ou cardiovasculaires, les plus fréquentes d'entre elles (moins de 5 microns), qui pénètrent les

Pics de pollution aux particules fines

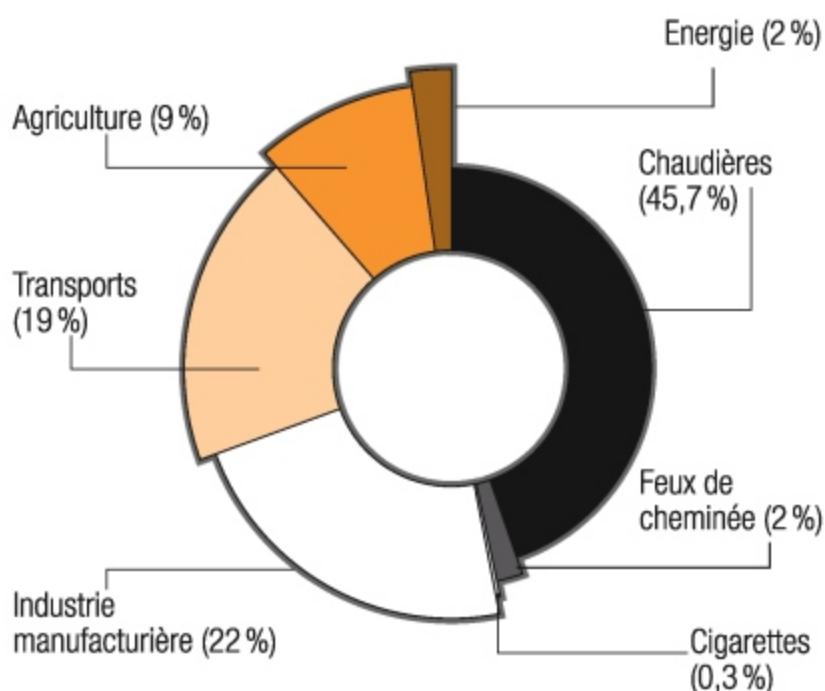
Peut-on comparer pollution urbaine et tabagisme passif ?

L'annonce faite par le CNRS, fin novembre, était tonitruante : le 13 décembre 2013, les particules fines de taille inférieure à 2,5 microns étaient tellement concentrées dans l'air de Paris que cela revenait à respirer l'air d'une pièce de 20 m² abritant huit fumeurs. Le relevé provenait d'un compteur à laser installé sur le Ballon de Paris, surplombant le 15^e arr. *"Certes, mais on ne peut pas en tirer de conclusions générales sur la pollution urbaine, car cette*

mesure a été faite au plus haut du pic de pollution, et près du périphérique", tempère Sébastien Payan, de l'université Pierre et Marie Curie. Lieu d'habitation, de travail, trajets : tous ces facteurs façonnent l'exposition de chacun aux particules. Quant à la fumée de cigarette, elle ne se résume malheureusement pas à un mini-pot d'échappement. Entre volutes et gaz, voici quelques repères pour y voir plus clair.

Fiorenza Gracci

Les sources de pollution aux particules fines



Au-delà des particules fines, des substances très diverses

Tabac

Particules : 8 %
Azote : 57 %
Oxygène : 12 %
Dioxyde de carbone : 13 %
Monoxyde de carbone : 3,5 %
Hydrogène, argon : 0,5 %
Eau : 1 %
Substances organiques volatiles : 5 %



Pollution urbaine

Particules fines : 29 µg/m³
Benzène : 3 µg/m³
Ozone : 36 µg/m³
Dioxyde d'azote : 43 µg/m³



La pollution urbaine équivaut bien à l'air d'une maison de fumeur en termes de particules fines

L'air d'une maison où l'on fume contient la même concentration en particules fines (PM 2,5, de taille inférieure à 2,5 microns) que l'air d'une grande ville en dehors de tout pic de pollution. En revanche, en cas de pic sévère de pollution, l'air de la ville en contient jusqu'à trois fois plus. Par comparaison, l'air d'une maison non fumeur, située loin de toute ville, en recèle 10 fois moins que la même maison avec des fumeurs.

Concentration en PM 2,5 lors de pic de pollution : $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Concentration en PM 2,5 en moyenne annuelle : $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Concentration en PM 2,5 : $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Maison fumeur à la campagne

Tabac

Pollution urbaine

Particules fines : le tabagisme actif 1 000 fois plus nocif que le tabagisme passif

6 g

C'est la quantité de particules fines inhalées par une personne partageant sa maison avec un fumeur durant toute sa vie. Cela revient à fumer 365 cigarettes.

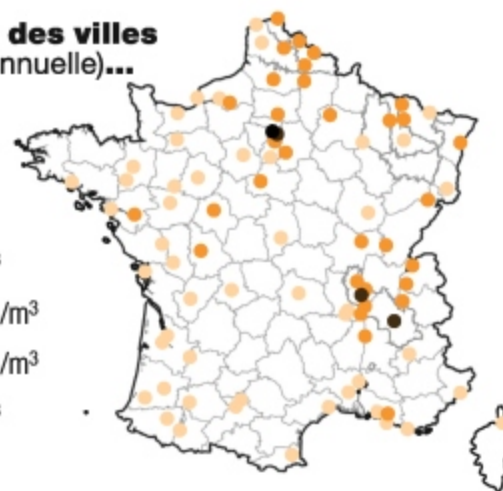
6 kg

C'est la quantité de particules fines inhalées par une personne fumant 20 cigarettes par jour entre ses 18 et ses 80 ans.

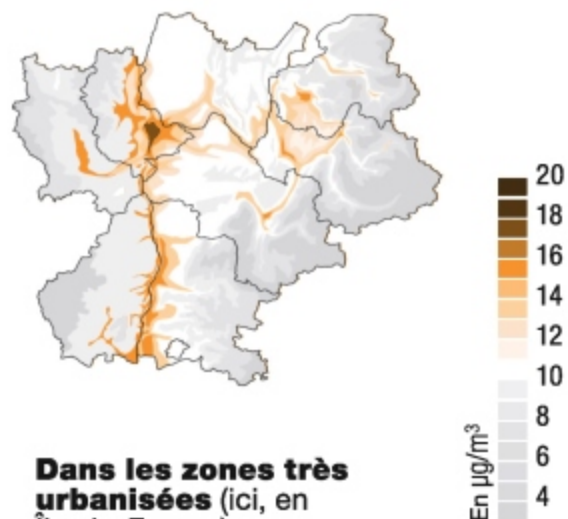
Une inégalité face à la pollution aux particules

Au niveau des villes (moyenne annuelle)...

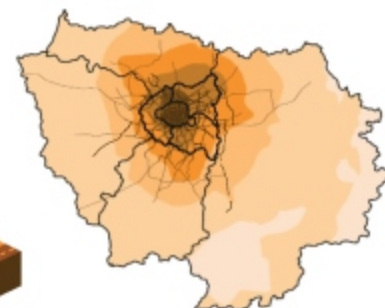
- $>26 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $21 \text{ à } 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $16 \text{ à } 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $<15 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Le long des axes routiers et des zones industrielles (ici, la région Rhône-Alpes)...



Dans les zones très urbanisées (ici, en Île-de-France)...



Concentration en PM 2,5 : $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Maison non-fumeur à la campagne

SOURCE : TOBACCO CONTROL / BORGERDING / AIRPARIF / AIR RHÔNE-ALPES / CITEPA / GÉOD'AIR

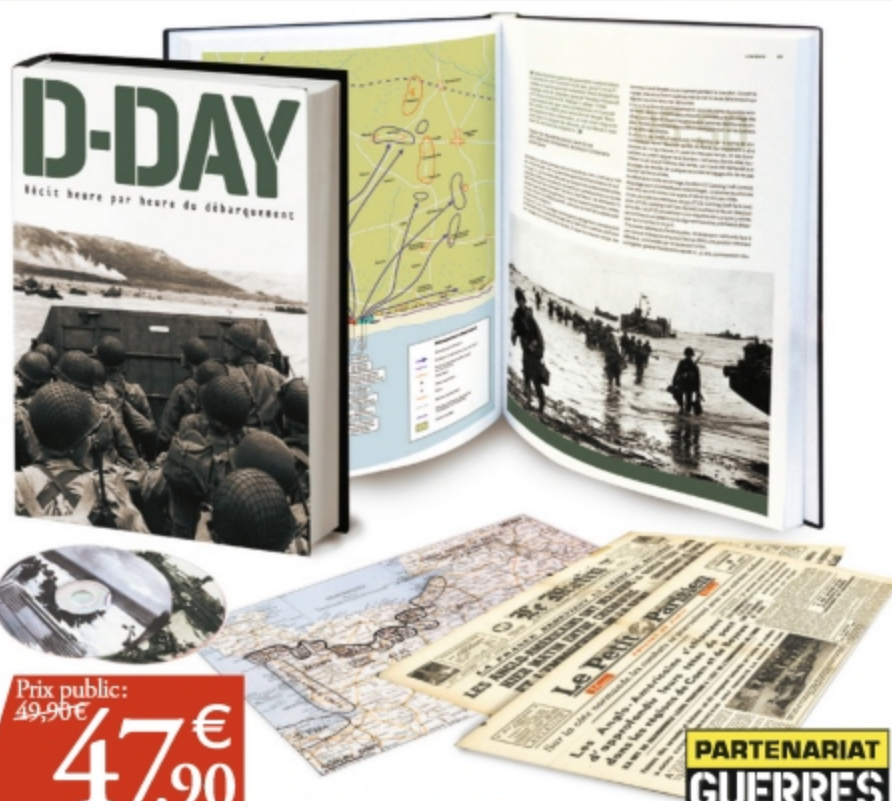


Déstressant et ludique

Essayez vite les *Cubebot*, ces bonhommes en bois qui changent de forme à volonté et tentez de les ranger en dé.

Cubebot format medium en bois naturel - 29.50 €

CRÉATION DAVID WEEKS. H 9 x L 9 CM. DÉPLIÉ : H 34 x L 24 CM.



Prix public:
49.90 €

47.90 €
seulement!

FRAIS D'ENVOI
OFFERTS

Coffret spécial 70 ans du débarquement

Ce superbe coffret comprend un livre exceptionnel réalisé en partenariat avec *Guerres & Histoire* avec plus d'une centaine d'images (dont des clichés mythiques de *Robert Capa*), 2 DVD : *La Lumière de l'aube* (2014) et *Les Grandes Batailles – Normandie* (1944), 2 fac-similés des unes de journaux d'époque et 1 reproduction d'une carte du débarquement sur les plages de Normandie.

Coffret D-Day

LIVRE : 144 PAGES, FORMAT 28 x 25,5 CM. 2 DVD : 2 x 90 MIN. 2 FAC-SIMILÉS. ÉDITION *GUERRES & HISTOIRE*.

PRÉCISION ET ÉLÉGANCE...



49 €

seulement!

FRAIS D'ENVOI
OFFERTS

L'élégance du cuir brun foncé grainé croco

Mouvement analogique à quartz 3 aiguilles de grande précision, boîtier en alliage de métaux avec dateur placé à 3 heures, bracelet en cuir véritable sélectionné parmi les plus belles peausseries, verre minéral de protection... Tels sont les atouts de la superbe montre Havane LIP, fleuron de l'horlogerie française.

Montre Havane LIP

MOUVEMENT ANALOGIQUE À QUARTZ DE HAUTE HORLOGERIE. CUIR VÉRITABLE COULEUR CHOCOLAT.



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.

LE SABLIER
15,90 €
seulement

Laissez-vous hypnotiser

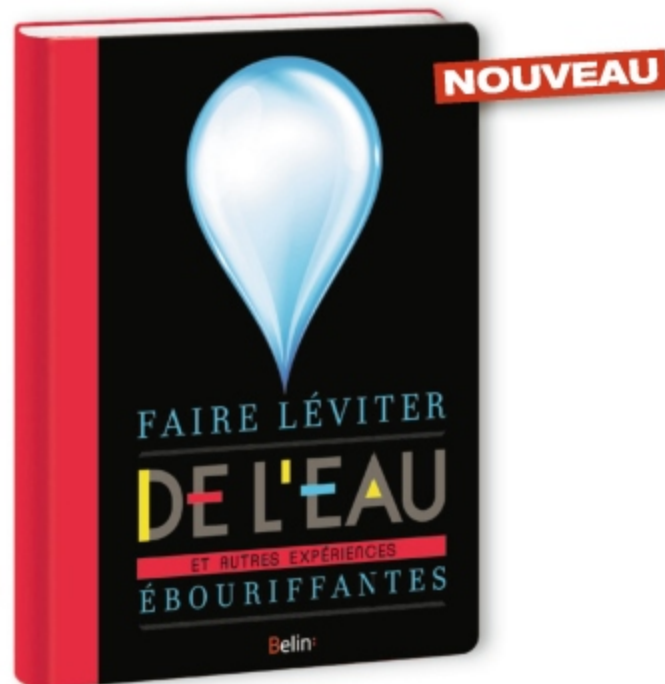
Inlassablement, créez de nouvelles formes avec ce sablier écoulant une très fine limaille de fer, hautement magnétique. Chaque sculpture créée est unique. En penchant plus ou moins le sablier, vous pouvez influencer sa formation.

Sablier magnétique

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



NOUVEAU



Votre domicile est votre laboratoire

Comment provoquer une tempête dans une bouteille ? Allumer une ampoule sans la brancher ? Extraire votre propre ADN ? À travers 20 expériences ludiques clairement expliquées, observez les phénomènes les plus fous.

Faire léviter de l'eau et autres expériences ébouriffantes - 21 €

AUTEUR : FLORIAN BRIANT. FORMAT : 15 x 20 cm, 144 PAGES ILLUSTRÉES EN COULEUR.

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 livret « Drôle de science »
avec le code avantage 321 844



BON DE COMMANDE

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

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Cubebot medium en bois naturel	372.979	x	29,90 €	= €
Coffret Livre + 2 DVD D-Day	379.792	x	47,90 €	= €
Montre Havane LIP	378.034	x	49 €	= €
Pendule de Newton Deluxe	365.189	x	19,90 €	= €
Sablier magnétique	385.773	x	15,90 €	= €
Livre « Faire léviter de l'eau et autres expériences ébouriffantes »	385.781	x	21 €	= €

Sous-TOTAL €

Avec ma commande, je reçois en CADEAU le livret « Drôle de science » OFFERT

FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)	<input type="checkbox"/> Envoi normal	6,90 €
	<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 39 € Envoi Colissimo	GRATUIT
	<input type="checkbox"/> Livraison rapide Colissimo	7,90 €
	<input 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 31/05/2015. Délai de livraison des produits : maximum 2 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo déscellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus ☐.

> Mes coordonnées

CODE AVANTAGE : 321 844

☐ 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 joins mon chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE

Je règle par carte bancaire

☐ Je règle en 1 fois la totalité de ma commande

☐ Je règle en 3 fois sans frais (à partir de 99€ d'achat)

Carte bancaire N° _____

Expire fin : ____/____/____

Date et signature obligatoires

Cryptogramme _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

PAIEMENT
SANS
FRAIS
3x



LE B.A. BA sur l'origine de la vie

A partir des conditions supposées de la Terre primitive, les biochimistes ont imaginé des centaines de scénarios décrivant l'origine de la vie. Serait-elle née près des minéraux de la croûte océanique ? Lors des réactions chimiques induites par les systèmes hydrothermaux ? Dans les feuillets hydratés des argiles ? Ou dans les sécrétions rocheuses du manteau terrestre ? Aucun de ces scénarios n'est entièrement satisfaisant. Car aucun ne parvient à forcer assez la concentration des molécules organiques pour qu'elles s'agrègent en vie. Un mécanisme découvert au cœur des gouttes permet d'imaginer une nouvelle histoire. . .

G. CIRADE

L'ÉNERGIE DE LA VIE

ELLE TIENT DANS UNE GOUTTE D'EAU

C'est par hasard que des chimistes ont découvert le phénomène : en insérant dans une goutte d'eau deux molécules simples, celles-ci ont rapidement formé des molécules complexes... sans la moindre intervention extérieure ! Par la seule force de la "tension de surface" qui, au sein d'une goutte, incite toutes molécules à se lier entre elles. Une découverte majeure car elle offre enfin un scénario crédible à l'apparition de la vie : les réactions initiées dans les gouttes auraient pu se propager sur la Terre primitive, notamment *via* les nuages. Qu'y a-t-il à l'intérieur d'une goutte ? Il y a l'énergie de la vie. Une énergie que les scientifiques cherchent maintenant à maîtriser...

PAR MATHILDE FONTEZ

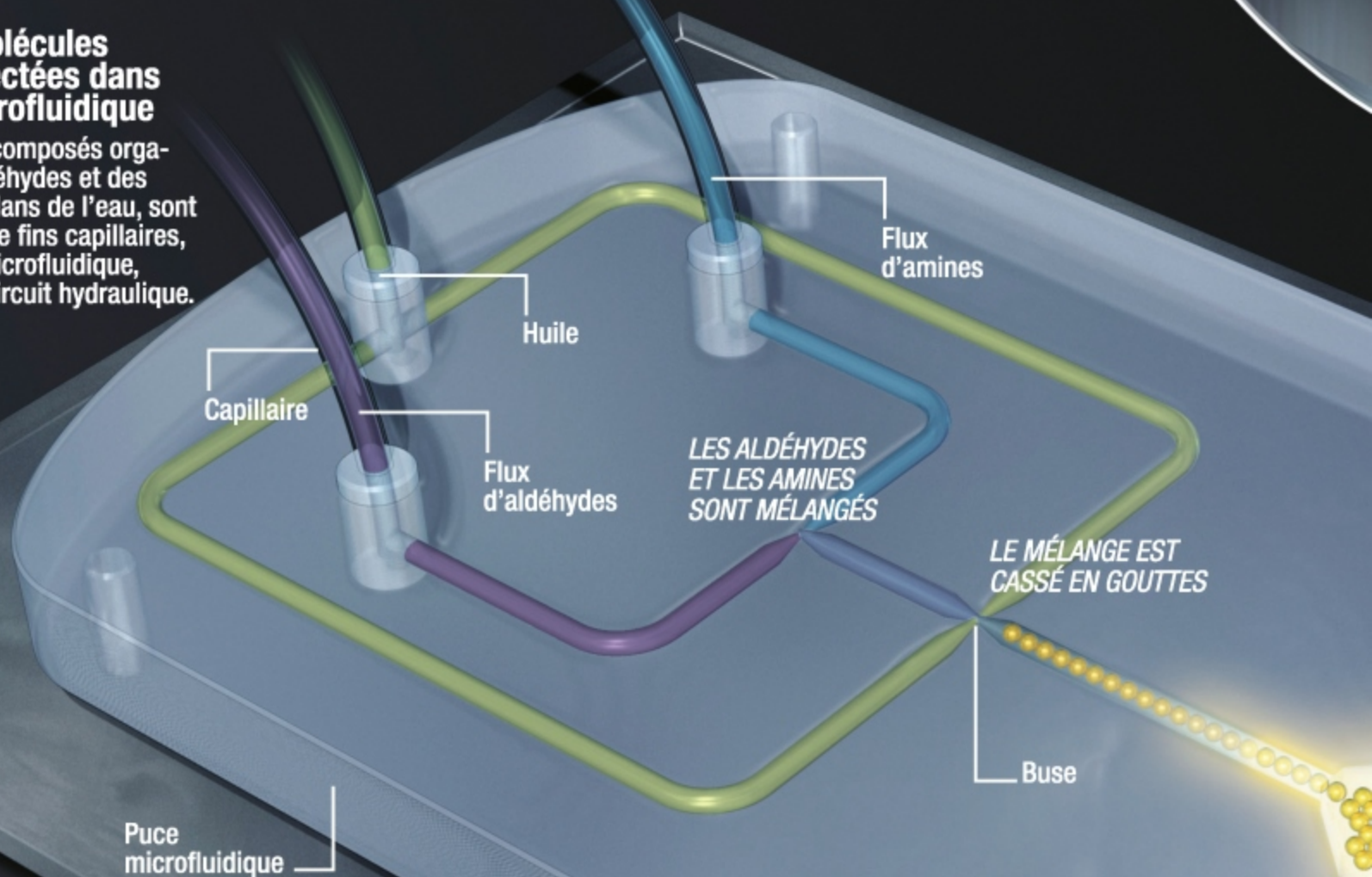
À LA
UNE

L'expérience qui prouve le pouvoir créateur des gouttes

L'expérience menée à l'université de Strasbourg est toute simple : il s'agissait de mesurer, au sein d'une goutte, la vitesse à laquelle deux molécules organiques (un aldéhyde et une amine) réagissent ensemble pour former une molécule plus complexe et fluorescente (une imine). Contre toute attente, le résultat a été spectaculaire : très vite, toutes les gouttes se sont illuminées ! Ce qui prouve que de simples gouttes sont de formidables accélérateurs de réactions chimiques. Pour la première fois, un processus naturel permet d'expliquer, sans intervention extérieure, la formation des molécules complexes, étape cruciale de l'apparition de la vie sur Terre.

1 Deux molécules sont injectées dans la puce microfluidique

Deux types de composés organiques, des aldéhydes et des amines dilués dans de l'eau, sont introduits, *via* de fins capillaires, dans la puce microfluidique, un minuscule circuit hydraulique.

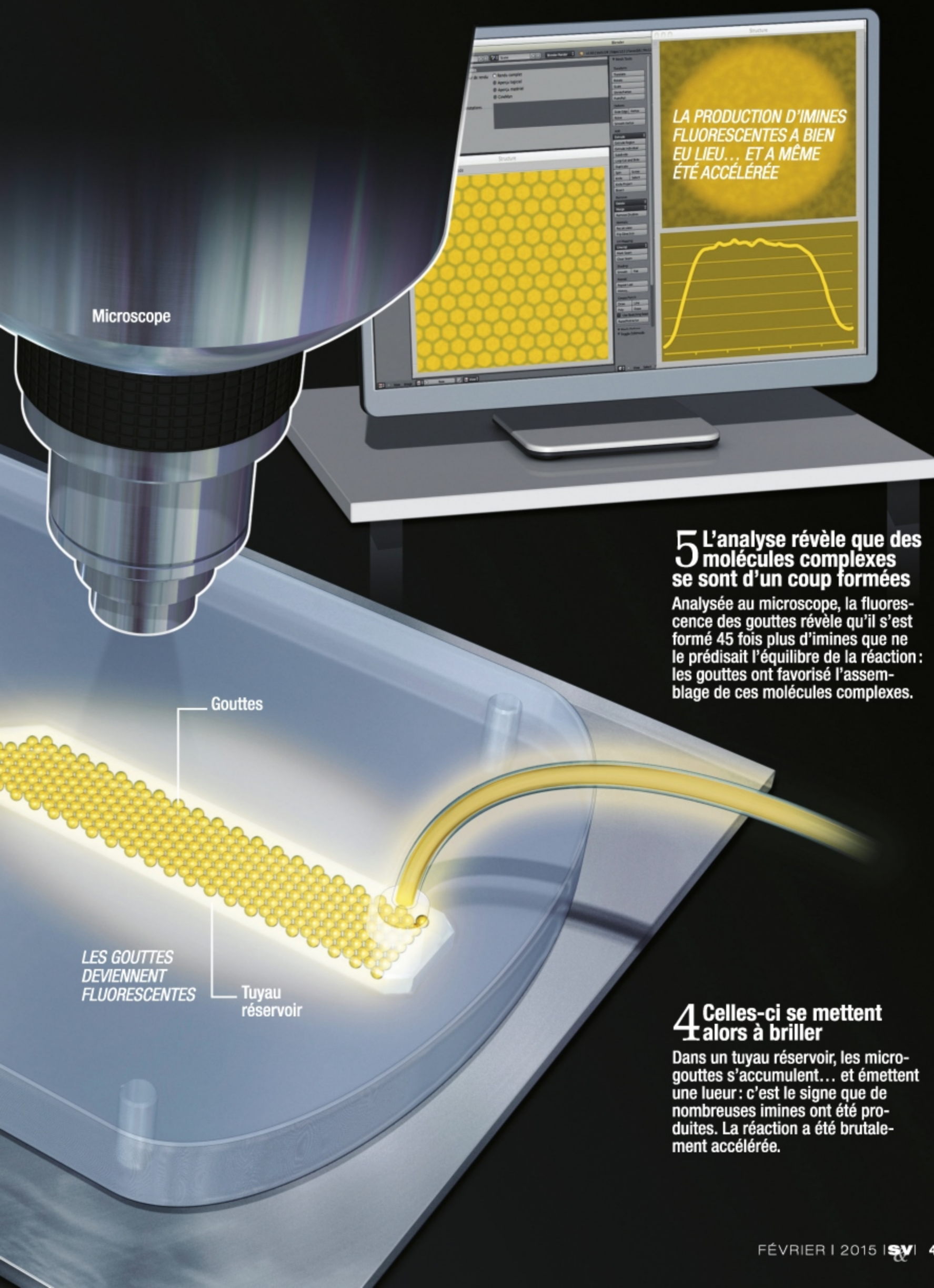


2 Elles se mélangent et enclenchent une réaction chimique

Les aldéhydes et les amines se rencontrent et forment des imines, des molécules plus complexes qui ont la particularité d'être fluorescentes. Mais cette réaction chimique est défavorable : à peine formées, les imines sont aussitôt détruites par des molécules d'eau.

3 Le mélange obtenu est cassé en une myriade de gouttes

Le mélange s'engage dans la buse, un goulot d'étranglement où il rencontre deux jets d'huile, amenés par d'autres microtuyaux, qui rompent le flux : des gouttelettes de 8 à 34 micromètres de diamètre se forment.



Microscope

Gouttes

LES GOUTTES
DEVIENNENT
FLUORESCENTES

Tuyau
réservoir

LA PRODUCTION D'IMINES
FLUORESCENTES A BIEN
EU LIEU... ET A MÊME
ÉTÉ ACCÉLÉRÉE

5 L'analyse révèle que des molécules complexes se sont d'un coup formées

Analysée au microscope, la fluorescence des gouttes révèle qu'il s'est formé 45 fois plus d'imines que ne le prédisait l'équilibre de la réaction : les gouttes ont favorisé l'assemblage de ces molécules complexes.

4 Celles-ci se mettent alors à briller

Dans un tuyau réservoir, les microgouttes s'accumulent... et émettent une lueur : c'est le signe que de nombreuses imines ont été produites. La réaction a été brutalement accélérée.

À LA
UNE

Paroi de la goutte

Amine

LES MOLÉCULES
SE LIENT ET RÉAGISSENT

Aldéhyde

ALDÉHYDES ET AMINES
S'ACCROCHENT À LA PAROI

Aldéhyde

Amine

2... où elles fusionnent plus facilement

Liés à la paroi, aldéhydes et amines n'évoluent plus dans un espace à trois dimensions, comme au cœur de la goutte, mais à deux dimensions : ils peuvent donc plus facilement se rencontrer et réagir.

1 Les molécules organiques sont attirées par la paroi de la goutte...

Sur la paroi de la goutte, les molécules d'eau ne peuvent former de liaison avec l'extérieur. Elles se lient alors plus fortement avec leurs voisines. Ce phénomène génère une force appelée tension de surface – c'est grâce à elle que la goutte ne s'étale pas. Cette force attire vers la paroi les molécules présentes dans la goutte : aldéhydes et amines.

A l'intérieur de la goutte, la tension de surface fabrique des molécules complexes

Normalement, les aldéhydes et les amines (deux molécules organiques) réagissent difficilement ensemble. Or, dans une goutte, cette réaction est tout à coup simplifiée : aldéhydes et amines ne cessent de fusionner, fabriquant de nouvelles molécules plus complexes (des imines fluorescentes). Pourquoi ? Pour comprendre, il faut plonger à l'intérieur de cette petite enceinte d'eau. Car tout se joue sur sa paroi interne.



Imine

LA RÉACTION GÉNÈRE
DES IMINES FLUORESCENTES

3 En réagissant, elles forment des molécules complexes...

La réaction chimique entre un aldéhyde et une amine forme une molécule plus complexe et fluorescente – une imine – ainsi qu’une molécule d’eau.

LES IMINES SE DÉTACHENT
DE LA SURFACE

4 ... qui s’accumulent au cœur de la goutte

Les imines se détachent de la paroi pour gagner le cœur de la goutte. Certaines réagissent avec des molécules d’eau, reformant des amines et des aldéhydes... mais l’équilibre de la réaction est définitivement renversé et de plus en plus d’imines fluorescentes se forment : la goutte se met à briller intensément !

LES IMINES S’ACCUMULENT ET
LA GOUTTE SE MET À BRILLER

À LA
UNE

Comment tout a-t-il commencé?

Comment de turbulents atomes ont-ils pu s'assagir pour se stabiliser en molécules? Grâce à quelle force mystérieuse ces petits grumeaux de matière ont-ils pu se concentrer jusqu'à se voir contraints de former de gigantesques édifices? Et par quel miracle ces constructions moléculaires sont-elles parvenues à s'entendre pour assembler une machinerie complexe?

En un mot: comment, dans un monde de chimie, la biologie est-elle apparue?

C'est à cette question parmi les plus cruciales qu'une équipe de physiciens et de chimistes réunis autour d'Andrew Griffiths, à l'université de Strasbourg, apporte aujourd'hui une réponse... d'une simplicité étonnante: tout aurait commencé il y a environ 4 milliards d'années, dans les embruns s'élevant au-dessus de la houle de l'océan primitif, et dans les nuages en altitude de l'atmosphère originelle. L'énergie qui a déclenché le grand processus viendrait de simples petites enceintes d'eau: les gouttes seraient l'étincelle de la vie.

Difficile à imaginer? Il suffit pourtant d'observer une feuille, un jour de pluie, pour comprendre que ces petites perles liquides recèlent une énergie fantastique. Comment expliquer sinon qu'elles ne s'étaient pas?

UN PHÉNOMÈNE POURTANT BANAL !

L'origine de cette énergie est en fait connue depuis plus de deux cents ans. Tout se joue sur la paroi de la goutte. Les molécules d'eau qui la constituent ne pouvant établir de liaison avec l'extérieur, elles concentrent leur énergie sur leurs voisines, avec lesquelles elles se lient plus fortement. Cela crée une tension sur toute la surface qui comprime le volume en une sphère.

Cette force intérieure semble infime: l'énergie d'une petite goutte d'un centimètre carré de surface correspond à celle qu'il faut déployer pour lever un grain de sable d'un dixième

UNE DÉCOUVERTE QUI ÉCLAIRE L'ÉTAPE CLÉ DE L'APPARITION DE LA VIE

La complexification de la matière, des atomes aux molécules prébiotiques (qui ont rendu possible l'apparition de la vie) et enfin aux cellules (unités de base des organismes vivants), nécessite 5 étapes. En fabriquant des molécules complexes, les gouttes doivent avoir joué un rôle crucial dans ce processus.

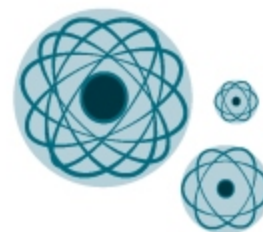
de millimètre. C'est pourtant elle qui permet aux molécules d'eau de la goutte de rester solidaires. C'est encore elle qui fait remonter les liquides sur les parois ou qui soutient le poids des moustiques, leur offrant le pouvoir de marcher sur l'eau...

Et ce phénomène à la fois banal et merveilleux pourrait aussi fournir l'énergie vitale tant recherchée.

Car l'énigme de l'apparition de la vie tourne autour de la question de l'énergie. L'existence, sur Terre, de structures aussi complexes qu'un organisme vivant est même un affront aux lois de la thermodynamique, la science des transferts d'énergie.

La deuxième de ces lois le stipule: l'entropie (le degré de désordre d'un système) ne peut qu'augmenter. Les

Au commencement sont les atomes



CHIMIE

A partir d'une certaine densité, les atomes forgés au cœur des étoiles se lient facilement en molécules chimiques: dihydrogène, monoxyde de carbone, eau...

substances ont tendance à se diluer, les assemblages à se casser. "La nature pousse les choses à demeurer inertes plutôt qu'engendrer des systèmes complexes", décrit Kepa Ruiz-Mirazo, spécialiste de chimie prébiotique à l'université du Pays basque (Espagne).

Mais alors comment, ici-bas, les milliards de milliards de milliards d'atomes qui nous constituent ont-ils pu s'organiser pour former une structure dotée de telles qualités de cohésion, de reproduction et d'évolution?



Le célèbre biologiste américain pensait avoir franchi l'étape clé qui mène du monde de la chimie vers le monde de la biologie – avec les 22 types différents de ces composés d'azote, il est possible de fabriquer tous les organismes vivant sur Terre.

La réponse semblait donc se dessiner: la vie aurait vaincu l'entropie en tirant de l'énergie de la chaleur d'une soupe tiède secouée par les éclairs – poche d'eau, mare, lac ou océan. Des molécules organiques simples s'y seraient spontanément formées avant de s'agglomérer en structures plus complexes, qui ont envahi le globe.

Sauf que depuis, les biochimistes se sont rendu compte que cette étape n'était pas le point clé de l'histoire: les acides aminés se révèlent en définitive relativement faciles à synthétiser

les autres, pour former des molécules des centaines de fois plus grosses et complexes, comme les protéines ou les nucléotides (voir l'infographie ci-dessous). Ce sont elles les véritables molécules prébiotiques.

Les spécialistes sont parfois parvenus à en fabriquer quelques spécimens – en 2009, le biochimiste anglais John Sutherland a par exemple réussi à synthétiser des nucléotides (voir *S&V* n° 1103, p. 20).

Mais ce qui peut fonctionner dans un tube à essai reste, dans la nature, difficile à imaginer. Car c'est là que la thermodynamique pose son veto. *"Pour construire un scénario réaliste de formation de ces molécules prébiotiques, il faut trouver des processus qui amènent le système hors de l'équilibre"*, conclut Kepa Ruiz-Mirazo.

2 Des molécules chimiques se forment



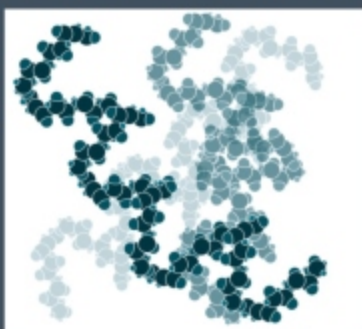
Pour peu que les conditions soient réunies (milieu réducteur, chaleur...), l'assemblage de molécules organiques aussi complexes que les acides aminés est presque spontané.

3 Des molécules organiques s'agrègent



C'est l'étape clé: comment forcer les molécules organiques à s'organiser, quand les lois de la thermodynamique font tout pour les séparer? Justement, les gouttes pourraient offrir l'énergie nécessaire.

4 Des molécules prébiotiques naissent



5 Des cellules prennent vie



Des dizaines de mécanismes entrent en jeu pour passer des molécules prébiotiques (nucléotides et protéines) à l'ADN et aux cellules, qu'il reste à hiérarchiser et à assembler.

BIOLOGIE

À LA UNE

Pas de problème pour le premier stade de la complexification moléculaire: la transformation des atomes (hydrogène, carbone, oxygène, azote) en molécules chimiques simples (H_2O , CO_2 , NH_4) est une affaire réglée par la chimie élémentaire. Mais ensuite?

La question occupe à plein temps des bataillons de biologistes et de biochimistes depuis qu'en 1953, Stanley Miller parvint à fabriquer des acides aminés dans un tube à essai soumis à des décharges électriques.

dans la nature – on en trouve même dans les conditions "invivables" de l'espace, les météorites en témoignent.

"Nul doute que Philae et Rosetta en trouveront sur la comète Tchouri, ajoute Robert Pascal, chimiste à l'Institut des biomolécules de l'université de Montpellier. Dès qu'on a du carbone, de l'azote, de l'hydrogène et de l'oxygène, ça marche!"

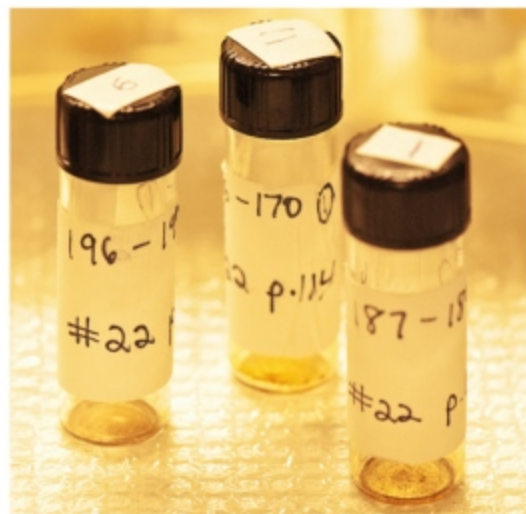
La vraie difficulté se situe en réalité à l'étape suivante: l'agrégation de ces briques élémentaires les unes avec

Perdus dans leur mare d'eau tiède, où les acides aminés ont-ils pu trouver la force de s'unir? Quelque chose a forcément dû déplacer les réactions.

Quelque chose... mais quoi? Les biochimistes invoquent des milieux particuliers. Comme les pores nanométriques des roches, qui, en sélectionnant les molécules en fonction de leur forme, auraient initié des réactions chimiques. Ou bien les argiles près des sources hydrothermales, dont les feuillets hydratés feraient office de

LES BIOCHIMISTES ÉTAIENT DANS L'IMPASSE

Des acides aminés (en bas) fabriqués par Miller en 1953 aux nucléotides de Sutherland en 2009 (à dr.), nombre de biomolécules ont été synthétisées en laboratoire. Sauf que personne ne voyait comment cela aurait pu se passer dans la nature.



refuge et de catalyseur... Ou encore les riviages: le va-et-vient de l'eau concentrerait des réactifs, initiant le processus. *"On sent depuis quelques années que la solution du problème thermodynamique est d'aller chercher au niveau des interfaces entre deux milieux"*, explique Kepa Ruiz-Mirazo.

C'est là qu'interviennent les physiciens et les chimistes de Strasbourg. Qui n'en reviennent toujours pas

parce qu'ils sont repérables et quantifiables facilement, sans analyse chimique, explique Ali Fallah-Araghi, qui a réalisé l'expérience. Il suffit de mesurer la lumière.

La réaction en question est simplissime: elle met en jeu deux petites molécules organiques semblables aux acides aminés, un aldéhyde et une amine, qui s'allient pour former une molécule plus complexe – une imine fluorescente – ainsi qu'une molécule d'eau.

Le dispositif expérimental ne l'est pas moins: il suffit

La géométrie de la goutte suffit à elle seule à expliquer l'accélération des réactions

d'être tombés, par hasard, sur un mécanisme aussi simple.

Au départ, ils étaient bien loin de ces questions originelles. Ces spécialistes de la microfluidique, dont les dispositifs permettent de produire et de maîtriser des centaines de gouttes de taille précise (entre 1 et 100 micromètres), souhaitaient juste mettre à profit leur découverte d'une réaction chimique dont le produit est fluorescent, mais pas les réactifs (lire l'interview).

"Les produits fluorescents nous intéressent tout particulièrement

d'injecter les réactifs dans une puce microfluidique, un minuscule circuit hydraulique qui fabrique des gouttes, puis de suivre au microscope, via l'émission de lumière, la production d'imes (voir l'infographie pp. 44-45).

Sauf que, surprise: au lieu de devoir traquer la faible lueur de quelques imines, comme ils s'y attendaient, ils voient les gouttes se mettre à briller intensément. Cette réaction normalement défavorable – assembler l'aldéhyde et l'amine demande beaucoup plus d'énergie que la réaction inverse,

casser l'imine avec une molécule d'eau – se révèle efficace!

Intrigués, les chercheurs décident de reproduire l'expérience, mais en changeant la concentration, la taille des gouttes... et ils s'aperçoivent que non seulement la réaction est bel et bien favorisée, mais qu'elle devient même de plus en plus efficace à mesure que le diamètre des gouttes diminue.

S'agirait-il d'un biais expérimental? Non! Vérifications faites, cette accélération n'est pas due à une banale différence de pression ou à un échange avec l'huile qui sert ici de boîte de Petri... La géométrie de la goutte est seule en cause.

"Nous avons alors travaillé à expliquer le processus en combinant les concepts thermodynamiques des réactions chimiques dans la goutte et, surtout, en modélisant l'interaction entre les molécules et la surface", détaille Carlos Marques, membre de l'équipe.

TOUT SE JOUE À LA SURFACE

Car il n'y a finalement qu'une seule différence entre un liquide et une goutte: sa surface. Et comme va l'observer l'équipe, c'est bien là que réside la clé du phénomène. Dans les microgouttes, la tension dégagée par



JEAN-CHRISTOPHE
BARET

L'origine de la vie n'était pas notre sujet d'étude

Physicien à l'université de Bordeaux et à l'Institut Max-Planck de Göttingen

la surface devient dominante, au point de réussir à attirer les atomes des molécules d'aldéhyde et d'amine, qui s'y accrochent momentanément.

“Une fois que les molécules sont accrochées, elles n'évoluent plus dans un espace à trois dimensions, comme c'est le cas au cœur de la goutte, mais dans un espace à deux dimensions, décrit Jean-Christophe Baret, physicien à l'université de Bordeaux et à l'Institut Max-Planck de Göttingen, qui a participé à l'étude. Elles ont donc moins de chemin à parcourir pour se rencontrer et réagir.”

La surface de la goutte a ainsi déplacé l'équilibre de la réaction, en forçant ces deux types d'acides aminés à fusionner en une molécule plus complexe beaucoup plus souvent qu'ils ne l'auraient fait dans une “soupe”.

Et ce, sans l'ajout d'aucune substance, sans la stimulation d'aucun rayonnement extérieur... *“Et sans avoir besoin d'invoquer un mécanisme pour concentrer les molécules réactives, ajoute Jean-Christophe Baret. Cela marche tout seul, et tout le temps. Les forces en jeu s'appliquent à toutes les molécules.”*

C'est là la force essentielle de cette piste: les gouttes sont des

Science & Vie : Vous avez vraiment découvert ce mécanisme par hasard ?

Jean-Christophe Baret : Oui ! C'est un classique, les vraies découvertes sont celles qui n'avaient pas été prévues... Etudier l'apparition de la vie n'était pas du tout notre projet de départ. Tout a commencé avec la découverte, par Sylvain Ladame, d'une réaction chimique dont le produit est fluorescent. Nous nous sommes dit qu'avec cette réaction, nous allions faire de la chimie combinatoire dans des microgouttes, c'est-à-dire étudier différentes réactions en parallèle et créer une bibliothèque de composés – cela n'avait jamais été fait. Kamel Meguellati a d'abord synthétisé deux réactifs. Puis Ali Fallah-Araghi les a encapsulés dans des gouttes... Là, nous avons tout de suite vu que la réaction était “trop” efficace. Et plus la taille des gouttes diminuait, plus elle s'accélérait ! Nous avons donc totalement abandonné le projet de départ... et essayé de comprendre ce qui se passait.

S&V : Quelle a été la principale difficulté ?

J.-C.B. : Etre sûrs de nous ! Il nous a fallu plus d'un an pour confirmer le résultat, reproduire l'expérience avec des gouttes de différentes tailles, éliminer les biais. Nous avons par exemple vérifié qu'il n'y avait pas d'échange à travers la paroi de la goutte, ou que les molécules ne réagissaient pas avec la lumière utilisée pour observer la fluorescence. Ensuite, il a fallu formaliser le mécanisme de la surface d'un point de vue théorique.

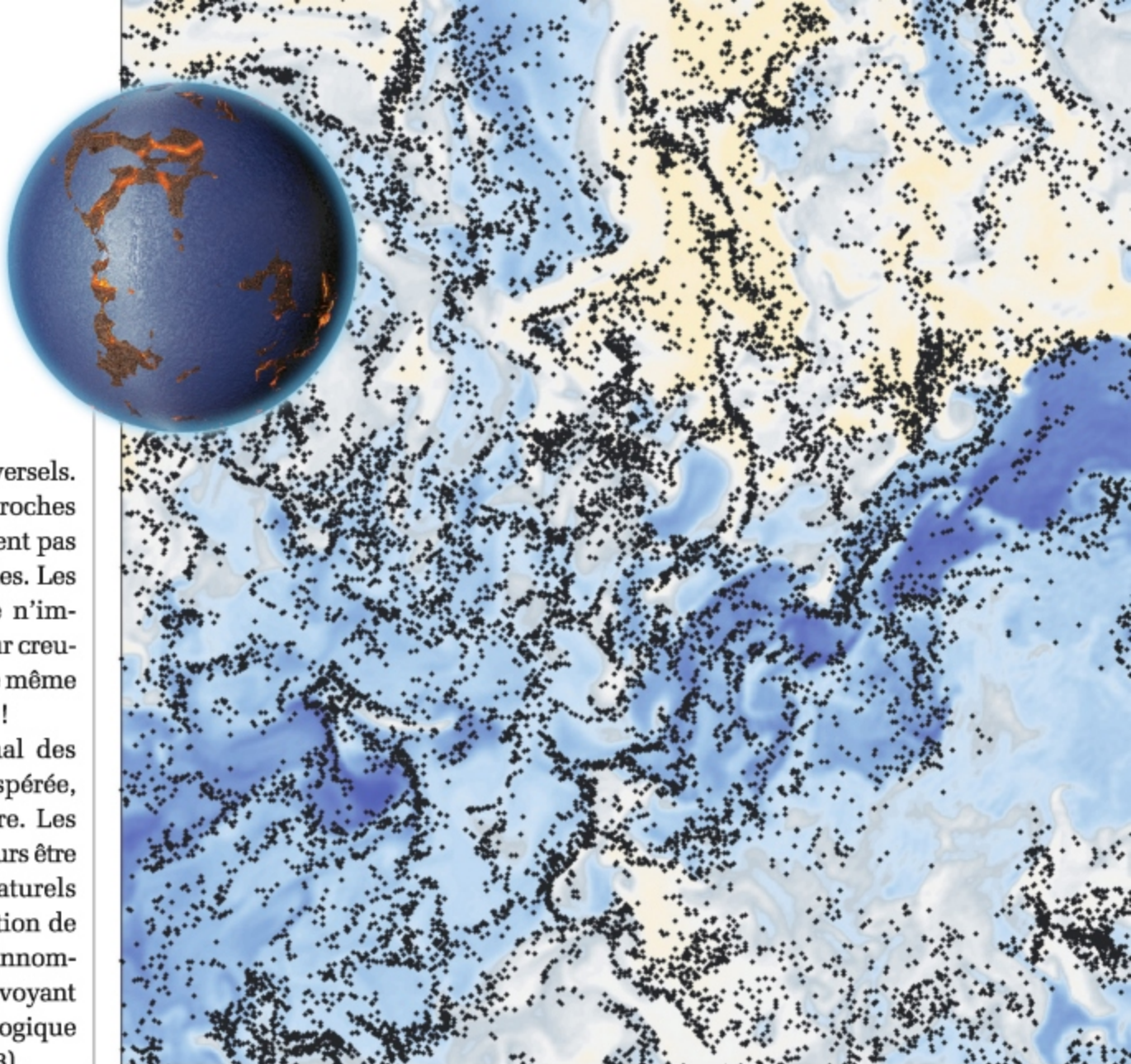
S&V : La surface d'une goutte n'avait jamais été modélisée ?

J.-C.B. : Si, bien sûr. C'est même très classique. Mais il fallait choisir un modèle qui puisse rendre compte précisément de la dynamique de la réaction, sans pour autant entrer dans des considérations moléculaires... ce qui, en fait, n'avait rien de trivial. Carlos Marques, qui s'est chargé de cette étape, a choisi de modéliser les vitesses d'accrochage et de décrochage des molécules.

À LA
UNE

LA VIE SERAIT NÉE DANS LES NUAGES

C'est le nouveau scénario des origines : au gré des turbulences de l'atmosphère, les gouttelettes des nuages (carte) auraient fertilisé la Terre primitive (globe).



→ accélérateurs de réactions universels. Contrairement aux pores des roches ou aux argiles, elles ne favorisent pas uniquement certaines molécules. Les chercheurs pourraient mettre n'importe quelle substance dans leur creuset, elle serait entraînée dans le même processus de complexification !

Voici donc que le plus banal des objets recèle une énergie inespérée, capable d'assembler la matière. Les microgouttes se révèlent d'ailleurs être des laboratoires chimiques naturels si efficaces que leur manipulation de plus en plus précise promet d'innombrables applications, certains y voyant même une révolution technologique en cours (lire l'article pp. 54-58).

“

KEPA RUIZ-MIRAZO
Spécialiste de chimie prébiotique à l'université du Pays basque

C'est la première fois qu'on observe ça : la goutte déplace l'équilibre thermodynamique



Comme le formule froidement la conclusion de l'article publié il y a quelques mois, ce mécanisme *“peut aider à comprendre pourquoi, en dépit d'une thermodynamique défavorable pour les réactions chimiques, un niveau suffisant de synthèse prébiotique a été atteint pour permettre à des systèmes de s'autorépliquer, d'évoluer, et à la vie d'apparaître”*.

En clair, la vie aurait pu naître des gouttes.

“C'est très intéressant, réagit Grégoire Danger, spécialiste en chimie prébiotique à l'université d'Aix-Marseille. C'est simple, général, cela ne nécessite aucune condition particulière...”

“C'est la première fois que l'on voit précisément l'action d'une interface sur les réactions chimiques, ajoute Kepa Ruiz-Mirazo. Et cela ne montre pas seulement une accélération de la réaction. La paroi de la goutte déplace l'équilibre thermodynamique !”

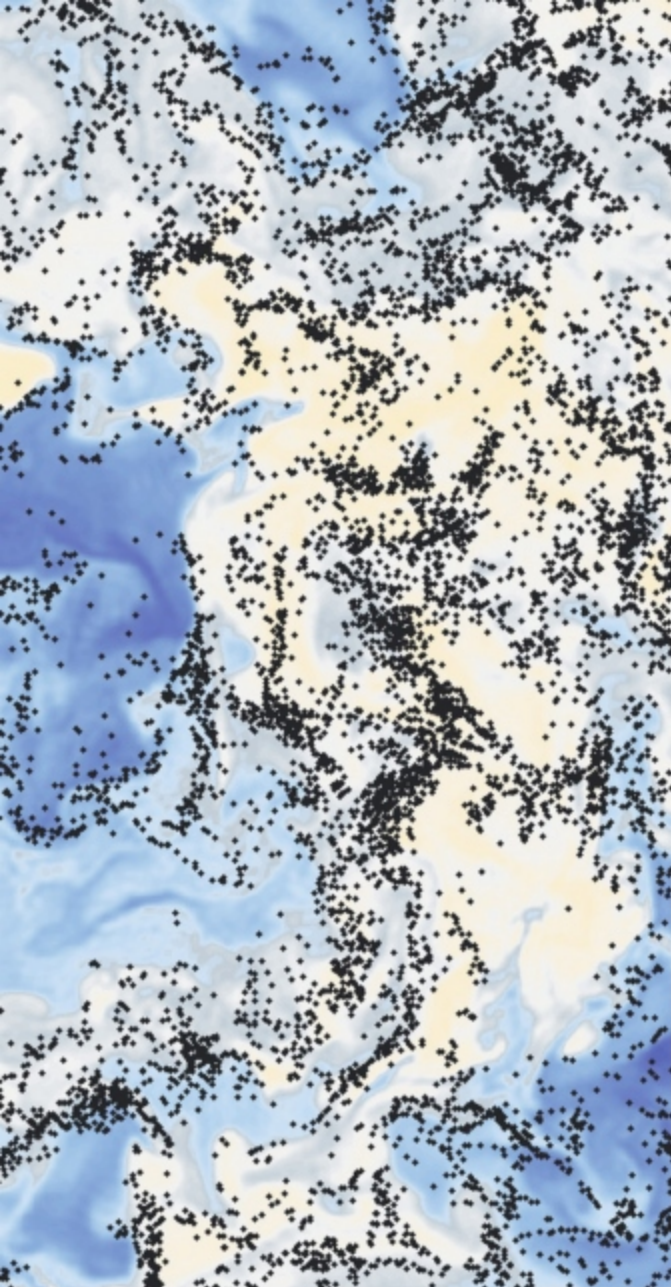
L'hypothèse était dans l'air. Depuis quelques années, différents



“

ROBERT PASCAL
Chimiste à l'Institut des biomolécules de l'université de Montpellier

Ce processus à la surface des gouttes pourrait répondre à des questions essentielles



Les gouttes, presque des cellules

“Elles croissent, se divisent, se reproduisent, sont capables de s’adapter à un environnement, de transmettre des informations, liste Andrew Griffiths, spécialiste en microfluidique à l’Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris. Autant de caractéristiques du vivant!” L’idée est toute récente, mais elle commence à faire des émules : puisque les gouttes micrométriques ont à peu de chose près les dimensions d’une cellule, que leur paroi souple et perméable a le don d’enfermer des molécules tout en leur offrant la possibilité d’échanger avec le milieu extérieur ; puisqu’elles peuvent se fractionner, donnant naissance à des gouttes filles qui partagent la composition chimique de la mère... pourquoi ne pas s’en servir comme modèles de cellules, pour essayer de comprendre leur formation et leur évolution ? *“On regarde s’il est possible de fabriquer des systèmes simples, uniquement physico-chimiques, capables d’enclencher des cycles qui s’autoalimentent”*, précise le chercheur. Certains, comme le célèbre biologiste Jack Szostak, de Harvard, étudient même ce qui se passe lorsqu’on injecte des informations génétiques (de l’ARN, par exemple) dans des vésicules, de petites enceintes d’eau délimitées par une paroi d’acides gras. Les gouttes s’imposent comme de parfaites protocellules. Quant à savoir si les premières cellules auraient pu être des gouttes... *“Je n’en ai aucune idée, répond Andrew Griffiths. Pour l’instant, c’est juste un parfait modèle d’étude.”*

spécialistes de l’origine de la vie ont entrepris d’étudier le comportement de minuscules gouttes d’eau enrobées d’acides gras qui peuvent se former spontanément dans l’eau, et ont observé des augmentations locales de concentration de molécules. *“Mais il manquait l’observation précise et la description physique d’un effet thermodynamique lié à la surface”*, précise Kepa Ruiz-Mirazo.

UN NOUVEAU SCÉNARIO DES ORIGINES

La découverte strasbourgeoise tombe à point nommé, au moment où la grande communauté des biochimistes qui planchent sur l’origine de la vie, en pleine émulation, s’est fixé un nouveau programme : prendre tout le bestiaire des réactions chimiques et les mettre en compétition pour voir lesquelles pourraient avoir été assez rapides et efficaces pour faire la balance. En somme, ils tentent d’appliquer les principes de l’évolution darwinienne, avant même l’émergence du vivant...

“Comment apporter de l’énergie à des systèmes de molécules chimiques ? Comment des systèmes s’organisent-ils pour se maintenir loin de l’équilibre thermodynamique ? De plus en plus de spécialistes commencent à penser que ces questions sont essentielles. Et ce processus à la surface des gouttes pourrait jouer un rôle important dans le grand schéma”, conclut Robert Pascal.

Un nouveau scénario des origines se dessine : embruns, nuages ou même gouttelettes d’eau enrobées d’huile dans la mer auraient fabriqué les molécules prébiotiques. Chargés de leurs molécules complexes, ces innombrables et microscopiques laboratoires auraient ensuite été le siège d’un processus de sélection, permettant à certaines molécules chimiques de s’imposer progressivement... jusqu’à changer la composition du monde. Et permettant à l’étape suivante, la formation d’un premier proto-organisme, de s’enclencher.

Reste à quantifier précisément, dans des conditions réelles, l’impact de la découverte : le nombre et la durée de vie des gouttes sont-ils capables de déclencher une dynamique ? Reste aussi à la coupler à d’autres processus. *“Dans l’atmosphère, la goutte peut descendre, monter, subir des gradients de température ou de radiation...”,* liste Andrew Griffiths. *Tout cela peut contribuer à favoriser les réactions.”*

La balle est dans le camp des biochimistes qui reproduisent les conditions de la Terre primitive. A eux de dire si, il y a 4 milliards d’années, les embruns étaient capables de sortir la chimie de son impasse stérile pour la faire entrer dans le monde complexe de la biologie. Si l’étincelle originelle est née dans le brouillard des nuages archaïques. Si c’est une petite goutte qui, finalement, a fait déborder le vase.

Pour l’heure, c’est elle qui offre un mécanisme plausible permettant d’expliquer, *in fine*, comment nous en sommes arrivés là...

LA GOUTTE RÉVOLUTIONNE LES "BIOTECHS"

Médecine, agroalimentaire... L'énergie des gouttes recèle d'innombrables possibilités. Or, les ingénieurs en biotechnologies ont aujourd'hui les outils de leurs ambitions. La révolution microfluidique est en marche.

La goutte s'est révélée.

Alors que les biochimistes réalisent tout juste que les forces qui s'expriment à sa surface sont capables de forger les molécules complexes nécessaires à la vie (lire l'article précédent), les ingénieurs, eux, rêvent depuis quinze ans de recueillir et d'exploiter cette extraordinaire énergie. Et ils sont aujourd'hui en passe d'y parvenir.

Non seulement ces banales enceintes d'eau de quelques micromètres de diamètre pourraient avoir fourni l'étincelle indispensable à la vie, mais elles sont en train de s'imposer comme le composant de base des biotechnologies. A tel point que de plus en plus de spécialistes évoquent une révolution microfluidique, en médecine, en ingénierie, en agroalimentaire...

COMME DES PUCES ÉLECTRONIQUES

Des dizaines et des dizaines de start-up se créent. Les chercheurs abandonnent toute prudence. Tous veulent partager leur enthousiasme, décrire leurs projets, populariser leurs techniques.

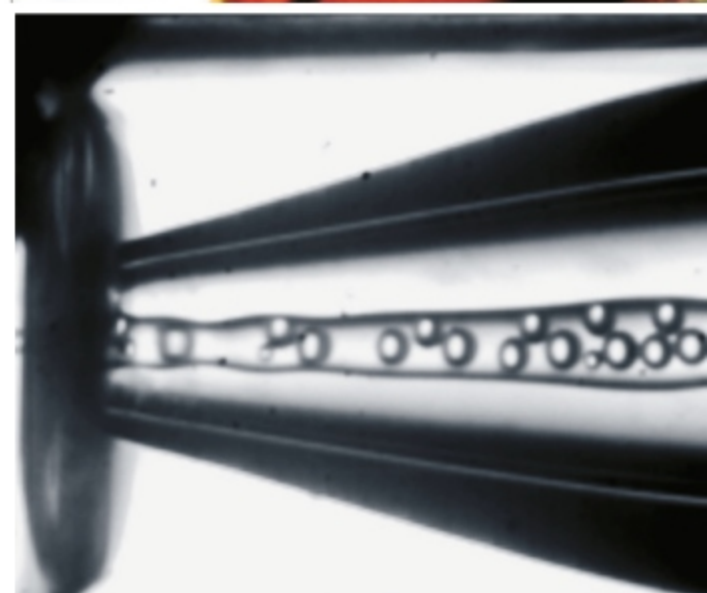
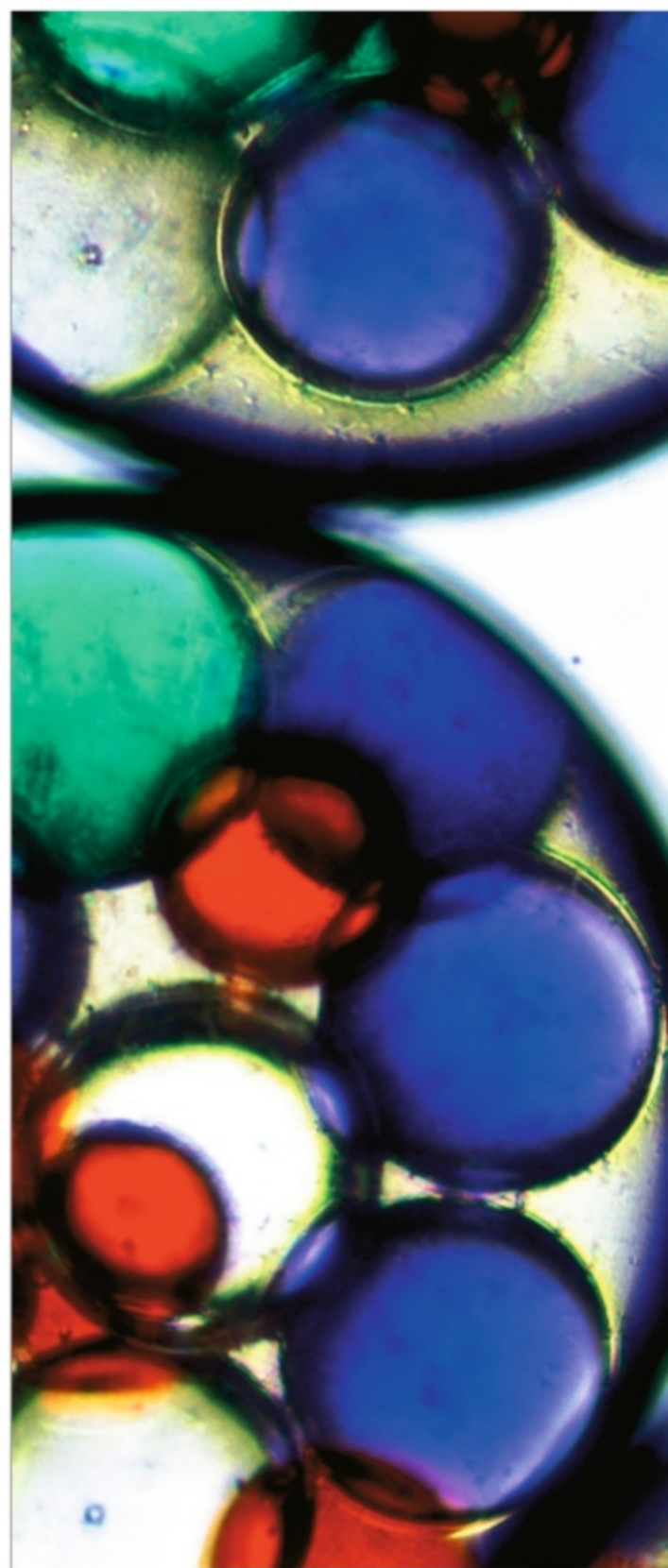
Quant au nombre de laboratoires de recherche spécialisés: Harvard, l'Ecole polytechnique, le Massachusetts Institute of Technology (MIT), Oxford, l'université de Twente aux Pays-Bas... Pas une des plus prestigieuses institutions mondiales qui n'ait son "équipe microfluidique".

Une revue scientifique, *Lab on a Chip* ("laboratoire sur puce"), a même été créée pour absorber le monceau de publications qui tombent chaque mois sur le sujet. A Paris, un institut spécialement dédié à la technique, regroupant 165 chercheurs de 14 laboratoires, vient d'être inauguré.

Les promesses sont ébouriffantes. A l'échelle de quelques dizaines de micromètres, les fluides sont sous contrôle. Et dans ces éprouvettes idéales se révèlent les plus infimes phénomènes biologiques et chimiques. Plus besoin de pipette et autre verrerie. Plus de temps d'attente. Tout se passe dans l'intimité d'un bloc de plastique de quelques centimètres carrés sur lequel est gravé un circuit hydraulique miniature, qui intègre toutes les fonctions du laboratoire de chimie: une puce, comme en microélectronique, à ceci près qu'elle transporte un liquide, et non un courant d'électrons.

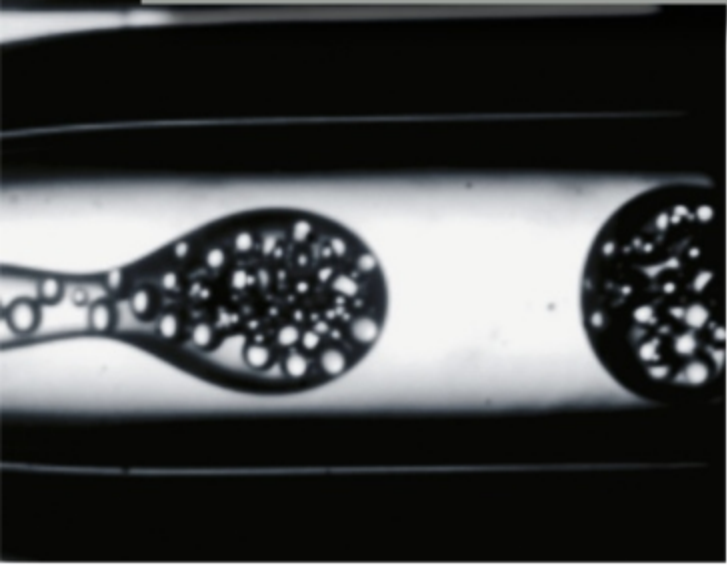
"Il suffit d'une puce microfluidique et d'un microscope. Une goutte peut être scindée en 10 000, et chaque microgoutte est l'équivalent d'une fiole dont on contrôle tous les paramètres avec une très grande fiabilité", résume Pierre-Thomas Brun, qui travaille sur le sujet au MIT.

De quoi dire adieu aux boîtes de Petri... et faire pousser des cellules une à une dans des sphères



A large, vibrant microscopic image showing numerous spherical microcapsules. Some are blue with red centers, others are green or red. They are clustered together, creating a complex, colorful pattern.

DES GOUTTES POUR LIBÉRER DES SUBSTANCES

A black and white photograph of a microfluidic device. It shows a network of thin channels. In one section, a larger droplet is being formed or manipulated, containing many smaller, dark droplets.

En positionnant plusieurs microcanaux en parallèle, Laura Adams, à Harvard, est parvenue à insérer une dizaine de gouttes d'une vingtaine de micromètres de diamètre dans une goutte plus grosse. Ces "microréacteurs" pourraient être programmés pour libérer leur contenu, délivrant ainsi sur commande médicaments ou arômes. *"Nous avons débuté des tests sur des gouttes dont la paroi se rompt avec la chaleur, précise la chercheuse. Et ça marche !"*

liquides qui miment le corps humain pour tester l'impact de médicaments. *"Avec les méthodes classiques, il faut plusieurs mois pour tester 100 000 molécules sur une lignée de cellules, explique Ali Fallah-Araghi, spécialiste du sujet chez Novozymes, leader mondial des enzymes. En travaillant en parallèle sur des millions de gouttes, on peut désormais interroger des millions de composés... en quelques heures!"*

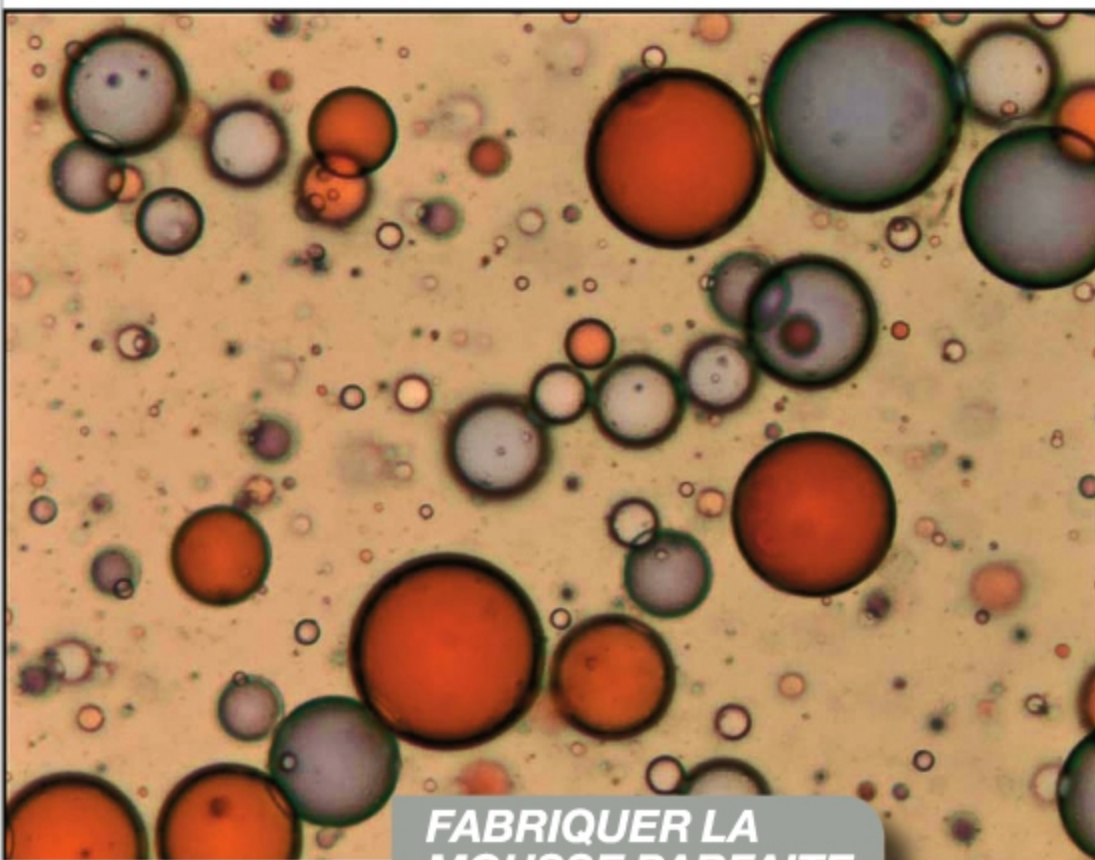
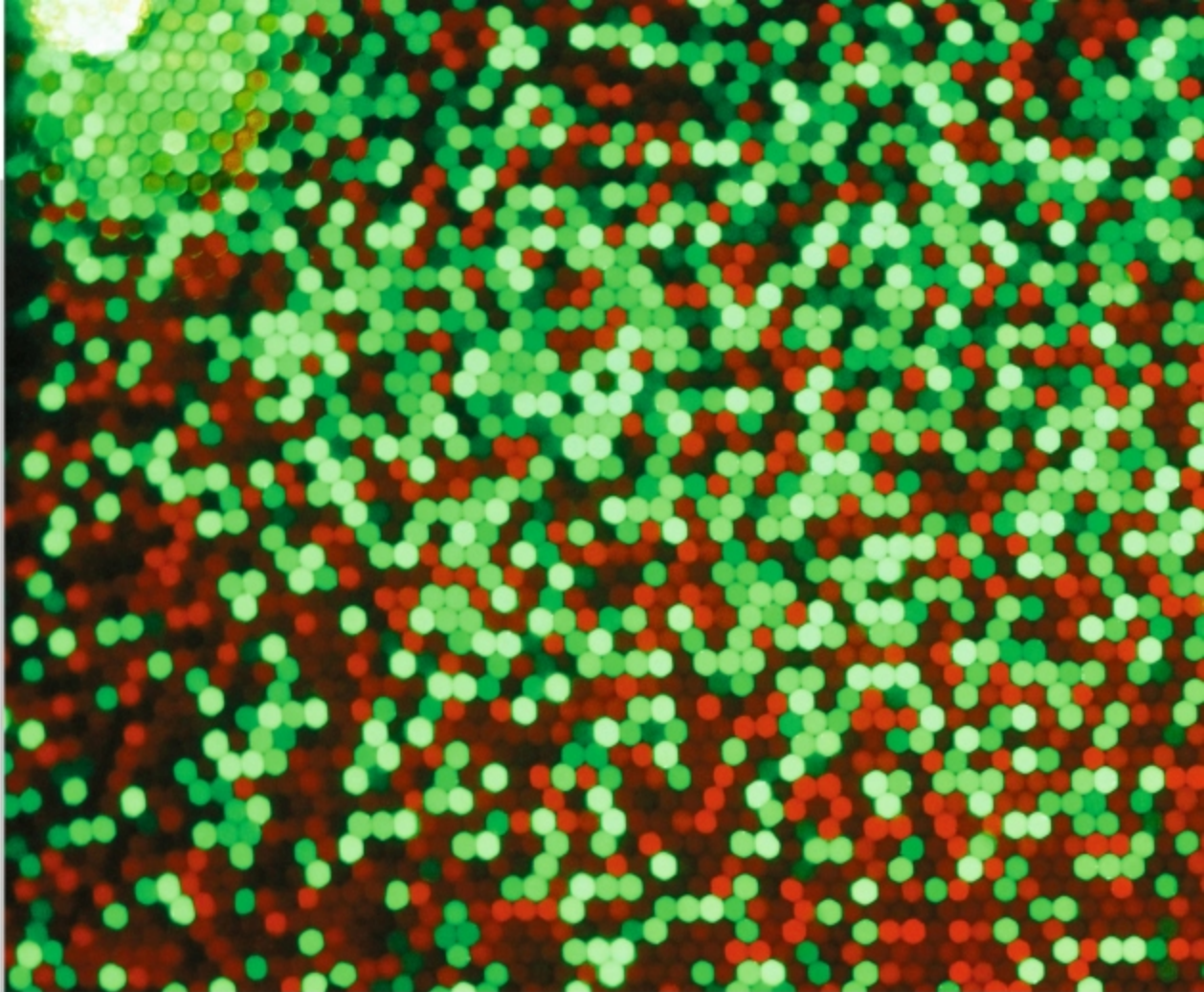
DES APPLICATIONS TOUS AZIMUTS

De quoi réaliser, aussi, des tests ultrarapides sur une goutte de sang. *"On peut fabriquer de petits laboratoires transportables, à bas coût, pour tester sur place le lait des vaches, diagnostiquer une maladie chez un patient... On a besoin de moins de solvant et de moins d'échantillons, et cela peut fonctionner pour tout type d'analyse",* précise Marie-Caroline Jullien, chercheuse à l'ESPCI (Paris).

Ou bien détecter les plus infimes mutations de cellules cancéreuses. Fabriquer des émulsions et des mousses avec une précision micrométrique. Et même encapsuler des substances chimiques, des médicaments ou des arômes et en commander la libération (voir photos)... *"Accélérer la production de médicaments, les procédés de l'industrie agroalimentaire, de la chimie, de la cosmétique",* complète Charles Baroud, chercheur à l'Ecole polytechnique. *"Fabriquer de nouveaux matériaux, analyser l'eau, rechercher des polluants dans l'atmosphère",* liste Florent Malloggi, spécialiste du sujet au CEA (Saclay).

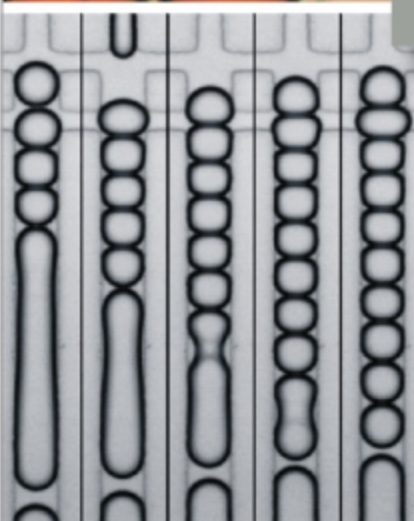
"Il y a quinze ans, lorsqu'on a commencé à produire en série des gouttes nanométriques, la microfluidique était censée changer le monde... puis rien ne s'est passé. Mais c'est aujourd'hui que cela s'enclenche!", analyse Andrew Griffiths, l'un des pionniers de cette technique à l'ESPCI.

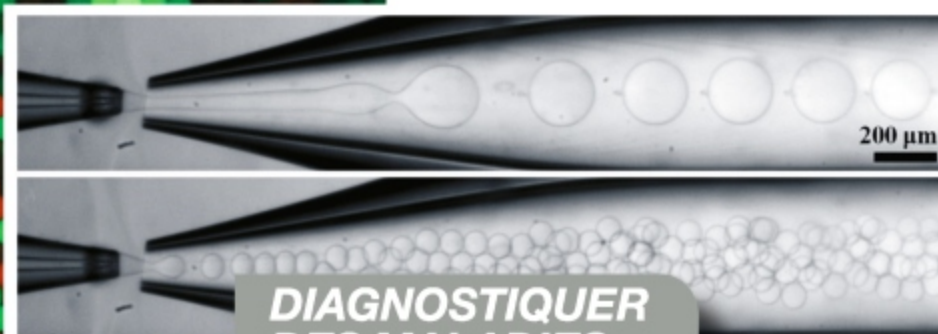
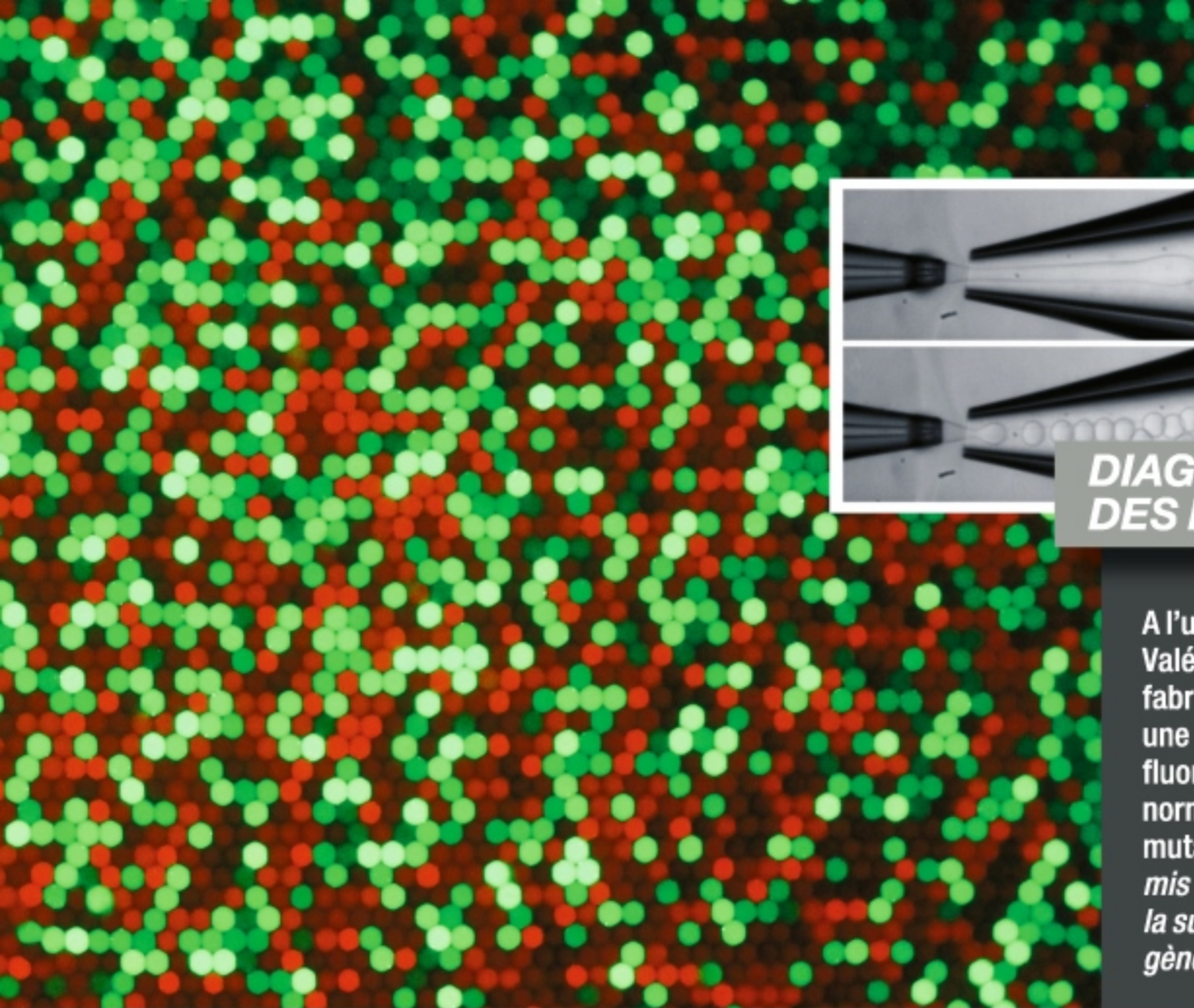
Car le chemin a été long et difficile. D'abord, lorsque le principe même de cette nouvelle science a émergé dans les années 1980, les physiciens ont peiné pour mettre au



FABRIQUER LA MOUSSE PARFAITE

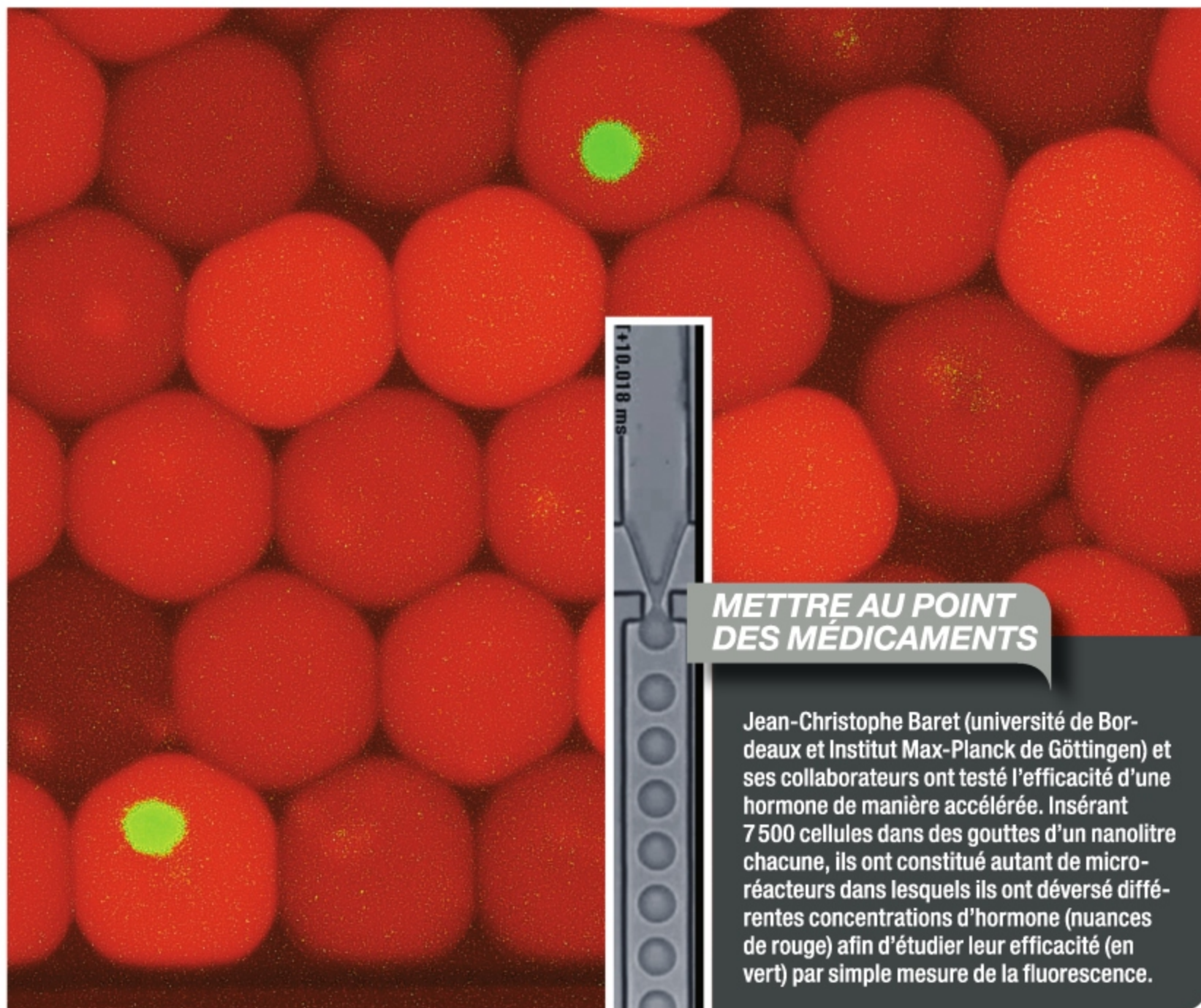
En forçant des microgouttes à se percuter, Nicolas Bremond et son équipe de l'ESPCI ont modélisé la manière dont elles se cassent pour s'unir, générant des réactions en cascade sur toute la ligne de gouttes. Objectif : mettre au point une technique permettant de générer des émulsions parfaitement homogènes. *"Plus la taille des gouttes est homogène, plus les mousses et les émulsions sont stables",* explique le physicien.





DIAGNOSTIQUER DES MALADIES

A l'université de Strasbourg, l'équipe de Valérie Taly a conçu un circuit capable de fabriquer des milliers de gouttes contenant une séquence d'ADN, et deux marqueurs fluorescents qui différencient les séquences normales (en rouge) de celles atteintes de mutations (en vert). *"Notre technique a permis de détecter une mutation qui favorise la survenue d'un cancer... parmi 200 000 gènes normaux"*, souligne la chercheuse.



METTRE AU POINT DES MÉDICAMENTS

Jean-Christophe Baret (université de Bordeaux et Institut Max-Planck de Göttingen) et ses collaborateurs ont testé l'efficacité d'une hormone de manière accélérée. Insérant 7 500 cellules dans des gouttes d'un nanolitre chacune, ils ont constitué autant de micro-réacteurs dans lesquels ils ont déversé différentes concentrations d'hormone (nuances de rouge) afin d'étudier leur efficacité (en vert) par simple mesure de la fluorescence.

À LA
UNE

point les microcanaux, micropompes, microvalves et autres micromélangers nécessaires à leurs circuits.

Inspirés par la microélectronique, ils ont d'abord conçu des puces microfluidiques en gravant des galettes de silicium grâce à la lithographie. Mais leur production était très coûteuse...

LE MARCHÉ EXPLOSE

Il a fallu attendre 1998 pour que le physicien américain George Whitesides, à Harvard, conçoive une puce en polymère qui réglait le problème, et dont la transparence offrait en prime la possibilité de suivre en direct, avec un simple microscope optique, tout ce qui se passait dans le microcircuit. La machine à gouttes parfaite était née.

"C'est là que ça s'est emballé, se rappelle Marie-Caroline Jullien. Dans la foulée, les laboratoires ont travaillé sur tous les outils associés: mélangeurs, séparateurs, générateurs de gouttes... On a cru que c'était gagné."

Mais c'était oublier qu'à l'échelle du micromètre, tout change, à commencer par la physique. *"Par exemple, lorsque deux jets entrent en contact, ils coulent en parallèle, sans former*

Pour convaincre l'industrie, la microfluidique va devoir revoir ses coûts à la baisse

de tourbillon", précise Marie-Caroline Jullien. Il a fallu s'atteler à la modélisation des phénomènes de diffusion, des échanges aux interfaces... "Et, surtout, trouver une nouvelle manière de poser les problèmes, ajoute Charles Baroud. En chimie, on travaille avec des pipettes pour chaque réactif et on analyse les réactions; en microfluidique, on divise les échantillons en dizaines de milliers de gouttes et on compte: il a donc fallu de nouveaux concepts, et les mathématiques qui vont avec."

Tous les problèmes ne sont pas résolus. Ainsi, les spécialistes avouent ne pas encore bien comprendre l'impact des substances qu'ils utilisent pour

Les nanogouttes aussi déploient une énergie insoupçonnée

Dans leur course à la miniaturisation, les physiciens des fluides ne s'arrêtent pas au micromètre. Dès 2003, des chercheurs new-yorkais ont fabriqué des canaux de quelques centaines de nanomètres de diamètre, soit 100 fois plus fins que ceux des puces microfluidiques. Et en 2013, Lydéric Bocquet (université de Lyon et Institut Néel de Grenoble) a même fait circuler des fluides à l'intérieur de nanotubes de bore-azote de 100 nanomètres, découvrant au passage une propriété étrange: la naissance d'un courant électrique à la surface du nanotube, induit par les gradients de salinité du liquide. De quoi espérer exploiter cette énergie pour dessaler l'eau de mer ou, à l'inverse, produire de l'électricité à partir des différences de salinité, dans les estuaires par exemple. Surtout, l'on s'aperçoit une fois de plus que les fluides dévoilent des propriétés insoupçonnées dès qu'on change d'échelle. *"De nouveaux modèles de transport de fluides émergent de ces travaux. Mais pour l'instant, on ne comprend pas bien leurs caractéristiques", réagit Ali Fallah-Araghi, qui prédit encore dix ans de recherche.*

jouer avec la tension de surface des gouttes. Et doivent encore miniaturiser les pousse-pipettes, ces dispositifs qui propulsent les fluides dans leurs microcanaux... Enfin, les coûts vont devoir baisser pour convaincre l'industrie de modifier ses procédés.

"Il existe déjà une puce microfluidique vendue 40 dollars pour mesurer le taux de glucose à partir d'un échantillon

de sang, précise Patrick Tabeling, directeur de l'Institut Pierre-Gilles-de-Gennes (Paris). Il faudrait réduire ce prix d'un facteur 5 ou 10 pour passer à une production de masse et la généraliser à tous les hôpitaux."

Mais aujourd'hui, la communauté des microfluidistes se dit prête. Et l'industrie réceptive. Même si elles se font encore discrètes, il se murmure que de grosses entreprises comme L'Oréal, Michelin, Saint-Gobain ou Unilever commencent à constituer des équipes. Le British Council estimait en 2014 le marché à 6 milliards de dollars, et table sur une augmentation de 15 à 20 % cette année.

"Nous disposons d'assez de méthodes de fabrication et de composants pour appliquer la microfluidique à la résolution de problèmes, et non plus seulement à la démonstration de principes", conclut George Whitesides.

En 2001, *Technological Review*, la revue du MIT, prédisait que la microfluidique allait changer le monde dans l'année. Parions, nous, qu'elle s'était juste trompée de quinze ans!

Il y a 4 milliards d'années, la nature, la première, aurait forgé dans des gouttes les molécules complexes nécessaires à la vie. Après avoir observé ces microenceintes liquides, réfléchi à leurs propriétés, calculé leur comportement et fabriqué des spécimens par milliers, l'homme s'en est inspiré.

Naturelle ou artificielle, la goutte est en train d'être reconnue comme le laboratoire chimique ultime. La source universelle d'énergie vitale.

A lire : les dernières publications scientifiques sur les microgouttes ; un ouvrage qui fait le point sur les dernières recherches sur l'origine de la vie.
A voir : les vidéos des microgouttes s'agitant dans leurs circuits.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

& Science découvertes

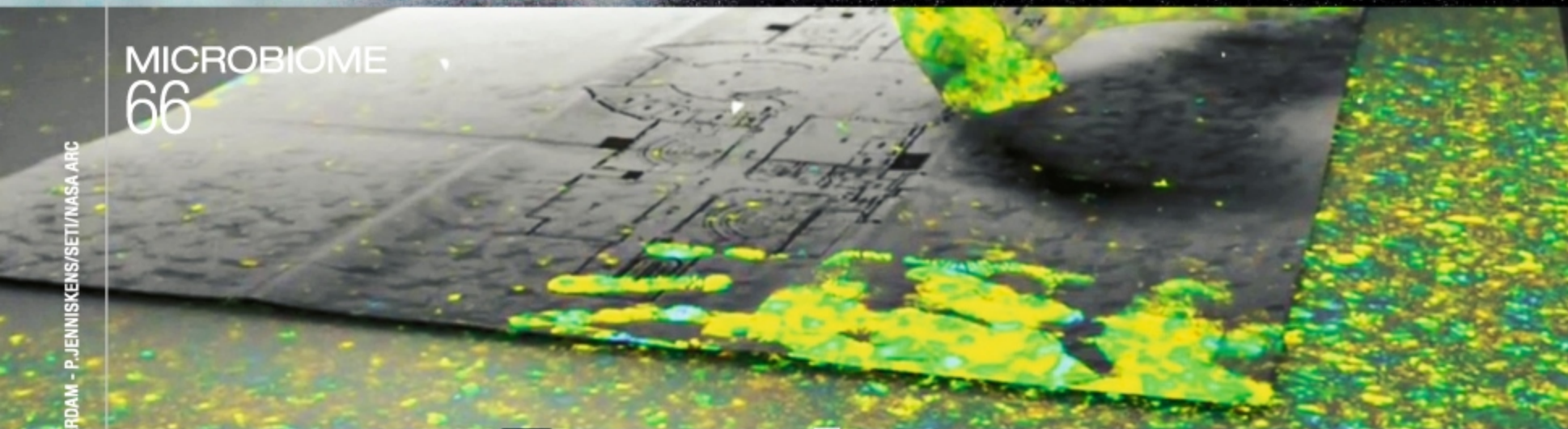
HOMO ERECTUS
60



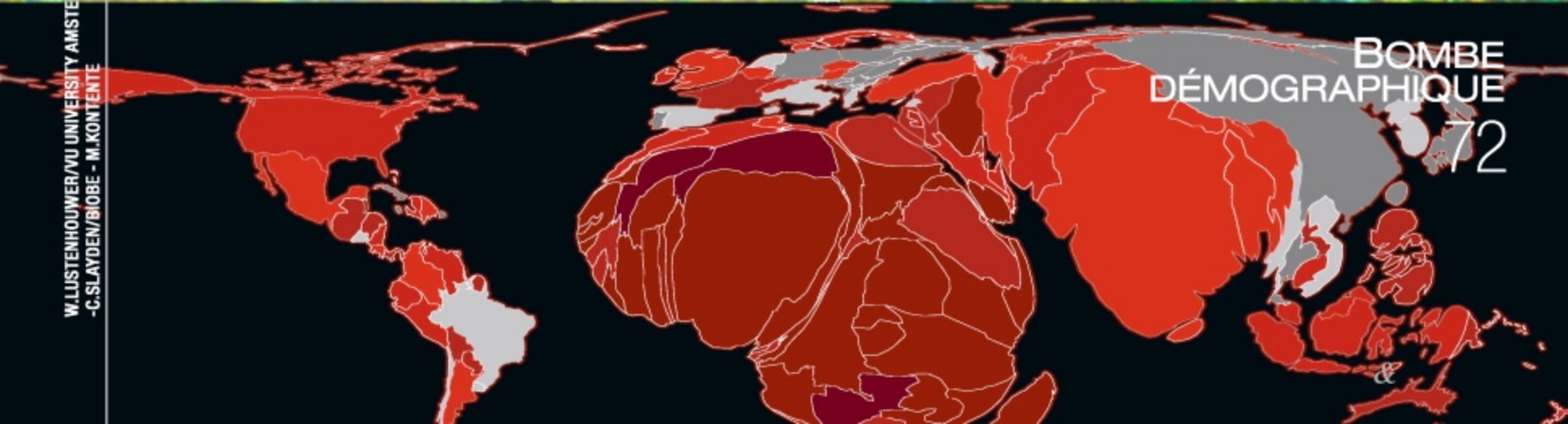
NAISSANCE
DE LA LUNE
63



MICROBIOME
66

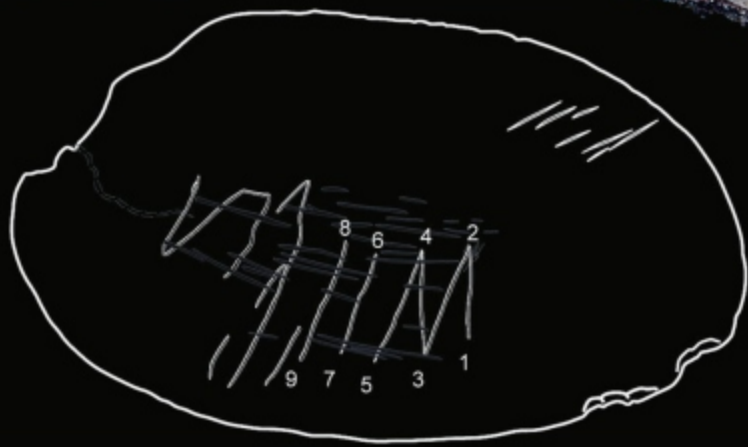


BOMBE
DÉMOGRAPHIQUE
72



< LES TRACES D'UNE ACTIVITÉ ARTISTIQUE VIEILLE DE 500 000 ANS
A peine visible aujourd'hui, un zigzag de 5 cm sur 2 a été gravé par *Homo erectus* sur cette coquille de *Pseudodon*.

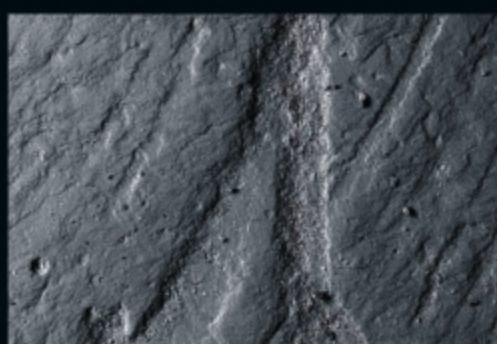
✓ Le dessin en dents de scie est trop particulier pour être naturel : il a été tracé volontairement.



< Analysées au microscope, les traces d'usure observées par-dessus la gravure confirment son authenticité.



< Les traits et les angles sont nets, précis : le tracé a été fait en une seule fois, et le geste était maîtrisé.



^ Cet autre coquillage a été taillé tel un silex pour servir d'outil : c'est le plus vieux connu à ce jour.



^ En creusant un trou à un endroit précis, *Erectus* savait comment ouvrir le coquillage pour le manger.

Origine de la culture

Le choc Erectus

Décidément, *Sapiens* n'a pas tout inventé... Un coquillage retrouvé à Java il y a 120 ans le prouve : le plus vieux dessin connu de l'homme est l'œuvre d'*Erectus* !

Par **Emilie Rauscher**

Il y a une sorte de vertige à tomber sur une chose dont on n'imaginait pas qu'elle existe... Par exemple, une petite gravure tracée sur un coquillage il y a un demi-million d'années par un *Homo erectus* en Indonésie.

"J'ai encore du mal à y croire", avoue Francesco d'Errico,

archéologue à l'université de Bordeaux, bien qu'il ait participé à l'étude de ce coquillage.

Les nouvelles de ce genre se succèdent pourtant depuis quelques mois : en septembre dernier, la première gravure attribuée à Neandertal était dévoilée (voir *S&V* n° 1166) ; un mois plus tard, c'était au tour de la plus ancienne peinture de *Sapiens* (n° 1167)...

Alors, qu'est-ce qui diffère ici ? Pourquoi un tel émoi ?

C'est que, pour Neandertal, la trouvaille de 40 000 ans était attendue. Quant à la peinture de *Sapiens*, elle aussi vieille de 40 000 ans, elle conforte notre giron culturel. On est ici en terrain cognitif connu.

Or, avec cette nouvelle découverte, voici que nous remontons 300 000 ans avant l'apparition de *Sapiens*, 200 000 ans avant Neandertal ! Soit une autre ère de notre histoire, et pourtant déjà à l'aube de notre humanité... Et c'est donc par *Erectus* que celle-ci se serait manifestée pour la première fois !

"Ce genre de découverte montre la plasticité cérébrale de cet homininé, souligne l'archéologue bordelais. Elle est de nature à changer nos idées sur son potentiel cognitif..."

Surtout, "cette idée que l'homme serait devenu homme, avec toutes ses capacités, à un moment précis, c'est la négation de l'évolution !", pointe Jean-Jacques Hublin, paléanthropologue à l'Institut Max-Planck (Allemagne). *Tous nos comportements, ou presque, existent à un degré de complexité différent chez nos prédécesseurs*".

A l'éternelle antienne de l'apparition de la culture il y a 40 000 ans en Europe, chez *Sapiens*, s'opposent donc ces découvertes qui reculent et

Repères

Homo erectus est apparu il y a près de 2 millions d'années en Afrique, continent qu'il a quitté pour coloniser la majorité de l'Eurasie. Chasseur et artisan efficace, il maîtrisait le feu et devait posséder une forme simple de communication. Il a disparu il y a 300 000 ans en Asie, où il fut remplacé entre autres par Denisova et les prédécesseurs de Neandertal.

→ décalent “nos” innovations. La gravure géométrique née de la main d'*Erectus* il y a 500 000 ans en est aujourd'hui le plus parfait exemple.

On comprend donc que lorsque l'archéologue Josephine Joordens (université de Leyde, Pays-Bas) a réalisé ce sur quoi elle était tombée, elle a procédé avec une extrême prudence – sa découverte a été soumise à sept années d'analyses avant d'être publiée.

540 000 ans. L'analyse du sillon et de son usure par microscopie électronique et rugosimétrie 3D confirme son ancienneté. Et laisse penser qu'il a été creusé avec une dent de requin.

*“La gravure devait beaucoup plus ressortir quand le coquillage était frais, souligne Francesco d'Errico. Il était alors recouvert d'une couche organique brun-noir qu'*Erectus* a entamée jusqu'à la couche sous-jacente, blanche. De telle*

et n'avait plus qu'à ouvrir le coquillage pour le manger.

De plus, le bord d'un *Pseudodon* a été taillé à la manière d'un silex, ce qui en fait le plus ancien coquillage transformé en outil connu.

UN POTENTIEL ENFIN RECONNU

*“Le fait qu'un coquillage puisse être considéré à la fois comme nourriture, outil et support pour un marquage montre le potentiel d'*Erectus* – sans compter la tradition qu'il devait y avoir derrière”, estime Francesco d'Errico. Culture et esprit moderne ne sont pas apparus en une fois chez *Sapiens*: *Erectus* en avait déjà les prémices.*

“Son cerveau était déjà assez grand, je ne suis donc pas totalement surpris – bien qu'on n'ait jamais eu la preuve de tels comportements, indique Jean-Jacques Hublin. Toutefois, la question n'est pas seulement de savoir si un comportement existait ou non, mais s'il était fréquent et ce qu'il signifiait.”

Francesco d'Errico ne doute pas que d'autres objets sortiront bientôt de l'anonymat, témoins d'une autre origine, plus lointaine, de la culture humaine. *“L'émergence des innovations, des capacités de plus en plus complexes de l'homme, c'est une histoire en dents de scie, avec des hauts et des bas, note l'archéologue. Une histoire qui remonte désormais à *Erectus*.”*

Jusqu'où les prochaines découvertes pourront-elles encore la faire remonter ? Un demi-million d'années, record à battre.

Trinil : de la découverte d'*Erectus* à celle de sa culture

Par une pirouette de l'histoire, le site de Trinil, sur l'île de Java (Indonésie), où vient d'être dévoilée la gravure d'*Erectus*, est aussi celui où fut découvert *Erectus* lui-même il y a 120 ans ! En 1891, l'anatomiste Eugène Dubois quitte les Pays-Bas pour ce bout du monde afin d'y trouver le “chaînon manquant” entre l'homme et les singes (l'orang-outan, notamment) – chaînon dont on sait désormais qu'il n'existe pas. Dubois met au jour une calotte crânienne et un fémur hors norme et les attribue à une nouvelle espèce, *Pithecanthropus erectus*, renommée depuis *Homo erectus*, qui était à l'époque le second “humain non humain” connu après Neandertal.

En 2007, Joordens travaille sur la collection réunie par Eugène Dubois à Java dans les années 1890, celle-là même qui lui permit de découvrir l'existence d'*Erectus* (lire l'encadré). Au milieu des dents de requins fossiles et des 166 mollusques *Pseudodon* vides, une coquille attire le regard : photographiée sous lumière rasante, elle laisse apparaître un fin zigzag de 5 cm sur 2, blanc sur fond blanc, demeuré jusqu'alors inaperçu.

Le motif est trop particulier pour être naturel... L'archéologue néerlandaise lance aussitôt une série de tests.

La datation permet d'estimer que la coquille a entre 450 000 et

sorte qu'il voyait son dessin blanc sur fond sombre.”

Si personne ne se risque à imaginer les motivations de l'auteur de la gravure, chacun s'accorde à y voir un geste volontaire. *“Une grande attention a été portée au tracé : le trait est fin, unique, précis. L'auteur maîtrisait son geste, qui plus est sur une surface courbe”,* détaille Francesco d'Errico.

Sans compter que l'analyse des coquillages a régulièrement révélé un trou au niveau du muscle antérieur permettant au mollusque de contrôler l'ouverture de sa coquille. D'un coup de dent de requin bien placé, *Erectus* sectionnait ce muscle,

A lire (en anglais) : la publication avec d'autres images et son analyse dans la revue *Nature*.

★
EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

Lune Le caillou des origines

La météorite tombée à Novato le 17 octobre 2012 a enfin livré son secret : ce fragment de roche arraché à la Terre il y a 4,472 milliards d'années est le premier témoin... de la naissance de la Lune !

Par **Mathilde Fontez**

La chute a eu lieu le 17 octobre 2012. Si la traînée qu'elle a laissée dans le ciel n'a pas fait la une des journaux mondiaux, elle a tout de même fait celle des quotidiens locaux.

Une chance ! Car c'est après avoir lu son journal du matin qu'une habitante de la ville de Novato, près de San Francisco, s'est mise à fouiller autour de son garage... et qu'elle l'a trouvée : une météorite de 62 grammes, noircie par son entrée dans l'atmosphère.

Les équipes de Peter Jenniskens et de Qing-zhu Yin, spécialistes des météorites à la Nasa et à l'université de Californie, ont ensuite pris le relais. De témoignage en témoignage, ils ont recueilli six fragments. Et, coup de chance, découvrent que le caillou était passé devant les caméras du programme CAMS de la Nasa qui, toute l'année, cartographie la trajectoire des météores.

"Il est très rare de disposer à la fois d'échantillons et de la trajectoire précise", explique Frédéric Moynier, géochimiste à l'Ecole normale supérieure de Lyon.

Pendant deux ans, les fragments de roche ont été cassés, brûlés, compressés, soumis à des champs magnétiques pour faire parler la météorite de Novato. Et aujourd'hui, ça y est : pour Peter Jenniskens et

Qing-zhu Yin, ce qu'elle révèle, c'est ni plus ni moins le secret de la naissance de la Lune !

Concrètement, il s'agit de ce que les spécialistes appellent une "chondrite", un morceau d'astéroïde le plus banal qui soit, provenant de la ceinture entre Mars et Jupiter. Pour être précis, elle appartient à la famille du groupe L, qui gravite au milieu de cette ceinture.

Surtout, elle recèle des apatites, des grains de phosphate de calcium, qui ont un immense intérêt pour les minéralogistes : ils contiennent en effet de l'uranium, un matériau radioactif qui se désintègre au fil des millénaires pour former du plomb. *"En mesurant la quantité de plomb, on peut connaître la date à laquelle la météorite s'est solidifiée",* explique Frédéric Moynier. Et donc, lui donner un âge...

Enjeux

La Lune serait née peu de temps après le système solaire de l'impact d'un corps de la taille de Mars qui serait venu percuter la jeune Terre. Voilà le scénario. Encore débattu il y a deux ans, il est confirmé aujourd'hui par les analyses des échantillons lunaires et les modèles dynamiques, même si certains détails – en particulier la date – restent flous.

Trois étapes pour faire parler la météorite Novato

Il a fallu près de deux ans aux chercheurs pour reconstituer l'histoire de la météorite depuis sa chute, le 17 octobre 2012, jusqu'à sa naissance... il y a 4,472 milliards d'années.

→ Ou plutôt des âges. Car selon les chercheurs, Novato en a trois. Ses roches ont en effet été chauffées puis refroidies à trois reprises. Elle a donc subi trois grands chocs qui racontent avec précision son histoire. *"C'est un cas d'école!"*, s'enthousiasme Qing-zhu Yin.

Le dernier choc remonte à 9 millions d'années: *"C'est sans doute à ce moment-là que la météorite a été arrachée à son orbite et qu'elle a entamé sa chute vers la Terre"*, précise Peter Jenniskens.

Le deuxième s'est produit il y a 473 millions d'années: à cette date, les astronomes savent que quelque chose s'est produit dans la ceinture d'astéroïdes qui a provoqué de multiples impacts. *"On avait déjà vu cet âge dans d'autres météorites et on a retrouvé des fossiles sur Terre qui prouvent qu'il y a eu alors une intense pluie de météores"*, précise Qing-zhu Yin.

Reste le premier choc. Les analyses ont révélé que Novato a fondu il y a... 4,472 milliards



1 Localiser les fragments

Les météorites sont tombées à l'ouest de la baie de San Francisco. Les radars météo qui les ont détectées ont permis de délimiter une zone de fouilles précise.

d'années. Un âge anormalement jeune pour une météorite. *"La plupart des chondrites datent de plus de 4,56 milliards d'années, ce qui coïncide avec la formation du système solaire"*, explique Audrey Bouvier, cosmochimiste à l'université Western Ontario (Canada). *Les roches de Novato se sont donc solidifiées 100 millions d'années plus tard."*

Or, 100 millions d'années après sa formation, le système solaire a justement subi son plus gros cataclysme: la Terre

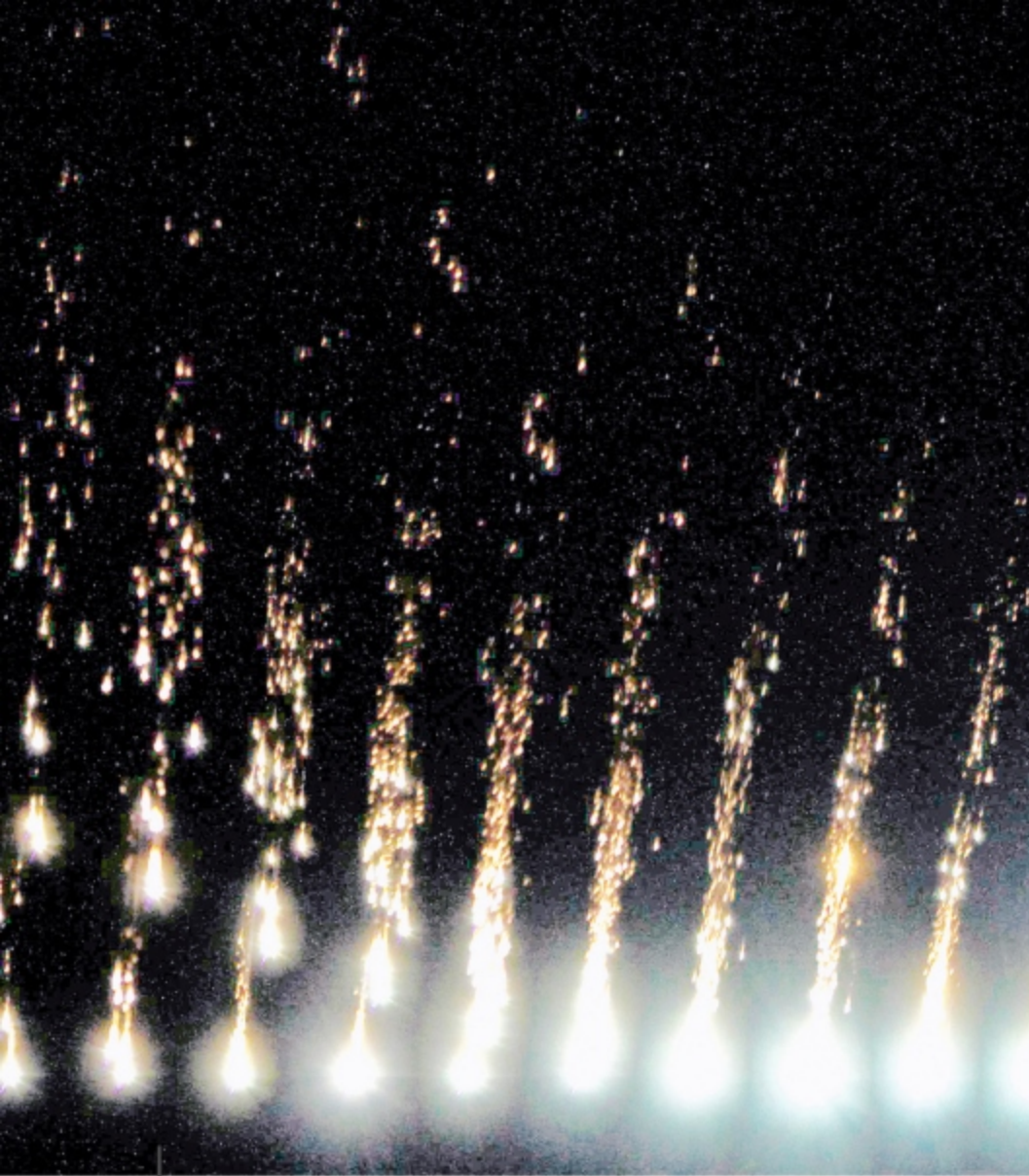
est entrée en collision avec une planète de la taille de Mars, donnant naissance à la Lune.

Se pourrait-il que la petite météorite ait gardé la marque de ce fameux événement? Et qu'elle ait fondu à cause de la chaleur dégagée par la collision qui a façonné la Lune?

"Les modèles montrent que le choc a expulsé de grandes quantités de roches dans toutes les directions: au moins 5 % de la masse actuelle de la Terre!", explique Qing-zhu Yin. *Il est très probable qu'une partie se soit stabilisée dans la ceinture d'astéroïdes..."* Les chercheurs en sont convaincus, la date inscrite dans la météorite Novato n'est pas une coïncidence: elle est l'un de ces débris.

Cette météorite a gardé la trace de l'énorme collision dont a été victime la Terre 100 millions d'années après la formation du système solaire

QING-ZHU YIN
Spécialiste des météorites à l'université de Californie (Davis, Etats-Unis)



2 Reconstruire la trajectoire

Les traînées brillantes dues à la fragmentation de la météorite dans le ciel (réunies ici sur une image) ont été captées par les caméras de la Nasa. De quoi calculer précisément sa trajectoire et reconstituer son orbite.

Et elle raconte donc une histoire qui est aussi la nôtre.

Elle serait née sur Terre, avec la Lune, puis aurait gagné la ceinture d'astéroïdes où elle aurait mené une vie paisible et circulaire 4 milliards d'années durant, avant d'être bousculée à deux reprises... et que son orbite détraquée la retourne finalement à l'envoyeur.

ELLE AIDERA À DATER LE CHOC

Pour la première fois, un morceau de la collision originelle a donc peut-être été trouvé. Un morceau qui permettrait d'en déterminer la date précise, au million d'années près, et ainsi de mettre un point final à l'histoire de la naissance de la Lune, ce chapitre scienti-

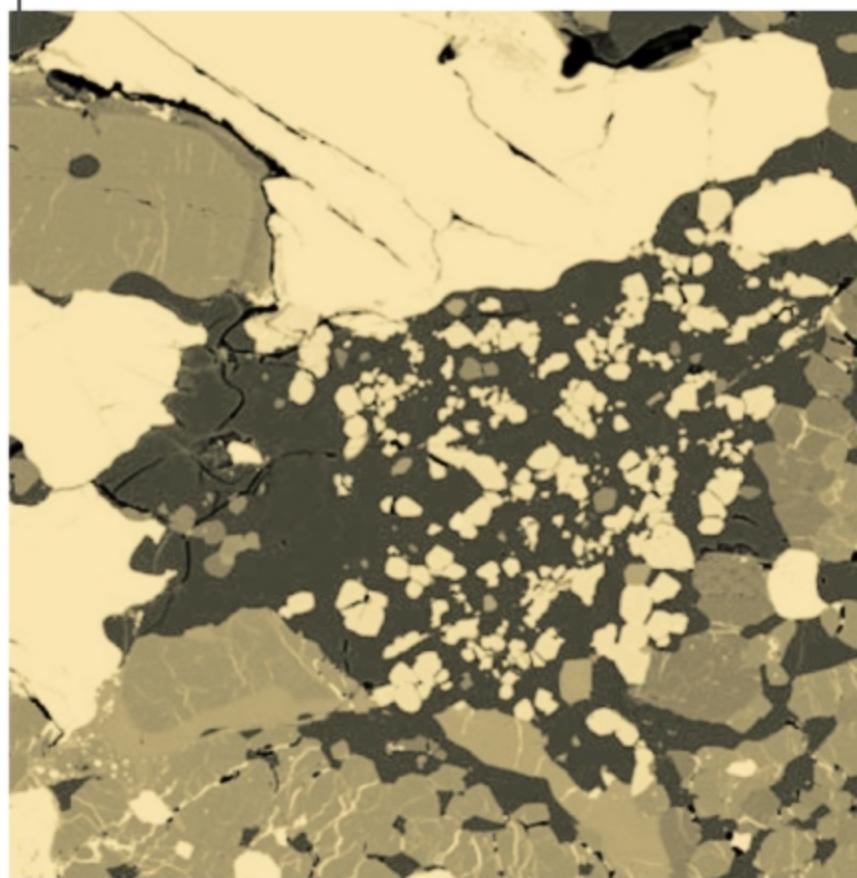
fique qui occupe les astronomes depuis des années (voir *Science & Vie* n° 1129, p. 108 et n° 1154, p. 86).

Reste à ôter le "peut-être"... en trouvant la trace de l'impact géant dans d'autres météorites. Car un unique échantillon ne saurait suffire. *"Il faut voir si d'autres chondrites choquées ont cet âge, renchérit Audrey Bouvier. Tant qu'on n'a pas d'autre preuve, il est difficile d'être sûr que cette météorite n'est pas simplement le résultat d'une banale collision entre astéroïdes dans la ceinture."*

Ce pourrait n'être qu'une question de jours. Car deux spécialistes, William Bottke de l'université Boulder (Etats-Unis) et Timothy Swindle de

3 Analyser les échantillons

Les chercheurs ont découvert six fragments. Deux d'entre eux, compressés, brûlés et soumis à des champs magnétiques, ont révélé au microscope électronique qu'ils recelaient de la roche fondue, dont la composition permet de dater les chocs subis par la météorite.



l'université d'Arizona, ont repris les analyses d'une trentaine de météorites déjà recensées pour y chercher la trace de la collision cataclysmique... et peinent à garder confidentiels leurs résultats à paraître en début d'année. *"Je ne peux vous en dire plus avant que nos résultats soient publiés... mais oui, on retrouve des traces de l'impact dans d'autres météorites"*, lâche William Bottke.

Voilà pourquoi Peter Jenniskens et Qing-zhu Yin sont si sûrs de leur coup. Sûrs d'avoir mis la main sur le premier témoin de la naissance de notre Terre et de sa lune. Sûrs d'avoir trouvé, les premiers, un rescapé du plus grand cataclysme du système solaire.

A voir : la vidéo de l'analyse aux rayons X de l'un des fragments de Novato.

EN SAVOIR PLUS

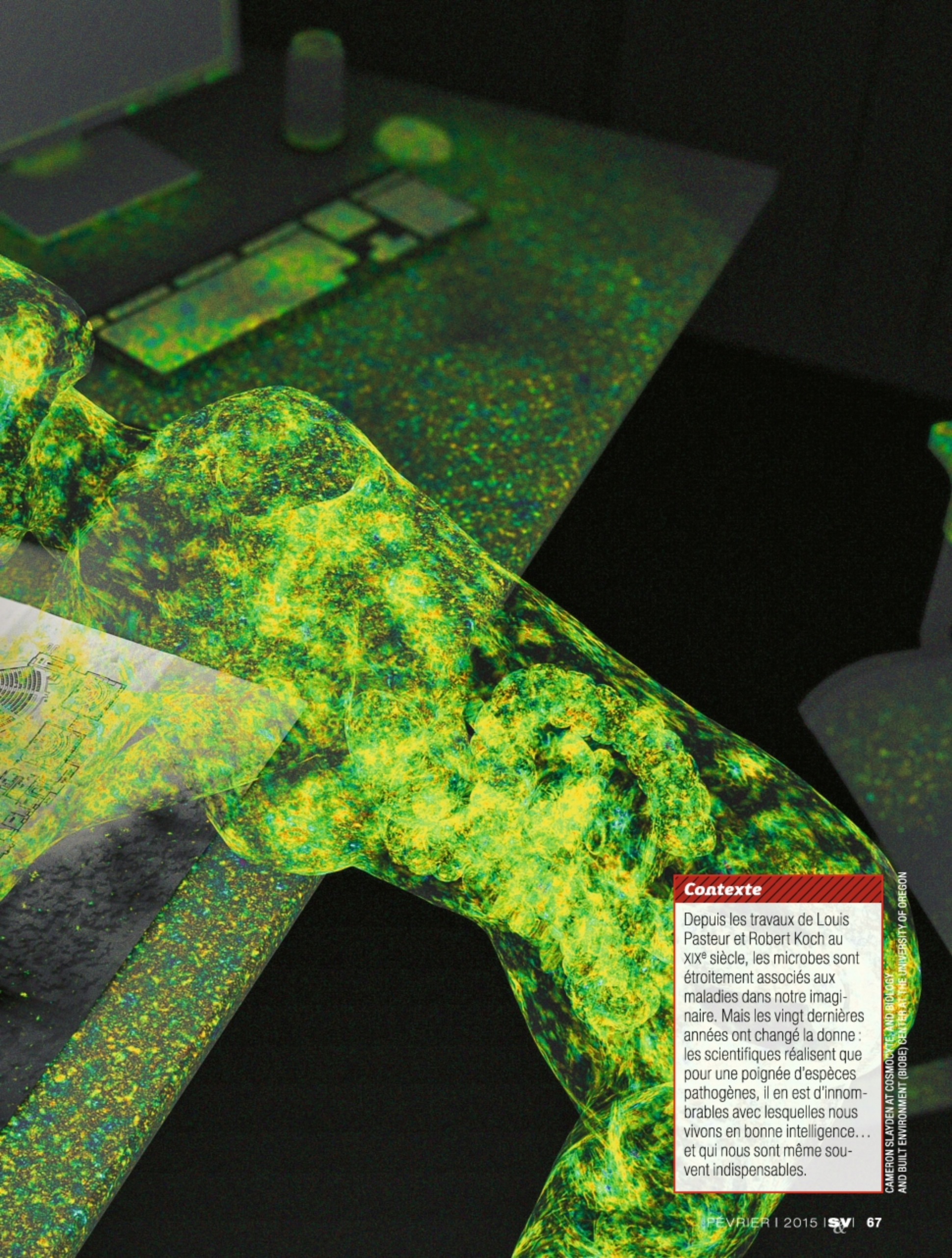
science-et-vie.com

*Bactéries, virus,
champignons...*

Vous ne verrez plus votre maison comme avant

Tapis, meubles, cuisine, vécés...
Dans une maison grouillent des
milliards de microbes. Oui, mais ce
sont les nôtres et ils nous préservent
des agents pathogènes ! Tel est
l'étonnant résultat d'une étude qui a
scanné le microbiome d'un habitat.
De quoi revoir notre idée du sale.

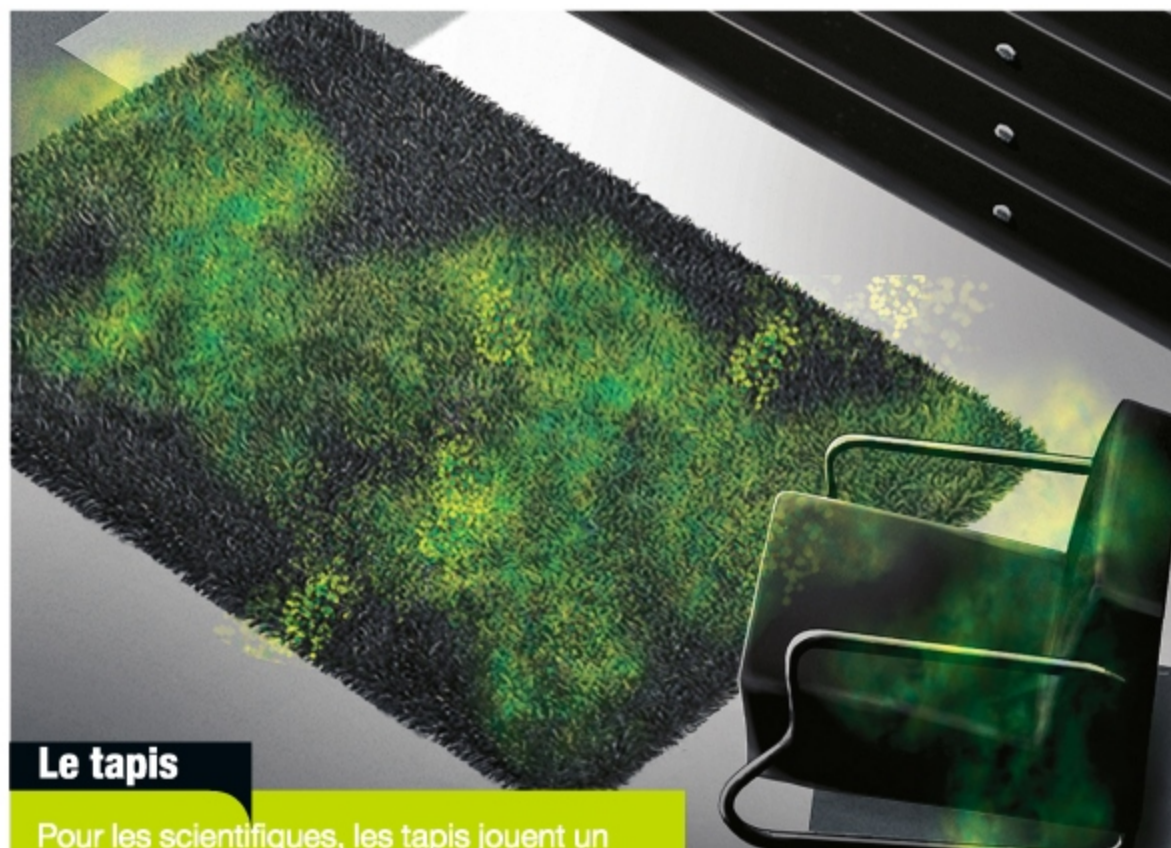
Par **Yves Sciama**



Contexte

Depuis les travaux de Louis Pasteur et Robert Koch au XIX^e siècle, les microbes sont étroitement associés aux maladies dans notre imaginaire. Mais les vingt dernières années ont changé la donne : les scientifiques réalisent que pour une poignée d'espèces pathogènes, il en est d'innombrables avec lesquelles nous vivons en bonne intelligence... et qui nous sont même souvent indispensables.

CAMERON SLAYDEN AT COSMOCKYTE, AND BIOLOGY AND BUILT ENVIRONMENT (BIOBE) CENTER AT THE UNIVERSITY OF OREGON



Le tapis

Pour les scientifiques, les tapis jouent un rôle essentiel car ils sont les derniers refuges riches en microbes que la civilisation n'a pas encore éliminés. Ils contiennent des microhabitats : les plus profonds protègent du dessèchement ; les plus superficiels captent les grains de poussières et les bactéries.

L'expérience aura duré six semaines.

Chaque jour, une vingtaine de "scientifiques amateurs volontaires" ont effectué des prélèvements dans leur logement. Heure par heure, chacun a promené des Coton-Tige humides sur les poignées de porte, les interrupteurs, la table de la cuisine, la cuvette des toilettes, le sol. De quoi collecter des milliers d'échantillons qui ont tous été minutieusement étiquetés.

Pourquoi tant d'efforts ? Pour mener à bien le Home Microbiome Project ("projet microbiote domestique"). Pilotée par une équipe de l'université de Chicago, cette exploration est la plus complète jamais entreprise sur l'environnement domestique et le monde microbien qui le peuple.



Les toilettes

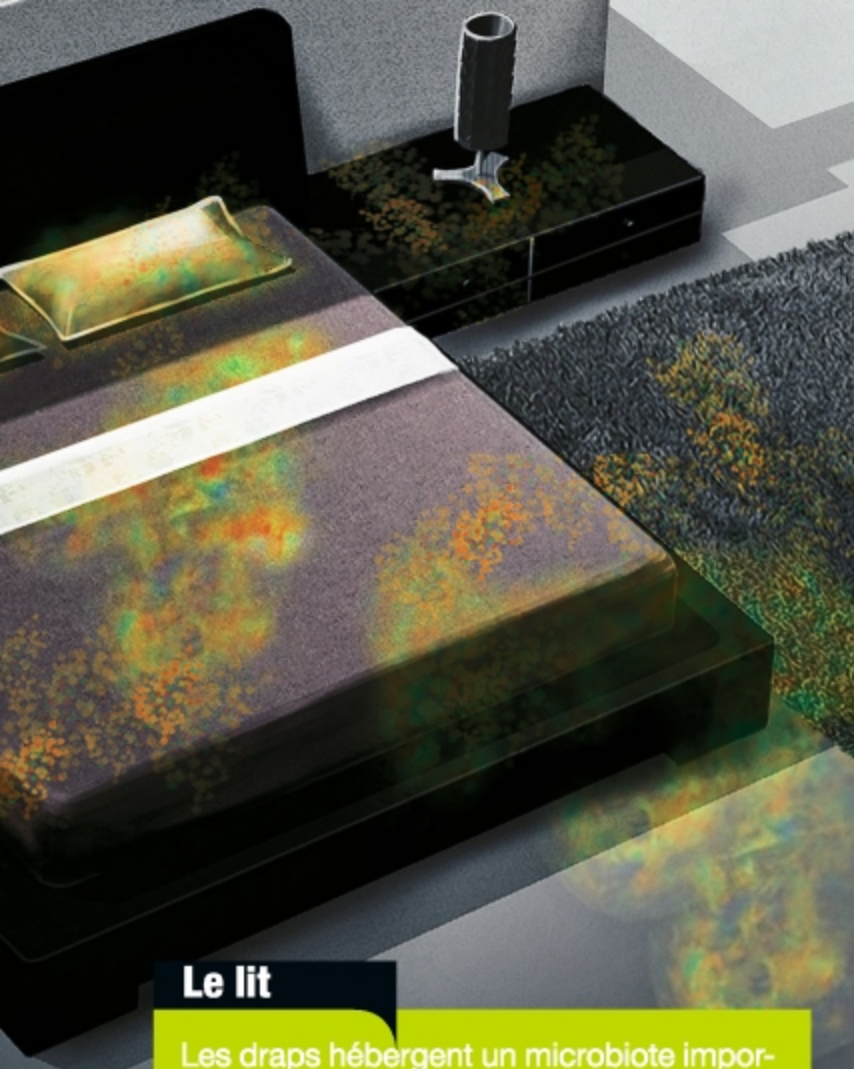
Les microbes fécaux y représentent 45 % du microbiote, presque autant que les cutanés. La famille des entérobactéries, l'une des plus importantes du monde bactérien, est largement représentée. Huit heures après notre passage, on en trouve encore sur le sol, le siège, le porte-savon, ce qui suggère des techniques de résistance.

Une première, puisque jusqu'à présent, les scientifiques s'étaient toujours concentrés sur les hôpitaux et autres lieux où la présence d'agents infectieux est redoutée ; là où l'objectif est le plus souvent la stérilité – c'est-à-dire l'absence complète de microbes. A l'inverse, les banaux microbes de notre quoti-

dien n'avaient jamais fait l'objet d'études approfondies.

Certes, quelques cas particuliers, comme les télécommandes ou les téléphones, avaient bien été passés au crible, mais à l'échelle d'une maison ou d'un appartement tout entier, personne n'aurait pu répondre à ces trois questions simples : où sont exactement les microbes ?

ANYFORM DESIGN



Le lit

Les draps hébergent un microbiote important et stable dominé par les familles de bactéries de la peau (propioniques, staphylocoques, streptocoques...). Les oreillers présentent la plus haute concentration de microbes oraux de l'habitat (actinomycétales, *Fusobacterium*), de l'ordre de 25 %.

D'où viennent-ils? Quelle est leur nature?

La relative ignorance de ce monde invisible, alors que nous y sommes quotidiennement plongés, n'étant pas sans conséquence: elle incite depuis le XIX^e siècle et les découvertes de Pasteur à percevoir notre environnement comme une menace diffuse, venue de l'extérieur... Autour de nous grouillent les microbes, justifiant des règles d'hygiène fondées sur l'usage de détergents et d'eau de Javel depuis plus d'un siècle.

DES GEYSERS MICROBIENS

Or, surprise! Les conclusions du Home Microbiome Project, piloté par Jack Gilbert, de l'Argonne National Laboratory (université de Chicago), viennent prendre l'exact contrepied de ces *a priori* négatifs.

Non que les microbes soient moins nombreux qu'on ne le croirait: l'abondance de notre univers microbien domestique est au contraire phénoménale! Les mesures montrent que chaque centimètre carré de nos maisons est recouvert de centaines de milliers de bactéries, le groupe le plus largement prédominant, mais aussi de champignons et de virus.

Surtout, l'étude révèle que l'origine de cet univers microbien... c'est nous. Telle est l'une des découvertes les plus sidérantes de cette étude: loin d'être menacés par l'extérieur, nos logements nous reflètent parfaitement. La signature microbienne de chaque maison peut sans ambiguïté être rattachée à ses occupants, et même, pour l'essentiel, à leur peau.

Il faut ici savoir que le concept de "signature microbienne" date d'une dizaine d'années, lorsque les scientifiques ont découvert que chaque être humain porte sur sa peau un mélange spécifique de bactéries appartenant à quelque 600 espèces différentes. Une faune propre à chacun, unique, résultat à la fois de nos gènes et de notre histoire microbienne personnelle: rencontres, maladies, mode de vie...

D'où l'idée de l'équipe de Jack Gilbert de demander aux participants d'effectuer aussi des prélèvements à la surface de leur propre peau pour les comparer avec les échantillons récupérés sur les meubles, les sols ou les objets de leur foyer.

Le verdict a surpris les chercheurs, tellement chaque participant, même en parfaite santé, s'est révélé être une inépuisable fontaine microbienne inondant tout sur son passage. Chacun projetant autour

de lui, sans discontinuer, une nuée de quelque 15 millions de micro-organismes par heure!

"C'est plus que les chiens ou les chats, commente Jack Gilbert, car nous sommes l'une des très rares espèces de mammifères à peau nue, dont l'épiderme se renouvelle du coup très activement." Un seul toucher sur une surface humide transfère plus d'un million de bactéries.

Si l'équipe de Jack Gilbert a révélé que ce geyser microbien caractérise et identifie les habitants, elle a aussi souligné que la faune microbienne n'est pas fixée une fois pour toutes; au contraire: elle évolue.

DES MICROBIOTES FAMILIAUX

"Notre étude a montré que le fait de vivre ensemble fait converger nos signatures bactériennes qui, dans une même famille, deviennent très homogènes, note Jack Gilbert. Et quand il y a un chien dans cette famille, ses membres se rapprochent microbiologiquement, sans doute parce que les caresses et les léchages de l'animal transfèrent des micro-organismes..." Si l'empreinte de chacun reste unique, elle tend tout de même à se rapprocher de celles des autres habitants.

Et même pas besoin de lien familial. Une simple cohabitation suffit à être un puissant facteur de convergence des microbiotes, les colocataires acquérant manifestement des populations entières de microbes les uns des autres. L'un des participants de l'expérience, un étudiant qui louait une chambre dans l'appartement d'un couple, s'est ainsi avéré très proche microbiologiquement de ses hôtes.

Jargon

Le microbiote correspond à l'ensemble des espèces microbiennes qui peuplent un **microbiome**, soit un espace bien défini (localisation, PH, température).



Les plantes

Bactéries et champignons occupent la moindre cavité des feuilles ou de la tige. Mais ils sont surtout nombreux dans le sol, qui est d'une richesse microbienne insoupçonnée (y compris de petits organismes). La plante émet du pollen, des tissus morts et des poils riches en microbes.



La cuisine

Le microbiote de la cuisine, en particulier du plan de travail, est régulièrement modifié par les apports extérieurs. Ainsi, la manipulation de légumes libère des bactéries du sol et des surfaces végétales ; et les produits carnés et laitiers (famille des lactobacilles) ont leurs propres microbes...



La douche

Le microbiote de la salle de bains forme des biofilms : des réseaux structurés adhérant aux surfaces où se répartissent les organismes. La pomme de douche favorise des germes résistants au chlore qui tendent à former des aérosols (familles des *Methylobacterium* et *Sphingomonas*).

microbienne se déploie dans un environnement bâti d'où, décennie après décennie, nous avons éliminé toute source de micro-organismes autre que nous-mêmes.

DES MICROBES NÉCESSAIRES

Les villes s'agrandissent, se goudronnent au point de rendre impossible tout contact avec la terre ; les matériaux (carrelage, verre, alliages...) deviennent de plus en plus stériles ; les techniques de nettoyage et les produits ménagers sont sans cesse plus performants. Résultat, 80 à 85 % des microbes des maisons modernes sont d'origine humaine.

Qu'en déduire pour notre santé ? Que s'obstiner à stériliser à tout bout de champ notre habitat ne serait pas si bénéfique. Au contraire.

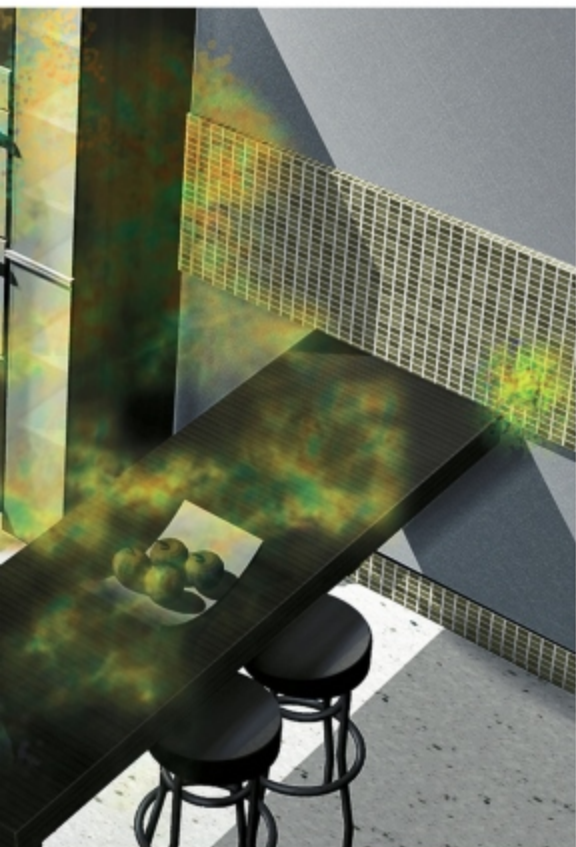
ANYFORM DESIGN

→ *"De plus, comme nous nous étions arrangés pour échantillonner aussi des familles qui déménageaient, nous avons constaté que la vitesse à laquelle nous apposons notre signature sur le lieu de vie est incroyablement élevée, s'émerveille Jack Gilbert. Au bout d'une heure, on peut voir que quelqu'un de nouveau est arrivé dans un logement. Vingt-quatre heures après, c'est*

comme s'il avait toujours vécu là... Du point de vue microbien s'entend."

L'expérience a même été conduite pour l'un des participants dans une chambre d'hôtel, avec le même résultat.

Cette importance de l'occupant du logement, l'étude la démontre comme aucune ne l'avait fait jusqu'ici. Soulignant un fait essentiel : notre extraordinaire productivité



Dans une étude parue en novembre 2014, le chercheur Scott Kelley, de l'université de Californie, à San Diego, a montré, en échantillonnant des toilettes publiques, qu'après une désinfection à l'eau de Javel, les microbes digestifs et génitaux, qui contiennent de nombreux pathogènes, dominaient la faune du sol avec des concentrations dépassant 100 000 par centimètre carré. Mais lorsque, peu à peu, les bactéries cutanées sont revenues, au bout de quatre à cinq heures elles ont formé un tapis microbien inoffensif qui a littéralement submergé les pathogènes, moins aptes à résister au dessèchement et à la lumière.

"Nous ne savons pas encore ce qu'est un environnement microbien optimal, et nous ne savons pas non plus comment le favoriser, indique honnêtement Jack Gilbert. Mais on voit bien que les individus malades présentent presque systématiquement un microbiote appauvri et dominé par un

petit nombre d'espèces opportunistes proliférantes. Tandis qu'énormément de données suggèrent qu'une faune microbienne abondante et diversifiée a des effets protecteurs."

Pour de nombreux chercheurs la leçon est claire : en temps normal, c'est davantage de bactéries qu'il faut dans nos maisons pour neutraliser les pathogènes présents – et non moins.

DIVERSIFIER SON MICROBIOME

Certes, ces scientifiques ne contestent pas qu'en cas d'attaque par une bactérie dangereuse, ou bien autour d'un patient immunitairement affaibli, il puisse être utile de stériliser radicalement l'environnement.

Mais dans la vie normale, ils estiment avec Jack Gilbert que, *"sur le plan sanitaire, on devrait pouvoir passer avec profit d'environ 600, le nombre d'espèces de bactéries actuellement présentes dans nos maisons, à 4 000 ou 5 000 espèces différentes"*. Autrement dit, augmenter la diversité des apports bactériens et ne pas compter uniquement sur notre peau pour alimenter la faune microbienne de nos maisons (voir l'encadré ci-contre).

Comme le déclarait récemment Julia Segre, de l'Agence américaine de la santé, auteure d'un article récent dans *Science* consacré à l'effet positif des microbes de la peau sur notre système immunitaire, *"les gens mangent des yogourts parce qu'ils ont intégré que les microbes du tube digestif leur procurent un bénéfice, mais ils continuent à désinfecter leur peau et à stériliser leurs mains. Pourtant les microbes cutanés procurent aussi un bénéfice!"* En effet, même si Jack Gilbert reconnaît que *"l'hygiène est*

Cinq pistes pour mieux vivre avec les microbes chez soi

Avoir un ou des animaux de compagnie.

Les chiens, en particulier, ont des effets bénéfiques documentés au niveau de la prévention de l'allergie chez l'enfant. Ils rapportent dans le logement de nombreux microbes inoffensifs.

Mettre des plantes dans toutes les pièces.

Ce sont des êtres vivants qui favorisent la biodiversité microbienne. Les sols dans lesquels elles poussent constituent également un habitat fertile.

Ouvrir les fenêtres tous les jours.

Non pour "tuer les microbes", comme on l'entend parfois, mais pour faire entrer la faune microbienne en suspension dans l'atmosphère.

Laver raisonnablement, sans désinfecter. Garder sa maison propre n'est évidemment pas critiquable, mais les désinfectants puissants souvent utilisés à tour de bras sont inutiles, voire nocifs. Laver régulièrement au savon suffit, y compris pour les sanitaires.

Multiplier les tapis. Ce sont des habitats très riches pour les "bons microbes".

"l'invention qui au cours du dernier siècle a sauvé le plus de vies humaines", pour Julia Segre et lui, ce nouveau paradigme favorable aux microbes finira par s'imposer.

Sans remettre en cause les mesures d'hygiène auxquelles de nombreuses populations des pays pauvres n'ont pas encore accès (sanitaires, eau potable...), une nouvelle génération de chercheurs est désormais décidée à montrer que le culte actuel de la stérilité est, dans notre environnement quotidien, à la fois vain et nocif. Et déterminée à chercher un meilleur équilibre avec ce monde de l'invisible que peu à peu, enfin, elle nous aide à discerner.

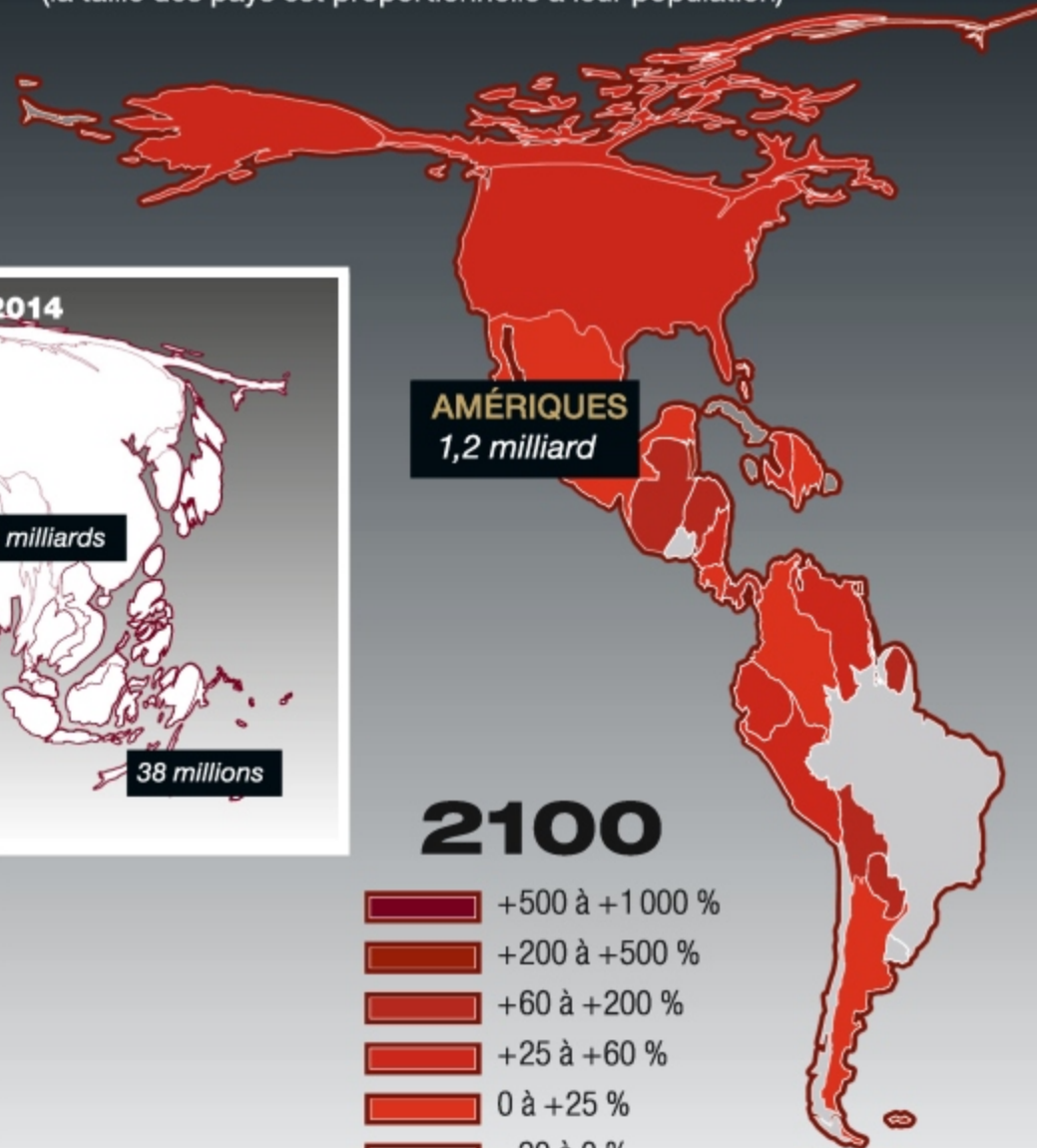
A voir : des animations 3D des microbiomes domestiques. A consulter : les publications sur le sujet.

EN SAVOIR PLUS

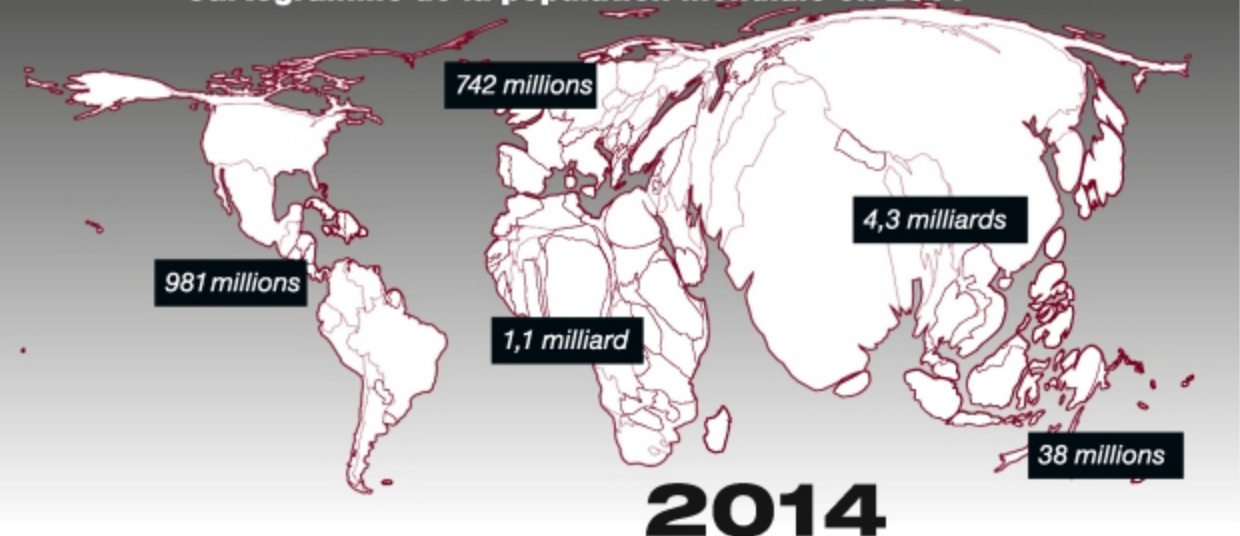
science-et-vie.com

Cartogramme de la population mondiale en 2100

(la taille des pays est proportionnelle à leur population)



Cartogramme de la population mondiale en 2014



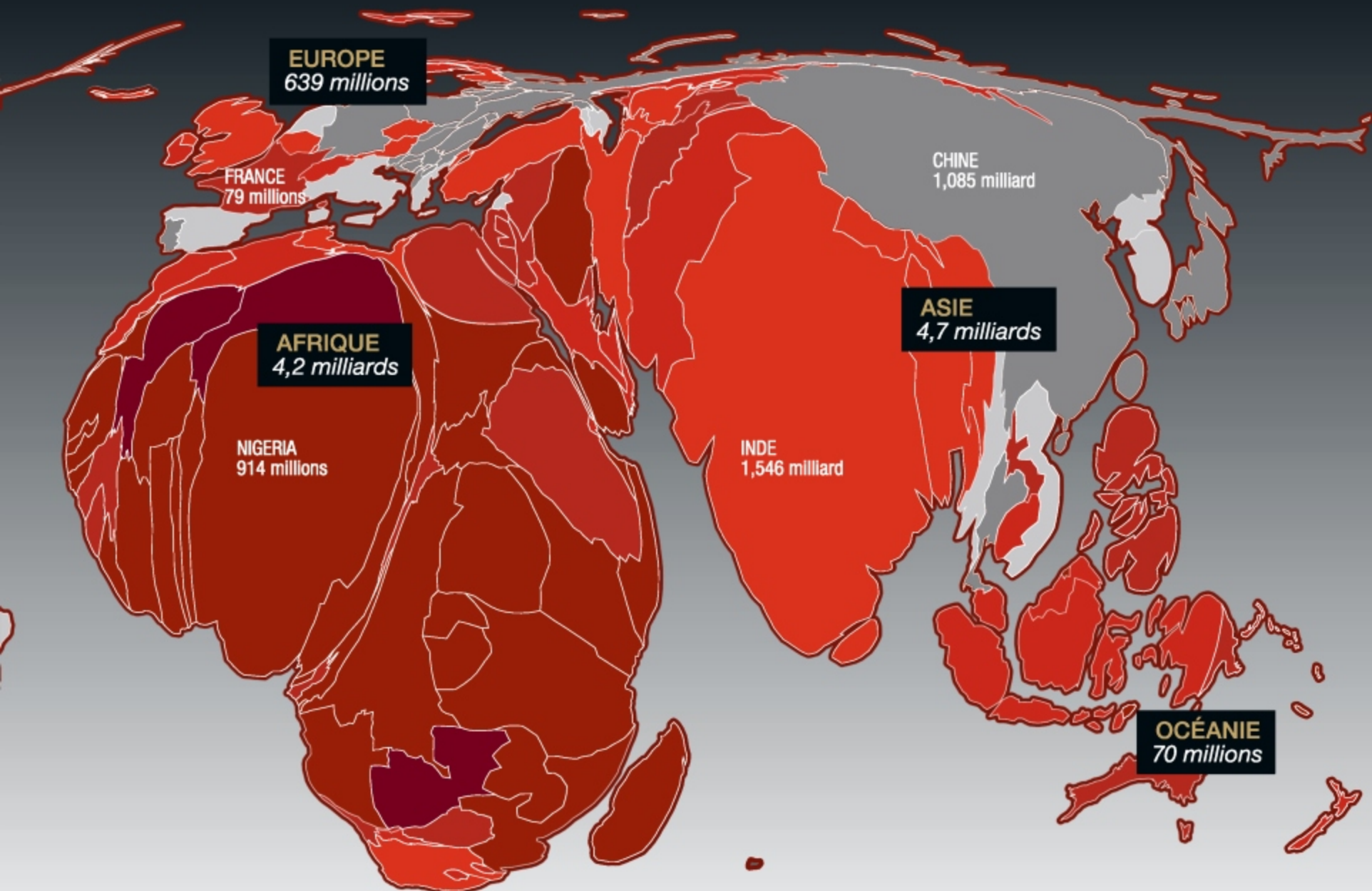
Bombe démographique Elle pourrait exploser

Les experts de l'ONU ont révisé leurs prévisions de croissance de la population mondiale. Loin de se stabiliser à 9,5 milliards en 2050 comme prévu, elle pourrait croître, dopée par l'Afrique, jusqu'à 11 milliards en 2100 ! La querelle de chiffres est ouverte.

Par **Vincent Nouyrigat**

Le "péril jaune" menaçant de submerger la planète... Un monde semé de favelas et de bidonvilles infinis... Une dizaine de milliards de Terriens promis à la famine... Ces annonces alarmistes, aux relents parfois nauséabonds, semblaient faire partie d'un passé révolu.

La fameuse bombe P – P pour population –, promise par l'écologue Paul Ehrlich à la fin des années 1960, paraissait bel et bien désamorcée. Depuis plus d'une décennie, les démographes entretiennent l'idée d'une paisible stabilisation de



La population du continent africain multipliée par 4

la population mondiale après 2050, autour de 9 à 10 milliards d'habitants.

Mais voilà que les experts de l'ONU viennent de réviser leurs prévisions ! Ils anticipent désormais une croissance de la population mondiale tout au long du XXI^e siècle. La vitesse d'augmentation des effectifs s'infléchirait, certes, mais sans pouvoir s'annuler – tel un paquebot emporté par son élan. “Nos nouveaux calculs montrent qu'il y a très peu de chances pour que la population se stabilise d'ici à 2100”, lâche Patrick Gerland, chercheur en démographie à l'ONU.

En 2100, selon l'ONU, le monde comptera 11 milliards d'habitants (contre 7 milliards aujourd'hui), et l'Afrique pèsera presque autant que l'Asie. Le Nigeria rivaliserait même avec la Chine au titre de deuxième pays le plus peuplé.

“Les experts s'accordent tous sur les prévisions en 2050, avec une population autour de 9,5 milliards, car la plupart des humains qui vivront dans 35 ans sont déjà nés, et on peut estimer sans trop d'erreurs le nombre de naissances et de décès dans cet intervalle, souligne Gilles Pison, de l'Institut national d'études démographiques. Le vrai sujet de recherche concerne l'horizon 2100.”

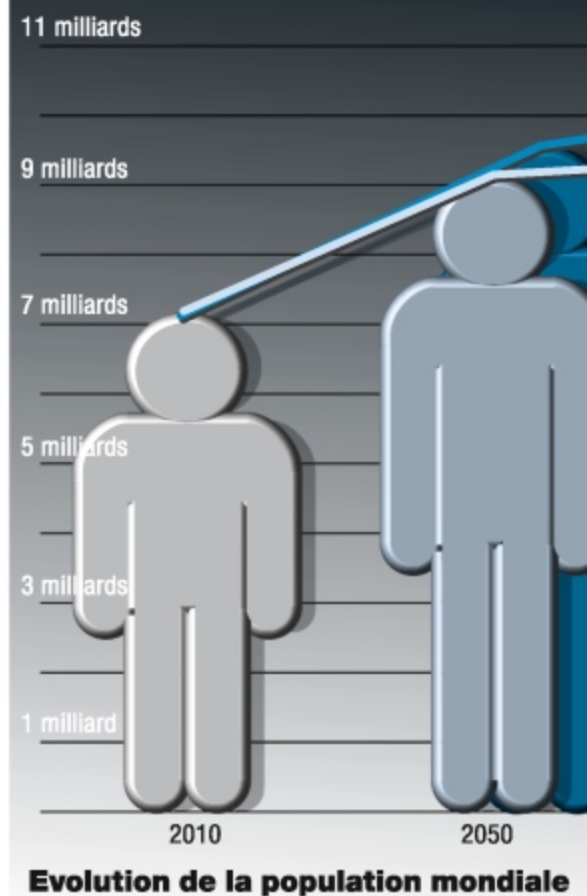
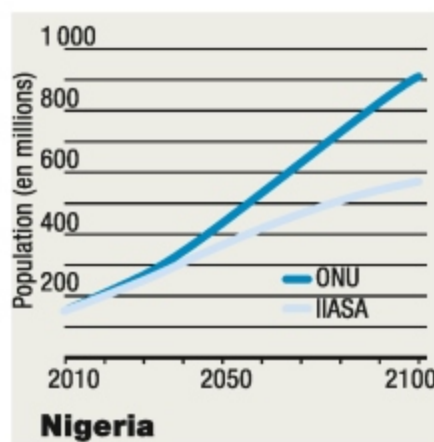
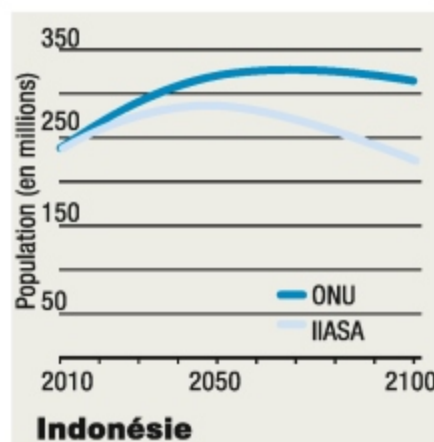
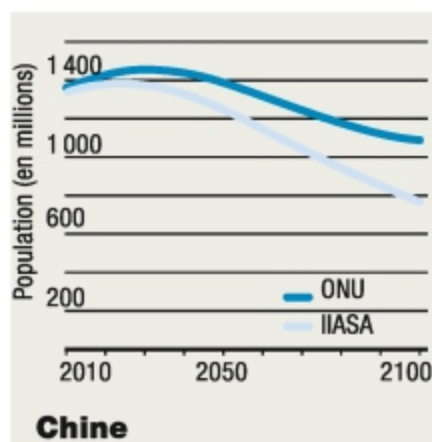
Les démographes onusiens, assistés d'universitaires américains, ont détaillé leur résultat cet automne dans la revue *Science* : la planète comptera probablement près de 11 mil-

Repères

La planète est aujourd'hui habitée par 7,2 milliards d'humains, à raison de 53 habitants par kilomètre carré. Entre les naissances et les décès, cette population augmente d'environ 81 millions de personnes par an. Actuellement, l'humanité affiche un âge médian de 29 ans, une espérance de vie moyenne de près de 70 ans et une fécondité de 2,5 enfants par femme. Le taux de mortalité infantile global est de 37 pour 1 000.

Le scénario de l'ONU versus celui de l'IIASA

Les prévisions varient selon le taux de fécondité anticipé. Ainsi, au Nigeria, l'ONU prévoit 914 millions d'habitants en 2100, contre 576 millions pour l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués (IIASA).



→ liards d'individus à la fin du XXI^e siècle... et non 9 ou 10. Autant d'individus supplémentaires qu'il faudrait d'ores et déjà prendre en compte dans les études sur le réchauffement climatique, l'accès à l'eau, l'alimentation, l'énergie, les grandes infrastructures, etc. Cette fois-ci, l'Asie n'y est pas pour grand-chose. La Chine, encore sous le coup de sa politique de l'enfant unique, sera moins peuplée qu'aujourd'hui.

Le moteur de cette nouvelle expansion humaine se situe en Afrique. Ce continent, pourtant en proie aux pires épidémies, devrait voir ses effectifs quadrupler d'ici à 2100, pour atteindre 4,2 milliards d'individus. Le portrait-robot de la

population mondiale changerait alors profondément: plus d'un habitant sur trois serait africain à la fin du siècle.

Plusieurs pays aujourd'hui marginaux, comme la Tanzanie, la République démocratique du Congo, le Niger, l'Ouganda ou l'Éthiopie devraient passer le cap des 200 millions d'habitants.

Plus frappant: selon ces nouveaux calculs, le Nigeria pourrait compter 914 millions d'habitants! Avec près d'un milliard de citoyens, ce modeste territoire du golfe de Guinée rivaliserait alors avec la Chine pour le titre de deuxième pays le plus peuplé du monde, derrière l'Inde. A peine croyable alors qu'au début des années 2000, les mêmes experts de l'ONU n'imaginaient guère plus de 300 millions de Nigériens à la fin du siècle.

MISE AUX NORMES BAYÉSIENNES

Les raisons de ce revirement? D'abord, les experts de l'ONU ont rassemblé de nouvelles données sur le terrain: ainsi, sur la dernière décennie, le taux de fécondité de 15 pays africains serait en fait plus élevé que ce qui avait été mesuré jusqu'ici. A ce jour, 29 pays dépassent en Afrique l'indice de 5 enfants par femme; et le Nigeria affiche toujours un indice de fécondité de 6.

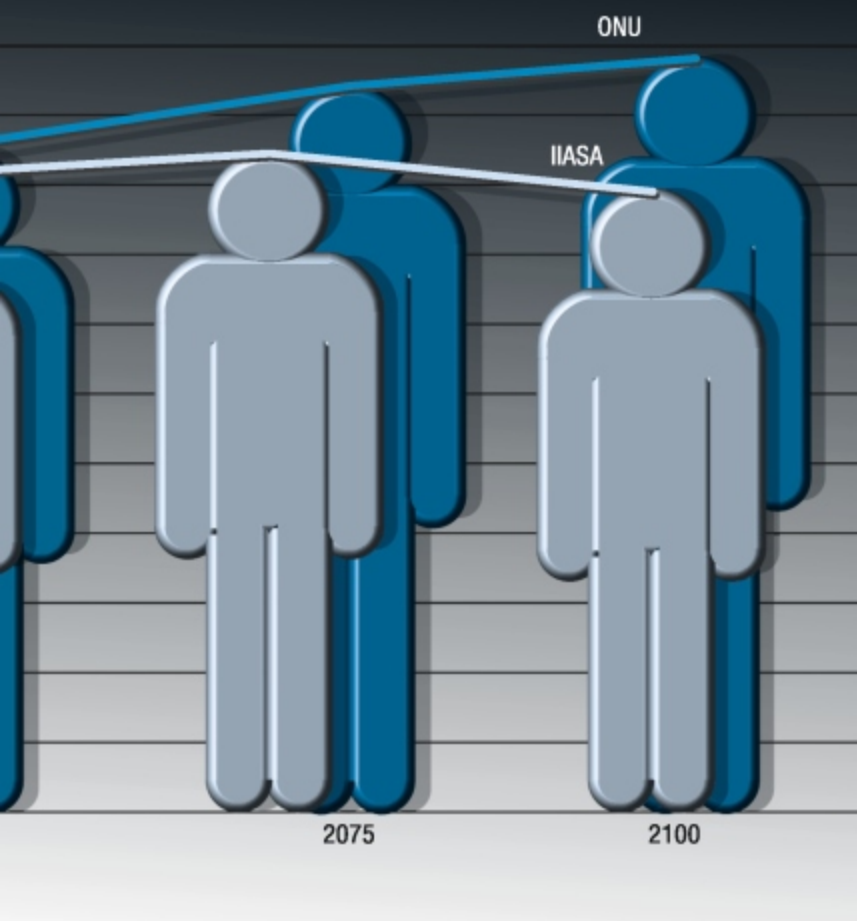
Surtout, ces nouveaux résultats sont liés à un changement



“

PATRICK GERLAND
Démographe,
Organisation des Nations Unies

Nos nouveaux calculs montrent qu'il y a peu de chance que la population mondiale se stabilise d'ici à 2100



Faits & chiffres

Depuis **1951**, l'ONU assure le décompte de la population mondiale. Dès **1954**, ses démographes tentent une projection à 50 ans. Maestria ou réussite insolente, leur prévision de **6,3 milliards d'humains en 2000** s'avéra quasi parfaite (6,1 en réalité). Ces calculs sont régulièrement réajustés ; la prochaine révision aura lieu en juin.

radical de méthode de calcul. Jusqu'à présent, l'ONU se fondait sur l'expertise d'une poignée de démographes chargés d'imaginer l'avenir de la natalité et de la mortalité de tel ou tel pays. Aussi talentueux qu'ils soient, leur jugement recelait une part de subjectivité et d'arbitraire. *"Les projections démographiques sont souvent le reflet des grandes peurs du moment"*, remarque Gilles Pison.

Aux croyances personnelles s'ajoutait aussi un grand flou : la marge d'incertitudes autour de ce scénario subjectif était brutalement définie en ajoutant ou retranchant un demi-enfant par femme pour l'ensemble des pays de la planète sur le siècle à venir. L'étendue des possibles devient alors immense et perd tout intérêt.

"Nous avons revu ces méthodes dignes du XIX^e siècle, tranche Patrick Gerland. Nous construisons maintenant des trajectoires probabilistes de fécondité et de mortalité." Comme dans tant d'autres domaines scientifiques, les démographes de l'ONU se

sont convertis aux statistiques dites "bayésiennes", qui permettent de faire évoluer les modèles en fonction des multiples données expérimentales recueillies (voir notre dossier dans *S&V* n° 1142, p. 48). *"Nourrie d'informations comme les limites de la progression de l'espérance de vie, l'histoire du pays analysé et d'autres pays du monde aux caractéristiques similaires, cette approche nous permet de simuler l'ensemble des futurs potentiels d'un pays"*, confirme le démographe.

Ainsi, la dynamique future des pays d'Afrique subsaharienne s'appuie sur les trajectoires passées de pays d'Amérique du Sud et d'Asie, qui ont déjà connu leur transition démographique. C'est-à-dire le passage d'un régime de fortes natalité et mortalité à une société de faibles natalité et mortalité.

BATAILLE DE MÉTHODOLOGIE

Ces prédictions onusiennes sont difficiles à avaler pour certains démographes. Quelques jours après la parution de ces travaux, l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués (IIASA) livrait un tout autre pronostic : d'après cet éminent institut autrichien, la population mondiale devrait atteindre un pic vers 2070, à 9,4 milliards d'habitants, avant de décliner doucement, pour tomber à 9 milliards en 2100.

La méthode est ici très différente. Au lieu de pures statistiques, l'IIASA s'appuie sur l'analyse d'un groupe de 550 chercheurs à travers le monde. Des universitaires qui accordent une grande importance au niveau d'éducation des populations. *"Après l'âge*



WOLFGANG LUTZ
Responsable du programme population mondiale à l'IIASA (Autriche)

Nos modèles tiennent, eux, compte du niveau d'éducation des femmes, moteur de la baisse de la fécondité

et le sexe, le niveau d'éducation est le critère observable le plus puissant d'une population, conditionnant fertilité et mortalité, justifie Wolfgang Lutz, responsable du programme population mondiale à l'IIASA. L'augmentation du niveau d'éducation des femmes est le moteur principal de la baisse de la fécondité."

L'inflation continue, 11 milliards d'humains dont près d'un milliard de Nigériens selon l'ONU. La baisse assurée, 9 milliards de Terriens, avec moins de 600 millions de Nigériens d'après l'IIASA...

Quel destin attend au juste l'humanité ? *"Les simulations statistiques de l'ONU sont très sensibles aux tendances de départ"*, persifle Wolfgang Lutz. *"Il est vrai qu'un petit écart*

→ sur la fécondité peut avoir des effets multiplicateurs considérables au fil des générations, aboutissant à des résultats gigantesques, reconnaît Patrick Gerland. En même temps, l'IIASA introduit une nouvelle dimension d'incertitude en tentant d'anticiper l'évolution du niveau d'éducation sur la foi des objectifs des grands programmes officiels."

cela va conduire à une baisse du niveau de fécondité".

Une baisse, oui, mais à quelle vitesse? Ceux qui avaient parié il y a quelques années sur une forte chute, comparable à celles observées en Amérique latine ou en Asie, en sont pour leurs frais. "Les trajectoires et le rythme de cette transition peuvent être très différents selon les cultures et

de sept enfants par femme à deux. "Si ces quelques cas extrêmes interpellent, la probabilité pour que la plupart des pays d'Afrique subsaharienne connaissent l'expérience de l'Iran est statistiquement infime", tranche Patrick Gerland. Selon l'ONU, l'arrêt de la croissance de la population africaine au cours du XXI^e siècle demanderait une baisse de la fertilité sans précédent connu.

Pour l'instant, les ingrédients d'un tel exploit ne sont pas réunis. "Beaucoup de dirigeants africains ne semblent pas encore convaincus de l'intérêt de limiter les naissances", observe Gilles Pison. Dans ces pays, le quart des demandes de contraception n'est pas rempli, et ce taux n'évolue plus depuis vingt ans. On est loin des grands programmes volontaristes de planning familial chinois.

S'il est déjà trop tard pour influencer sur le niveau de population mondiale de 2050, le champ des possibles reste ouvert à l'échéance 2100. Le Nigeria n'est pas absolument condamné à vivre un début de XXII^e siècle sous une densité de population infernale, proche de celle du Bangladesh actuel.

"Par le passé, ce genre de projection apocalyptique avait servi de signal d'alerte aux autorités de pays en voie de développement, relève David Coleman. Lorsqu'elles sont entendues, les prévisions de l'ONU peuvent se falsifier d'elles-mêmes."

Une manière de désamorcer la bombe P.

A consulter : les deux études concurrentes sur la population en 2100.

science-et-vie.com

Combien serons-nous en 2300 ?

Plusieurs démographes se sont essayés à cette prévision on ne peut plus périlleuse. Les experts de l'ONU ont même produit, il y a dix ans, un rapport de 250 pages sur la question. Verdict : en 2300, la planète devrait compter environ... 9 milliards d'habitants, soit autant qu'en 2050. Sachant que les progrès de l'espérance de vie mondiale (estimée entre 87 et 106 ans en 2300) ont peu d'influence sur la croissance démographique. Faut-il croire à cette prévision? Si elle ne paraît pas insensée, cette projection touchant au XXIV^e siècle dépend lourdement des hypothèses de départ sur le taux de fécondité : que le monde se dirige vers le standard européen de 1,5 enfant par femme, et nous ne serions plus que 1 milliard en 2300; 2,5 enfants par femme, comme le Sud-Est asiatique, nous mèneraient à... plus de 77 milliards.

Les deux groupes de chercheurs se déchirent en ce moment sur le futur visage de l'Afrique. Ce continent constitue assurément la plus grande source d'incertitude. Les signaux d'un début de transition démographique tardent à apparaître de façon claire. D'autant que les registres d'état civil sont souvent de piètre qualité, et que les enquêtes de terrain manquent. Spécialiste de la dynamique des populations à l'IIASA, Sergei Scherbov insiste pourtant sur le fait que "la moitié des jeunes Nigériennes de 20-24 ans ont reçu une éducation secondaire, deux fois plus que la génération précédente :

les économies, signale David Coleman, professeur de démographie à Oxford. *Prédire le calendrier d'une transition de fécondité a toujours été très difficile.*"

QUEL MODÈLE DE TRANSITION ?

Il faut dire que la transition démographique est le fruit d'interactions entre niveau d'éducation, âge au mariage, intervalle entre les naissances, disponibilité de moyens de contraception modernes, conditions politiques et économiques... Un jeu subtil dont émergent parfois de grosses surprises. A l'image de l'Iran : en moins de trente ans, ce pays est passé

avec

RTL

Retrouvez
**Vincent
Nouyrigat**

Le lundi
26 janvier
20h-22h



**EN
SAVOIR
PLUS**

& Science techniques

GREFFE D'UTÉRUS

78

VOITURE AUTONOME

84

GOOGLE

98



TERRORISME

102

**^ LE PREMIER BÉBÉ
NÉ D'UN UTÉRUS
TRANSPLANTÉ**

Si Vincent (ici son échographie à 18 semaines) s'est bien développé à l'intérieur du ventre de sa mère biologique, il a grandi dans un utérus prélevé sur une donneuse.



Greffe d'utérus

L'exploit qui bouleverse la maternité

En Suède, une greffe d'utérus a permis pour la première fois de donner la vie. Or, la prouesse pourrait être reproduite chez un homme ! Même si cela reste théorique.

Par **Marine Corniou** et **Caroline Tourbe**

Repères

2000 : premier essai de greffe d'utérus en Arabie saoudite, qui se solde par un échec. **2011** : une patiente greffée en Turquie tombe enceinte, la grossesse ne se poursuit pas. **2013** : l'équipe suédoise réalise une greffe d'utérus sur neuf patientes, dont sept avec succès. **2014** : trois grossesses débutent. **Septembre 2014** : première naissance, en Suède, d'un bébé dont la mère a reçu une greffe d'utérus.



Le bébé s'appelle Vincent. Il est né en septembre dernier à l'hôpital universitaire de Göteborg, en Suède. Il est en pleine santé et rien ne permet de le distinguer des autres nourrissons.

Pourtant, sa naissance est le fruit d'une épopée scientifique et médicale: Vincent est le premier humain né d'un utérus transplanté. La matrice naturelle dans laquelle il s'est développé pendant de longs mois était bien située dans le ventre

de sa mère biologique... mais il s'agissait d'un organe prélevé sur une donneuse.

Jamais auparavant des chirurgiens n'étaient parvenus à réaliser pareille greffe viable, qui permette à un utérus réimplanté d'accomplir sa mission première: assurer le développement d'un petit être humain.

Cette prouesse répond à une demande de femmes nées sans utérus, une malformation qui touche 1 femme sur 4 500 dans le monde, ou qui ont été

△ Vincent est né par césarienne à l'hôpital de Göteborg au mois de septembre après 31 semaines de grossesse.

> Sa mère, née sans utérus ni vagin (syndrome de Rokitansky), a reçu une greffe d'utérus: une opération qui a duré cinq heures pour elle (photo), dix heures pour la donneuse.



victimes d'une ablation pour raison médicale. Pour elles, la transplantation représente le seul espoir de porter un enfant.

Mais le plus surprenant dans cette greffe d'un organe synonyme de maternité, c'est qu'aucune structure purement "féminine" ne s'est révélée indispensable à son bon déroulement. En théorie, donc, l'utérus pourrait être transplanté chez n'importe qui, pourvu que son corps puisse accueillir le volume nécessaire au développement d'un fœtus. Une femme évidemment... mais également un homme. De quoi bousculer la définition même de grossesse



MATS BRÄNNSTRÖM
Obstétricien, a dirigé la greffe à l'hôpital universitaire de Göteborg (Suède)

Le greffon est destiné à être temporaire puisque sa seule utilité est de permettre la grossesse



et de maternité. Et dissocier pour la première fois reproduction et corps des femmes.

FAIRE UNE PLACE À L'ORGANE

Pour comprendre, revenons sur les détails de l'opération réalisée sur la mère de Vincent. Pour des raisons congénitales, la jeune femme est née sans utérus ni vagin. Quant à la donneuse, c'est une amie de la famille âgée d'une soixantaine d'années, bien entendu volontaire, ménopausée et immunologiquement compatible avec la mère.

Où est la différence avec les transplantations cardiaques ou

pulmonaires? Il ne s'agit pas ici d'une greffe de remplacement. Non, il faut créer, pour ne pas dire "inventer", une place pour cet organe et lui trouver les meilleurs points de raccordement avec l'anatomie de la receveuse. Ainsi les chirurgiens n'ont-ils eu d'autre choix que de relier l'utérus à des artères et des veines dont ce n'est pas la fonction naturelle.

"En l'occurrence, le greffon est connecté aux vaisseaux iliaques externes [qui assurent la circulation vers les membres inférieurs], comme dans le cas d'une transplantation rénale,

En France dès 2015 ?

300 à 400 Françaises pourraient être concernées par cette greffe. Et deux équipes se préparent à réaliser les premières opérations, à l'hôpital Foch de Suresnes et au CHU de Limoges. Une demande de Programme hospitalier de recherche clinique pour 2015 a été déposée. *"Nous travaillons avec des donneuses décédées",* précise Yves Aubard (CHU de Limoges). Ethique, la raison de ce choix est aussi technique: plus large, le prélèvement du réseau vasculaire de l'utérus, quelques heures après le décès, optimise la qualité du greffon. Yves Aubard vient d'achever une étude de faisabilité chez 14 donneuses: *"Si on nous donne le feu vert, le temps de faire les FIV, les greffes et de respecter un délai de 3 à 6 mois, les premières grossesses débuteront fin 2015!"*



→ *mais de façon bilatérale*", détaille Mats Brännström, qui a dirigé la greffe.

Autre prouesse technique: l'ancrage de l'utérus dans le corps. Il lui faut répondre à des contraintes physiques extrêmes, puisqu'il s'agit du seul organe capable de multiplier son volume par 1 000 en à peine neuf mois. L'équipe a choisi de relier la matrice non seulement aux ligaments du bassin, mais aussi aux tissus alentour, comme ceux de la vessie. Pour limiter les risques d'affaissement, une fixation supplémentaire a été effectuée sur le vagin (reconstitué quelques années auparavant pour assurer une vie sexuelle à la jeune femme).

En revanche, les chirurgiens n'ont pas encore travaillé sur les connexions nerveuses de l'organe. Ce n'est certes pas un point vital, mais sans raccordement sensoriel du greffon, la receveuse n'a pu "ressentir" les mouvements du fœtus de l'intérieur. L'utérus était comme "anesthésié".

Voilà pour la transplantation. Et pour la grossesse? Les médecins ont attendu un an. Le temps de vérifier que le traitement antirejet était bien supporté et le greffon bien implanté.

Vint le moment décisif: l'implantation d'un embryon obtenu par fécondation *in vitro* d'un ovule de la receveuse par un spermatozoïde de son conjoint. La grossesse, sous très haute surveillance, s'est déroulée normalement jusqu'à l'arrivée de Vincent, 31 semaines et 5 jours plus tard.

Prématurément donc, car un début de pré-éclampsie (complication grave avec hypertension) a imposé d'interrompre la grossesse. Mis à part cela, tout s'est déroulé parfaitement. L'enfant va bien.

UN HOMME "ENCEINT" ?

L'enthousiasme est tel que Mats Brännström se dit prêt à renouveler l'expérience... chez la même femme: *"Le greffon est destiné à être temporaire, puisque sa seule utilité est de permettre une grossesse. Nous allons examiner la patiente et décider si on le laisse en place pour tenter une seconde grossesse d'ici quelques mois."*

Pareil exploit est-il envisageable avec un homme? Pour la naissance, le recours à la césarienne permettrait aisément de se passer des voies naturelles. Et l'implantation de l'embryon? *"Il faudrait le faire sans passer*

LES 3 ÉTAPES POUR QU'UN HOMME PUISSE PORTER UN ENFANT

1 L'étape de la greffe Les réseaux vasculaires sont connectés...

Aucune structure purement féminine n'est indispensable: l'utérus, prélevé avec toutes ses veines et artères, serait connecté aux vaisseaux iliaques externes (qui assurent la circulation vers les membres inférieurs) de l'homme.

... et l'utérus est solidement fixé

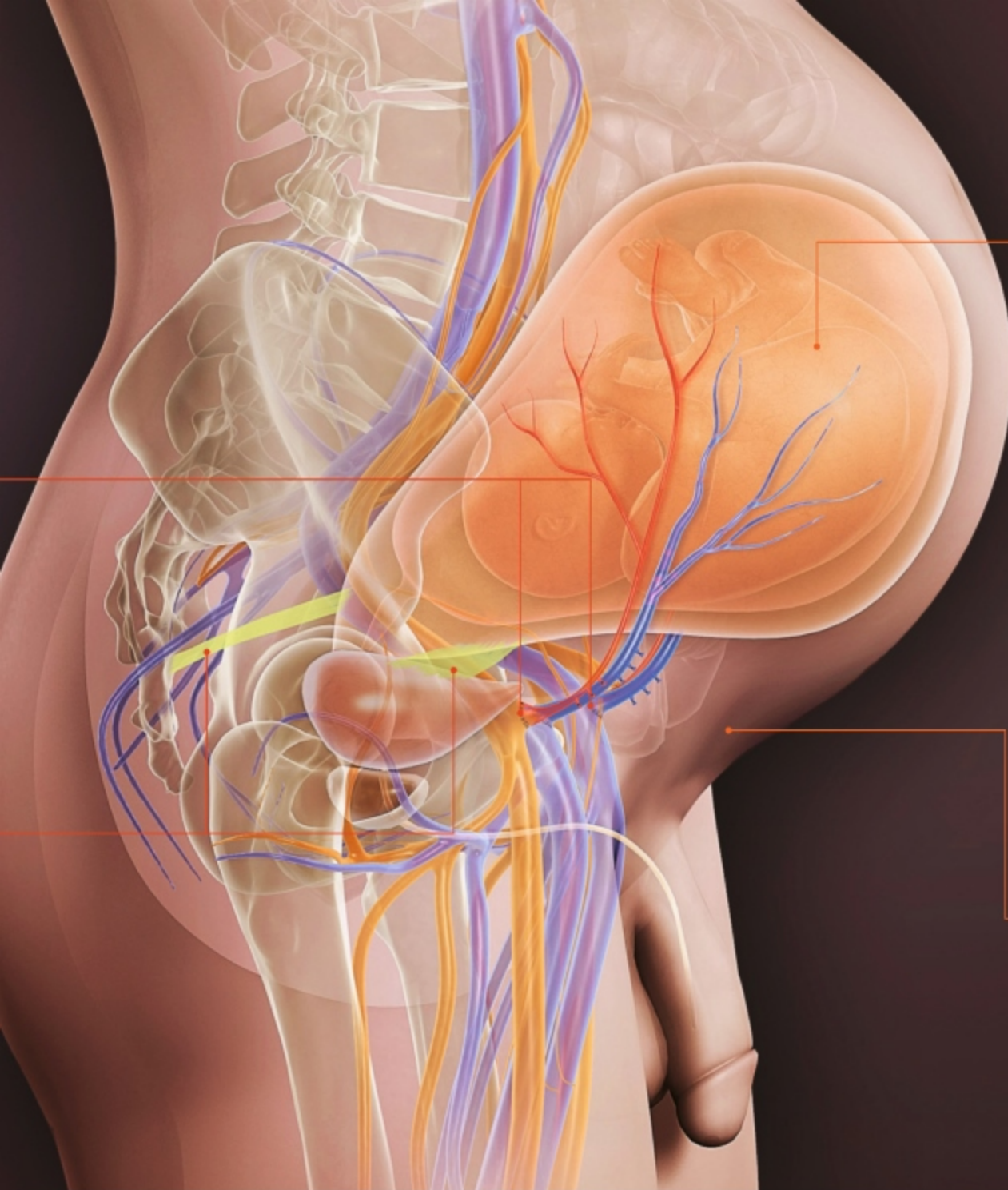
L'utérus multiplie son volume par 1 000 durant la grossesse, et son poids devient considérable. Il faudrait donc le relier le plus solidement possible, par des connexions ligamentaires (bassin, vessie...).

par la voie vaginale, ce qui est techniquement réalisable", explique Jacques Balayla, chercheur au département d'obstétrique-gynécologie de l'université de Montréal. Concrètement, il s'agirait d'opérer une incision dans la paroi abdominale, puis directement dans l'utérus. Ce qui se pratique très rarement sur des femmes, avec un taux d'échec élevé.

Concernant l'environnement hormonal, poursuit Jacques Balayla, *"il faudrait évidemment apporter une supplémentation hormonale féminine pendant les premières semaines, mais pas forcément plus longtemps. En effet, la grossesse pourrait être autosuffisante sur le plan*

Vers des "machines à bébés" ?

Les médecins savent maintenir des embryons *in vitro* jusqu'au 5^e jour de développement avant de les réimplanter. Ils peuvent sauver des bébés nés après seulement vingt-deux ou vingt-trois semaines de grossesse (moins de six mois). Mais combler l'écart entre ces extrêmes est impossible. En 2003, Helen Liu, de l'université Cornell (New York), a réussi à faire se développer un embryon de souris *in vitro* presque jusqu'à terme, sur une matrice de cellules endométriales, qui tapissent normalement l'utérus. L'embryon respirait, bougeait, mais n'a vécu que quelques heures. La chercheuse a par la suite maintenu un embryon humain en vie pendant dix jours, mais la législation impose de limiter la recherche à quatorze jours... Reste que certains sont convaincus que d'ici vingt ans, des "machines à bébés" permettront de dissocier reproduction et corps humain.



2 L'étape de l'implantation de l'embryon

L'embryon obtenu par fécondation *in vitro* serait introduit dans l'utérus via une incision de la paroi abdominale. Cette technique est déjà pratiquée chez la femme, mais elle est complexe, et son taux d'échec élevé... Il faudrait aussi recréer un environnement hormonal féminin les premières semaines, avant que le placenta sécrète les hormones nécessaires à la grossesse.

3 L'étape de l'accouchement

La césarienne, intervention chirurgicale parfaitement maîtrisée chez la femme, consisterait à faire sortir l'enfant de l'utérus par une incision de la paroi abdominale.

hormonal par la suite: le placenta sécrète tout ce qui est nécessaire au maintien de la gestation". Ahurissant! Le premier homme "enceint" n'aurait donc plus rien d'une chimère...

PAS À L'ORDRE DU JOUR

En réalité, ces réponses se fondent sur des connaissances approfondies de l'organisme de la femme enceinte – et non de l'homme. Jacques Balayla reconnaît donc que la possibilité de voir un jour un futur père "enceint" reste actuellement purement théorique.

En effet, il n'est pas question, à court terme, de se pencher sur le sujet. Toutes les recherches menées jusqu'ici chez les

animaux n'ont impliqué que des femelles. Il n'empêche. *"La greffe est techniquement réalisable. Même si ce n'est pas dans ce but que nous travaillons, il faut s'attendre à des demandes d'hommes, surtout de transsexuels"*, confirme Yves Aubard, chef du service de gynécologie au CHU de Limoges, dont l'équipe est l'une des rares dans le monde à s'appêter à réaliser une série de greffes utérines, dès cette année.

Reste que, en 2012, avant même que l'équipe suédoise se lance dans sa première tentative, La Fédération internationale de gynécologie et d'obstétrique a pris les devants en adoptant une liste restrictive

de critères déontologiques. Le médecin canadien a participé à leur élaboration: *"Nous y précisons que la receveuse doit être de sexe génétique féminin. Ce qui exclut donc les hommes et les transsexuels, la seule raison étant l'absence d'études animales... Toute tentative en la matière serait non conforme à la déontologie"*, poursuit-il.

De toute façon, la greffe d'utérus appliquée aux seules femmes est déjà critiquée. Trop chère, trop risquée pour la mère et, bien sûr, pour le fœtus, soumis à un traitement immunosuppresseur continu... Le débat sur le premier homme capable d'enfanter tout seul n'est donc pas encore à l'ordre du jour.

A lire : la publication de Mats Brännström et son équipe ; les critères adoptés par la Fédération internationale de gynécologie et d'obstétrique.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Dossier spécial

VOITURE AUTONOME

Un **concept** qui arrive à maturité p. 86

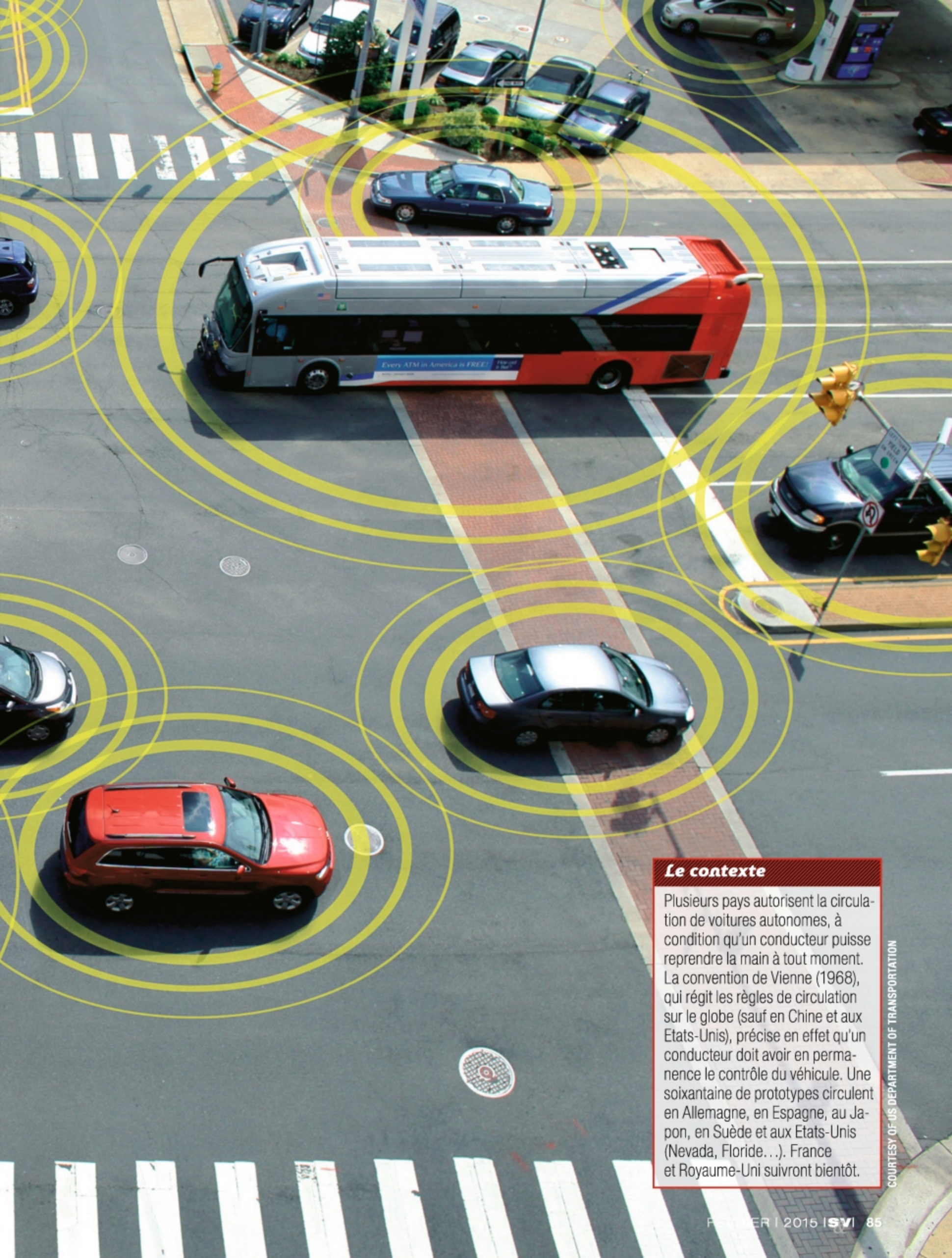
Comment l'**électronique** prend le contrôle p. 88

Les points forts de la **conduite** automatisée p. 90

Les **défis** encore à relever p. 92

Les **fonctions** actuellement disponibles p. 94

Par **Brice Perrin**

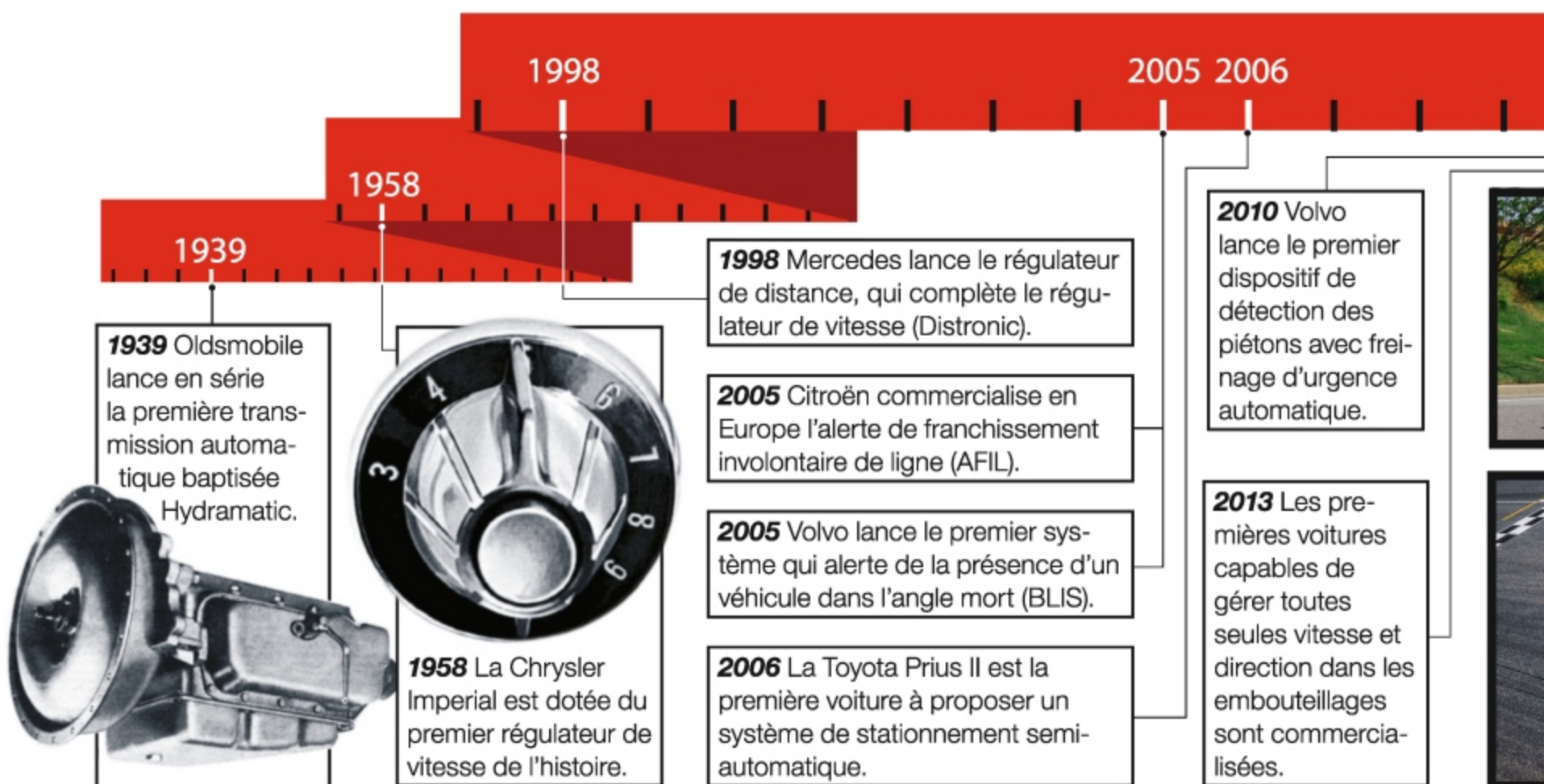


Le contexte

Plusieurs pays autorisent la circulation de voitures autonomes, à condition qu'un conducteur puisse reprendre la main à tout moment. La convention de Vienne (1968), qui régit les règles de circulation sur le globe (sauf en Chine et aux Etats-Unis), précise en effet qu'un conducteur doit avoir en permanence le contrôle du véhicule. Une soixantaine de prototypes circulent en Allemagne, en Espagne, au Japon, en Suède et aux Etats-Unis (Nevada, Floride...). France et Royaume-Uni suivront bientôt.

COURTESY OF US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION

LE CONCEPT D'AUTOMATISATION DE LA



Il est 9 heures du matin et le trafic est très dense sur l'autoroute qui encercle l'agglomération. De longues files de voitures s'étirent à faible vitesse.

Sur le tableau de bord, un voyant vert en forme de volant vient de s'allumer. Il est temps de laisser l'ordinateur de bord prendre le contrôle: les pieds quittent les pédales, les mains se posent sur les genoux... et la voiture garde la même allure que le trafic. Le volant tourne tout seul pour maintenir la voiture dans sa file, à distance raisonnable des motos qui se glissent entre les véhicules.

Reconnaissons-le: les premières minutes en conduite automatique dans cette Mercedes Classe S, que *Science & Vie* a pu essayer, ne se font pas sans une certaine appréhension. L'ordinateur de bord ne

va-t-il pas faire une fausse manœuvre et emboutir le véhicule qui vient de freiner devant?

Eh bien non. Sachant que cette voiture – qui sait aussi se garer seule – repasse la main au conducteur dès qu'elle dépasse 30 km/h. Et que l'électronique pilote sans à-coup. Si bien que, très vite, on respire et que se laisser conduire devient de plus en plus naturel.

De nombreux conducteurs pourront d'ailleurs en juger dans les prochains mois: plusieurs véhicules capables de prouesses similaires arrivent sur le marché.

C'est que la révolution de la voiture autonome est en marche... pied au plancher. En une petite dizaine d'années, les technologies sont passées du laboratoire à la chaussée. Avec, au premier chef, des lidars couplés à de puissants calculateurs

analysant la route en temps réel (voir pages suivantes).

Il faut dire qu'universités et constructeurs ont rivalisé de prototypes, notamment pour participer au Darpa Challenge, un concours technologique dédié à la voiture autonome lancé en 2004.

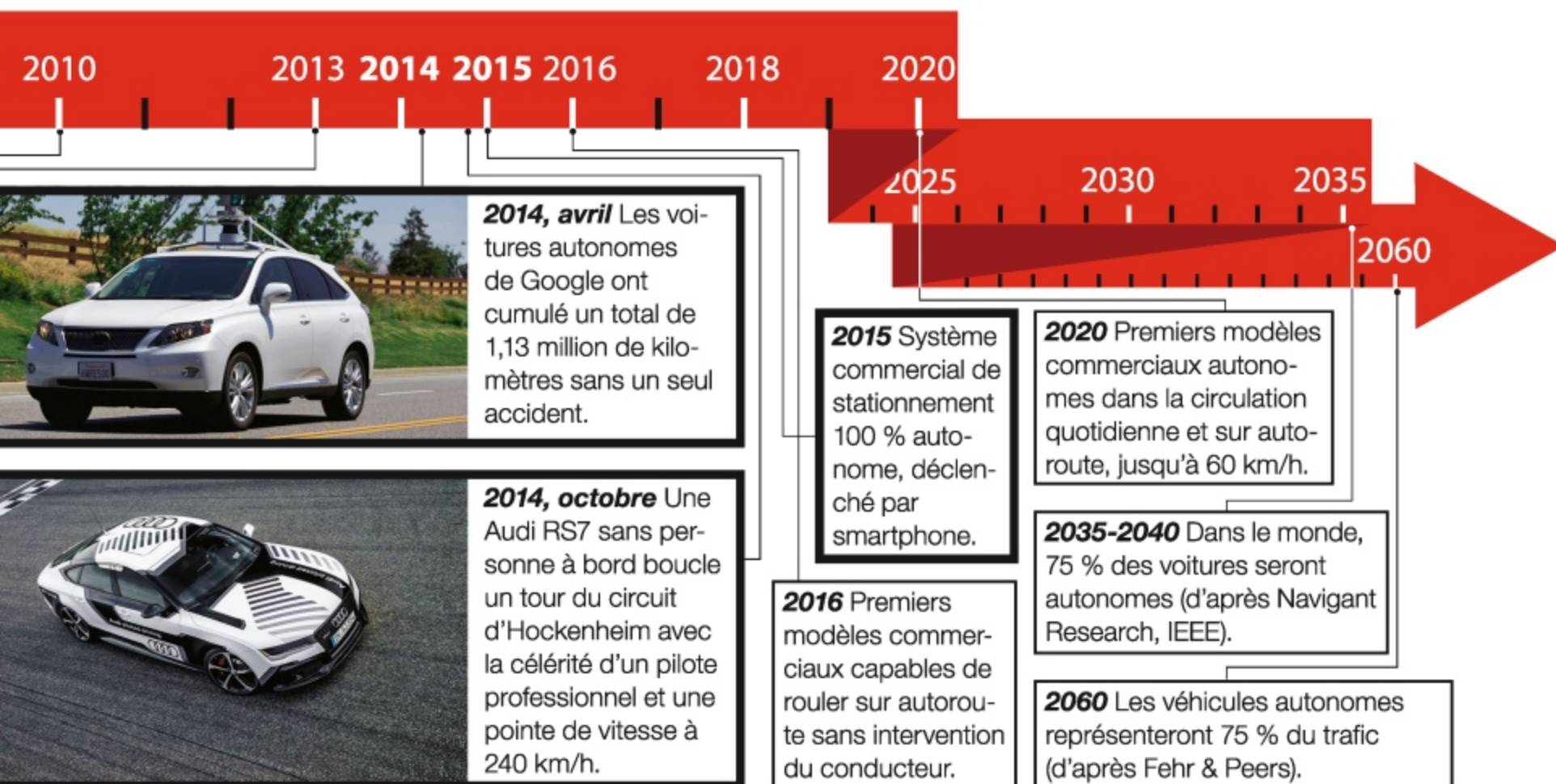
1,2 MILLION DE KM SANS ACCIDENT

Mais ce sont indéniablement les progrès enregistrés par Google avec ses propres prototypes qui ont donné une impulsion décisive.

Le géant de l'Internet a progressé si vite qu'il se hisse aujourd'hui au plus haut des cinq niveaux d'automatisation répertoriés par la NHTSA, l'équivalent américain de la Sécurité routière.

Au niveau 0, le conducteur est en permanence en charge de la conduite.

CONDUITE ARRIVE À MATURITÉ



Au niveau 1, quasi généralisé dans la production automobile actuelle, un ou plusieurs contrôles sont gérés par la voiture (correcteur électronique de trajectoire, régulateur de vitesse...), mais le conducteur reste seul maître à bord.

Au niveau 2, la voiture contrôle deux fonctions automatisées simultanément, par exemple le régulateur de vitesse adaptatif et l'aide au maintien dans la voie, comme cette Mercedes Classe S.

Une voiture qui atteint le niveau 3 peut, elle, conduire de façon autonome dans la plupart des circonstances, mais le conducteur est parfois amené à reprendre la main (pour certains dépassements ou croisements): c'est ce que visent pour l'instant les constructeurs, et c'est le niveau de la plupart des prototypes testés

par Google, qui conservent toujours un conducteur.

Enfin, au niveau 4, la voiture peut se déplacer sans personne à bord. Volant et pédales sont accessoires. C'est cet ultime niveau – sur certains parcours, et jusqu'à 40 km/h – qu'a atteint la dernière des Google Car présentée au printemps 2014.

Le secret de cette performance? L'expérience accumulée

avec les prototypes de niveau 3 – qui ont couvert plus de 1,2 million de kilomètres sans causer d'accident sur des parcours toujours plus variés. *"Notre logiciel sait à présent détecter des centaines d'objets distincts simultanément,* détaille Chris Urmson, chef de l'ingénierie pour la conduite autonome chez Google: *des piétons, un autobus, un panneau tenu par un policier, un* →



“

CHRIS URMSON

Chef de l'ingénierie pour la conduite autonome chez Google

La Google Car détecte des centaines d'objets en même temps : panneaux, bus, piétons, cyclistes, policiers...

TECHNOLOGIE: COMMENT L'ORDINATEUR PREND LE CONTRÔLE DE LA VOITURE

Il communique avec tous les organes vitaux de la voiture

Situé à l'arrière du véhicule, le "cerveau" est composé de processeurs multicœurs qui occupent le volume d'un ordinateur portable. Il prend en charge la conduite.

Pour tourner: il agit sur le moteur de direction assistée

Fusionnant les informations en provenance de la caméra, du lidar et des capteurs à ultrasons avec ses cartes de navigation, l'ordinateur adapte la trajectoire au tracé de la route, aux marquages au sol et au trafic.

Pour freiner: il s'immisce dans le calculateur de l'ESP

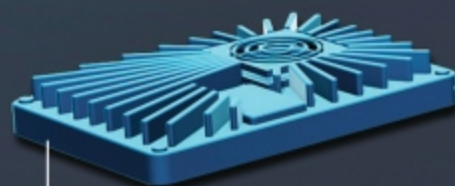
Tous les véhicules disposent désormais d'un correcteur de trajectoire (ESP), qui freine les roues séparément pour éviter les tête-à-queue. L'ordinateur prend la main sur cet ESP en cas de besoin (ralentissement brutal, obstacle soudain...).

Pour accélérer: il pilote le calculateur du moteur

L'ordinateur prend le contrôle du calculateur qui règle l'injection de carburant... lequel tient compte d'ordinaire de la température du moteur, de l'air, du taux d'oxygène et de l'enfoncement de la pédale d'accélération.

Pour décider: il s'appuie sur tous les capteurs embarqués

L'ordinateur connaît la position de la voiture, sa vitesse et sa direction (via le GPS, l'odomètre, la centrale à inertie). Il sait aussi ce qui se trouve autour d'elle, de quelques centimètres jusqu'à 500 m. Il connaît le niveau d'attention du passager (caméra intérieure), reçoit des informations sur le trafic (4G, wi-fi). Il intègre toutes ces données en temps réel pour agir sur les commandes du véhicule, en respectant les règles de conduite implémentées par les constructeurs.



L'ordinateur

Ses processeurs multicœurs, basés sur les technologies des cartes graphiques, assurent le traitement de centaines de mégaoctets à chaque seconde.

Radar arrière droit

Caméra arrière

Lidar arrière

La centrale à inertie et l'odomètre renseignent sur la vitesse, le sens du mouvement et les accélérations subies par le véhicule.

La caméra stéréo



Les caméras latérales et arrière

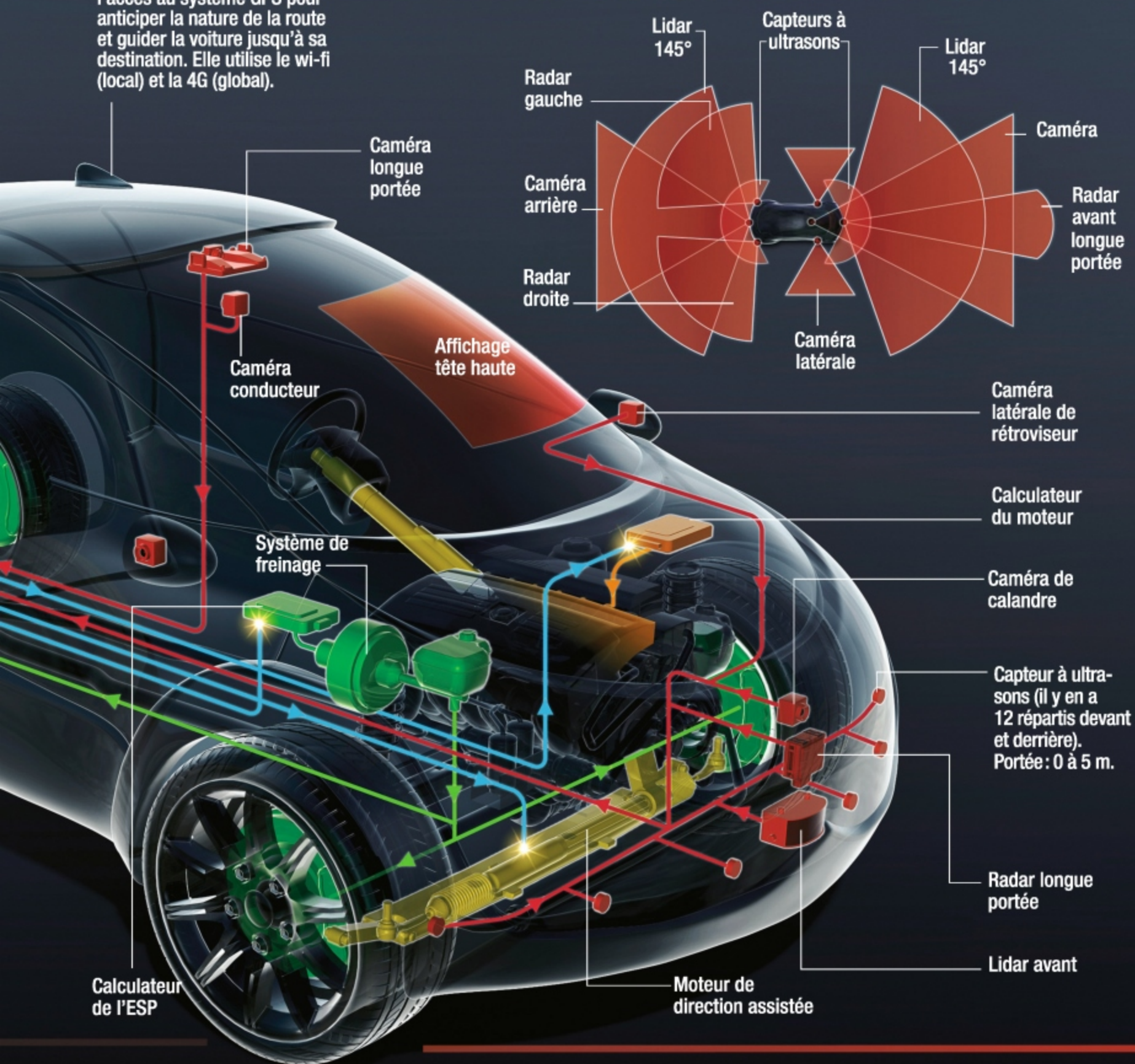


Les caméras

Portée: 50 à 500 m. Elles servent à identifier marquages au sol, panneaux et feux de signalisation, mais aussi piétons, animaux... Elles aident au pilotage de la suspension en fonction du relief.

L'ordinateur bénéficie d'une vision à 360 degrés sur une très longue portée

L'antenne haut débit permet l'accès au système GPS pour anticiper la nature de la route et guider la voiture jusqu'à sa destination. Elle utilise le wi-fi (local) et la 4G (global).



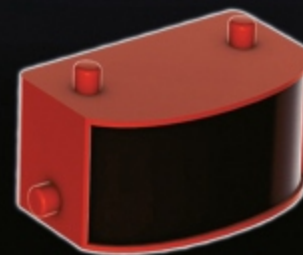
Les radars

Portée : 30 à 250 m. Cet émetteur/récepteur d'ondes détecte la position et la vitesse des véhicules alentours. Il fonctionne par tous les temps mais ne détecte ni les couleurs ni les formes.



Le lidar

Portée : 50 à 150 m. Il cartographie en 3D les objets alentours (voitures, trottoirs, cyclistes...) à l'aide de lasers. Efficace de jour et de nuit, il perd en précision sous la pluie.

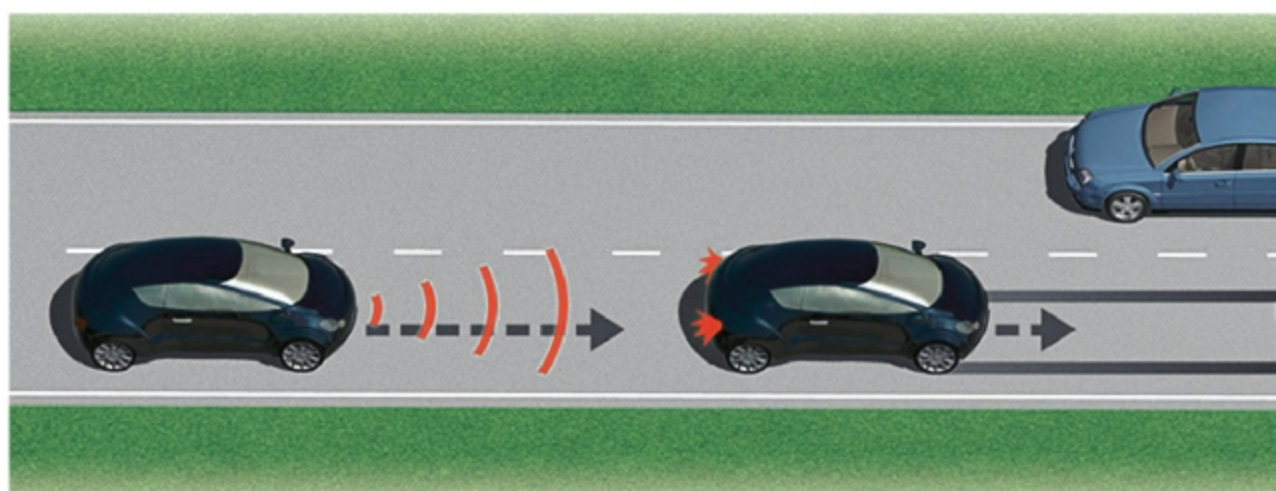
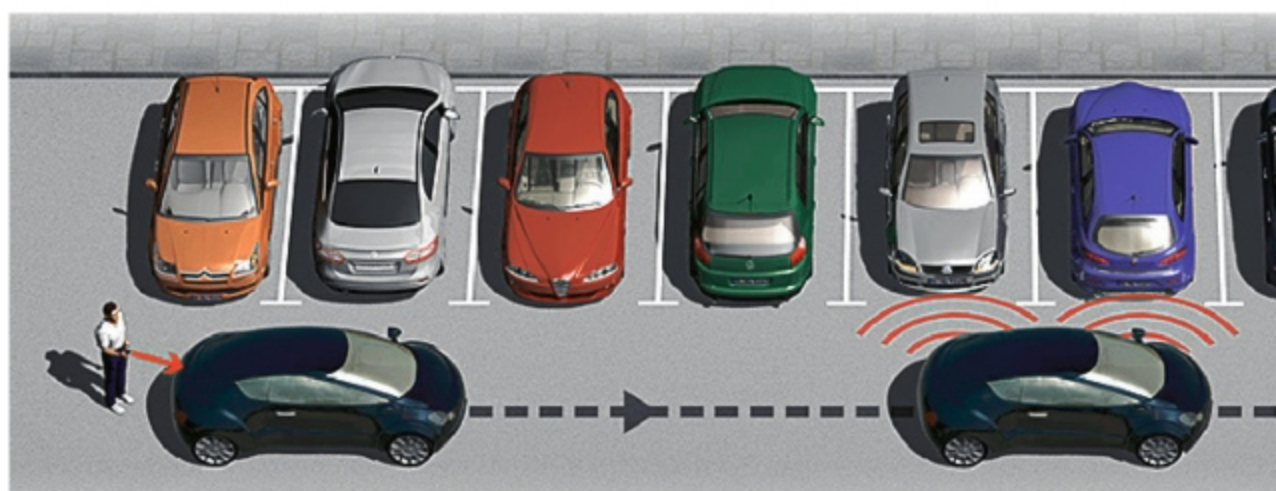
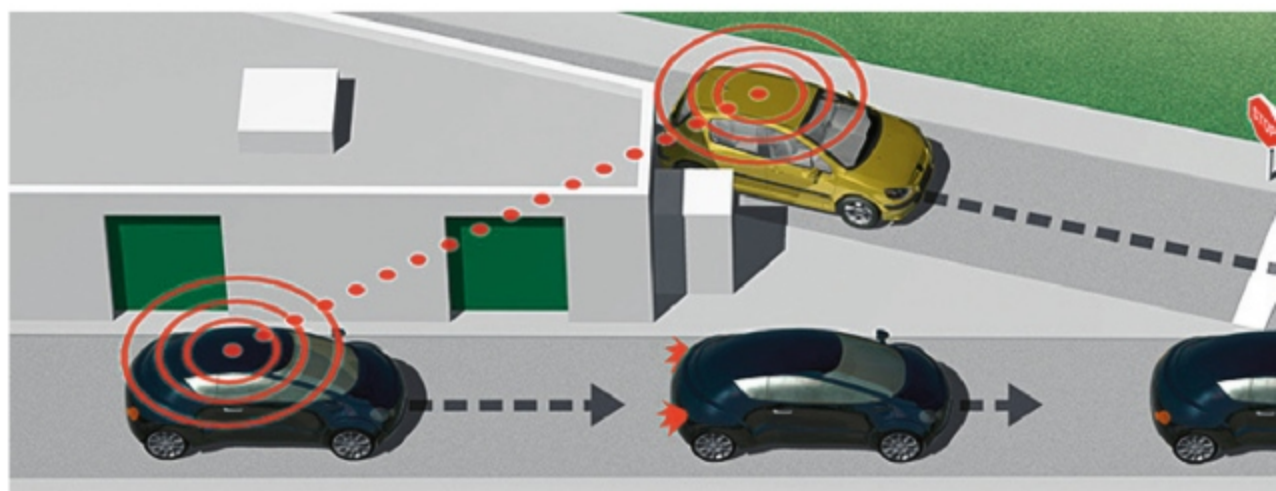
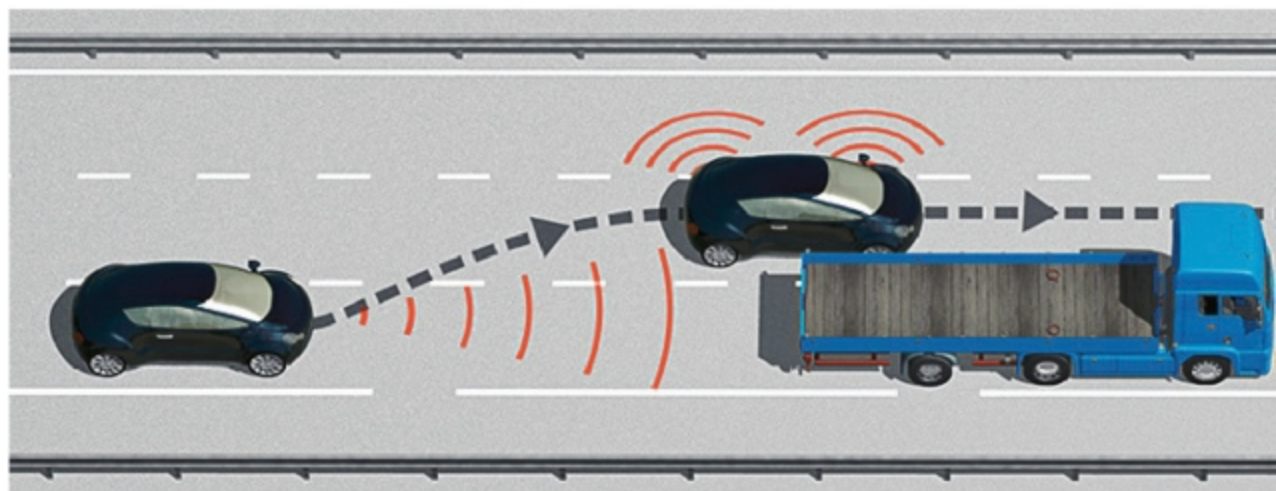


→ *cycliste qui indique un changement de direction.*

A la clé: une sensibilité accrue aux imprévus de la route... sur laquelle les constructeurs automobiles travaillent également d'arrache-pied. L'association et l'amélioration des technologies qui équipent les systèmes d'aide à la conduite de leurs modèles du commerce (radars, capteurs à ultrasons, caméras infrarouges...) rendent leurs prototypes capables de se repérer, de détecter obstacles et mouvements, d'anticiper, accélérer, freiner, changer de direction... Parfois mieux qu'un conducteur, aussi chevronné soit-il (voir ci-contre).

Les laboratoires universitaires aussi voient grand: à Ann Arbor, l'université du Michigan est, par exemple, en train d'achever la construction

CONDUITE: LES 4 POINTS FORTS DE

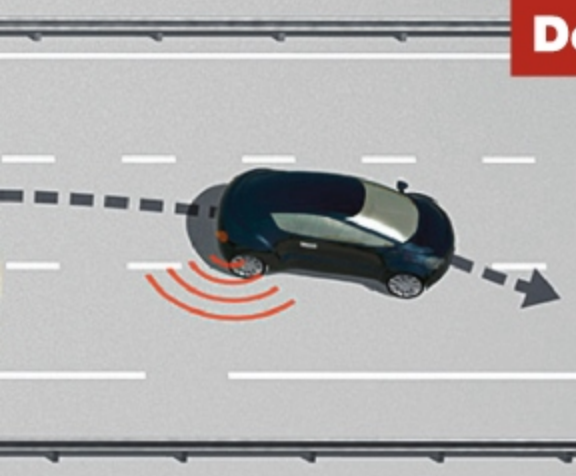


“ FAWZI NASHASHIBI
Directeur de recherche à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique

L'ordinateur de bord réagit beaucoup plus vite que le conducteur, en moins d'une seconde

LA MACHINE FACE À L'HOMME

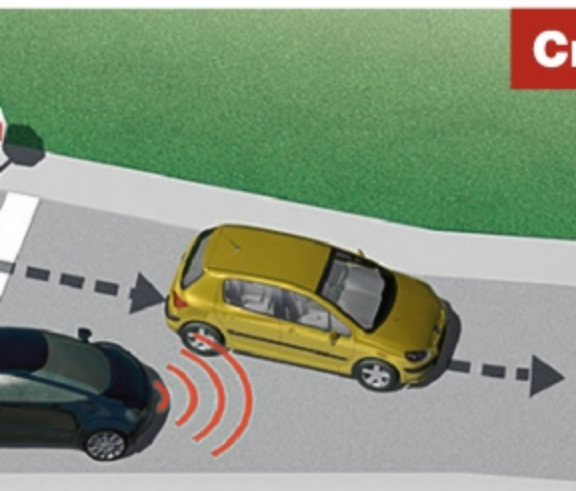
Dépassement: elle fluidifie le trafic



La voiture respecte la vitesse réglementaire grâce à son système GPS et à la lecture des panneaux de limitation par caméra. Elle évite les à-coups, maintenant les distances de sécurité via son régulateur de vitesse et de distance en fonction du trafic, qui est analysé par radar et lidar. Ce qui réduit mécaniquement les effets d'accordéon typiques des bouchons. Si

une voiture située devant elle roule nettement moins vite que la limite autorisée, elle déboîte, reconnaissant l'emplacement des voies avec ses caméras, après avoir vérifié l'absence de véhicule en approche à l'arrière par radar, et dans les angles morts grâce aux capteurs à ultrasons, tout en continuant à réguler sa vitesse avant de regagner sa voie.

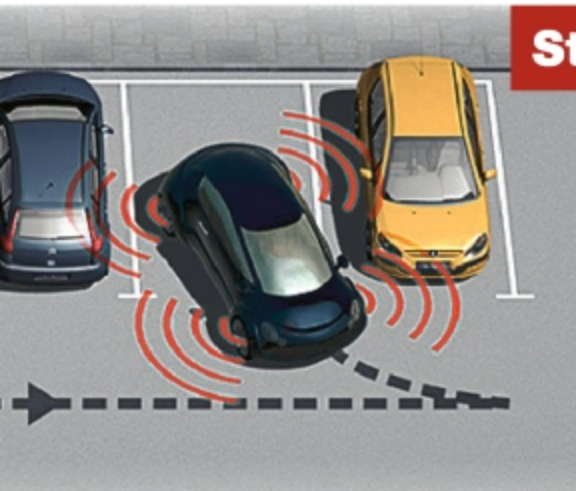
Croisement: elle évite les collisions



Engagée sur une voie prioritaire, la voiture détecte, plusieurs secondes à l'avance et plusieurs centaines de mètres en amont, le véhicule qui arrive à vive allure et qui, encore masqué par les bâtiments, n'aura pas la possibilité de ralentir suffisamment pour marquer l'arrêt au stop. Cette anticipation est permise par le protocole V2V (vehicle

to vehicle), qui utilise le réseau GSM, le wi-fi et le positionnement par satellite (GPS). Quand la voiture en infraction parvient au carrefour, sa présence est confirmée au centimètre près grâce aux radars et au lidar. La voiture autonome a alors freiné suffisamment pour éviter l'impact, et elle est prête à effectuer une éventuelle manœuvre d'évitement.

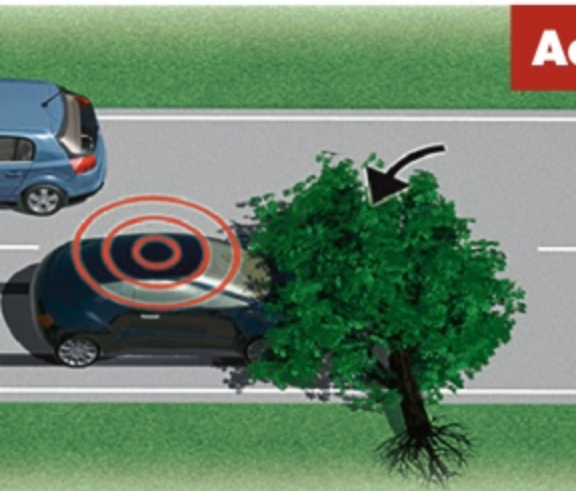
Stationnement: elle trouve toute seule une place



Arrivé à destination, le conducteur s'arrête en double file. Il peut alors, d'un appui sur sa clé-télécommande ou via son smartphone, ordonner à la voiture de trouver une place libre et de réaliser seule la manœuvre de stationnement: en créneau, en épi ou à la perpendiculaire. Le véhicule repère un emplacement grâce à ses caméras et à son

lidar. Mais il peut également, dans certains cas, s'appuyer sur les informations délivrées par le parking (qui indique l'emplacement des places disponibles). Ensuite, pour s'insérer dans la place, la voiture se dirige toute seule grâce à ses capteurs à ultrasons (notamment dans les angles morts) et ses radars de courte portée.

Accident: elle minimise les conséquences



Un arbre se couche sur la route au moment où la voiture arrive. Elle n'a pas la distance nécessaire pour s'arrêter et ne peut éviter l'obstacle, détecté par le radar longue portée et le lidar. Elle se prépare donc à l'accident en appliquant un freinage maximum, en serrant les ceintures à l'aide de petits moteurs électriques, en remontant les vitres, en se préparant à

déployer les airbags et en redressant les sièges. Au moment de l'impact, la voiture corrige la trajectoire s'il la fait dévier et adapte le freinage pour éviter une collision avec un véhicule qui pourrait arriver en face. Elle appelle ensuite automatiquement les secours (eCall) en leur communiquant sa position (GPS) et les images vidéo de l'habitacle (caméra).

PRISE EN MAIN, PIRATAGE, BUG: LES

→ d'un circuit d'essai simulant une infrastructure urbaine, sur 12 ha et pour un coût de 6,5 millions de dollars, dans le seul but de tester des véhicules autonomes.

Pourquoi la voiture autonome mobilise-t-elle autant d'efforts, alors qu'elle privera mécaniquement les amoureux de la route du sentiment de liberté communément associé à la conduite? Simplement parce qu'elle annonce une conduite à la fois plus sûre, plus économe en carburant – donc moins polluante – et plus accessible. Des arguments sur lesquels comptent les constructeurs pour imposer leurs nouveaux produits, en dépit de réticences prévisibles. Des arguments qui tiennent cependant la route.

UN VÉRITABLE ENJEU URBAIN

Côté sécurité, les myriades de capteurs embarqués surveillent la route en permanence sur 360 degrés. Ce qu'aucun conducteur, même le plus sobre, le plus éveillé et expérimenté ne sera jamais en mesure de faire.

La conduite autonome réagit aussi plus vite que quiconque, qu'il faille accélérer, tourner, freiner... *"Le temps de réaction des prototypes de niveau 3 est largement inférieur à une seconde, qui est le temps de réaction ordinaire d'un conducteur"*, explique Fawzi Nashashibi, directeur de recherche et responsable de l'équipe RITS (Robotique et systèmes de contrôle intelligents), à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria).

Confier la conduite à l'ordinateur de bord est aussi un moyen de réduire la



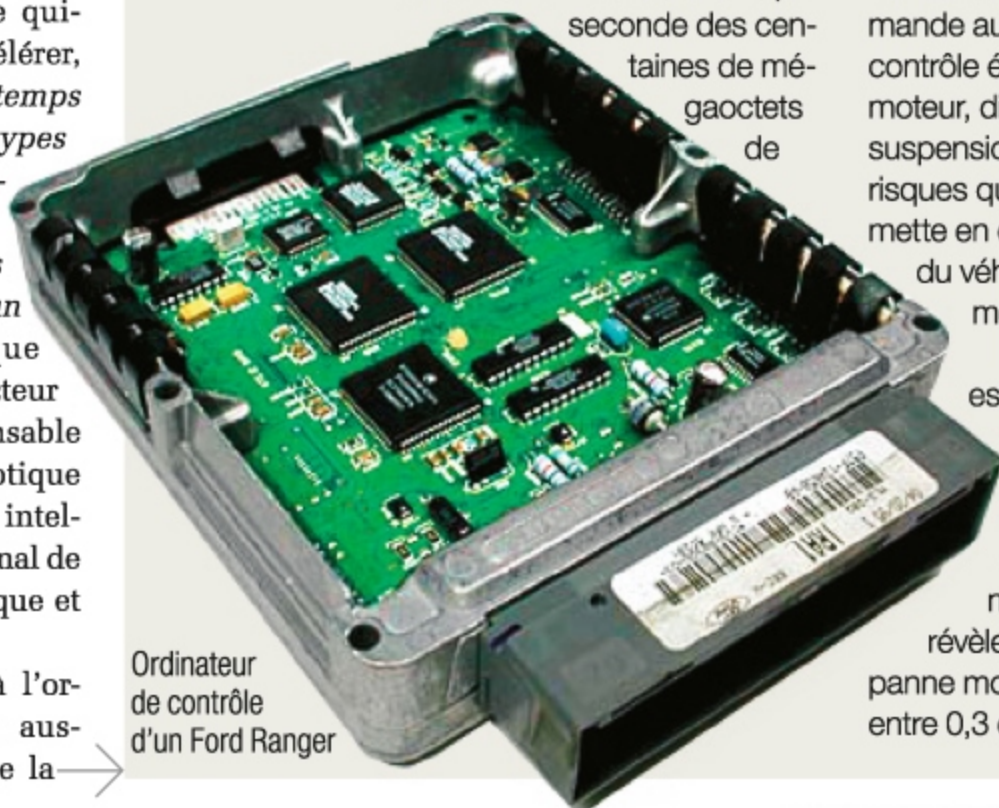
Le défi de la panne

Comment empêcher le bug fatal ?

L'ordinateur de bord d'une voiture autonome traite à chaque seconde des centaines de mégaoctets de

données fournies par des dizaines de capteurs, et commande autant de modules de contrôle électronique pilotant moteur, direction, éclairage, suspensions... Autant de risques qu'un bug informatique mette en danger les occupants du véhicule? Heureusement non.

Le risque de panne est, en pratique, plus souvent lié à la mécanique qu'à l'électronique. Une étude de l'assureur britannique Warranty Direct révèle que le taux de panne moteur oscillait en 2012 entre 0,3 et 7,9 % par an pour



Ordinateur de contrôle d'un Ford Ranger

TROIS DÉFIS À RELEVER

Le défi de la répartition des tâches

Qui doit conduire ?

Quelle file choisir pour arriver plus vite au péage ? Faut-il mordre sur la ligne blanche pour doubler une voiture qui roule au pas ? Autant de situations, autant de conducteurs, autant de réponses. Et autant de dilemmes paralysants pour une machine. Même la plus performante des voitures autonomes sollicitera, parfois, l'avis du conducteur. Ou lui demandera de reprendre la main. Celui-ci devra donc rester vigilant... Pas si simple quand on ne touche presque plus au volant ni aux pédales. Résultat : *"Plus une voiture est autonome, plus il faut surveiller le conducteur"*, résume

Guillaume Devauchelle, chez Valeo. *S'il s'endort, le véhicule devra déclencher un freinage d'urgence.* Une solution mise en œuvre dès 2009 par BMW : son prototype, qui filme le conducteur, peut détecter s'il s'endort et rejoindre le bas-côté. Quant aux rares cas où le conducteur doit reprendre la main d'urgence... l'ergonomie des tableaux de bord doit encore s'améliorer. Une étude sur simulateur a montré un temps de latence de dix à quinze secondes entre le désengagement de l'automatisation et la prise en main du conducteur. Soit, à 50 km/h, 200 m sans contrôle.

l'ensemble des modèles de la plupart des marques.

Côté capteurs, le taux de défaillance est, usuellement, bien moindre : selon l'équipementier Bosch, sur dix ans et 150 000 km, ce taux oscille entre 1 et 50 sur 1 million. *"Le système de stationnement automatisé Valeo équipe déjà 5 millions de voitures, et nous n'avons encore déploré aucun incident"*, relève pour sa part Guillaume Devauchelle, directeur de l'innovation et du développement scientifique de cet équipementier.

Et les normes appliquées pour les systèmes autonomes sont particulièrement exigeantes. *"Les systèmes actuels sont basés sur une stratégie 'fail safe' : le composant*

responsable de l'échec est coupé ou placé en mode dégradé après la détection d'une panne. Les systèmes futurs seront basés sur une stratégie 'fail operational', qui doit garantir au moins une fonctionnalité minimale sur une certaine période de temps", détaille Michael Fausten, chef de projet chez Bosch. *"Les méthodes de développement utilisées sont de type aéronautique et respectent les normes ISO 26262, qui garantissent une sécurité au meilleur niveau. Les capteurs et les actionneurs seront tous doublonnés. Probablement trois fois pour la partie frontale du véhicule"*, ajoute Thierry Le Hay, directeur des systèmes embarqués chez PSA.



Le défi du piratage

Comment parer les attaques ?

En août dernier, lors de la conférence Black Hat de Las Vegas, les experts Chris Valasek et Charlie Miller ont expliqué qu'*"un utilisateur malveillant exploitant une vulnérabilité à distance pourrait tourner le volant ou désactiver les freins d'une voiture"*. A l'appui de leur déclaration, une analyse minutieuse détaille la fragilité de nombreux modèles face à une attaque et à une prise de contrôle à distance via le wi-fi ou le Bluetooth.

Au centre de recherche sur les accidents et la sécurité routière à l'université de technologie de Brisbane (Australie), Andry Rakotonirainy renchérit : *"Les protections de sécurité sur les voitures actuelles sont au niveau d'un ordinateur de bureau des années 1980."*

Message reçu chez les concepteurs de voitures autonomes, d'autant plus exposées qu'elles délèguent toujours plus de contrôles à l'ordinateur. *"Empêcher leur prise de contrôle nécessite plusieurs couches de sécurité ou de pare-feu pour empêcher l'accès non autorisé, fait valoir Malin Persson, présidente de Volvo Technology. Nous intégrons ces mesures dans les exigences de conception de nos systèmes."*

Pour Fawzi Nashashibi, directeur de recherche à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique, il faut protéger toute intrusion sur le réseau de bord du véhicule, *"mais aussi éviter l'émission d'informations fausses ou modifiées [entre les différents composants électroniques et vers les infrastructures ou le conducteur], qui pourraient donner une vitesse ou une position erronée"*. Cryptage des données, certificats d'authenticité, antivirus... Les ordinateurs roulants que sont les voitures autonomes auront besoin des experts de la sécurité informatique.

LES FONCTIONS DISPONIBLES SUR 8 MODÈLES EN

MODÈLES	FONCTIONS	Freinage automatique d'urgence	Conduite autonome dans les embouteillages	Régulateur de vitesse et de distance adaptatif	Système de prévention des collisions	Stationnement semi-automatique	Alerte de franchissement de ligne	Appel d'urgence automatique	Dépassement semi-automatique sur autoroute
Mercedes Classe S									
Volkswagen Passat									
Volvo XC90									
Subaru Outback									
Tesla Model S									
Ford Focus									
BMW Active Tourer									
Peugeot 308									

→ congestion du réseau routier, véritable enjeu urbain, notamment en raison de la pollution atmosphérique: la consommation d'un véhicule peut doubler dans les embouteillages! Ici, le système adapte au plus juste vitesse et distances. "Si on évitait que toutes les voi-

Des voitures autonomes pourraient multiplier par cinq le débit en centre-ville

tures freinent brutalement et redémarrent en accordéon, le débit d'une voirie donnée, en centre-ville, serait multiplié par trois à cinq", annonce Guillaume Devauchelle, directeur de l'innovation et du

développement scientifique chez l'équipementier Valeo.

Qui plus est, outre une gestion optimale du régime moteur et des vitesses en fonction du parcours (pentes, virages, lignes droites...), les voitures autonomes ajustent leurs comportements respectifs pour rouler "en peloton", au plus près les unes des autres, ce qui abaisse la traînée aérodynamique. Une étude du Centre de recherche sur le transport urbain à l'université de Floride du Sud (Tempa) conclut ainsi que la réduction de carburant pourrait osciller entre 20 et 50 % par rapport aux véhicules pilotés par des humains.

Ultime avantage de la voiture autonome: la possibilité de se déplacer pour des personnes,

âgées ou handicapées, incapables de conduire ou présentant un risque sur les routes.

Si les prototypes de Google sont actuellement les plus sérieuses preuves que toutes ces promesses pourront être tenues, ils ne sont pourtant pas les plus à même de les concrétiser rapidement. En cause: leur complexité. Et donc leur coût.

UN NOUVEAU PROTOCOLE "V2X"

"Le système développé par Google traite en continu des millions de points repérés par laser dans l'environnement de la voiture [grâce à un encombrant lidar qui coûte environ 60 000 €] et implique de scanner le parcours au préalable, en 3D, au centimètre près", explique Fawzi Nashashibi.

VENTE EN 2015

Stationnement automatique télécommandé	Prix (à partir de)	Commercialisation
	89 000 €	Immédiate
	25 300 €	Immédiate
	53 700 €	Printemps 2015
Non communiqué		Printemps 2015
	62 500 €	Printemps 2015
	18 400 €	Immédiate
	28 300 €	Immédiate
	18 200 €	Immédiate

Mais on peut faire plus simple. Les dispositifs testés aujourd'hui se contentent des cartes associées aux systèmes GPS existants. Surtout, en complément de leurs caméras, radars et capteurs à ultrasons, ils misent sur des lidars et des calculateurs moins puissants que ceux de Google, mais suffisants pour assurer jusqu'à 90 % de la conduite, pour un surcoût ne dépassant pas cette fois quelques milliers d'euros.

L'allemand Ibeo et le français Valeo ont ainsi développé ensemble un modèle de lidar doté de 6 faisceaux laser qui couvre 140 degrés, dont le faible coût (un peu plus de 200 €) permet d'en placer plusieurs sur le véhicule pour assurer la même couverture →



ANDREAS RIENER

Les logiciels de conduite devront intégrer une part de logique humaine

Ingénieur, université Johannes Kepler (Autriche)

Science & Vie : Les conducteurs sont-ils prêts à confier 100 % de la conduite à des machines ?

Andreas Reiner : Il sera difficile de convaincre des conducteurs qu'il vaut mieux utiliser des voitures totalement autonomes que de conduire manuellement. En particulier en Europe, où 10 % des véhicules seulement ont une boîte de vitesses automatique, alors que c'est le standard aux Etats-Unis. Mais dans certaines situations, cela pourrait être vraiment intéressant : pour les commerciaux, par exemple, qui pourraient profiter des trajets pour travailler. Ou sur les trajets de vacances en famille... Plus généralement, les trajets sur autoroute, plus prévisibles, devraient être les premiers automatisés. Ils pourraient être 100 % autonomes.

S&V : Pourra-t-on influencer la manière dont l'automate conduit ?

A.R. : C'est possible et même souhaitable. Pour les millions de conducteurs qui font le même trajet tous les jours, l'idéal serait de pouvoir partager leur expérience avec l'automate. Pour ceux qui regrettent la conduite

manuelle, il est intéressant aussi de pouvoir personnaliser sa conduite : plus ou moins souple ou sportive. Mais il faut que cela soit compatible avec l'optimisation globale du trafic. La cohabitation, au moins temporaire, entre voitures autonomes et celles conduites manuellement, va obliger les programmeurs à inclure, dans les automates, une part de logique humaine afin d'anticiper les comportements humains. En retour, il faudrait que les conducteurs apprennent à connaître le comportement des voitures automatiques.

S&V : Les voitures automatiques vont-elles changer la manière dont on utilise ce moyen de transport ?

A.R. : Dès lors qu'une voiture est capable de se passer totalement de conducteur, on peut s'attendre à ce que les gens n'aient plus besoin de posséder leur propre voiture et recourent à des voitures partagées, qui retourneront à leur "base" (aéroport, gare, station de métro...) après chaque trajet, ou iront chercher le voyageur suivant. Une telle organisation contribuerait à optimiser le trafic et à réduire les accidents.

→ que le Velodyne de Google, qui couvre, lui, 360 degrés avec 64 faisceaux.

Côté puissance de calcul, là aussi, les constructeurs font au plus juste. Audi vient ainsi de dévoiler une carte mère au volume d'un petit ordinateur portable, qui suffit à assurer le pilotage autonome. Sachant que pour épauler l'ordinateur de bord, la voiture autonome pourra prochainement compter sur un allié de taille :

seau et de la portée du wi-fi. Edwin Olson, professeur de génie électrique et informatique à l'université du Michigan, estime qu'il est donc *"préférable que chaque véhicule soit équipé de façon à assurer sa propre sécurité plutôt que de compter sur les autres"*.

UNE CIRCULATION EN RÉSEAU

Quelle sera la meilleure façon pour les infrastructures de permettre à une voiture

Mais il reste encore d'autres défis à relever. Comment, en pratique, humain et machine pourront-ils se passer le volant sans risque ? Comment garantir qu'aucun bug ni piratage ne provoqueront d'accident ? De nombreuses études se penchent sur ces questions aux allures de défis (lire p. 92). Pour l'heure, une autonomie de niveau 4, où le conducteur ne touche jamais le volant, reste une gageure.

"Une voiture autonome qui peut faire tout ce qu'un conducteur humain peut faire, dans toutes les circonstances, n'arrivera pas avant longtemps", estime carrément Edwin Olson. Avant d'ajouter que *"le simple fait de détendre légèrement cette contrainte rend le problème beaucoup plus facile à traiter. De bonnes choses peuvent déjà être faites par des voitures autonomes dans certaines conditions"*.

Dans les cas les plus faciles – autoroute, embouteillages, stationnement –, les voitures se passent déjà totalement de conducteur. Or, ces situations sont justement celles où le sentiment de liberté cher à nombre de conducteurs cède le pas à l'ennui ou à la frustration. De quoi inciter à laisser le contrôle à un ordinateur de bord. Quant à laisser celui-ci négocier courbes et accélérations en rase campagne... Si la machine peut, il n'est pas certain que l'humain veuille.

Et en cas d'accident : qui sera responsable ?

Dans la mesure où jusqu'à 95 % des accidents ont pour origine une erreur humaine, la conduite autonome devrait réduire considérablement collisions et sorties de route. Mais, comme le relève Jeffrey Gurne (université de Caroline du Sud), *"les voitures autonomes connaîtront inévitablement des dysfonctionnements. Législateurs et tribunaux doivent développer des régimes de responsabilité pour s'assurer que la partie qui a causé l'accident en assumera la responsabilité"*. Une étude publiée en 2014 par l'université Carnegie Mellon (Etats-Unis) souligne que *"lorsque le conducteur est éliminé de l'équation, la responsabilité retombe sur le constructeur et les fournisseurs"*. Ce que ceux-ci anticipent en installant des sortes de boîtes noires dans leurs véhicules. Reste à faire évoluer la loi pour qu'elle considère le conducteur comme un simple passager... Un changement profond encore au stade de la réflexion chez les juristes.

le protocole V2X ("Vehicle to X"), qui permet aux voitures de communiquer en temps réel entre elles et avec les infrastructures (caméras, radars...).

"Le champ de perception de chaque voiture augmente, précise Brice Rebsamen, ingénieur de recherche en robotique à Stanford. Ainsi, un véhicule qui commence à freiner pourra aussitôt avertir ceux qui le suivent."

Mais le protocole V2X reste dépendant de la qualité du ré-

seau et de la portée du wi-fi. Edwin Olson, professeur de génie électrique et informatique à l'université du Michigan, estime qu'il est donc *"préférable que chaque véhicule soit équipé de façon à assurer sa propre sécurité plutôt que de compter sur les autres"*.

Un bémol : la communication entre véhicules et infrastructures sera d'autant plus efficace que les voitures connectées seront nombreuses. Or, le prix élevé des premiers modèles annonce, dans un premier temps, une diffusion modeste.

A découvrir : les photos de la route vue par une voiture autonome.

A consulter : les études sur la relation machine/conducteur.

A voir : les vidéos de hackers prenant le contrôle d'un véhicule.

★
EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Offre exceptionnelle d'abonnement

59,90 € seulement
au lieu
de 83,20 €*

1 an d'abonnement
+ 4 hors-séries
+ 2 éditions
spéciales
+ le hub USB

-33%
DE RÉDUCTION



**RECEVEZ CE HUB USB
EN CADEAU**

Très pratique pour des multi-raccordements à votre ordinateur, son design unique et ses embouts lumineux font de ce hub un accessoire indispensable sur votre bureau.



BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

☐ **Oui, je m'abonne**
à Science & Vie pour 1 an
 (12 numéros + 4 hors-séries + 2 éditions spéciales)
+ le hub USB en cadeau pour seulement 59,90 €
 au lieu de 83,20 € **soit plus de 33 % de réduction** 818 781



+

VOTRE CADEAU !

☐ **Je préfère seulement m'abonner à Science & Vie**
pour 1 an (12 n° + 4 HS) pour **49,90€** au lieu de ~~71,40 €~~*
(prix kiosque) **soit 30 % de réduction**

➤ **Voici mes coordonnées :**

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

 Date et signature obligatoires

CC BY-NC-SA

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 1^{er} abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 28/02/2015 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20€, chacun des hors-séries au prix de 4,95€. Le hub USB vous sera adressée dans un délai de 4 à 6 semaines après réception de votre commande. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Vous disposez du droit de rétractation pour le hub USB. Conformément à la loi «informatique et libertés» du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que votre droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-après. Vous êtes susceptible de recevoir des propositions commerciales de notre société pour des produits et services analogues à ceux objet de l'opération. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher la case ci-contre. Science & Vie – Service Abonnements - 8 rue François Ruy 92543 MONTROUGE CEDEX - Mondadori Magazines France SAS RCS 422 791 262 NANTERRE.

SCIENCE & VIEKIOSQUE
mag

Disponible sur
KiosqueMag.com



"Jeunes gens jouant au frisbee"



"Deux joueurs de hockey se battant pour le palet"

Moteurs de recherche

Voici qu'ils légendent les images

Pour reconnaître une photo parmi des milliards d'autres, Google devait se contenter d'analyser sa forme : couleurs, pixels... Or, le voici désormais capable d'interpréter en une phrase son contenu ! Explications.

Par **Román Ikonikoff**



“Un troupeau d'éléphants traversant une prairie sèche”



“Un réfrigérateur garni de boissons et de nourriture”



“Une personne conduisant une moto sur une piste sale”

Les moteurs de recherche nous ont habitués à obtenir en un clin d'œil une flopée de réponses à la moindre de nos requêtes.

Y compris lorsque nous recherchons des images.

Que l'on soumette n'importe quelle photo au plus célèbre des moteurs de recherche (celui de Google) et celui-ci présente une sélection d'images ressemblant très fortement à la première. Comme s'il savait interpréter ce que représente ladite photo et arpenter le Web à la recherche d'une image mettant en scène le même sujet.

Mais il n'en est rien. Les algorithmes se contentent de

^ UN TAUX DE RÉUSSITE IMPRESSIONNANT

“NIC” est le premier algorithme capable de décrire, dans le langage courant, ce qui se passe dans une image... mais il n'est pas totalement infail- lible (voir photo du panneau, à droite).

retrouver sur la Toile les images dont les propriétés (distribution des couleurs, répartition des contrastes...) et les mots clés qui leur sont éventuellement associés sont les plus proches de ceux caractérisant la photo retenue.

Or, voici que les moteurs de recherche pourraient désormais comprendre ce qui se joue dans une image. En un mot : lui donner du sens !

En novembre dernier, les ingénieurs de Google ont en effet fait faire un pas de géant à leurs algorithmes : leur dernière création, “NIC” (Neural Image Caption), sait littéralement décrire, dans le langage courant, le contenu d'une image.

Enjeux

L'algorithme “NIC” de Google est la première machine capable de dire en langage courant ce qu'elle voit sur une image. NIC sera, selon ses concepteurs, très utile pour les aveugles et les mal-voyants. Il donnera également accès aux immenses ressources visuelles du Web (photos, vidéos...) actuellement ignorées par les moteurs de recherche quand elles ne sont accompagnées ni de texte ni de mot-clé pour les identifier : de quoi concrétiser l'idéal d'un Web “sémantique”, capable d'appréhender le sens de ses contenus et d'échanger avec les internautes.

→ **Démonstration.** Quand on présente à NIC la photo d'une scène avec des personnages et des objets en action, sans aucune indication de texte, celui-ci la décrit à l'aide d'une phrase complète *"en un peu*

Jusqu'ici, il fallait être humain pour comprendre et décrire une photo

plus d'une seconde", précise Samy Bengio, de l'équipe de Google. Par exemple: "une personne conduisant une moto sur une piste sale" ou "jeunes gens jouant au frisbee" (voir photos).

Ce dernier exemple est éloquent: comment une machine réussit-elle non seulement à identifier des éléments visuels (un frisbee, des personnes), mais aussi à comprendre que la scène s'organise autour d'une action menée par certains de ces "objets" (les jeunes gens) sur d'autres (le frisbee) dans un contexte (le jeu)?

Jusqu'ici, il fallait être humain pour y parvenir! Car il faut au moins savoir que le frisbee est un jeu et que jouer est une activité humaine, qui

se pratique à plusieurs... Il faut aussi pouvoir formuler une phrase cohérente exprimant cette compréhension.

Pourtant, la machine sait le faire... et même presque aussi bien que nous! La capacité de NIC à exprimer le sens d'une scène a été testée sur des photos de bases de données du Web, selon une notation fondée sur un système éprouvé (le "Bilingual Evaluation Understudy"). Résultat: il obtient un score de 67, là où l'homme plafonne à 69!

DES "NEURONES" ENTRAÎNÉS

Comment expliquer cette performance? La réponse tient en trois mots: réseau de neurones. Soit la technologie à la base des plus récents et spectaculaires progrès en intelligence artificielle (voir *S&V* n° 1162). En pratique, de petits programmes encodés dans des processeurs graphiques, qui simulent une caractéristique typique des neurones biologiques: celle d'être d'autant plus réactifs qu'ils sont souvent sollicités.

Ainsi, si le programmeur leur "montre" de manière répétée des images de cercles et de carrés (sous forme numérique)

L'algorithme donne

1 Il identifie des objets dans l'image et y associe des mots-clés

Un premier réseau de neurones virtuels (de petits programmes informatiques) identifie les différents éléments de la photo. Pour chacun d'eux, il cherche un élément similaire dans une banque d'images qu'il a mémorisées au préalable, chacune étant associée à un mot-clé.



en leur indiquant à chaque fois le mot "cercle" ou le mot "carré", ils finissent par savoir reconnaître eux-mêmes la présence d'un cercle ou d'un carré dans une image, et lui accoler la bonne étiquette.

Les chercheurs nomment "schéma d'activation" la structure d'un réseau ayant appris cette tâche, car il garde en mémoire, sous forme de bits répartis sur les connexions entre neurones, la caractéristique associée au cercle ou au carré.

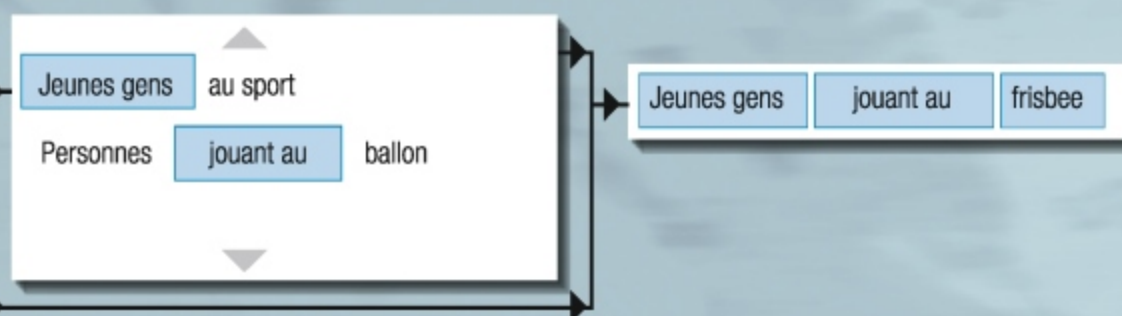
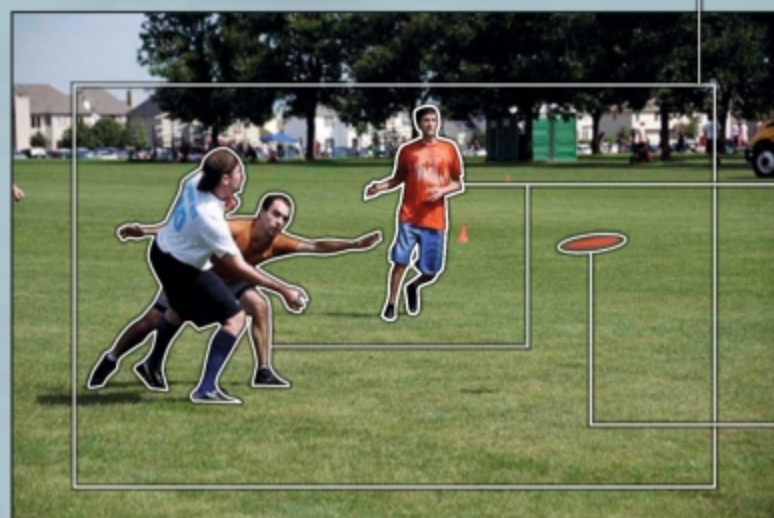
NIC fonctionne de cette manière... mais à très grande échelle, et en deux étapes.

Face à une nouvelle image sans texte, il fait d'abord appel à un premier réseau, constitué de millions de neurones. Après un apprentissage avec des images connues explicitement légendées, celui-ci produit une sélection de schémas d'activation associant le mieux

La puissance des logiciels de traduction au service des images

Si les algorithmes de Google savent décrire les images, c'est en grande partie grâce aux progrès récents de la traduction automatique. Des progrès eux-mêmes portés par des capacités de calcul informatique devenues suffisantes pour conduire l'analyse statistique de gigantesques collections de données. Plutôt que se fonder sur les lois de la grammaire et de la syntaxe des langues pour passer de l'une à l'autre, nombre d'algorithmes de traduction (dont ceux de Google) misent sur la comparaison d'immenses corpus de textes pour y identifier, telles des pierres de Rosette, des correspondances entre langues source et cible. Une approche très efficace, mais limitée aux langues les plus présentes sur Internet, ce qui n'est pas le cas de la majorité des 300 idiomes parlés par 95 % des hommes.

du sens à l'image en 2 étapes



2 Il assemble les mots-clés pour décrire l'image

Un second réseau de neurones recherche, dans une banque de phrases déjà apprises, des fragments contenant les mots-clés associés à la photo. Il les assemble pour former une phrase et vérifie qu'elle est correcte en la comparant aux millions de phrases qu'il a mémorisées.

possible mots-clés et éléments constitutifs de l'image analysée.

Puis NIC transmet cette sélection à un deuxième réseau capable (aussi après un apprentissage) de reconnaître les schémas d'activation reçus pour les traduire en langue courante. C'est lui qui choisit et assemble les éléments de la phrase livrée *in fine* par le système.

La formulation "jeunes gens jouant au frisbee" a ainsi toute chance d'être construite à partir des fragments "jeunes gens au sport", "personnes jouant au ballon" et "frisbee" (voir ci-dessus), trois cas de figure appris au préalable.

UN ÉNORME DICTIONNAIRE

"Ce système exploite une technologie analogue à celle des logiciels de traduction automatique", note Laurent Besacier, responsable du Groupe d'étude en traduction automatique/trai-

tement automatisé des langues et de la parole à Grenoble.

Ces logiciels traduisent des phrases d'une langue source vers une langue cible (voir encadré). Bien qu'ici les "phrases" en langue source soient les schémas d'activation liant images et mots-clés, NIC fonctionne sur le même modèle: il décompose la phrase source en fragments et cherche dans sa mémoire des fragments similaires dont il détient une traduction dans la langue cible grâce à l'entraînement qui lui a permis de constituer un dictionnaire bilingue. Puis il assemble ces fragments en langue cible pour construire sa phrase traduite. Enfin, il la compare à des phrases mémorisées pour s'assurer, grâce à des calculs de probabilités, qu'elle est bien construite.

Et à l'instar des logiciels de traduction de ce type, si NIC

est, le plus souvent, pertinent, "il peut aussi produire une phrase grammaticalement correcte mais totalement à côté de la plaque", poursuit Laurent Besacier. Ce qui incite à affirmer que, aussi bluffant soit-il, NIC reste une machine "aveugle", bénéficiant d'une énorme mémoire bilingue.

Mais une machine pour l'heure sans égal, et qui "peut être utilisée pour effectuer la tâche inverse", précise Samy Bengio, c'est-à-dire retrouver une image à partir de sa description. "Ce projet est en phase de recherche." Et si le chercheur affirme n'avoir pas encore pensé à l'intégrer dans l'offre de Google, il y a fort à parier que de tels algorithmes tourneront bientôt dans les moteurs de recherche. Avant, probablement, de diffuser plus largement dans la "tête" des robots de demain.

A consulter : l'article publié par l'équipe de Google ; la méthode actuelle de recherche d'images ; des articles présentant l'état de l'art en analyse automatique d'images...

EN SAVOIR PLUS

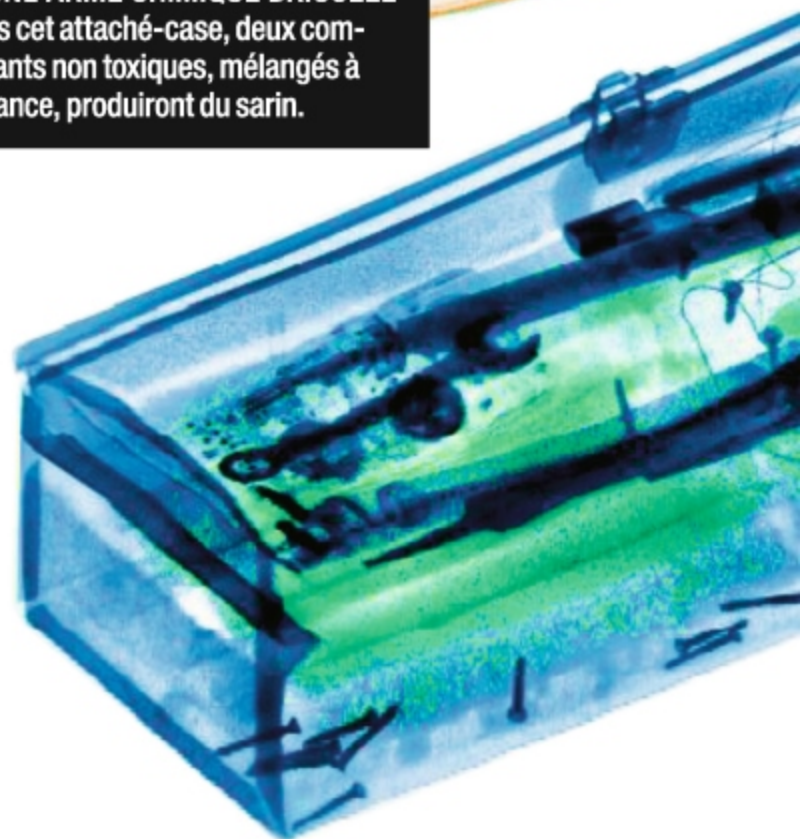
science-et-vie.com



^ **UNE BOMBE BIOLOGIQUE EN KIT**
Des agents biologiques pathogènes, échappant aux rayons X, sont dissimulés dans une boîte de cigares.



^ **UNE ARME CHIMIQUE BRICOLÉE**
Dans cet attaché-case, deux composants non toxiques, mélangés à distance, produiront du sarin.



Terroris

Le défi des bombes improvisées

Par **Denis Delbecq**

La lutte antiterroriste est aujourd'hui confrontée à un nouveau type d'explosifs bricolés à partir de produits ménagers, de kits de petit chimiste ou de recettes biologiques. Un nouvel arsenal conçu pour déjouer les systèmes de détection.

> **UN EXPLOSIF IMPROVISÉ**
La malette explose quand elle est soumise aux rayons X, qu'un dispositif transforme en lumière visible, activant un photodétecteur qui déclenche l'explosion.



^ **UNE CAISSE À OUTILS EXPLOSIVE**
La masse métallique dissimule la charge explosive lors du passage aux rayons X.

^ **UN DISPOSITIF RADIOLOGIQUE**
Des composés radioactifs (césium 137, cobalt 60), en poudre ou copeaux, sont dissimulés dans les contenants anodins de ce sac à main.



me

Si vous tenez à garder votre smartphone, pensez à le recharger avant de prendre l'avion. Liquides, sprays et appareils électroniques déchargés ne sont en effet plus admis en cabine dans les vols à destination des Etats-Unis depuis juillet 2014. Et il y a fort à parier que la mesure s'étende bientôt.

VISION/CAPS TRAINING

"C'est la réponse à une menace récente et spécifique, explique Jeffrey Price, consultant en sûreté aérienne et professeur à la Metropolitan State University de Denver (Colorado). Un appareil qui ne s'allume pas peut renfermer une charge explosive [dans le logement de sa batterie]."

Si cette vérification est devenue impérative, c'est que de tels explosifs sont de plus en plus souvent utilisés par les terroristes. Une menace redoutable pour le transport aérien, autant que pour tous les lieux qui accueillent le public.

"Pendant longtemps, les organisations terroristes

Repères

Les explosifs artisanaux, comme le TATP (triperoxyde de tricycloacétone) et le PETN (tétranitrate de pentaérythritol), les plus connus, peuvent être élaborés à l'aide de produits du commerce (eau oxygénée ou acétone). Mais ces molécules, ou leurs précurseurs, sont généralement très instables ; de nombreux apprentis terroristes l'ont payé de leur vie. Leur stabilisation et leur invisibilité aux rayons X requièrent par ailleurs de bien choisir les excipients. Ce en quoi les chimistes terroristes ont particulièrement progressé ces dernières années.

ont utilisé des munitions de guerre et des explosifs militaires fournis par des 'pays amis', comme l'Iran, l'URSS, la Libye ou la Chine, explique le criminologue et consultant en sûreté aérienne Christophe Naudin. Les bouleversements géopolitiques liés à la chute du Mur et la fragmentation des mouvements terroristes ont ensuite conduit les groupes, notamment djihadistes, à synthétiser leurs propres explosifs pour élaborer des engins improvisés."

Or, ces bombes improvisées sont particulièrement difficiles à détecter.

DES TÉLÉPHONES DÉTONATEURS

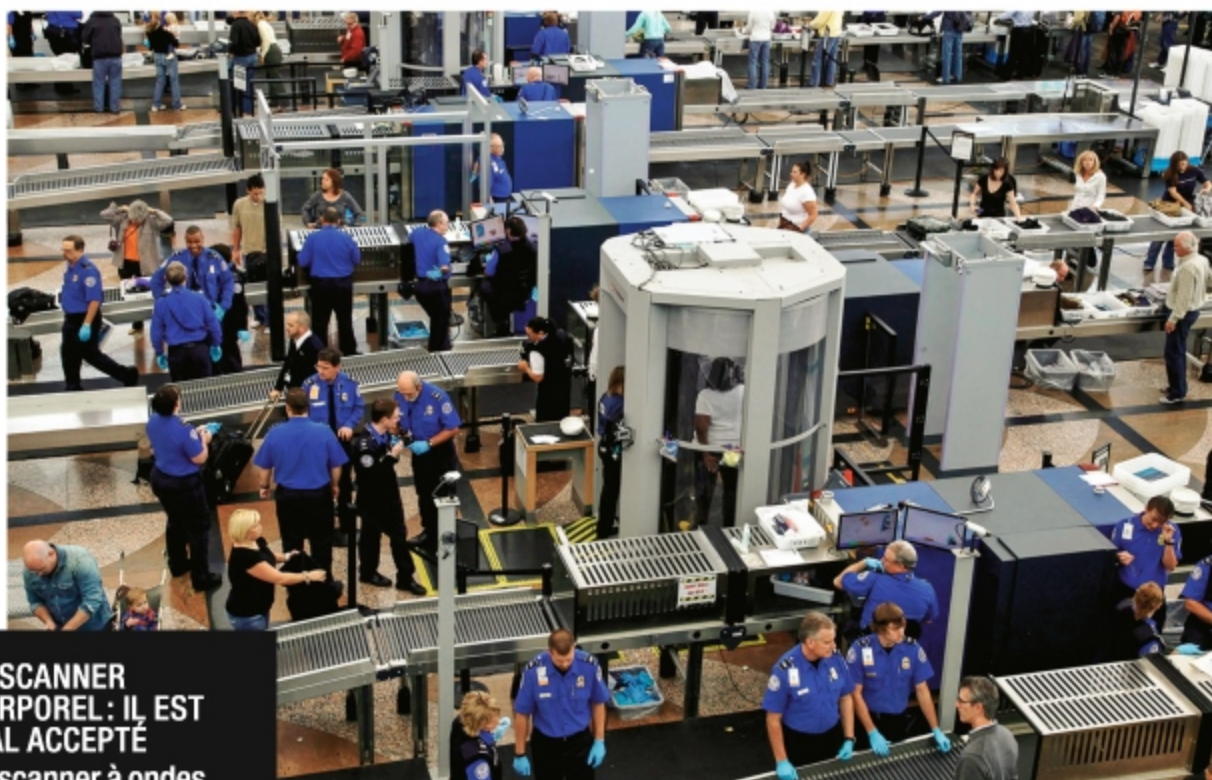
En août 2006, "les autorités britanniques ont arrêté des terroristes en possession de liquides et produits pâteux", relève Laurent Olmedo, directeur du programme de recherche en sécurité du Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Une découverte qui a résonné comme un coup de tonnerre : ces produits devaient servir, selon les autorités, à élaborer du TATP (triperoxyde de tricycloacétone), à bord de dix avions ; or, sous cette forme, impossible de les détecter au passage des contrôles avant embarquement.

Face à ce nouveau type de bombe, les Etats privilégient les mesures d'interdiction

Car si une grenade ou une arme de poing cachée dans un bagage se voit comme le nez au milieu de la figure sur l'écran d'un scanner à rayons X, un engin improvisé a de bonnes chances d'échapper à la vigi-

Les systèmes de détection peinent à s'adapter

Les moyens de détection des bombes improvisées existent, mais leur mise en œuvre, complexe, chère ou restreinte à certains cas, empêche de les utiliser systématiquement pour inspecter chaque passager ou bagage...



^ SCANNER CORPOREL : IL EST MAL ACCEPTÉ
Le scanner à ondes millimétriques (au centre) détecte le moindre objet dissimulé sur le corps ; mais il est cher et révèle tout de l'anatomie des passagers.

lance des agents de sûreté. Seul son dispositif de mise à feu, qui comporte souvent un circuit électronique, et donc du métal, peut le trahir. En effet,

les rayons X sont fortement absorbés par les gros atomes des métaux, et très peu par les petits qui, comme l'azote, le carbone ou l'oxygène, sont présents dans les explosifs. Mais encore faut-il être particulièrement vigilant pour reconnaître un détonateur électronique.

D'autant que les terroristes savent aujourd'hui transformer un simple téléphone portable en détonateur : le téléphone contient un peu d'explosif, que son électronique – *a priori* insoupçonnable – va faire exploser, cette explosion entraînant alors celle d'une autre charge plus importante. "Le portable est devenu un élément

privilegié de la chaîne pyrotechnique artisanale", affirme Christophe Naudin. Les deux charges – celle du téléphone et la principale – peuvent échapper aux rayons X.

Certes, les appareils de détection les plus récents sont équipés de deux faisceaux de rayons X, dont l'un, moins énergétique, "voit" mieux les atomes légers, signalant un matériau dont la densité pourrait correspondre à celle d'un explosif solide... Mais pas de quoi reconnaître un explosif liquide.

En fait, seule la diffraction des rayons X permet de repérer des liquides, en analysant non pas la manière dont les rayons sont absorbés par la matière, mais comment ils sont défléchis. Mais de tels appareils sont encore rares aux contrôles.

Voilà qui explique l'interdiction imposée le 6 novembre



△ **CHIENS RENIFLEURS :**
ILS SONT EFFICACES
MAIS SE FATIGUENT VITE
Leur flair excelle à dé-
busquer les composés
des explosifs ; mais il
n'est plus performant
au-delà de vingt minutes
de travail.



△ **NEZ ÉLECTRONIQUE :**
ENCORE EXPÉRIMENTAL
Les capteurs sophistiqués du
T-Rex, mis au point par le CEA,
sont très efficaces ; mais la
lenteur de l'analyse empêche
de l'utiliser pour des flux im-
portants de personnes.

2006 par l'Union européenne d'embarquer en cabine bouteilles et tubes de cosmétiques.

Une mesure que les terroristes peuvent cependant contourner en choisissant des contenants aux formes anodines. Voire en évitant de faire transiter les explosifs par leurs bagages, cachant les engins sur les kamikazes eux-mêmes. Car faute de pouvoir utiliser les rayons X pour des raisons sanitaires, les autorités font transiter les passagers par des portiques magnétiques qui se limitent à la détection de métaux.

Quant aux tout récents portiques à ondes millimétriques, s'ils détectent la forme des objets suspects cachés contre le corps, ils sont encore très peu utilisés pour une question de respect de la vie privée :

Chrono

Juillet 2014

Les appareils électroniques doivent être présentés chargés au contrôle pour les vols vers les Etats-Unis.

17 février 2014

Près de Cannes, des policiers découvrent 900 g de TATP, un explosif artisanal, cachés dans un immeuble.

Novembre 2006

L'Union européenne interdit liquides, pâtes et gels à bord des avions.

ils détournent en effet la morphologie des passagers dans les moindres détails. Reste alors l'inspection ponctuelle, quand un bagage ou un passager semble suspect.

RENIFLER LES LIEUX PUBLICS

Pour ce faire, rien de tel que les chiens "renifleurs". "Leur flair peut en effet détecter de faibles traces d'explosifs, explique Laurent Olmedo. Mais un chien coûte cher. Et son flair n'est opérationnel qu'une vingtaine de minutes par jour. Or, il n'y a aucun moyen de savoir quand il s'est émoussé."

Plus performant, mais long à mettre en œuvre : le "test de la chiffonnette". "On frotte un tissu sur le bagage ou les vêtements, pour récupérer d'éven-

tuelles molécules d'explosif. Il est ensuite chauffé dans un petit four pour analyser les vapeurs libérées grâce à un spectromètre qui identifie les molécules avec précision", ajoute Laurent Olmedo. Mais l'opération est fastidieuse et ne dira rien si le chiffon a été frotté au mauvais endroit...

De nombreuses équipes travaillent aujourd'hui sur des nez électroniques comme le T-Rex, un outil portatif bientôt commercialisé, conçu au CEA. "Il suffit d'ouvrir le sac suspect et d'analyser l'air à l'intérieur, explique Laurent Olmedo. En moins d'une minute, grâce à 14 capteurs, le T-Rex peut signaler la présence d'une dizaine d'explosifs militaires ou artisanaux, même en présence de parfum. Mais il n'est pas possible pour le moment de systématiser de tels contrôles qui retarderaient l'embarquement."

En Israël, la firme Tracense et l'université de Tel Aviv ont présenté en juillet un détecteur portatif à base de nanocapteurs, qui détecterait les explosifs à 4 m de distance.

Ces nez artificiels augurent-ils de machines à renifler l'air des salles d'embarquement, voire de spectacle ?

"Ce serait un grand progrès, estime Christophe Naudin. Car même si on commence à voir des portiques qui analysent l'air sur le passage des personnes, le contrôle des passagers restera longtemps le maillon faible de la sûreté aérienne."

A consulter : les réglementations en vigueur dans les aéroports ; les caractéristiques des nez électroniques en développement.

science-et-vie.com



EN
SAVOIR
PLUS



^ Propulsée par 4 boosters, la fusée A64 (ici, une vue d'artiste), la plus puissante des deux versions d'Ariane 6, devrait transporter des satellites en orbite dès 2020.



KOUROU (GUYANE)

L'Europe fait coup double avec **Ariane 6**

Ça y est, c'est signé! Un accord a enfin été conclu au sein de l'Agence spatiale européenne (ESA) au sujet de la sixième déclinaison du lanceur *Ariane*... ou plutôt, de ses déclinaisons. Ce sont en effet deux versions, hautes de 70 m, qui vont être construites. La première, A64, la plus puissante, dotée de quatre boosters et réservée aux vols commerciaux (satellites de télécommunications...), pourra

hisser deux satellites de 10,5 t au total en orbite géostationnaire – comme *Ariane 5*. La seconde, A62, propulsera avec ses deux boosters un seul satellite de 5 t environ à la fois, institutionnel celui-ci (scientifique, militaire...). Sur ce marché, l'américain SpaceX notamment, soutenu par la Nasa, casse les prix avec ses fusées *Falcon*. Dans ce contexte, *Ariane 6* se présente comme un bon compromis, qui doit offrir

plus de souplesse qu'un lanceur unique et diminuer le coût des lancements. C'est surtout une manière pour l'ESA de reprendre la main face à une concurrence grandissante, qu'elle soit chinoise, russe ou américaine. L'agence européenne espère ainsi atteindre les 12 lancements par an, dont 5 institutionnels, soit 19 satellites envoyés dans l'espace chaque année. Premier tir prévu en 2020. **E.T.-A.**



MOUNTAIN VIEW (CALIFORNIE)

Des robots vigiles effectuent leurs premières rondes

Mi-RoboCop, mi-R2-D2, cinq spécimens de ce vigile du futur ont fait leur apparition sur le campus de Microsoft, dans la Silicon Valley. Nom de baptême : K5. Ces agents de sécurité non armés, hauts de 1,5 m, larges de 90 cm et pesant 136 kg, sont l'œuvre de la société californienne Knightscope. Campés sur trois roulettes, ils circulent lentement, mais peuvent aussi piquer des pointes de vitesse en cas de besoin. Bardés de capteurs (lidar, caméras, GPS, micros, détecteurs, scanner...), ils émettent une alarme sonore ou préviennent les forces de l'ordre à la moindre anomalie. Autonomie annoncée : vingt-quatre heures, et seulement vingt minutes de temps de recharge. **E.T.-A.**

NEW YORK

Un jardin public souterrain verra bientôt le jour

Comment introduire plus d'espaces verts en ville ? En réinvestissant des lieux abandonnés, comme cette station de trolleybus désaffectée dans les sous-sols de New York, clame un petit groupe d'architectes et d'ingénieurs à l'origine du projet Lowline. Baptisé ainsi en référence à la High Line – un parc new-yorkais surélevé créé sur une ancienne voie ferrée –, ce premier parc souterrain a, en plus, la particularité de pouvoir être éclairé... à la lumière du jour. Des paraboles installées dans les rues juste au-dessus collectent les rayons du soleil pour les diffuser sous terre via des fibres optiques. Ce qui permet aux plantes de pousser au milieu des rails, et aux promeneurs de profiter d'une luminosité naturelle. Les négociations avec les autorités sont en cours, pour une ouverture du parc au public dès 2018. **L.B.**



NICARAGUA

Le creusement d'un canal gigantesque a commencé

De plus en plus de marchandises transitant par bateau, le trafic en mer s'intensifie et la taille des navires ne cesse d'augmenter.

Résultat: c'est l'embouteillage. En particulier au niveau du canal de Panama, qui relie les océans Atlantique et Pacifique. D'où le projet de creuser, 500 km plus au nord, un nouveau canal passant par le lac Nicaragua, qui sera à la fois plus long (278 km), plus profond (27 m) et plus large (200 à 500 m). Un chantier gigantesque, confié au groupe chinois HKND pour un budget de 50 milliards de dollars. Les travaux, qui viennent juste de commencer, devraient être terminés en 2020. L.B.



Idée neuve



"CRÉER UN SUPER WI-FI GRÂCE AUX FRÉQUENCES LIBRES DE LA TÉLÉ"

Arnd Weber, économiste, institut de technologie de Karlsruhe (Allemagne)

Avec l'essor de la télévision numérique (TNT, ADSL, câble, fibre...), pourquoi ne pas récupérer les fréquences laissées vacantes par l'abandon de l'analogique pour développer un super réseau wi-fi gratuit? Pour l'économiste Arnd Weber et son collègue Jens Elsner, ingénieur en télécommunications, un tel réseau aurait de multiples avantages. D'abord celui d'offrir une couverture plus importante: plusieurs kilomètres de rayon, contre quelques mètres pour les réseaux locaux sans fil (WLAN) comme le wi-fi. Cette technologie réduirait aussi le coût des communications. Enfin, elle pourrait entraîner le développement de divers services, dont des outils de communication efficaces en cas de catastrophe naturelle. Reste à convaincre les gouvernements d'offrir les fréquences libres au plus grand nombre... C'est l'objectif que se sont fixé les deux chercheurs pour la prochaine Conférence mondiale des radiocommunications, qui aura lieu à Genève en novembre. E.T.-A.

KNIGHTSCOPE - RAAD STUDIO - DR



LONDRES

Prédire les scènes de crime grâce aux portables

Des chercheurs ont réussi à deviner dans quels quartiers de Londres se produiraient des crimes le mois suivant avec une exactitude record de plus de 70 %. En plus des statistiques démographiques, ils ont exploité les données fournies par un opérateur de téléphonie mobile concernant les trois semaines précédentes. Les appels émis et reçus ont permis de connaître heure par heure et à l'échelle d'un pâté de maisons les mouvements de population (proportion d'hommes et de femmes, de résidents et de travailleurs, répartition selon l'âge) et d'identifier plus finement les zones à risque au cours de la journée. O.L.

KROMMENIE (PAYS-BAS)

Une piste cyclable pavée de panneaux solaires

Recouvrir de panneaux photovoltaïques l'ensemble des toits néerlandais n'assurerait que 25 % des besoins en électricité du pays. D'où l'idée d'exploiter les 140 000 km de routes et les pistes cyclables qui les longent. A Krommenie, 100 m de piste cyclable viennent ainsi d'être pavés de panneaux solaires, installés dans des modules en béton et recouverts d'une plaque en verre trempé. Cette portion servira de test pendant trois ans. L'électricité produite sera utilisée pour l'éclairage public et les feux, voire, à terme, pour la recharge des véhicules électriques. O.L.

Rendez-
vous en...
2025

SAN JOSÉ (ETATS-UNIS)

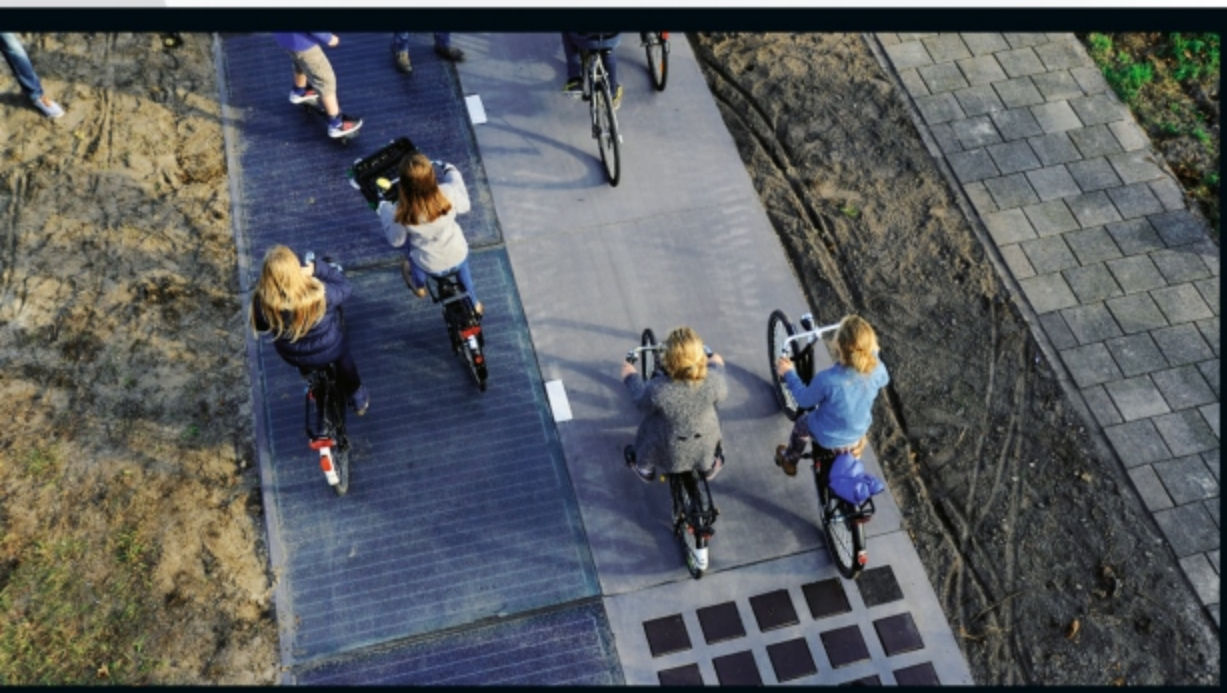
LES CALIFORNIENS BOIRONT BIENTÔT L'EAU RECYCLÉE DE LEURS TOILETTES

Les eaux usées peuvent être débarrassées des germes et des polluants chimiques dans des usines de traitement. C'est le cas en Californie, où les ressources en eau douce atteignent régulièrement des niveaux critiques à la suite de sévères épisodes de sécheresse. La plus performante des usines de recyclage d'eau américaines, inaugurée l'été dernier dans cet Etat, traite ainsi de l'eau qui est ensuite utilisée pour l'irrigation des champs, l'arrosage des parcs... Et qui devrait, d'ici à 2025, être injectée dans le réseau d'eau potable. Car les technologies employées par ce Centre avancé de purification assurent un niveau de pureté inégalé. Un processus de microfiltration élimine d'abord solides et bactéries. Puis l'eau passe, sous haute pression, à travers des trous aussi petits que ses molécules : elle est ainsi débarrassée des sels, virus, produits pharmaceutiques, pesticides... Enfin, comme pour la stérilisation des médicaments ou des jus d'orange, elle est bombardée d'ultraviolets pour tuer les éventuels microbes résiduels. De quoi éliminer 99,99 % des agents pathogènes. Un exemple à suivre pour nombre de régions en manque d'eau... E.T.-A.

ILE DE MUCK (ECOSSE)

Des **flotteurs** vont transformer les **vagues** en **électricité**

Profiter du mouvement des vagues pour générer de l'électricité... Voilà l'ambition de WaveNET, un projet né en 2007 et dont les essais commerciaux ont débuté au large de l'île de Muck, en Ecosse. Trois séries de six flotteurs ont été mises à l'eau en vue d'alimenter une ferme salmonicole. A l'intérieur de chaque flotteur, d'une capacité de 7,5 kW, une station de pompage convertit l'énergie mécanique des vagues en énergie hydraulique, puis en électricité. Le dispositif fonctionne dans une profondeur d'eau minimale de 20 m et supporte des vagues de 6 m de hauteur. Prochaine étape : doubler la capacité de chacun des flotteurs avant d'obtenir, à l'horizon 2024, un maillage de 1,25 km de longueur produisant jusqu'à 100 MW. E.T.-A.



ALBATERN - SOLAROAD



ROTTWEIL (ALLEMAGNE)

L'ascenseur à lévitation de demain circulera aussi à l'horizontale

L'ascenseur tel qu'on le connaît aujourd'hui a atteint ses limites dans les gratte-ciel : temps d'attente interminables, longs couloirs à parcourir à pied... Le groupe allemand ThyssenKrupp propose donc de le réinventer complètement en créant une version sans câble nommée Multi, qui se déplace aussi à l'horizontale ! Reprenant la technologie des trains magnétiques, Multi parcourt tout le bâtiment à la vitesse de 5 m/s, lévitant au-dessus de longs rails de guidage dotés de puissants électro-aimants, et passant de la verticale à l'horizontale via des rails pivotants. Plusieurs cabines peuvent ainsi circuler en même temps, ce qui réduit les délais d'attente à moins de trente secondes. Ce type d'ascenseur pourrait aussi permettre d'innover davantage dans la forme des bâtiments. Un premier prototype devrait être testé d'ici à fin 2016 dans la future tour d'expérimentation du groupe, à Rottweil. **L.B.**

Culture Science

114

Bon à savoir

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

116

Questions / Réponses

Notre stature dépend-elle du nombre de nos cellules? Quelle est la plus grande structure connue dans l'Univers?...

120

A voir / à lire

"Grands singes" au Muséum national d'histoire naturelle; "ExplorUnivers", un cours d'astronomie en ligne conçu par des experts et ouvert à tous.

124

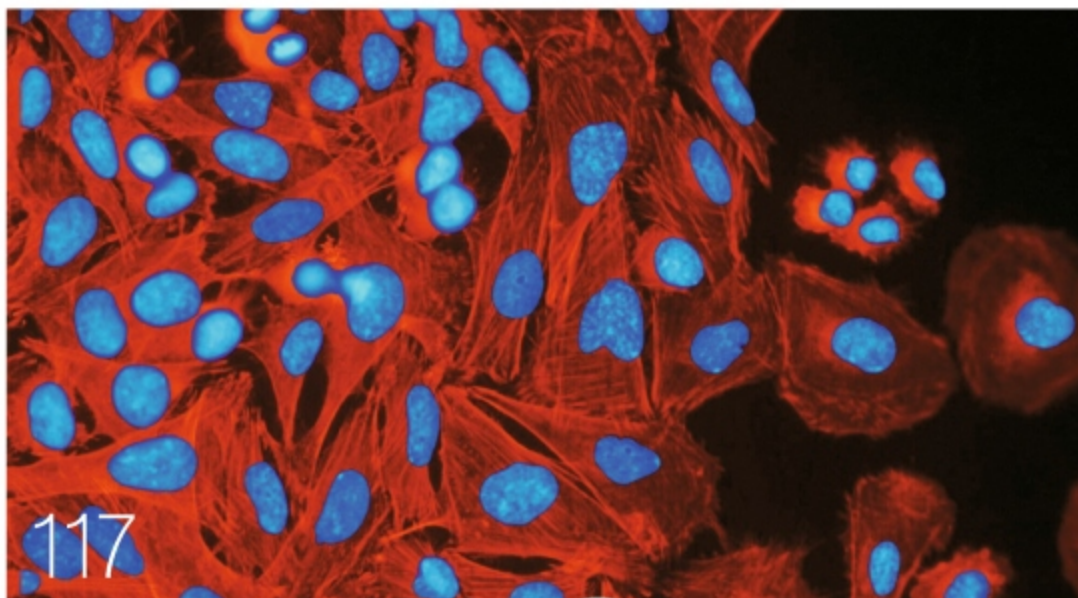
Technofolies

L'ordinateur qui transforme les murs en écrans tactiles; la première voiture à hydrogène grand public; un robot capable de lire nos émotions...

128

Il y a... 40 ans

27 février 1975: à Asilomar, en Californie, généticiens, microbiologistes, médecins et juristes débattent pour la première fois des risques induits par les manipulations génétiques.



H.LIBOUBAN/INSERM - D.R. - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE

LES FUTURS PÈRES ONT MOINS DE TESTOSTÉRONE

La modification du comportement des futurs pères pourrait s'expliquer par des fluctuations de leurs niveaux d'hormones, selon une petite étude américaine. Avant l'accouchement, le taux de testostérone baisserait en même temps que leur agressivité. "American Journal of Human Biology", déc. 2014



ÉTEINDRE SA CIGARETTE AIDE À MOINS BOIRE

Quelques semaines après l'arrêt de l'alcool, les neurones des non-fumeurs alcooliques montrent des adaptations qui, chez les fumeurs, sont absentes. Ce qui est associé à une plus grande envie de boire. "Pnas", déc. 2014

LA COULEUR DE LA TASSE INFLUE SUR LA PERCEPTION DU CAFÉ

Un même café servi dans des tasses identiques mais de diverses couleurs est perçu différemment par le buveur : plus fort dans un mug blanc que bleu ou transparent. Peut-être parce que sa couleur, associée à son amertume, ressort davantage. "Flavour", 25 nov. 2014

LA BIÈRE SE RENVERSE MOINS FACILEMENT QUE LE VIN

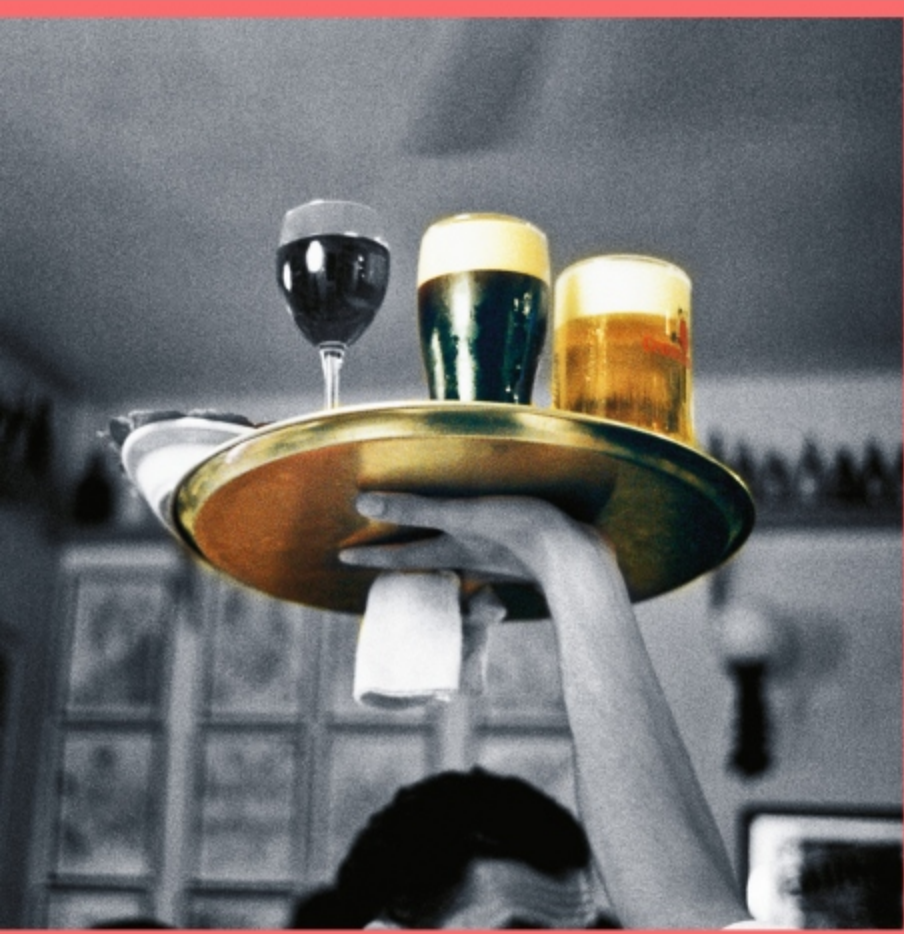
Peut-être l'aviez-vous déjà remarqué : la bière est moins facile à renverser que les autres boissons. Des physiiciens français et américain viennent de le démontrer et même de l'expliquer. En cause : le frottement, contre les parois du verre, des bulles qui composent la mousse de la bière. Ces frottements ralentissent le soulèvement du liquide qui se produit lorsqu'on est bousculé ou qu'on tremble, évitant ainsi le débordement. Si avec une Guinness, dont la mousse est particulièrement riche en bulles, on peut donc se déplacer tranquillement le verre à la main, une tache de vin est par contre vite arrivée. "Conférence APS DFD", nov. 2014

L'ALTRUISME PEUT TOUT À FAIT S'APPRENDRE AUX ENFANTS EN BAS ÂGE

Récemment, plusieurs études ont montré qu'encourager les comportements altruistes chez les enfants par des mots ou des récompenses était inefficace, voire contre-productif. Ce qui pouvait suggérer que l'altruisme des enfants ne peut pas être acquis et qu'il est simplement inné. Faux, répondent aujourd'hui des chercheurs américains : l'altruisme peut s'apprendre, il faut juste choisir la bonne méthode ! Dans leur expérience, les enfants de 1 à 4 ans avec qui ils jouaient à se renvoyer une balle étaient ensuite plus enclins à aider des inconnus à attraper un objet, et à faire preuve de générosité vis-à-vis de ceux avec qui ils avaient joué, que les enfants qui s'étaient divertis avec leur propre jouet. "Pnas", déc. 2014



FOTOLIA - A. BENOIST/BSIP - M. ANDERSSON/AGEFOTOSTOCK - CHASSENET/BSIP



DÎNER PLUS TÔT POURRAIT PRÉVENIR OBÉSITÉ ET DIABÈTE

D'après une étude américaine sur près de 400 souris, prendre son petit déjeuner plus tard et dîner plus tôt pourrait protéger de l'obésité et des troubles métaboliques voire les guérir. Ainsi, alors que leurs souris ingéraient toutes la même quantité de nourriture, celles qui y avaient accès moins de 12 heures par jour développaient moins de cholestérol, étaient moins résistantes au glucose (un signe de diabète), conservaient un foie en meilleure santé, et, lorsqu'elles étaient soumises à un régime gras, restaient plus minces que celles qui s'alimentaient quand elles le voulaient. Le bénéfice était d'autant plus grand que la durée des jeûnes était longue (jusqu'à 16 heures par jour), et il persistait même quand les souris étaient autorisées à s'alimenter à n'importe quelle heure, deux jours par semaine. "Cell Metab.", déc. 2014

LE CHOCOLAT NE SERAIT PAS SI BON POUR LE MORAL

Une expérience menée sur 100 volontaires a montré que l'anxiété provoquée par un film ne se dissipait pas plus vite après avoir mangé du chocolat ou autre chose (fruits secs...). C'est avec le temps que les "idées noires" s'évacuaient. "Health Psychology", déc. 2014

QUI SE SENT JEUNE VOIT SON ESPÉRANCE DE VIE ALLONGÉE

Pendant 8 ans, l'université de Londres a suivi 6489 individus de 52 ans et plus. Verdict : leur taux de mortalité s'est révélé de 14 % chez ceux qui se sentaient plus jeunes, 18,5 % chez ceux qui se sentaient de leur âge et 25 % chez ceux qui se sentaient plus vieux ! "JAMA", déc. 2014

LA "JUNK FOOD" PÈSE SUR LE PSYCHISME DES ADOS

Des chercheurs iraniens ont établi que les enfants et ados montrent plus souvent des symptômes de détresse psychologique quand ils mangent beaucoup de snacks gras, salés et sucrés. Ce déséquilibre nutritionnel impacterait le cerveau. "Nutrition", nov. 2014

MOINS LIRE SES MAILS REND PLUS SEREIN

Si ce bénéfice n'est pas très surprenant, il vient d'être démontré grâce à une étude canadienne menée par l'Université de Colombie-Britannique sur une période de deux semaines. Pendant la première, 124 adultes ne pouvaient regarder leurs mails que trois fois dans la journée. La semaine suivante, ils pouvaient laisser leur messagerie ouverte et la consulter autant de fois qu'ils le souhaitaient. Chaque jour ils évaluaient leur état d'esprit. Résultat ? Les participants ont éprouvé moins de stress et plus de bien-être quand l'accès aux mails était limité que lorsqu'ils pouvaient les consulter sans limitation. "Computers in Human Behavior", déc. 2014



Notre stature dépend-elle du nombre ou de la taille de nos cellules ?

Question de Damien Benini, Daussois (Belgique)

La réponse est claire : *“La différence entre une personne plus grande et une plus petite dépend du nombre de divisions cellulaires avant l’arrêt de la croissance, régi de façon hormonale, qui détermine, pour la vie, la longueur des os”*, tranche Joëlle Sobczak-Thépot, spécialiste de la prolifération cellulaire à l’université Pierre-et-Marie Curie (Paris).

Ainsi, plus les divisions sont nombreuses, plus les cellules seront nombreuses, et plus les individus seront grands.

Question muscles, c’est très différent. Les cellules du cœur atteignent leur nombre définitif autour de 1 an. Au-delà de cet âge, tout accroissement du muscle vital se fait par augmentation de la taille des cellules.

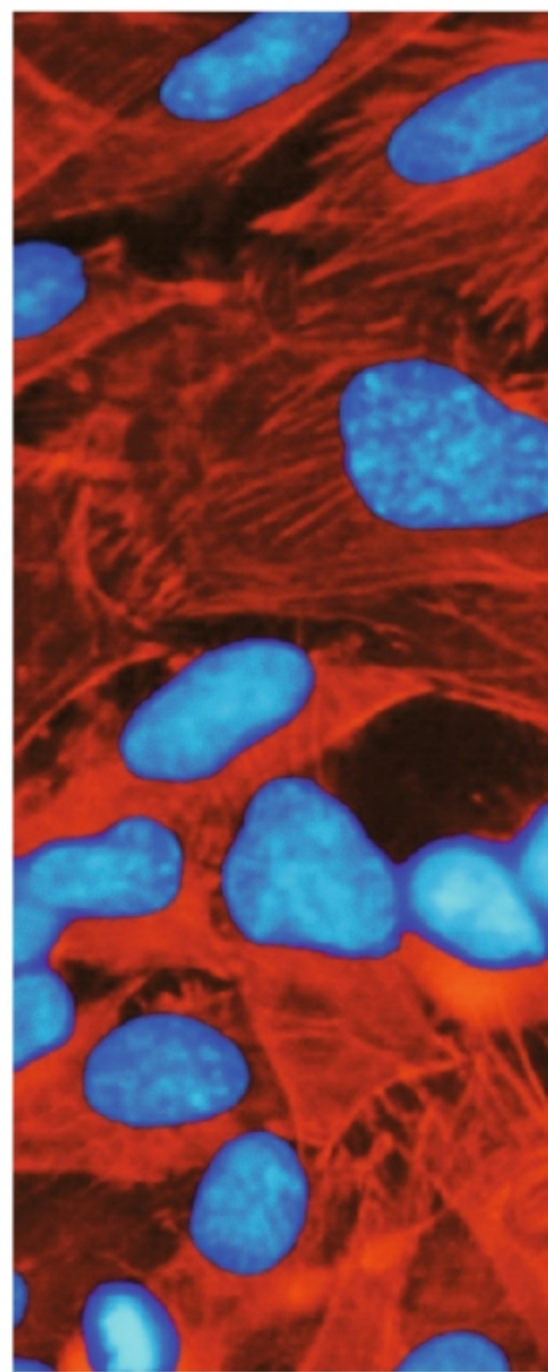
DE L’INCONVÉNIENT D’ÊTRE TROP GRAND...

“Indépendamment de la stature de la personne, le cœur va adapter sa dimension à l’effort qu’il doit fournir pour pomper le sang, explique la biologiste. Il va changer sa géométrie en réponse à ce que l’organisme en-

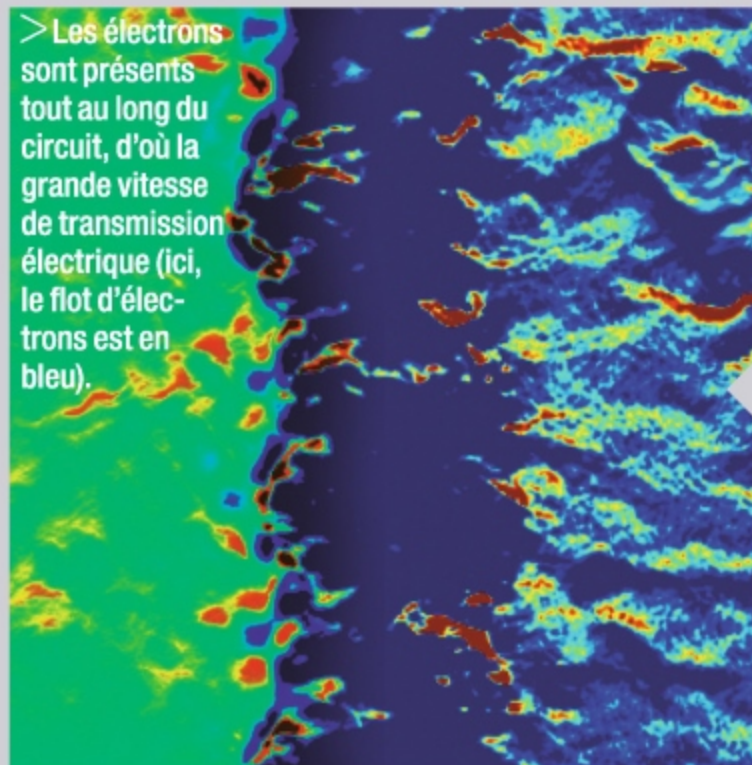
tier lui demande.” Même schéma pour la gonflette, qui porte bien son nom et engendre une augmentation de la taille mais pas du nombre de cellules.

A noter enfin que les cellules ne pouvant se diviser indéfiniment, chacune des divisions engendre un vieillissement de la cellule qui aboutit à long terme à sa sénescence : *“Les personnes plus grandes ont donc des cellules prématurément vieilles, souligne Joëlle Sobczak-Thépot; leur capital est déjà un petit peu entamé.”*

A.P.



> Les électrons sont présents tout au long du circuit, d’où la grande vitesse de transmission électrique (ici, le flot d’électrons est en bleu).

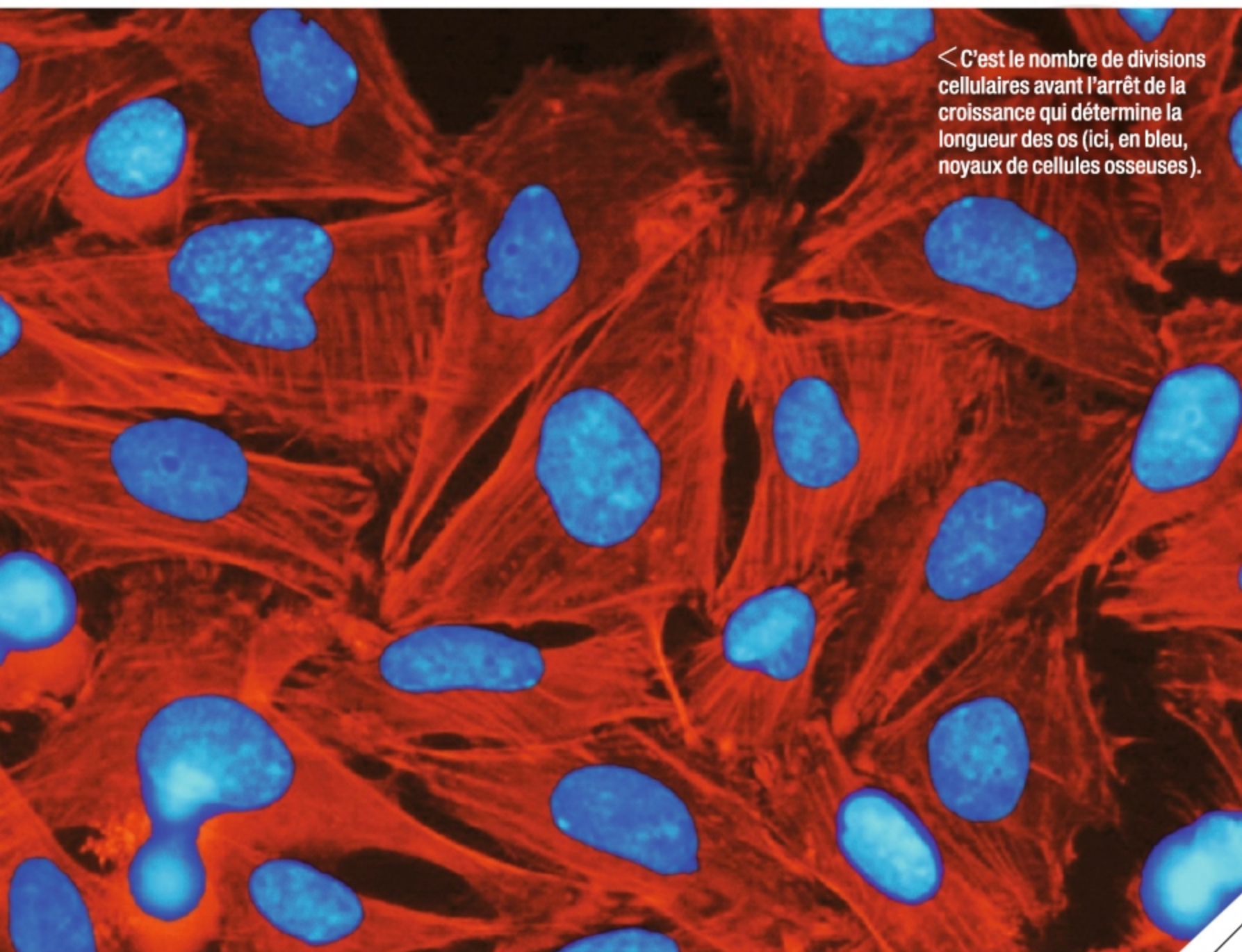


Quelle est la vitesse de l’électricité dans un câble ?

Question de G. Lacoste, Notre-Dame-de-Sanilhac (24)

Celle d’un... escargot ! Dans un fil de cuivre de 1 mm² de section parcouru par un courant de 1 ampère, la vitesse du nuage d’électrons est de quelques millimètres par seconde. Dès lors, comment expliquer que la lumière s’allume juste après avoir appuyé sur l’interrupteur ? Parce que les électrons sont déjà présents tout au long du circuit. *“Il ne faut pas confondre, prévient Pierre Luaginie, de la Société française de physique et maître de conférence à l’université Paris-Sud. Ce ne sont pas les électrons de départ qui se sont propagés instantanément, mais l’information de mouvement, associée à un champ électrique qui se déplace à plusieurs centaines de milliers de kilomètres par seconde !”*

F.C.



< C'est le nombre de divisions cellulaires avant l'arrêt de la croissance qui détermine la longueur des os (ici, en bleu, noyaux de cellules osseuses).

D'où vient la "peau" du lait ?

Question de Maëlys de Robillard, La Celle-Saint-Cloud (78)

"Le lait ne contient évidemment pas que de l'eau, souligne Virginie Nicolet, de FranceAgriMer (établissement national des produits de l'agriculture et de la mer). On y trouve notamment 3 % de protéines, des caséines (longues molécules repliées sur elles-mêmes). Exposées à environ 80 °C, elles se déplient et se regroupent en formant une sorte de fillet." Sous l'effet de la chaleur, les fines gouttelettes graisseuses présentes aussi dans le lait se rassemblent sous forme de gouttes plus grosses. Celles-ci, moins denses que les autres constituants, remontent à la surface en même temps que le fillet de protéines. "Ce mélange de graisses et de protéine crée une structure solide qui flotte sur le lait : c'est ce qu'on appelle la peau du lait", conclut la spécialiste. Cette crème en suspension est comestible. Les pâtisseries l'utilisent d'ailleurs dans certains biscuits en raison de sa texture bien particulière.

F.C.



Quelle est la plus grande structure connue dans l'Univers ?

Question de Alexandre Lambert, Charleville-Mézières (08)

A priori, ce sont les superamas : sous l'effet de la gravitation, les étoiles se regroupent en galaxies, qui s'assemblent en amas de galaxies, qui eux-mêmes se regroupent en superamas. Ceux-ci, qui s'étendent sur plusieurs centaines de millions d'années-lumière, seraient donc ce qu'il y a de plus grand dans l'Univers.

La Voie lactée fait ainsi partie du superamas Laniakea dont les contours viennent d'être fixés à 500 millions d'années-lumière de diamètre (voir *S&V* n° 1165, p. 88).

Et pourtant : les astronomes ont découvert en 2013 un groupe de 73 galaxies qui fait... 4 milliards d'années-lumière de long. (voir *S&V* n° 1147, p. 36).

UN AUTRE MONSTRE ?

C'est 40 000 fois la taille de la Voie lactée. Cette structure nommée Huge Large Quasar Group (LQG) est si vaste que si on pouvait la voir à l'œil nu dans le ciel elle s'étendrait dans la constellation du Lion sur une largeur équivalente à 30 pleines lunes côte à côte, malgré sa distance ! Au contraire des amas et des

superamas, les galaxies qui constituent le Huge LQG sont si éloignées les unes des autres qu'elles ne sont pas liées gravitationnellement.

Pourtant, on peut bel et bien parler de structure. Car à partir de l'échelle de 1 milliard d'années-lumière, l'Univers est parfaitement homogène – ce principe d'homogénéité, à la base même du modèle cosmologique, la théorie qui décrit l'Univers, a été vérifié en 2013 par le télescope spatial *Planck*.

Ainsi, chaque cube, qui fait 1 milliard

d'années-lumière de côté, est censé être de même densité de matière que ses voisins. Et le LQG est un grumeau dans cette soupe uniforme. Une zone où il y a plus de matière qu'ailleurs. Une structure donc.

Et la plus grande jamais découverte... en attendant peut être qu'un autre monstre sorte de l'ombre : des astronomes ont en effet perçu en 2013 une concentration de galaxies nommée Grand Mur d'Hercule, de 10 milliards d'années-lumière de long. Ils sont en train de tenter de confirmer son existence... **B.R.**

Comment font les chevaux pour dormir debout ?

Question de O. Laügt, Pessac (33)

Les chevaux, qui n'ont besoin de dormir que 3 heures par nuit, bloquent les articulations de leurs pattes, qui peuvent ainsi supporter des centaines de kilos. "Ils ont tout de même besoin d'un faible tonus musculaire au niveau de leur quadriceps", détaille Laureline Lecoq, spécialiste en médecine interne équine. C'est pour cela qu'on les voit changer de pieds d'appui quand ils se reposent debout. Le sommeil dans cette position n'est pas très réparateur. Pour entrer dans le sommeil profond puis paradoxal, les chevaux doivent s'allonger, sur le sternum, puis sur le côté. Cependant, explique la vétérinaire, "ils peuvent préférer la position debout lorsqu'ils ressentent un sentiment d'insécurité". Ce qui s'observe souvent chez les chevaux hospitalisés ou chez ceux qui voyagent beaucoup. Ils ne se couchent qu'après plusieurs jours, voire plusieurs mois passés dans leur nouveau milieu. **F.C.**



Sapiens

Question de Manuel Alves,

Non, mais "même si on ne peut pas l'affirmer avec certitude – car il est difficile de quantifier la douleur d'une autre personne et encore plus celle d'autres espèces – on pense que l'accouchement humain est le plus douloureux du règne animal", répond Wenda Trevathan, anthropologue biologiste américaine.

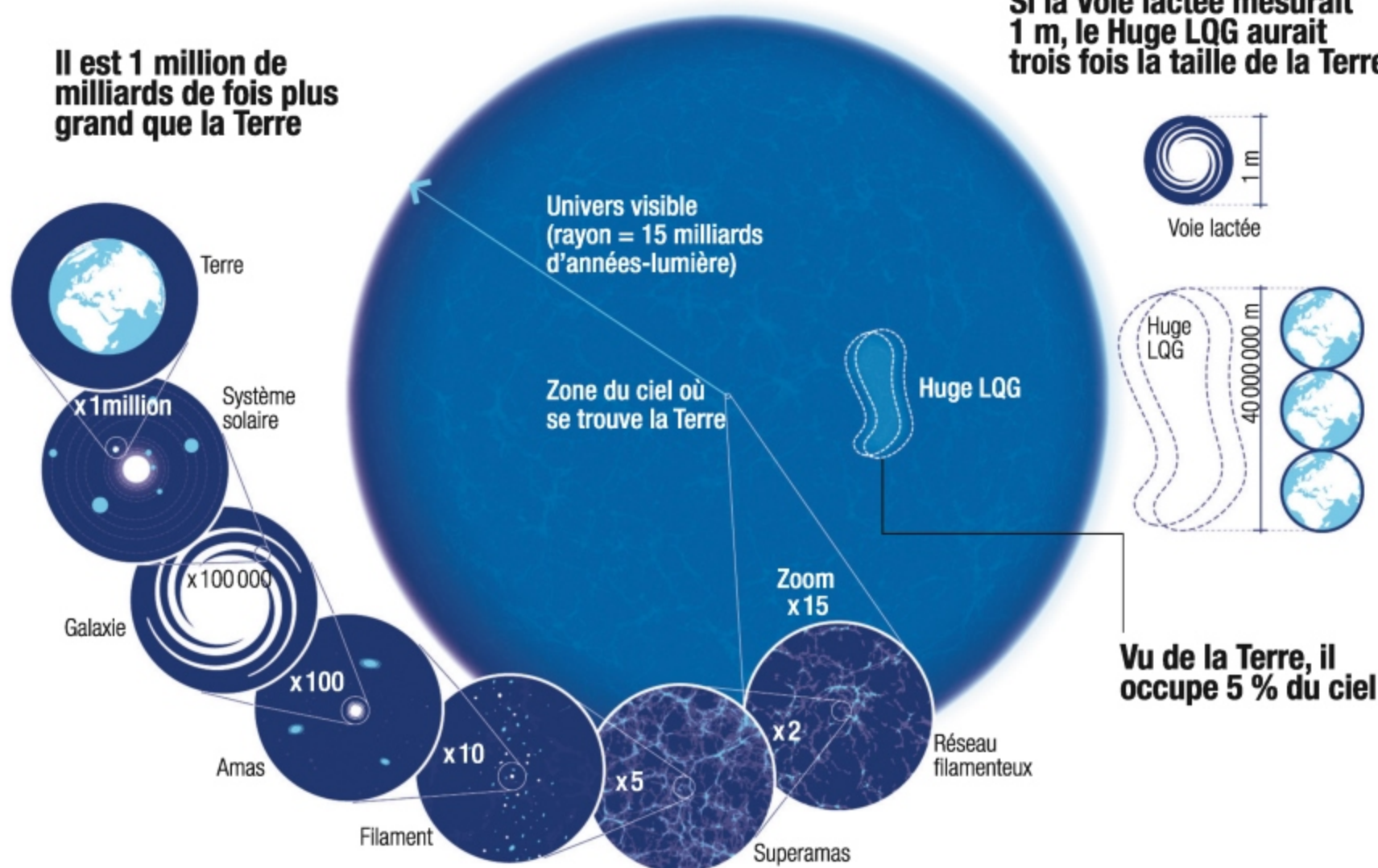
C'est en tout cas le plus long de tout le règne animal. Selon une étude récente, les femmes accouchant pour la première

YVA MOMATIUK/J. EASTCOTT/MINDEN PICTURES - A. DAGAN

Le plus gros objet observé à ce jour est le "Huge LQG", un groupe de 73 galaxies

Il est 1 million de milliards de fois plus grand que la Terre

Si la Voie lactée mesurait 1 m, le Huge LQG aurait trois fois la taille de la Terre



est-il le seul à enfanter dans la douleur?

Epinay-sur-Seine (93)

fois et à terme, le travail dure en moyenne près de 9,5 heures, soit cinq fois plus que chez les grands singes anthropoïdes comme le gorille, le chimpanzé, et l'orang-outang, ou neuf fois plus que pour la baleine – qui a pourtant dix-huit mois de gestation!

Selon les chercheurs, l'enfantement humain serait devenu de plus en plus douloureux au fil de l'évolution à cause de deux changements anatomiques majeurs de notre espèce.

D'abord, le passage à la bipédie il y a plus de 3,5 millions d'années. Ce changement a induit un basculement vers l'avant du bassin de sorte que le canal de naissance est coudé, et donc plus difficile à traverser pour le fœtus.

LE FACTEUR DE L'ANXIÉTÉ

L'autre évolution anatomique en cause est l'augmentation du volume de notre cerveau, qui est passé de 600 cm³ il y a 2 millions d'années à près de

1500 cm³. Conséquence: le rapport de la masse du cerveau humain sur celle du reste du corps est de 7,44, contre 5,31 chez le dauphin et 2,49 chez le chimpanzé. Or, plus le volume crânien du fœtus est important, plus son transit dans le canal de naissance est difficile, d'autant que celui-ci est devenu plus étroit.

Un autre facteur peut accentuer la douleur chez la femme: la peur et l'anxiété, "des émotions probablement plus fréquentes chez les humains modernes", précise Wenda Trevathan.

Plusieurs études ont montré que les femmes détendues grâce à un soutien pendant l'accouchement ont besoin de moins de traitement antidouleur". Notamment une grande étude publiée en 2012 par la Canadienne Ellen Hodnett, synthèse de 22 études menées sur plus de 15 000 femmes dans 16 pays.

Grâce à des moyens culturels et technologiques, dont la péridurale, l'humain est aussi finalement le seul mammifère à pouvoir rendre l'accouchement moins douloureux. **K.B.**

Exposition "Grands singes", Muséum national d'histoire naturelle de Paris

Les grands singes s'installent à Paris

La spécificité des scientifiques du Muséum national d'histoire naturelle, c'est qu'ils ont une double mission : celle de mener de patients travaux de recherche, et celle de les partager avec le public.

Et cet hiver, ce sont les grands singes qui en profitent. Pour notre plus grand plaisir !

UNE IMMERSION COMPLÈTE

Entre deux expéditions dans la forêt de Kibale, en Ouganda, où elle étudie les chimpanzés sauvages depuis une quinzaine d'années, la primatologue Sabrina Krief a concocté avec l'ethnologue Serge Bahuchet une importante exposition sur ces proches cousins, qui ouvrira ses portes pour plus d'un an le 11 février, à Paris. En attendant peut-être de tourner en province.

Les grands singes ? L'exposition permet d'abord de se faire une idée de ce que désigne ce terme, à savoir un groupe de primates sans queue dotés d'un gros cerveau, aujourd'hui représenté par six espèces. Quatre vivent en Afrique : les chimpanzés, les bonobos, les gorilles de l'Ouest et ceux de l'Est ; et deux en Asie : les orangs-

outans de Sumatra et les orangs-outans de Bornéo. Ils sont ici présents grandeur nature grâce à des sculptures, des spécimens naturalisés et quelques squelettes sortis de l'impressionnante collection du Muséum.

On voyage ensuite dans le temps grâce aux moulages d'ossements qui transportent le visiteur plusieurs millions d'années en arrière, sur les traces de nos racines communes. La paléontologue Brigitte Senut nous sert alors de guide, en vidéo, sur ses terrains

généalogique des "humanoïdes", qui englobent homme et grands singes dans une même famille.

Le Muséum offre ensuite un passage en images par l'histoire des sciences, dont il fut un acteur majeur. On "croise" ainsi le très émouvant Jocko, un chimpanzé adopté en 1740 par le grand naturaliste Buffon, qui fut empaillé à sa mort dans une improbable position assise.

Vient ensuite le cœur de l'exposition. Une immersion complète dans le milieu des grands singes. Ce



de recherche africains. De quoi entrevoir comment l'évolution nous a séparés du chimpanzé, il y a environ 8 millions d'années. Un jeu interactif dédié à la génétique, *via* des comparaisons d'ADN, permet également de reconstituer l'arbre

qui, au cœur de Paris, prend la forme d'un décor de forêt tropicale magnifiquement reconstitué, où le visiteur peut observer, à l'aide de larges projections, le comportement des animaux saisis dans leur milieu naturel. On découvre alors leur



Photos et vidéos projetées dans un décor de forêt tropicale restituent au mieux la vie des chimpanzés et des gorilles de l'Est (à g.).

vie sociale, leur façon de se nourrir, de se déplacer, de communiquer...

Une plongée fascinante, qui interroge inmanquablement sur la frontière entre homme et animal. Frontière que les grands singes rendent de plus en plus poreuse au fil des observations. Difficile en effet de ne pas être troublé par les découvertes de Sabrina Krief (ici en vidéo), qui a montré que les chimpanzés consomment certaines plantes pour leurs propriétés médicinales, et

PH. GUIGNARD/AIR - IMAGES - F.G. GRANDIN/MNHN - J. MUNIER/MNHN



► Muséum national d'histoire naturelle, Jardin des plantes, Paris
 ► Du 11 février 2015 au 21 mars 2016
 ► Ouverture: 10 h-18 h sauf le mardi et le 1^{er} mai
 ► Tarif: 9 €. Tarif réduit: 7 €.
 ► <http://www.mnhn.fr/fr/grands-singes>

que chaque communauté a, en la matière, ses propres habitudes, de même qu'elle a ses gestes, ses codes... en un mot sa culture.

Impossible enfin de quitter l'exposition sans évoquer les menaces qui pèsent sur les grands singes et les moyens de les protéger. **C.B.**

> Un chapitre de l'exposition est consacré à l'histoire des sciences et l'étude de ces si proches cousins (ici une planche de 1641).



Et aussi

Les chimpanzés des monts de la Lune, de Sabrina et Jean-Michel Krief, est un livre à la fois scientifique et personnel, remarquablement accessible, qui permet de suivre au plus près le travail quotidien de la primatologue et de son mari photographe. Le couple arpente depuis quinze ans la forêt de Kibale, en Ouganda, ne manquant jamais une occasion de partager son incroyable expérience. *Science & Vie* publie également un long reportage sur les chimpanzés de Kibale dans son Hors-Série consacré aux grands singes, en kiosque à partir du 6 mars.

► *Les chimpanzés des monts de la Lune* de Sabrina et Jean-Michel Krief, éditions Belin, 263 pages, 30 €.

APPLICATION



Bird Lab

<http://tinyurl.com/n4vlaxd>

Deux mangeoires et deux pouces. Cela suffit pour contribuer à l'étude scientifique de la compétition pour la nourriture entre 24 espèces d'oiseaux communs européens. Vous pouvez installer les mangeoires chez vous, ou utiliser celles disposées un peu partout en France par les chercheurs du projet Vigie Nature, porté par le Muséum national d'histoire naturelle. L'application "Bird Lab" permet d'indiquer par simples glisser-déposer les mouvements des volatiles venus picorer que l'on aura observés durant cinq minutes. Ces relevés, multipliés par des centaines de participants, serviront à comprendre quelles espèces coopèrent, s'isolent ou s'imposent. **F.L.**

EBOOK

**Futurs ?
La panne des
imaginaires
technologiques**
De Nicolas Nova
Ed. Les moutons
électriques, 160 p.,
5,99 €



Voitures volantes, robots humanoïdes... Autant de "rétro-types", affirme Nicolas Nova, professeur d'ethnographie et consultant au Near Future Laboratory (Genève): des objets que la SF et la prospective situent dans le futur depuis des décennies. Pourquoi l'imaginaire technologique fait-il du surplace? Parce que notre présent transpire le futur, mais que nous ne le voyons pas, répond Nicolas Nova, qui propose donc une exploration des formes les plus aptes à renouveler notre imaginaire, aux confins de l'art et de l'ingénierie. Convaincant et alléchant: une passerelle vers des sources étonnantes. **F.L.**

SITE INTERNET

Introduction générale

Le Système solaire

La Terre

Le Soleil et les étoiles

Introduction

Connaissances
générales

Connaissances
approfondies

Controverse
scientifique

Quiz et discussion

La planète Mars

La planète Saturne



VOIR L'UNITÉ DANS STUDIO

LE SOLEIL ET LES ÉTOILES



<http://tinyurl.com/nme3xqe>

Les astrophysiciens du CEA donnent des cours en ligne

Comment se forment les étoiles? D'où vient la Terre? Peut-on vivre sur Mars?

L'astronomie est une source de questionnements inépuisable. Astronomes et physiciens ont construit au fil des siècles une compréhension approfondie de la nature et du destin de la voûte céleste. Cette formidable connaissance est à portée de clics. Internet regorge de sites, vidéos, photos, œuvres d'astronomes professionnels ou amateurs... Mais comment s'y retrouver? Il faudrait être guidé, et par des experts si possible. Mieux, des experts sachant se mettre à la hauteur du simple curieux, et construire un cheminement judicieux dans la culture astronomique. En un mot: il faudrait un cours en ligne.

C'est chose faite: du 2 mars au 15 avril se déroulera le Mooc (Massive Open

Online Course) "Explor-Univers", un cours en ligne ouvert à tous, conçu et animé par des chercheurs spécialistes du sujet au CEA et à l'université de Nantes. Les inscriptions sont ouvertes.

UN "MOOC" DE 6 SEMAINES

Le principe? "Nous voulons nous adresser à un large public et lui faire découvrir l'état des connaissances actuelles sur l'Univers", explique Vincent Minier, astrophysicien au CEA, l'un des chercheurs à l'origine du projet. ExplorUnivers propose deux séances hebdomadaires pendant six semaines. "Selon la motivation de chacun, il faudra prévoir de consacrer d'une à trois heures par semaine pour suivre l'essentiel de notre Mooc. L'objectif n'est pas d'acquérir un diplôme mais d'accéder, à son rythme et depuis chez soi, à

une culture générale à jour sur l'astronomie", commente le spécialiste.

Au menu, des thèmes abordés sur trois niveaux (le système solaire et la Terre, le Soleil et Mars, les planètes géantes, la naissance des étoiles...). Dans le premier, un chercheur présente, animations à l'appui, des définitions et l'essentiel des connaissances actuelles; le cours est suivi d'un quiz. Le deuxième niveau, qui éclaire des concepts plus complexes (l'effet Doppler, l'unité astronomique...), est destiné aux plus motivés. Quant au troisième, il est consacré à une controverse scientifique (Pluton est-elle une planète?...), élèves et enseignants chercheurs débattant sur un forum.

Si aucun savoir n'est prérequis, un niveau scientifique de lycée est néanmoins recommandé. **M.V.**

Le chat a neuf vies. Le papier en a cinq. (Pour le papier, c'est prouvé.)

La force de tous les papiers, c'est de pouvoir être recyclés
au moins cinq fois en papier. Cela dépend de chacun de nous.
www.recyclons-les-papiers.fr

Tous les papiers ont droit à plusieurs vies.
Trions mieux, pour recycler plus !



La presse écrite s'engage pour le recyclage
des papiers avec Ecofolio.



La première voiture à hydrogène grand public

Cette berline de 4,89 m, commercialisée par Toyota depuis mi-décembre au Japon, inaugure une nouvelle génération de voitures qui roulent... à l'hydrogène! Son nom? Mirai (qui signifie "futur"). Sous le capot, un moteur électrique est effectivement alimenté en courant par une pile à combustible qui fabrique de l'électricité grâce à un processus d'oxydation, impliquant de l'hydrogène, présent dans des réservoirs, et l'oxygène de l'air. Résultat: aucune émission de CO₂. La voiture ne rejette que de la vapeur d'eau. Et ce n'est pas tout. Mirai présente des atouts en matière d'autonomie, comparé au tout

électrique, puisqu'un seul plein réalisé en 3 minutes permet de rouler pendant quelque 500 km.

Deux bémols cependant: l'hydrogène est essentiellement produit à partir de gaz naturel, ce qui, en termes d'émissions de CO₂, du puits à la roue, place la Mirai au même niveau que les hybrides essence. Par ailleurs, le maillage en bornes de recharge en hydrogène est pour l'instant quasi nul dans le monde, ce qui limite les possibilités de développement de la voiture. Toyota espère toutefois que les stations se multiplieront vite. Date de commercia-

lisation prévue aux Etats-Unis, en Allemagne et en Grande-Bretagne: septembre 2015. Pour la France, il faudra patienter jusqu'à 2017, le temps de voir un réseau suffisant se déployer... l'Hexa-

gone ne comptant pour l'instant que deux stations de recharge! **E.T.A.**

Prix: env. 78 500 €. Rens.: www.toyota.fr



✓ Sonore, lumineux et... olfactif, ce réveil diffuse, au choix, une odeur de café, de chocolat ou de croissant.

Il vous réveille avec l'odeur des croissants

Inventé par un jeune Nantais, le SensorWake vous tire du sommeil en douceur et... en odeur. Choisissez une capsule contenant l'arôme qui vous fait envie (viennoiseries, chocolat, café...) et insérez-la dans le réveil. Au petit matin, à l'heure souhaitée, un ventilateur se met automatiquement en route et diffuse, pendant plusieurs minutes, l'odeur sélectionnée jusqu'à vos narines. Le réveil est doté de trois modes (olfactif, sonore et lumineux) qui peuvent fonctionner ensemble ou séparément. Il est vendu avec 3 dosettes (chacune dure deux mois). **L.Bo.**

Prix: env. 70 €. Rens.: <http://sensorwake.com/>

LE COIN DES PROTOTYPES

Un casque pour écouter la musique en 3D

A l'instar de l'image, le son en trois dimensions est désormais largement utilisé dans les salles de cinéma grâce à des systèmes complexes, parfois composés de plusieurs dizaines de haut-parleurs. La start-up française 3D Sound Labs a créé un étonnant prototype qui procurerait cette même impression de son en 3D avec... un simple casque audio. "Nous avons rendu cela possible en suivant deux principes: la simulation détaillée de l'acoustique de l'oreille humaine, et la capture des mouvements de la tête afin d'assurer une immersion parfaite", décrit Xavier Bonjour, co-fondateur de l'entreprise. Destiné en premier lieu au marché du cinéma à la maison, le casque défini par les fondateurs comme "l'équivalent sonore de l'Oculus Rift" (un dispositif de réalité virtuelle) pourrait s'avérer très intéressant pour les mordus de jeux vidéo.

S.D.

Rens. : <http://3dsoundlabs.com/>

Moteur : électrique synchrone à aimants permanents de 154 ch

Batterie nickel : elle récupère l'énergie cinétique en phase de décélération

Pile : elle produit de l'électricité grâce à l'oxydation de l'hydrogène

Réservoirs : ils peuvent contenir jusqu'à 5 kg d'hydrogène à très haute pression

✓ Alimenté par de l'hydrogène, le moteur électrique de la Toyota Mirai ne rejette que de la vapeur d'eau.



Un patch anticrevaison express pour vélo

Réparer une crevaison en une minute chrono sans enlever la roue? C'est ce que permet le Patchnride, commercialisé par la société américaine du même nom. Pour ce faire, on commence par repérer le trou en plongeant le pneu dans l'eau où il libère, à la source de la fuite, des bulles d'air. Puis on insère l'embout du Patchnride dans le trou et on active une cartouche à usage unique qui permet d'injecter un patch (un petit mor-

ceau de plastique avec de l'adhésif) à l'intérieur du pneu. Après avoir retiré l'outil, on appuie avec le pouce sur le trou, ce qui engendre une pression qui va légèrement faire sortir le patch du trou, assurant qu'il est scellé définitivement. Ce procédé, qui s'applique sur des orifices pouvant aller jusqu'à 3 mm de

diamètre, fonctionne sur une grande variété de modèles (tubulaires, sans chambre à air, de montagne, larges et même de poussette).

S.F.

✓ Cet appareil répare les crevaisons en injectant un petit morceau de plastique adhésif à l'intérieur du pneu.



Prix : env. 35 €
(incluant deux cartouches).
Rens. : <https://patchnride.com>

Le premier robot capable de lire nos émotions

“Se comporter comme un robot” pourrait ne plus vouloir dire la même chose avec l’arrivée de Pepper. Conçu par l’entreprise française Aldebaran Robotics, ce robot humanoïde de 1,20 m est en effet le premier à être capable de communiquer plus naturellement avec les hommes. Son secret ? Il détecte les émotions grâce à ses caméras 2D et 3D et ses algorithmes de traitement d’images qui analysent le visage (sourire, froncement de sourcils...) et la posture de son interlocuteur. Si celui-ci a l’air préoccupé, Pepper le questionnera ;

triste, il lui diffusera sa chanson préférée. Il pourrait ainsi tenir compagnie à des personnes âgées et les assister en leur rappelant de prendre leurs médicaments, par exemple. En complément, sa connexion wi-fi lui permet d’afficher toutes sortes d’informations (itinéraire, météo...) sur sa tablette. Pour l’heure, il est employé comme agent d’accueil dans des magasins au Japon, où le public pourra se le procurer dès cet été. Pour la France, les discussions sont en cours... **L.B.**

Prix : env. 1 200 €.
 Rens. : www.aldebaran.com

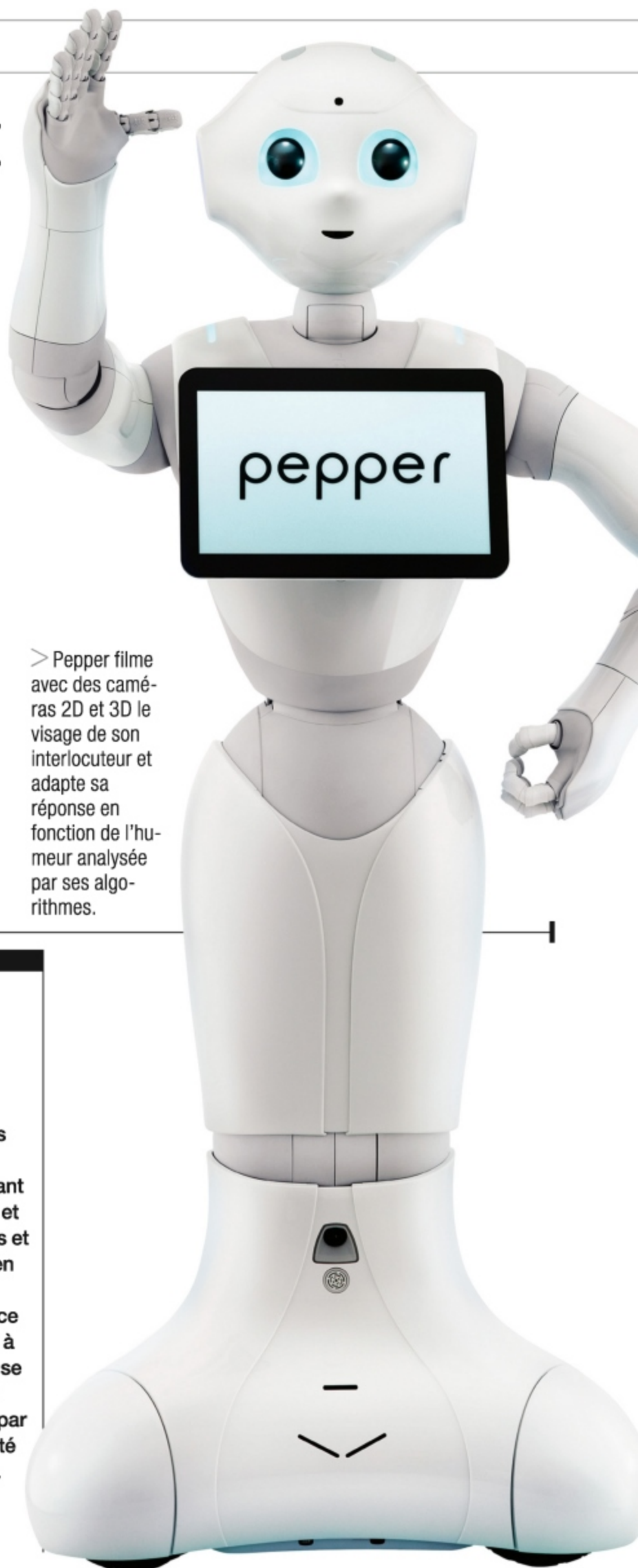
> Pepper filme avec des caméras 2D et 3D le visage de son interlocuteur et adapte sa réponse en fonction de l’humeur analysée par ses algorithmes.

Une toiture végétale prête-à-poser en kit

Une toiture végétale, c’est un bout de nature en plus. Mais aussi une protection contre les infiltrations et un moyen d’améliorer l’isolation. Pour l’installer facilement, le fabricant français Vertige propose MonToitVert, un kit prêt-à-poser et auto-irrigué. A l’intérieur : un tapis de plantes pré-cultivées et 3 sous-couches en fibres naturelles, livrées en rouleaux, qui assurent le drainage, la rétention d’eau et l’irrigation grâce à un réseau de tuyaux à relier à une arrivée d’eau. Le tout se pose en quelques heures sur tout support protégé par une membrane d’étanchéité (non fournie). **L.B.**



Prix : à partir de 800 € (10 m²).
 Rens. : www.montoitvert.fr



L'ordinateur qui transforme les murs en écrans tactiles

TouchPico, de la société américaine TouchJet, est un PC sous Android d'un nouveau genre : il peut projeter son interface sur n'importe quelle surface (mur, tableau...). Mieux, cette surface devient tactile grâce à l'utilisation d'un stylo qui envoie un signal infrarouge à l'ordinateur pour qu'il calcule sa position sur la surface et sache s'il est ou non en contact avec elle. Cette fonction permet à TouchPico de déterminer avec quel élément vous interagissez (par exemple, un lien internet) et comment (click, glissement, etc.). Peu volumineux, cet ordinateur tient dans une poche. Parmi les applications les plus intéressantes, il est aussi capable de projeter l'écran d'un autre PC ou d'un Mac grâce à une connexion wi-fi. Son autonomie est de deux heures trente. S.F.

Prix : env. 360 €.
Rens. : www.atouchjet.com



^ TouchPico tient dans la poche, mais son interface s'affiche sur n'importe quelle surface... qui devient "tactile" grâce à son stylo infrarouge.

Ce vélo grandit en même temps que les enfants

LittleBig, de la société irlandaise du même nom, est un vélo capable de se transformer pour s'adapter à la taille d'un enfant de 2 à 7 ans. Dans sa version "2 ans", c'est une sorte de draisienne métallique. Dépourvue de pédalier, elle permet d'apprendre à trouver son équilibre et à se diriger. Quand l'enfant grandit, l'arrière du cadre peut être enlevé et remonté à l'envers afin de tourner sa courbure vers le haut. Ceci a pour effet de rehausser la selle de 10 cm et d'en éloigner le guidon de 5. On obtient ainsi un deux-roues plus grand auquel on peut ajouter un pédalier pour le transformer en vrai vélo.

Le pédalier se monte alors sur le bas du tube soutenant la selle et est relié par une chaîne à un seul pignon sur la roue arrière. S.F.

Prix : env. 250 €.
Rens. : www.littlebigbikes.com

^ Monté "à l'envers", le cadre arrière de la draisienne (en rose) permet de réhausser la selle (vélo bleu) pour rouler jusqu'à l'âge de 7 ans.



27 février 1975

Premiers débats sur les manipulations génétiques

Dans les couloirs du palais des congrès d'Asilomar, à Pacific Grove, en Californie, les discussions sont vives. Cela fait déjà quatre jours, ce 27 février 1975, que quelque 140 généticiens, microbiologistes, biochimistes, médecins, mais aussi juristes débattent d'un sujet à l'intitulé si technique que les habitants de cette petite cité balnéaire ont du mal à croire qu'il pourrait les concerner... Et pourtant !

Si ce Congrès international sur la recombinaison des molécules ADN suscite de si âpres débats, c'est parce qu'il y va de la sécurité de l'humanité tout entière.

Quels sont les risques posés par les nouvelles

techniques de manipulation des gènes ? Quelles précautions prendre pour éviter la dissémination accidentelle de virus ou bactéries artificiels pathogènes ? Les scientifiques, intimidés par leurs nouveaux pouvoirs sur le vivant, s'interrogent.

JOUER AU Dr FRANKENSTEIN

Le principal organisateur de la conférence, Paul Berg, a publié sept mois auparavant un appel, signé par dix scientifiques dont le prix Nobel de médecine James Watson, à un moratoire au moins partiel sur les expériences en cours de génie génétique. Un appel emblématique, tant Paul Berg est une star dans cette discipline. Il

est parvenu trois ans plus tôt à créer *in vitro* une première molécule d'ADN hybride, contenant à la fois l'ADN d'un virus oncogène de singe et celui d'un bactériophage. Effrayé, comme ses collègues, par sa "créature", il n'avait osé l'insérer, comme il l'avait prévu, dans une bactérie pour que cet ADN se reproduise.

Paul Berg savait que d'autres équipes allaient bientôt réitérer cette prouesse, tant les outils pour manipuler les gènes avaient, en quelques années, spectaculairement progressé, la découverte des enzymes de restriction permettant notamment de couper et recoller proprement des brins d'ADN.

En 1973, Herbert Boyer et Stanley Cohen n'ont d'ailleurs pas tardé à franchir le pas en créant la première bactérie génétiquement modifiée. L'année suivante, ils introduisent dans le génome d'une autre bactérie des gènes de crapaud xénope. Les perspectives sont vertigineuses. On parle de faire produire à des bactéries des protéines humaines comme l'insuline, de concevoir des plantes résistant aux insectes ou à des maladies. Et, pourquoi pas, de corriger à terme certaines "tares" génétiques chez l'homme.

Pour le meilleur ou pour le pire ? Le risque est grand, comme l'a écrit Paul Berg dans son appel, de créer

SCIENCE & VIE en parlait déjà...

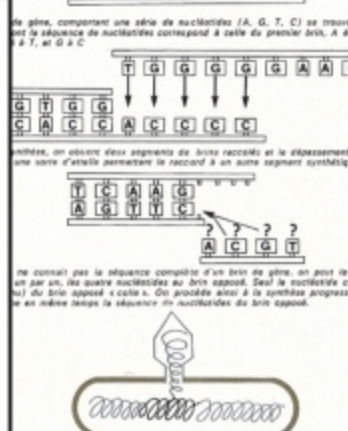
PAR FIORENZA GRACCI

1973 LE PREMIER GÈNE SYNTHÉTIQUE

Au moment même où naît le premier OGM, une bactérie *E. coli* dans laquelle Boyer et Stanley ont introduit un gène de résistance à un antibiotique, au MIT, le Pr Har Gobind Khorana synthétise de toutes pièces un nouveau gène. "Les généticiens sont sur le point de franchir une étape cruciale, qui leur permettra de faire du virus [...] la seringue permettant l'injection intracellulaire du gène – l'ultime médicament". *S&V* n° 674

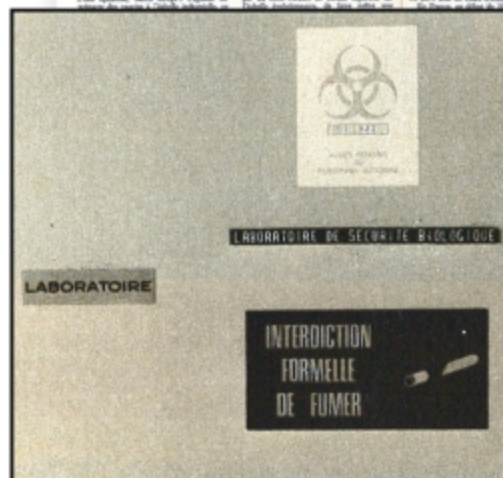
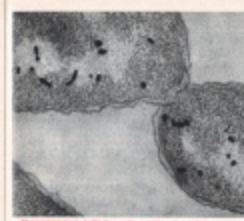
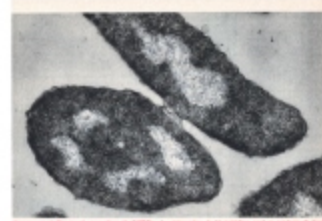
INOUI !
LE GÈNE
SYNTHÉTIQUE !

C'était la clef magique,
intouchable de l'hérédité :



1977 ENTRE CRAINTES ET ESPOIRS

"Les généticiens ont demandé [à Asilomar] l'établissement d'une réglementation visant à éviter tout accident" dû à la manipulation des gènes. Mais deux ans plus tard, l'alarme est retombée et l'expérimentation va bon train : "Les bénéfices que l'on peut espérer sont immenses." *S&V* n° 717





« A la conférence d'Asilomar, en Californie, l'idée d'encadrer le génie génétique suscite de vifs débats autour de Paul Berg (à dr., ici avec Maxine Singer, Norton Zinder et Sydney Brenner).

“de nouveaux types d'ADN infectieux dont les propriétés biologiques ne peuvent être complètement prédites à l'avance”. D'autant que les bactéries généralement utilisées, de type *E. coli*, sont

communément répandues dans les intestins humains. On craint, en particulier, de voir introduits par accident dans des bactéries présentes chez l'homme des gènes favorisant les cancers,

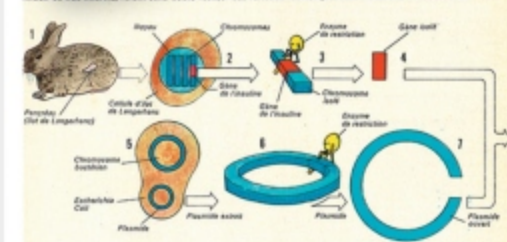
qui pourraient contaminer l'ADN humain. Le public pourrait alors accuser les scientifiques de jouer au Dr Frankenstein.

Car les généticiens ont bien perçu que la con-

fiance dans la science se lézardait. Il ne s'agirait pas de commettre les mêmes erreurs que les physiciens atomistes, qui font face à une opposition de plus en plus vive, faute d'avoir su

C'EST DANS CETTE « RAFFINERIE » EN MINIATURE QU'A ÉTÉ PRODUITE LA PREMIÈRE MARCHANDISE DU GÉNIE GÉNÉTIQUE : L'INSULINE

On explique le processus employé par Genentech pour produire de l'insuline à l'échelle industrielle à partir de cellules spécifiques des îlots de Langerhans du pancréas du lapin.



millions de dollars par an. Si un généticien réussissait à fabriquer cette insuline par des bactéries « manipulées », le prix de revient pourrait être abaissé par un facteur variant de 10 à 100.

Pour le moment, il semble que les capitaux de Biggen soient menés, en attendant que soit formé le comité scientifique, et surtout que la société ait à sa disposition un ou plusieurs laboratoires pour ses expériences. D'ici, des premiers essais ont été réalisés au Royaume-Uni, à l'Université de Recherche Microbiologique à Periton Down, qui dispose d'un laboratoire d'insulinologie maximale. Le laboratoire de l'Université de Biologie Moléculaire de l'Université de Zurich est un autre candidat sérieusement retenu. Selon la revue « Nature », des recherches financées par la société Eli-Lilly seraient même en cours en France l'année dernière.



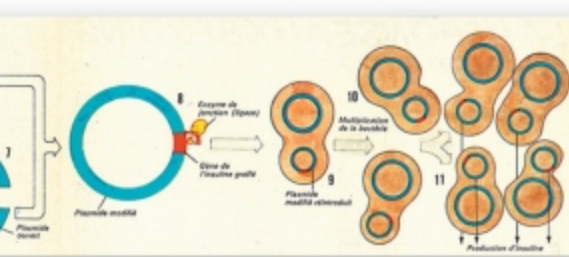
est pas exorbitant son prix surtout pour la maladie grave) et le Dr Gilbert a évoqué la possibilité de la création d'un laboratoire P3 à Genève, dans quelques mois.

On se demande bien, il y a quelque temps, s'il serait possible de inventer des bactéries manipulées, qui sont, en fin de compte, des êtres vivants. Il y a eu, au Bureau des Patentes aux États-Unis, un tel brevet, arguant qu'il s'agissait d'un « produit de la nature », mais depuis lors, la Cour d'appel a renversé ce jugement. La Cour Suprême des États-Unis va sans doute être amenée à trancher.

Tout le monde s'est mis d'accord : pour certains chercheurs, tel le Dr John King du MIT, de telles affaires commerciales « représentent en fait un niveau de domination publique ». Car le plus grand des chercheurs ont été réalisés grâce au financement des Instituts Nationaux de la Santé.

1979 L'INGÉNIERIE GÉNÉTIQUE EST NÉE

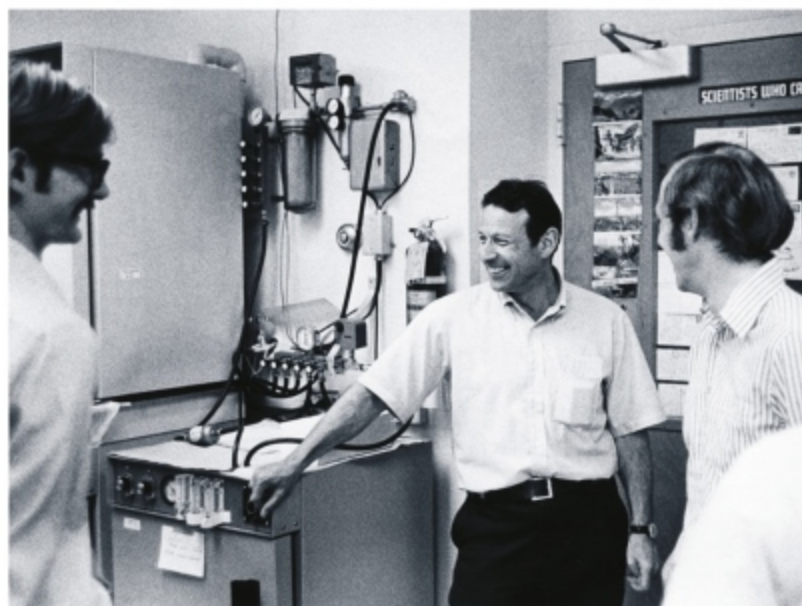
“Une industrie est en train de naître [...] où la matière première est la matière vivante” : l'ingénierie génétique. A San Francisco, la société Genentech a fait produire de l'insuline par des bactéries “grâce à la greffe sur un ADN de bactérie *E. coli* d'un gène synthétique”, issu du lapin. S&V n° 741



→ entendre les critiques sur les risques liés à l'énergie nucléaire. La menace d'une interdiction légale du Congrès américain de toute expérience de manipulation génétique plane comme un scénario catastrophe que tout le monde, à Asilomar, entend éviter. Et même si la plupart des participants sont convaincus que les risques sont infimes, les enjeux sont trop importants pour qu'on se trompe. Les biologistes moléculaires qui investissent en masse ce nouveau domaine ne s'avouent-ils pas eux-mêmes mal formés aux mesures de confinement que s'imposent depuis longtemps les quelques laboratoires mondiaux habitués à travailler sur des organismes pathogènes ?

UN DIFFICILE CONSENSUS

La conférence débouchera péniblement sur un consensus : les expériences pourront reprendre, mais des mesures de confinement physiques et biologi-



^ Effrayé par sa "créature" – il a créé dès 1972 une molécule d'ADN hybride *in vitro* –, Paul Berg est l'instigateur de la conférence d'Asilomar.

ques devront être prises, s'inspirant de celles déjà en vigueur dans les laboratoires manipulant des organismes pathogènes (blouse, gants, matériel stérilisé, hottes aspirantes et, pour les expériences les plus risquées, dépressurisation des salles isolées par des sas).

Les expériences devront être menées sur des organismes vivants modifiés de telle sorte que leur survie à l'extérieur soit impossible. Seules resteront interdites

les manipulations d'ADN hautement pathogène ou codant pour des toxines. Ces recommandations sont officiellement adoptées par les principaux organismes de recherche américains et européens – et s'assoupliront lorsque sera établi que les transferts de gènes, tels ceux entre bactéries et ADN humain, ne sont pas aussi aisés qu'on ne le craignait.

La conférence d'Asilomar marqua surtout l'explosion du génie génétique, capable

de concevoir de nouvelles thérapies et de nouveaux organismes. Mais le public, au lieu d'être rassuré, prend à ce moment-là conscience de risques qu'il ignorait, et s'opposera par la suite à certaines installations de laboratoires dédiés aux manipulations les plus dangereuses. La peur qu'une espèce artificiellement pathogène déclenche une épidémie mortelle ne s'apaisera qu'au fil du temps, faute d'accident connu. Sans toutefois disparaître jamais.

Elle a même resurgi dans les années 2000 lorsque des équipes ont rendu artificiellement plus contagieux des virus mortels de grippe aviaire. Face à l'émoi provoqué par ces travaux censés anticiper une pandémie, la Maison Blanche a annoncé qu'elle ne financerait plus ce type de recherche. Quarante ans après la conférence d'Asilomar, le spectre d'une catastrophe génétique divise toujours les scientifiques. **Emmanuel Monnier**

SCIENCE & VIE en parlait encore

2001 L'EUROPE RÉGLEMENTE LES OGM

"Depuis juin 1999, sous la pression de cinq Etats membres, l'Europe a fermé la porte aux OGM." Alors qu'ils connaissent une inexorable ascension dans le monde, "une levée du moratoire [...] est envisageable", mais dans le cadre d'un nouvel "arsenal réglementaire" très strict, qui garantit la traçabilité et vise à réduire les contaminations des cultures non-OGM. Finalement, l'UE s'ouvrira aux importations, et même certains pays à la culture d'OGM. **S&V n° 1008**



2007 LA VÉRITÉ SUR LES RISQUES

"Toxiques pour la santé ? Désastreux pour les cultures ?" Trop de paramètres sont intriqués, et les spécialistes sont en désaccord. Cela "est surtout emblématique de la difficulté de savoir si, oui ou non, manger un aliment transgénique représente un danger"... Comme pour tout aliment, naturel ou industriel. Les enquêtes se poursuivent dans les laboratoires et en plein champ. "Aux Etats-Unis, [...] on a observé une flambée de résistances" aux herbicides, et en Europe que "la dispersion de graines et de pollen [OGM] est [...] inéluctable". **S&V n° 1082**



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

RTL

#RTLbouge

PHOTOS : ABACAPRESS

LUNDI-JEUDI 20H-22H

LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT

SIDONIE BONNEC & THOMAS HUGUES

LUNDI 26 JANVIER
CURIOSITÉS DÉMOGRAPHIQUES

Avec Vincent Nouyrigat, journaliste.

SCIENCE & VIE

Plus d'infos sur rtl.fr



Innovation
that excites



LA BERLINE COMPACTE À PARTIR DE **14 990 €⁽¹⁾ SANS CONDITION**

- SYSTÈME D'ALERTE ANTI-COLLISION ⁽²⁾
- AIDE AU STATIONNEMENT 4 CAMÉRAS NISSAN AVM - VISION 360° ⁽²⁾
- ESPACE INTÉRIEUR EXCEPTIONNEL

⁽²⁾ Équipements disponibles de série ou en option et sur certaines versions (sauf Visia).

Réservez votre essai sur nissan.fr

Innover Autrement. (1) Prix au 01/01/2015 de la Nissan PULSAR Visia DIG-T 115 après déduction de 3 800 € de remise (prolongation jusqu'au 31/03/2015 de l'offre de remise de 3 800 € valable initialement jusqu'au 31/12/2014). **Modèle présenté** : Nissan PULSAR Connect Edition DIG-T 115 avec options Phares LED avec signature lumineuse et peinture métallisée : **19 800 €** après déduction de 3 300 € de remise (prolongation jusqu'au 31/03/2015 de l'offre de remise de 3 300 € valable initialement jusqu'au 31/12/2014). Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable du 01/01/2015 au 01/03/2015 chez les Concessionnaires participants. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 €. RCS Versailles B 699 809 174 - Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin - 2, rue René Caudron - CS 10213 - 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex. **Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 3,6 - 5,1. Émissions de CO₂ (g/km) : 94 - 119.**

