

SUPERCALCULATEURS **CRASH EN UKRAINE** SENS DU RYTHME PALÉOBILOGIE
NEURONE-LASER ORAGES SYSTÈME SOLAIRE **FERMAT** TÉLESCOPES

SCIENCE & VIE

SCIENCE & VIE

SEPTEMBRE 2014 N° 1164  MONDADORI FRANCE

ACCIDENT NUCLÉAIRE

COMMENT LA FRANCE S'Y PRÉPARE



**RENTREE
SCOLAIRE**

FAUT-IL NOTER
LES ÉLÈVES ?

**CELLULES
SOUCHES**

ELLES RÉPARENT
LES FRACTURES

EXPLOIT

LA SONDE ROSETTA
À L'ABORDAGE D'UNE COMÈTE

France métro: 4,20 € - D: 6,90 € - BEL: 4,70 € - ESP: 4,90 € - CR: 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: 48DH - TOM: 5/750 CFP - TOM A: 1400 CFP - CH: 8,5 FS - TUN: 7,5 DTU

M 02578 - 1164 - F: 4,20 € - RD





Nouvelle Golf Sportsvan. Parents, mais pas seulement.

Vous êtes des parents, oui, mais vous êtes aussi bien plus. Cédez au plaisir de conduire une voiture au design sportif, équipée des dernières technologies comme le détecteur de fatigue, le régulateur de vitesse adaptatif ACC⁽¹⁾ ou le détecteur d'angle mort Blind Spot Detection⁽¹⁾. La Nouvelle Golf Sportsvan réussit à allier des lignes fluides et dynamiques à une modularité et à un confort sans faille. Avec son coffre de 500 à 1 520 litres, sa banquette arrière coulissante et son grand toit ouvrant panoramique⁽¹⁾, la Nouvelle Golf Sportsvan n'a que des bons côtés pour les parents... mais pas seulement.

Volkswagen recommande **Castrol EDGE Professional**

(1) En option selon modèle et finition. (2) Prix TTC conseillé au tarif du 24/04/2014 mis à jour au 02/06/2014 de la Nouvelle Golf Sportsvan Trendline TSI 85, remise exceptionnelle Volkswagen de 1300 € TTC et reprise Argus® + 2000 € TTC sur votre ancien véhicule déduites (cf. volkswagen.fr). Reprise de votre ancien véhicule aux conditions générales de l'Argus® (en fonction du cours de l'Argus® du jour de reprise, du kilométrage, des éventuels frais de remise en l'état standard et abattement de 15 % pour frais et charges professionnels déduit). Pour les véhicules hors cote Argus® reprise de 2000 € TTC. Offre réservée aux particuliers en France métropolitaine non cumulable avec toute autre offre en cours, valable pour toute commande entre le 01/08/2014 et le 30/09/2014 dans le réseau participant. **Modèle présenté:** Nouvelle Golf Sportsvan Carat 1.6 TDI 110 BVM5

POUR VOS ENFANTS ? OUI, AUSSI.



Nouvelle Golf Sportsvan.
A partir de **17 190 €⁽²⁾**

SOUS CONDITION DE REPRISE



Das Auto.

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

avec options pack 'Drive Assist II' (850 € TTC), jantes 18" 'Marseille' (950 € TTC) et peinture métallisée (620 € TTC) au prix TTC conseillé au tarif du 24/04/2014 mis à jour au 02/06/2014 de **29 440 €**, remise exceptionnelle et reprise Argus® déduites.
For safer cars : Pour des voitures plus sûres. Das Auto. : La Voiture.

Cycle mixte (l/100 km) : 4,1. Rejets de CO₂ (g/km) : 106.

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

CE QUE VOUS ATTENDIEZ :



CE QUE VOUS N'ATTENDIEZ PAS :

MERCURE NICE PROMET ADE DES ANGLAIS. PHOTO © CYRIL CHAUVIN/ABACA. * VOIR CONDITIONS DES OFFRES SUR MERCURE.COM

LE CLUB ACCOR
HOTELS

REJOIGNEZ NOTRE PROGRAMME DE FIDÉLITÉ
MONDIAL SUR ACCORHOTELS.COM

AVEC L'OFFRE PRÊT-À-BRONZER,
séjournerez

3 nuits en
petit-déjeuner
pour le prix de 2*

RÉSERVEZ AU MEILLEUR PRIX SUR **MERCURE.COM**



REDÉCOUVREZ
MERCURE

Mercure
HOTELS

PLUS DE 750 HÔTELS
DANS LE MONDE.



MGEN

Bien plus
qu'une mutuelle
ma
référence
solidaire



Choisissez l'offre MGEN qui va avec votre vie

Maladie, hospitalisation, optique, dentaire, arrêt de travail, invalidité : votre vie et vos besoins peuvent évoluer. Pourquoi, dès lors, votre protection santé et prévoyance n'évoluerait-elle pas en fonction de votre préférence ? Pour accompagner chaque moment de votre carrière et de votre vie, MGEN propose des offres adaptées qui couvrent efficacement vos frais de santé et de prévoyance en même temps. Vous aussi, comme plus de 3 millions de personnes, faites de la référence solidaire MGEN votre préférence.

Mutuelle Santé | Prévoyance | Autonomie | Retraite

mgen.fr



FOTOLIA

Séries noires ?

Avec moins de 300 morts pour plus de 3 milliards de voyageurs, jamais le transport aérien n'était apparu aussi sûr qu'en 2013. "*Il faudrait voler sans interruption pendant 6500 ans avant de risquer un accident*", avaient annoncé triomphalement les responsables de la sécurité aérienne américaine.

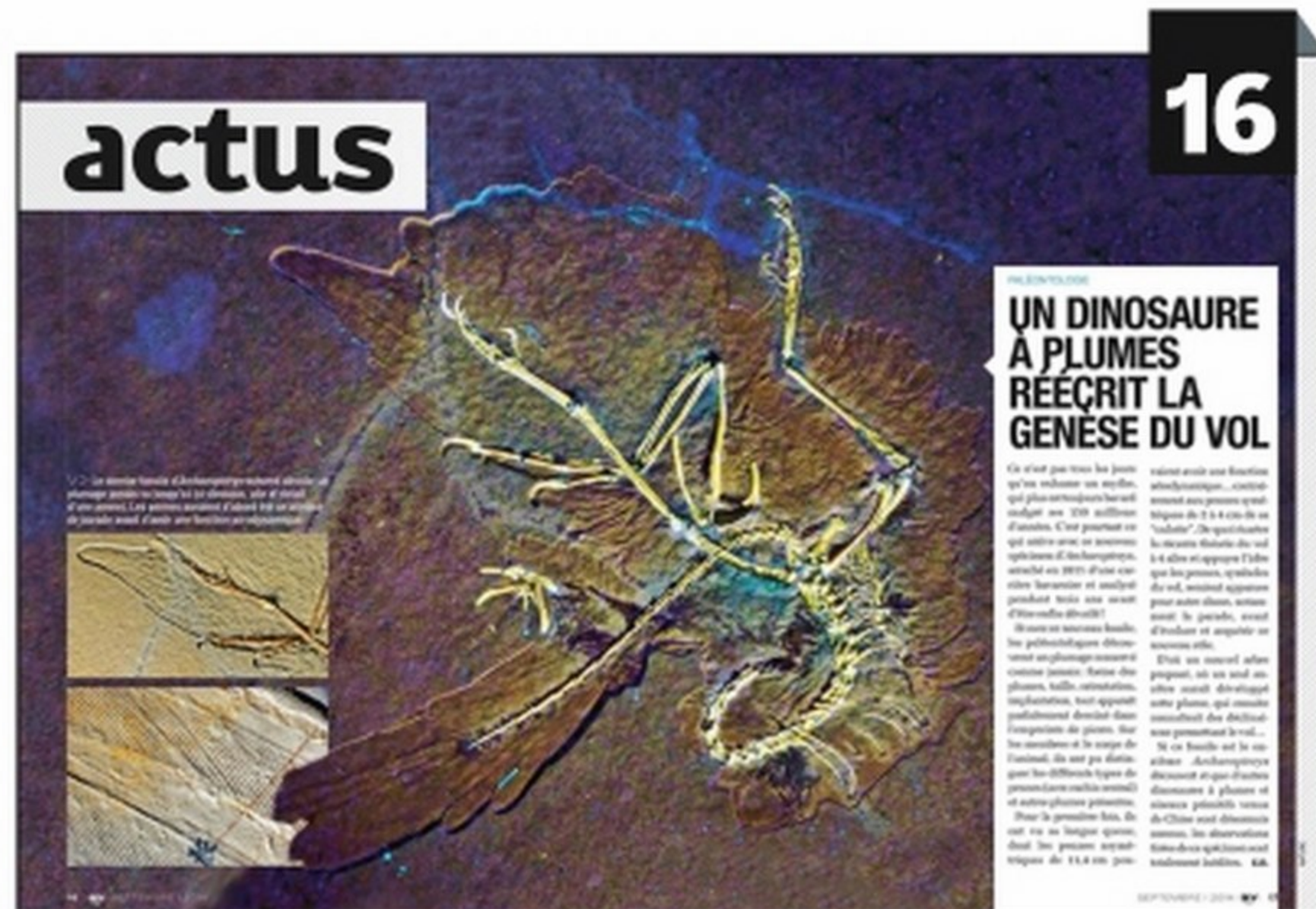
Las... les années se suivent et ne se ressemblent pas. L'année 2014 risque fort d'être la plus meurtrière de ce début de XXI^e siècle. Le seul mois de juillet a enregistré trois accidents de première importance. Si d'eux d'entre eux (l'ATR-72 en approche de l'aéroport de Magong et le MD-83 dans le nord du Mali) sont intervenus dans des situations météorologiques particulièrement difficiles, tout porte à penser que

le Boeing 777-200 exploité par Malaysia Airlines a été abattu par un missile sol-air alors qu'il survolait une zone de conflit à proximité de la frontière entre l'Ukraine et la Russie.

Cette tragédie vient nous rappeler que les avions civils sont bien démunis lorsqu'ils sont la cible d'attaques militaires (voir notre article p. 36) et nous interroge : le transport par la voie des airs sera-t-il encore le plus sûr d'entre tous si des foyers de guerre se déclarent de plus en plus nombreux ?

En matière d'énergie nucléaire, le pire ne devait advenir, au pire, que tous les quelques siècles (et au mieux, tous les quelques mil-

lénaires). S'il était encore permis d'y croire vingt-cinq ans après Tchernobyl, tout a changé depuis Fukushima. Ce sont désormais 5 réacteurs civils qui ont vu leur cœur fondre depuis la fin des années 1970 ; 5 sur quelque 500 réacteurs dans le monde. On est loin du compte... Le calcul de probabilités d'accident est un exercice redoutablement difficile pour lequel les experts peinent à s'entendre. Mais, désormais, il n'est plus déraisonnable de penser qu'un accident nucléaire grave advienne en Europe dans les années ou décennies à venir. Que se passerait-il alors ? Nous avons mené l'enquête en France.



SCIENCE & VIE 8, rue François-Dry 92543 Montrouge Cedex
Tél.: 01 46 48 48 48 - Fax: 01 46 48 48 67
E-mail: svmens@mondadori.fr Recevez Science & Vie chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p.27.** Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com. Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro : diffusion France métropolitaine. Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro : diffusion Suisse et Belgique.

Un encart "Science & Vie Croisières Mekong" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnée France métropolitaine. Un encart "Boutique S&V Catalogue Boutique S&V - Rentrée 100 % réussie" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnée France métropolitaine. Un encart "Opération Multititres Rentrée 2014" est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnée France métropolitaine.

12 **Forum****Actus**16 **Labos**

Un dinosaure à plumes réécrit la genèse du vol ; L'aire du langage a précédé la lignée humaine...

24 **Environnement**

Les grands requins blancs sont enfin de retour...

28 **Médecine**

Un remède au diabète se trouve dans l'intestin...

32 **Technos**

Le "sous-marin" qui s'enfile comme un scaphandre...

Science & société36 **Crash en Ukraine**

Survoler une zone de conflit demeure risqué

40 **Conférence sur l'évaluation de l'école**

Faut-il continuer à noter les élèves ?

42 **Après les derniers accidents sur notre réseau ferré**

La résistance des rails reste un défi scientifique

43 **Le footballeur a oublié sa finale de Coupe du monde**

Un choc à la tête peut effacer les souvenirs

44 **Dès 2016**

Le sac plastique va-t-il vraiment disparaître ?

A la Une48 **ACCIDENT NUCLÉAIRE**

Comment la France s'y prépare

Comment la population sera-t-elle évacuée ? Sera-t-il possible de tout décontaminer ? Que deviendront les réfugiés ?...

66 **Oser regarder le risque en face****Science & découvertes**70 **Physique**

Expérience ultime: ils vont créer de la matière

74 **Astronomie**

Quoi de neuf dans le système solaire ?

82 **Cognition**

Sens du rythme: il dope nos capacités cérébrales

88 **Paléobiologie**

Il y a 2,1 milliards d'années sous les mers: la vie foisonnait déjà!

Science & techniques96 **Orages**

On peut les prédire à 1 km près

99 **Intelligence artificielle**

Voici le premier neurone-laser

102 **Cellules souches**

Elles réparent même les fractures

106 **Sonde Rosetta**

Enfin à l'abordage

Science & futur

116 La lévitation à grande vitesse va desservir la ville ; Une tour solaire veut produire autant qu'une centrale nucléaire ; Un prototype d'airbag pour bateaux est à l'étude ; Une île inaugure l'autonomie totale en électricité propre ; Des abris pliables assureront un minimum de confort pour les réfugiés...

Culture science124 **Bon à savoir**126 **Questions/Réponses**132 **A lire / à voir**135 **Le ciel du mois**136 **Technofolies**

140 **Il y a...** 20 ans: Andrew Wiles triomphe du dernier "théorème de Fermat"



À PARTIR DE 129 €/MOIS*
PREMIER LOYER DE 1500 €. LOCATION LONGUE DURÉE 61 MOIS.

MODÈLE PRÉSENTÉ : NOUVELLE RENAULT TWINGO SL EDITION ONE ENERGY TCE 90 ECO2 À PARTIR DE 215 €/MOIS AVEC OPTION ÉLARGISSEURS D'AILE, PREMIER LOYER DE 1500 €.

*Exemple pour Nouvelle Renault Twingo Life SCe 70. En location longue durée sur 61 mois pour un kilométrage maximum de 50 000 km. En fin de contrat, restitution du véhicule chez votre concessionnaire avec paiement des frais de remise à l'état standard et des kilomètres supplémentaires. Sous réserve d'acceptation par DIAC SA au capital de 61 000 000 € –

NOUVELLE RENAULT
TWINGO
AGILE DE CORPS
ET D'ESPRIT



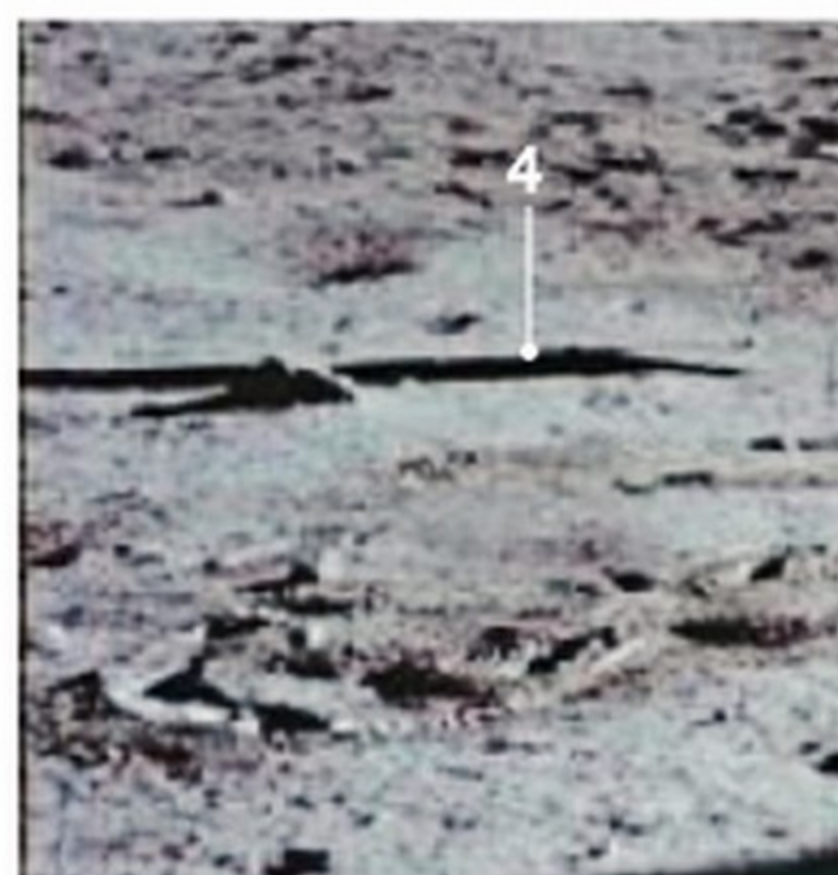
Des ombres anormales sur la Lune?

Dans l'article que vous consacrez au documentaire *Moonwalk One*, en juillet (n° 1162, p. 127), vous présentez une photo avec la légende: "Neil Armstrong plante le drapeau américain sur la Lune". Mais où donc se trouve l'ombre du drapeau? Puisque l'ombre d'Armstrong et celle du module d'alunissage partent vers la droite, ne devrait-on pas s'attendre, logiquement, à voir les ombres de la hampe et du drapeau partir aussi vers la droite?

Yves Marçais, abonné depuis 1937

S&V Vous n'êtes pas le premier à vous poser la question devant ces clichés célèbres! Mais, pas de doute, ces ombres sont tout ce qu'il y a de plus normales. Tous les clichés pris sur la Lune par les astronautes des missions Apollo sont librement consultables sur le site "Apollo Photo Atlas" de la Nasa (www.lpi.usra.edu/resources/apollo/). On y trouve l'ensemble des vues photographiées lors de la mission Apollo 11, et elles permettent de s'en rendre compte: l'ombre partant vers la gauche (1), située à proximité du drapeau, n'est justement pas celle du drapeau... mais celle du collecteur de vent solaire (2), installé par les astronautes. Sauf que ce collecteur est hors du champ (comme l'ombre du drapeau elle-même) sur la photo que

nous avons publiée dans le n° 1162. Mais l'ombre de la hampe (3), très fine, comme celle du drapeau (4) vont bien dans la même direction que toutes les autres. Elles sont visibles sur les deux photos ci-dessous, prises sous d'autres angles que celle du n° 1162... et tout s'éclaire!



Je trouve paradoxal de publier dans le même numéro (août, n° 1163, p. 130) une enquête sur le manque de sécurité des "objets connectés" et, dans la rubrique Technofolies, un article sur un antiviol de vélo... verrouillé par smartphone!

Thomas C.H., Internet

Mieux vaut protéger les bouteilles pleines !

Vieux lecteur de votre revue, je tiens à vous faire part de mon expérience au sujet de l'article "Si on l'abat sur un crâne, la bouteille de bière s'en sort mieux si elle est vide", paru dans votre supplément *Drôle de science* (août, n° 1163, p. 22). J'ai eu l'occasion d'assister, et de participer, à quelques rixes alcoolisées de toute beauté. Il en ressort que chacun, quel que soit son degré d'alcoolémie, a le réflexe de protéger les bouteilles pleines, pour un usage festif différé. Pour le poivrot qui se respecte, une bouteille pleine est sacrée. Ne restent donc disponibles pour un usage contondant immédiat que les bouteilles vides. Nos amis suisses [dont S&V rapporte l'étude] ont, il me semble, pris le problème à l'envers. Continuez à nous instruire, à nous faire rêver, et à nous faire rire.

Harry Porte, Sospel (06)

D'où vient l'odeur de S&V ?

Si votre revue est intéressante, elle présente une très mauvaise odeur quand on l'ouvre, qui perdure plusieurs heures. C'est dommage.

Luc Germeau, Internet

S&V Nombre de nos lecteurs nous le font remarquer : quand on commence à feuilleter *Science & Vie*, il s'en dégage une odeur. Il s'agit de

celle des solvants des encres utilisées, dont les éventuels résidus s'évaporent au premier feuilletage. Une odeur caractéristique du procédé d'impression de notre magazine, l'héliogravure – employée par de très nombreux éditeurs de presse –, qui utilise des encres très fluides et volatiles, permettant d'assurer une grande qualité d'images pour des tirages importants.

On en reparle



ILS AURAIENT DÉTECTÉ DES NEUTRINOS STÉRILES

En juin 2012 (n° 1137, p. 52), nous vous décrivions les mille et une facettes du neutrino stérile, particule quasi indétectable introduite dans la théorie par quelques physiciens audacieux afin de rendre compte d'étranges anomalies constatées dans les réacteurs nucléaires. Une particule miraculeuse qui fait aussi, du moins sur le papier, une prétendante idéale au titre de matière noire, censée compter pour 85 % de la matière dans l'Univers... mais que personne n'a jamais vue.

Or, des astrophysiciens pensent avoir découvert la signature attendue pour la désintégration d'un neutrino stérile dans les données du satellite spatial XMM-Newton. "La désintégration d'un neutrino stérile est l'interprétation qui vient en premier, c'est presque trop beau pour être vrai", s'enthousiasme Marco Cirelli, à l'Institut de physique théorique du CEA, à Saclay. La prudence est néanmoins de mise : le signal est à la limite de la sensibilité de l'instrument. Et il pourrait, peut-être, résulter d'un phénomène connu. Reste que, comme l'indique Oleg Ruchayskiy, à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, découvreur de la "signature", "ce que l'on sait de l'astrophysique ne nous dit pas comment un tel signal peut être là". De nouvelles observations seront nécessaires avec d'autres instruments. Mais qui sait si les neutrinos stériles ne sont pas sur le point, enfin, de donner corps à la matière noire. **M.G.**

SCIENCE & VIE
trimestriel

268

HORS
SÉRIE

SCIENCE & VIE

MONDADORI FRANCE

HORS-SÉRIE - N° 268 - Septembre 2014
Septembre 2014

Neurosciences
**Comment
les souvenirs
naissent**

Internet
**Google a changé
notre cerveau !**

Alzheimer
**Ce qu'il reste
à comprendre**

La mémoire

ISSN 0151 0282

La mémoire

Ses secrets, ses troubles

**TEST : quel est le point fort
de votre mémoire ?**

de votre mémoire ?
quel est le point fort

UN NUMÉRO INOUBLIABLE
LA MÉMOIRE DÉCRYPTÉE

En vente le 5 septembre

Une solution, mais pas une panacée

Dans votre article "Et si la solution était l'aspirine ?" publié en juillet (n° 1162, p. 90), vous évoquez, outre l'aspirine, les effets positifs de l'anti-inflammatoire Célécoxib sur certains troubles mentaux. Vous omettez de mentionner les sérieuses réserves – faible efficacité, effets secondaires... – dont il fait l'objet.

David Taïeb, Commercy (55)

S&V A plusieurs reprises, *Science & Vie* a dénoncé l'utilisation des "coxibs" dans le traitement de l'arthrose et autres maladies du cartilage (dans

les numéros d'août 2011 et août 2013). Nous écrivions déjà que les risques cardio-vasculaires induits auraient dû conduire au refus de l'autorisation de mise sur le marché pour ces indications.

Mais il n'est pas exclu que ces molécules soient utiles dans d'autres cas. Dans celui de la dépression et autres troubles psychiatriques, les coxibs, plus précisément le Célécoxib, ne sont encore qu'une piste de recherche. Séduisante du point de vue biologique, elle n'est pas encore validée sur le plan mé-

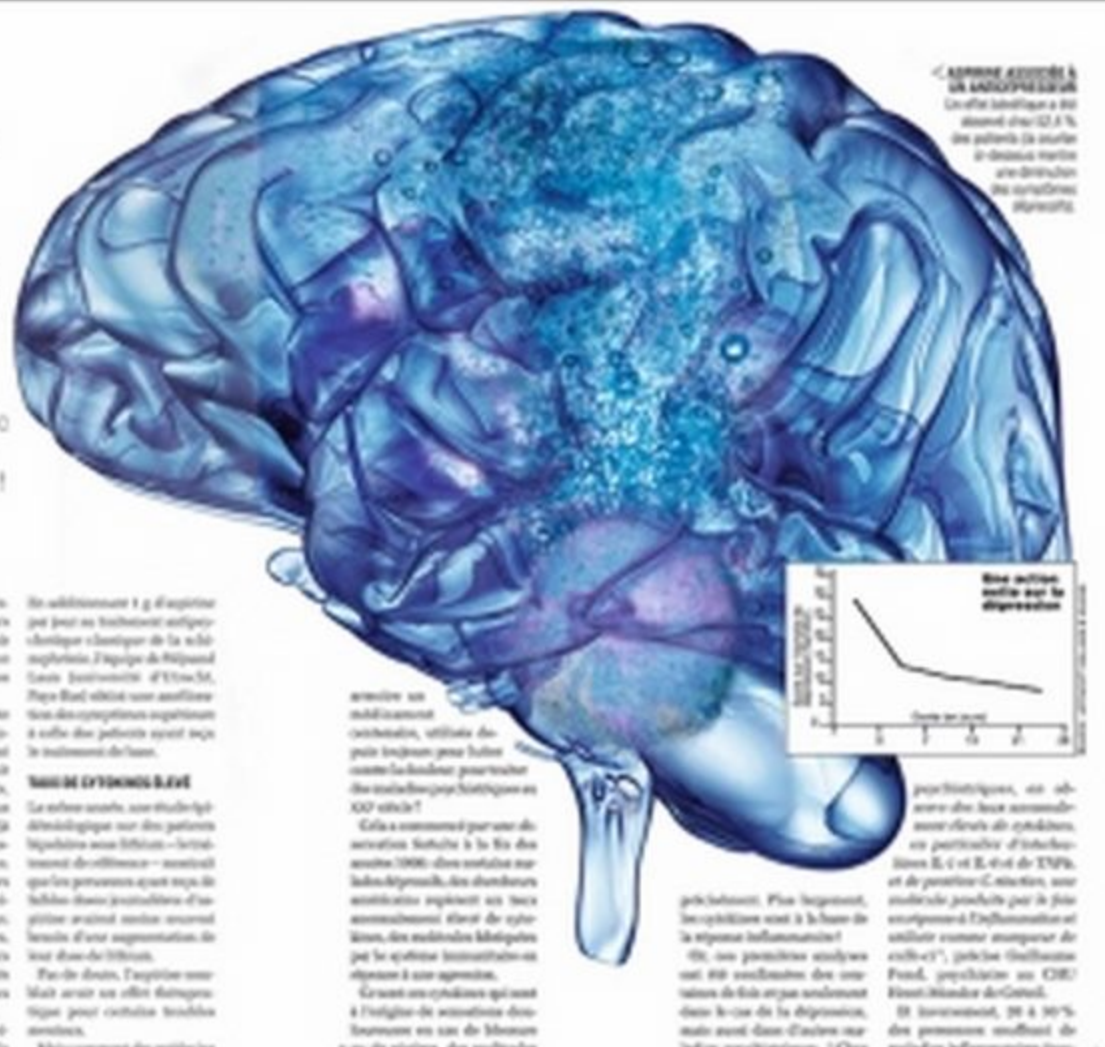
Depression, schizophrénie... Et si la solution était l'aspirine ?

Dans 40 % des cas, les troubles mentaux vont avec des réactions inflammatoires. C'est l'idée que de simples anti-inflammatoires pourraient les soigner. Et ça marche ?

Depression, schizophrénie...

Et si la solution était l'aspirine ?

Dans 40 % des cas, les troubles mentaux vont avec des réactions inflammatoires. C'est l'idée que de simples anti-inflammatoires pourraient les soigner. Et ça marche ?



ASPIRINE ASSOCIÉE
L'aspirine agit sur la production de prostaglandines, des molécules qui déclenchent l'inflammation. Elle agit aussi sur la production de cytokines, des molécules qui déclenchent la réponse immunitaire.

ASPIRINE ASSOCIÉE
L'aspirine agit sur la production de prostaglandines, des molécules qui déclenchent l'inflammation. Elle agit aussi sur la production de cytokines, des molécules qui déclenchent la réponse immunitaire.

dical. Seuls de vastes essais cliniques permettront de comparer l'efficacité de la molécule contre la maladie – ici, la dépression – et le risque d'effets secondaires. Soyez certain que nous rendrons compte avec attention – et, comme toujours, sans aucune indulgence – des résultats de telles analyses.

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT: Ernesto Mauri

RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Grégoire Bouillier (édition),
François Lassagne

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEF DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités),
Caroline Tourbe (médecine)

CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

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

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock

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

S. Aquino, L. Barnéoud, N. Bencal,
C. Bonneau, B. Bourgeois, S. Brunier,
G. Cirade, O. Capronnier, A. Dagan, S. Devos,
O. Donnars, S. Fay, L. Gougis, F. Gracci,
E. Haentjens, C. Hancock, D. Humbert,
R. Ikonikoff, M. Kergoat, M. Kontente,
M. Laverdet, F. Lert, E. Ledolley, Ch. Martin,
M. Martin, M.-C. Mérat, E. Monnier,
O. Lapirot, F. Pajak, R. Pich, P. Richard,
B. Rey, G. Siméon, M. Spee

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

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

Allemagne: Publieurope Munich

(info@publieurope.com
0049 89 2908150);

Suisse: Publieurope Lausanne

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

Espagne: Publimedia Madrid

(info@publimedia.es
0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Marie-Hélène Michon

FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon,
Murielle Luche

EDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social: 8, rue François-Orly

92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine 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 septembre 2014

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone: 01 46 48 48 96

Par courrier:

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

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

Pour vous abonner par internet:

www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada: Express Mag,

Tél.: 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse: Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique: Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays: nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre
abonnement, merci d'indiquer votre numéro
d'abonné présent sur le film ainsi que vos
coordonnées. Les noms, prénoms et adresses
sont communiqués à nos services internes et
organismes liés contractuellement avec 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-Orly,

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 dernier fossile d'*Archaeopteryx* exhumé dévoile un plumage jamais vu jusqu'ici (ci-dessous, aile et détail d'une plume). Les plumes auraient d'abord été un attribut de parade avant d'avoir une fonction aérodynamique.





PALÉONTOLOGIE

UN DINOSAURE À PLUMES REECRIT LA GENÈSE DU VOL

Ce n'est pas tous les jours qu'on exhume un mythe, qui plus est toujours bavard malgré ses 150 millions d'années. C'est pourtant ce qui arrive avec ce nouveau spécimen d'*Archaeopteryx*, arraché en 2011 d'une carrière bavaroise et analysé pendant trois ans avant d'être enfin dévoilé!

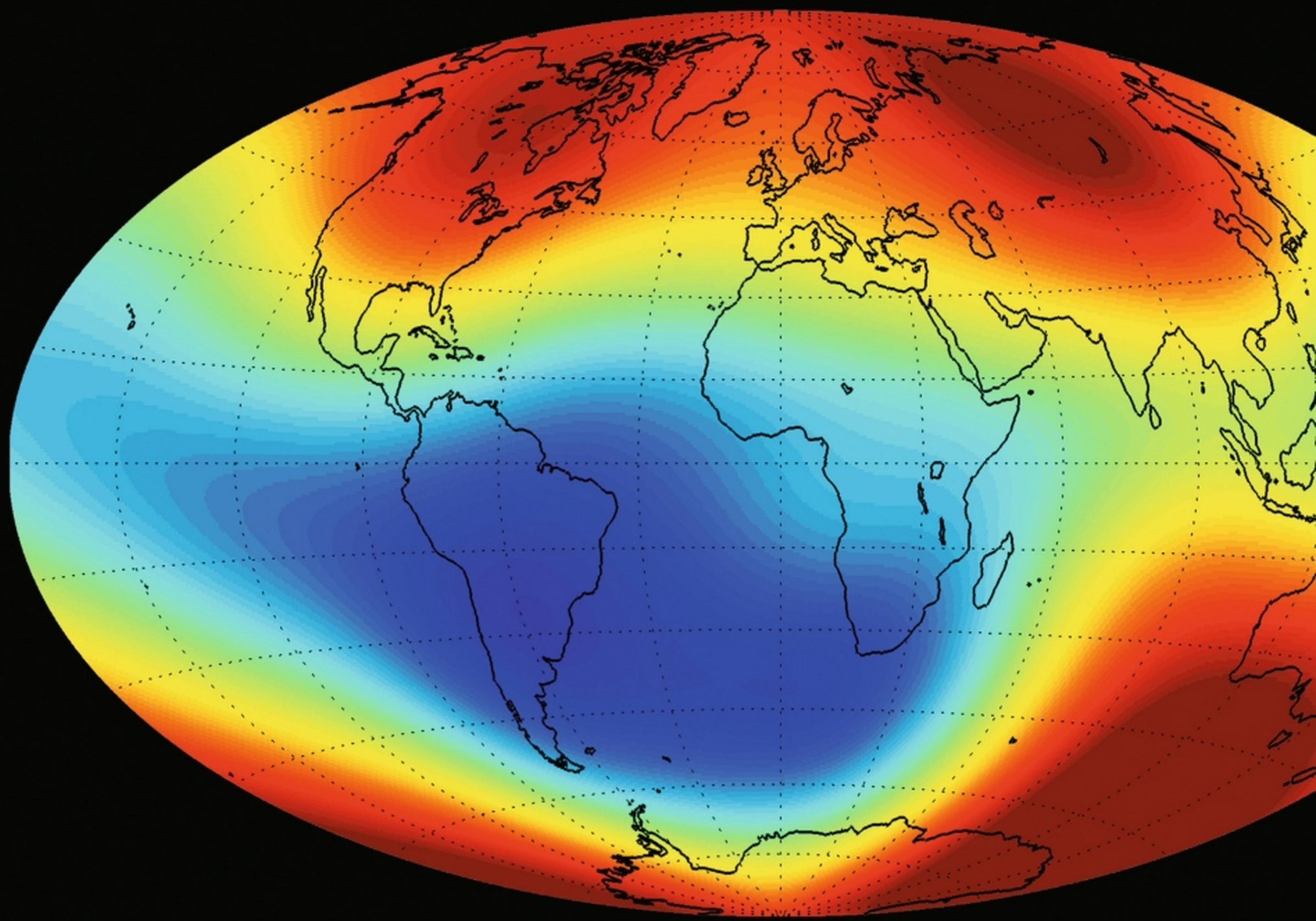
Et avec ce nouveau fossile, les paléontologues découvrent un plumage conservé comme jamais: forme des plumes, taille, orientation, implantation, tout apparaît parfaitement dessiné dans l'empreinte de pierre. Sur les membres et le corps de l'animal, ils ont pu distinguer les différents types de plumes (avec rachis central) et autres plumes présentes.

Pour la première fois, ils ont vu sa longue queue, dont les plumes asymétriques de 11,4 cm pou-

vaient avoir une fonction aérodynamique... contrairement aux plumes symétriques de 2 à 4 cm de sa "culotte". De quoi écartier la récente théorie du vol à 4 ailes et appuyer l'idée que les plumes, symboles du vol, seraient apparues pour autre chose, notamment la parade, avant d'évoluer et acquérir ce nouveau rôle.

D'où un nouvel arbre proposé, où un seul ancêtre aurait développé cette plume, qui ensuite connaîtrait des déclinaisons permettant le vol...

Si ce fossile est le onzième *Archaeopteryx* découvert et que d'autres dinosaures à plumes et oiseaux primitifs venus de Chine sont désormais connus, les observations tirées de ce spécimen sont totalement inédites. **E.R.**



GÉOPHYSIQUE

LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE FLÉCHIT

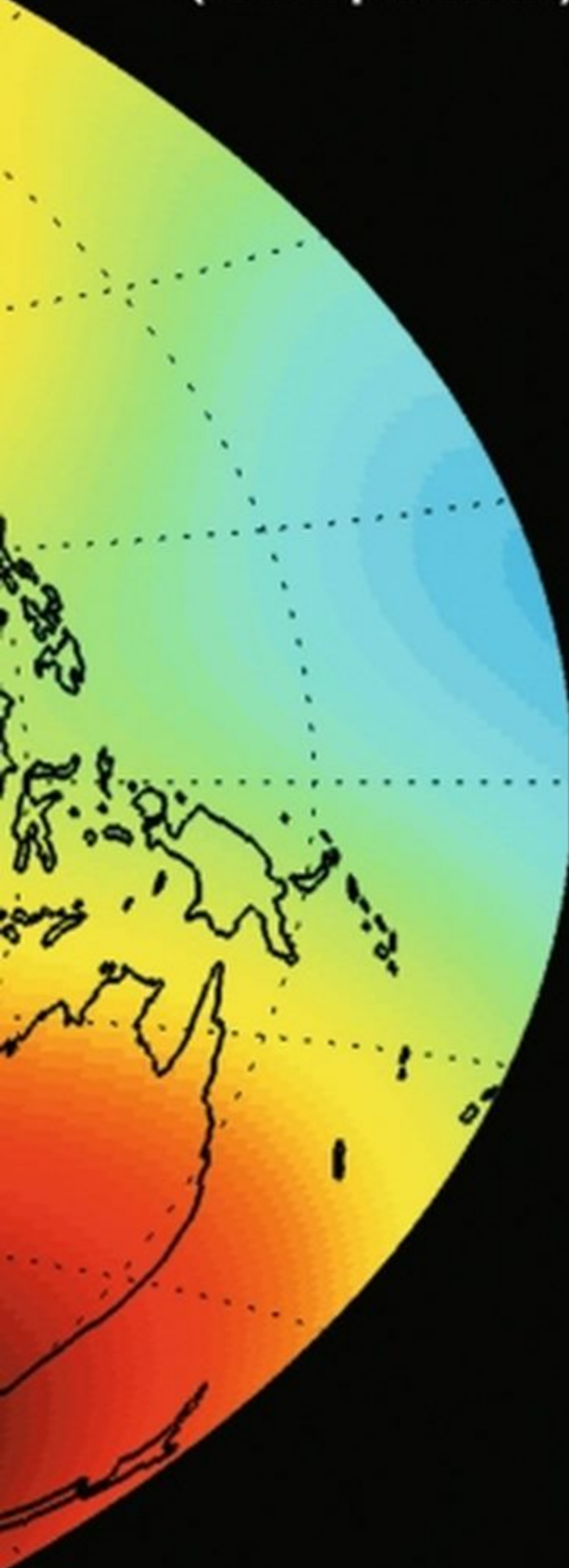
Il faiblit globalement, en particulier dans l'hémisphère occidental. Et il se renforce localement, dans le sud de l'océan Indien. Après six mois de mesures, la constellation de trois satellites *Swarm* de l'Esa vient de rendre un premier verdict : non seulement le champ magnétique de la Terre – ce bouclier qui

protège notre planète des rayons cosmiques et des particules électrisées du vent solaire – est en train de s'affaiblir, mais son intensité baisse plus vite que prévu. “*Nous avons évalué qu'il diminuait de 5 % par siècle, détaille Rune Floberghagen, membre de la mission. Il s'avère en fait que c'est par décennie.*” De quoi revoir

à la hausse la probabilité que les pôles magnétiques s'inversent d'ici un ou deux milliers d'années. “*Le champ magnétique terrestre s'inverse en moyenne tous les 300 000 ans et la dernière inversion remonte à un peu moins de 800 000 ans, précise le chercheur. Mais il peut s'écouler un million d'années sans que rien ne*

se passe !” Reste à analyser les données des satellites pour démêler les différentes composantes et en tirer une carte précise de l'intensité du champ. Cela permettrait de localiser les sources de ses variations... et peut-être de se risquer à la prédiction de ce phénomène chaotique qui naît des convections du noyau terrestre. **M.F.**

< Le champ magnétique terrestre s'affaiblit plus vite que prévu : de 5 % par décennie (et non par siècle).



E. COLI SAIT QUAND SE DIVISER

C'est une protéine, qu'elle fabrique en continu pendant sa croissance – jusqu'à 2 μm –, qui déclenche le processus dès que sa teneur dépasse un seuil donné. E.H.

LA GRENOUILLE HIBERNE SANS PERDRE SES MUSCLES

Des chercheurs australiens ont identifié chez la grenouille *L. albiguttata* des gènes qui empêchent ses muscles de s'atrophier lorsqu'elle hiberne pendant neuf mois. Une protection naturelle que pourraient lui envier les astronautes... L.G.

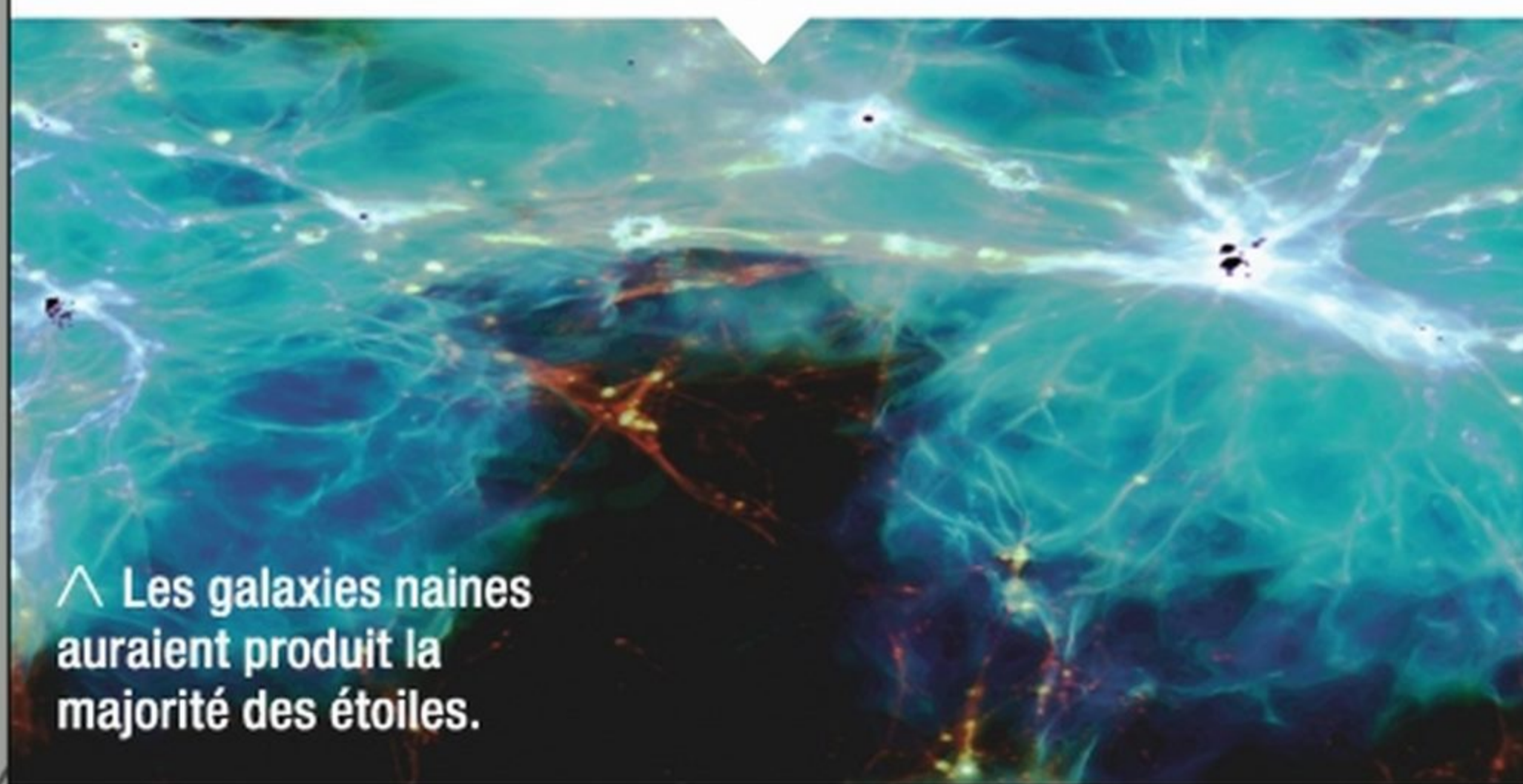
25 QUIPUS EXHUMÉS

Sur le site d'Incahuasi, au Pérou, 25 quipus – des "nœuds" incas –, ont été exhumés. Il s'agirait d'outils comptables : la couleur de la corde précise leur nature et le nombre de nœuds indique la quantité. Une découverte importante : 200 quipus seulement étaient connus jusqu'à présent. L.G.

ASTRONOMIE

Ce sont principalement les galaxies naines qui ont bâti l'Univers

Elles sont si petites que les astronomes les négligeaient dans leurs simulations, que les télescopes peinaient à capter leur lueur. Mais deux équipes viennent de les remettre au premier plan. Car ces galaxies naines, 1 000 fois moins massives que la Voie lactée, auraient rendu l'Univers transparent... et produit la majorité des étoiles. En modélisant les radiations émises par les petites galaxies 1 milliard d'années après le big bang, John Wise, du Georgia Institute of Technology, s'est aperçu que leur rayonnement ultraviolet a pu dissocier un tiers des molécules d'hydrogène opaques de l'Univers. Tandis qu'avec *Hubble*, Hakim Atek de l'université de Lausanne a vu que, quelques milliards d'années plus tard, les galaxies naines formaient des étoiles dix fois plus vite que les galaxies spirales. "Que ces deux découvertes soient publiées au même moment montre un changement profond dans notre compréhension de l'Univers...", réagit John Wise. M.F.



^ Les galaxies naines auraient produit la majorité des étoiles.

BIOLOGIE

Les poissons électriques livrent le secret de leur étrange évolution

La grande diversité des poissons électriques est connue depuis Darwin (il les avait classés en 6 groupes) sans pouvoir expliquer l'origine multiple de leur organe électrique. Des biologistes américains ont résolu l'énigme ! Ils ont reconstitué le génome de l'anguille électrique et identifié les gènes de sa "batterie" interne, puis les ont comparés avec l'ADN de poissons des autres groupes. Surprise : tous ces poissons ont en commun un réseau similaire de gènes et de voies biologiques. En 150 millions d'années, ils ont donc eu six fois recours au même schéma pour recruter des cellules musculaires et réunir leur potentiel électrique afin de communiquer, se défendre...

O.D.



ESA - MARK NEWMAN/GETTY IMAGE

ÉVOLUTION

L'AIRE DU LANGAGE A PRÉCÉDÉ LA LIGNÉE HUMAINE

Retracer l'histoire de nos capacités cognitives jusqu'au dernier ancêtre que nous partageons avec les grands singes, c'est le défi d'Antoine Balzeau et son équipe du Muséum national d'histoire naturelle.

Et pour la première fois, le paléoanthropologue a réussi à quantifier l'évolution de l'aire de Broca impliquée dans le langage.

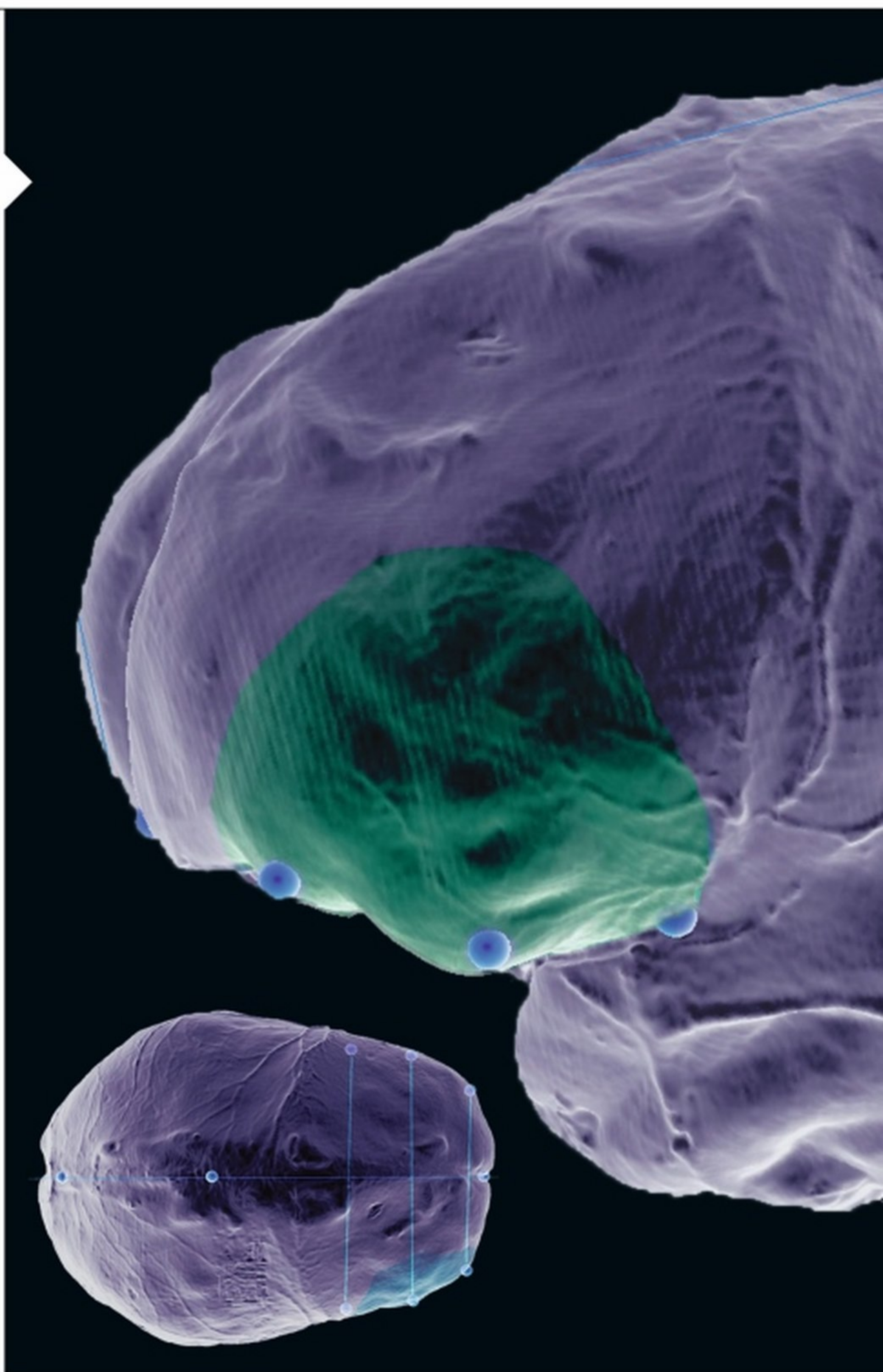
Pour ce faire, il a étudié grâce à la modélisation 3D les empreintes laissées par les hémisphères cérébraux à l'intérieur de crânes d'hommes modernes et fossiles, de chimpanzés et de bonobos...

L'aire de Broca, zone plus protubérante de la troisième circonvolution du lobe frontal gauche, s'est avérée être déjà présente

chez les hommes fossiles et les bonobos.

"Cela signifie que la base fonctionnelle du langage est apparue avant la séparation des grands singes et de la lignée humaine, soit il y a au moins 8 millions d'années", explique le chercheur.

Néanmoins, celle-ci a évolué au cours du temps. *"Nous avons également observé que les différences s'accroissent entre hémisphère droit et gauche et que la taille de l'aire de Broca augmente de façon plus rapide que le reste du cerveau",* indique Antoine Balzeau. Ce serait donc l'évolution de cette asymétrie, et non son apparition, qui aurait permis l'apparition du langage chez l'un de nos ancêtres. **C.H.**



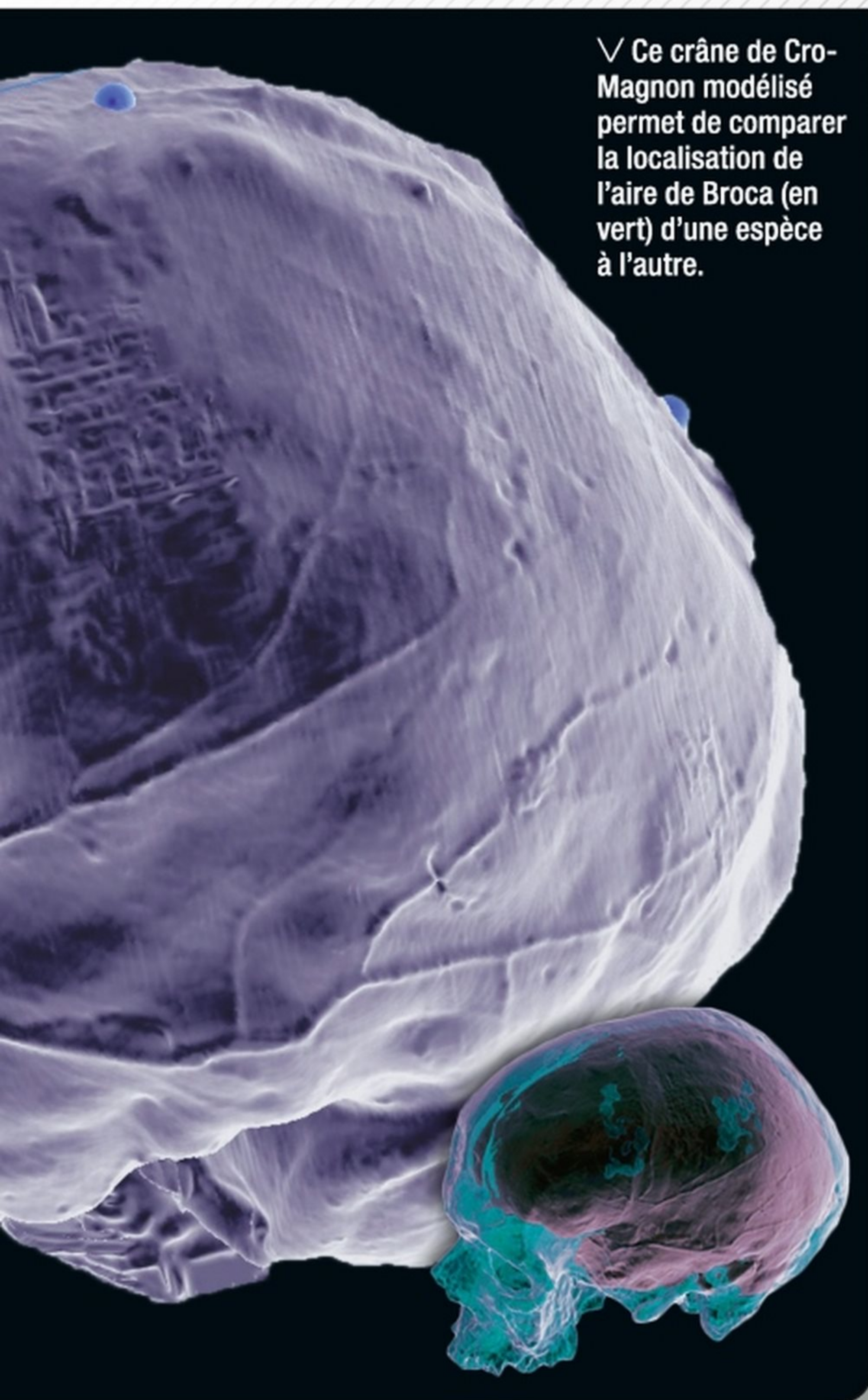
8 millions de kilomètres

C'est la hauteur de l'atmosphère du Soleil, selon la dernière mesure réalisée par le Solar Terrestrial Relation Observatory, qui a sondé les vibrations acoustiques de notre étoile. Cette couronne de plasma qui se dévoile en partie au moment des éclipses s'avère donc 10 fois plus étendue que ne le pensaient les astronomes: elle déploie son plasma brûlant sur l'équivalent de 12 fois le rayon du Soleil! **M.F.**

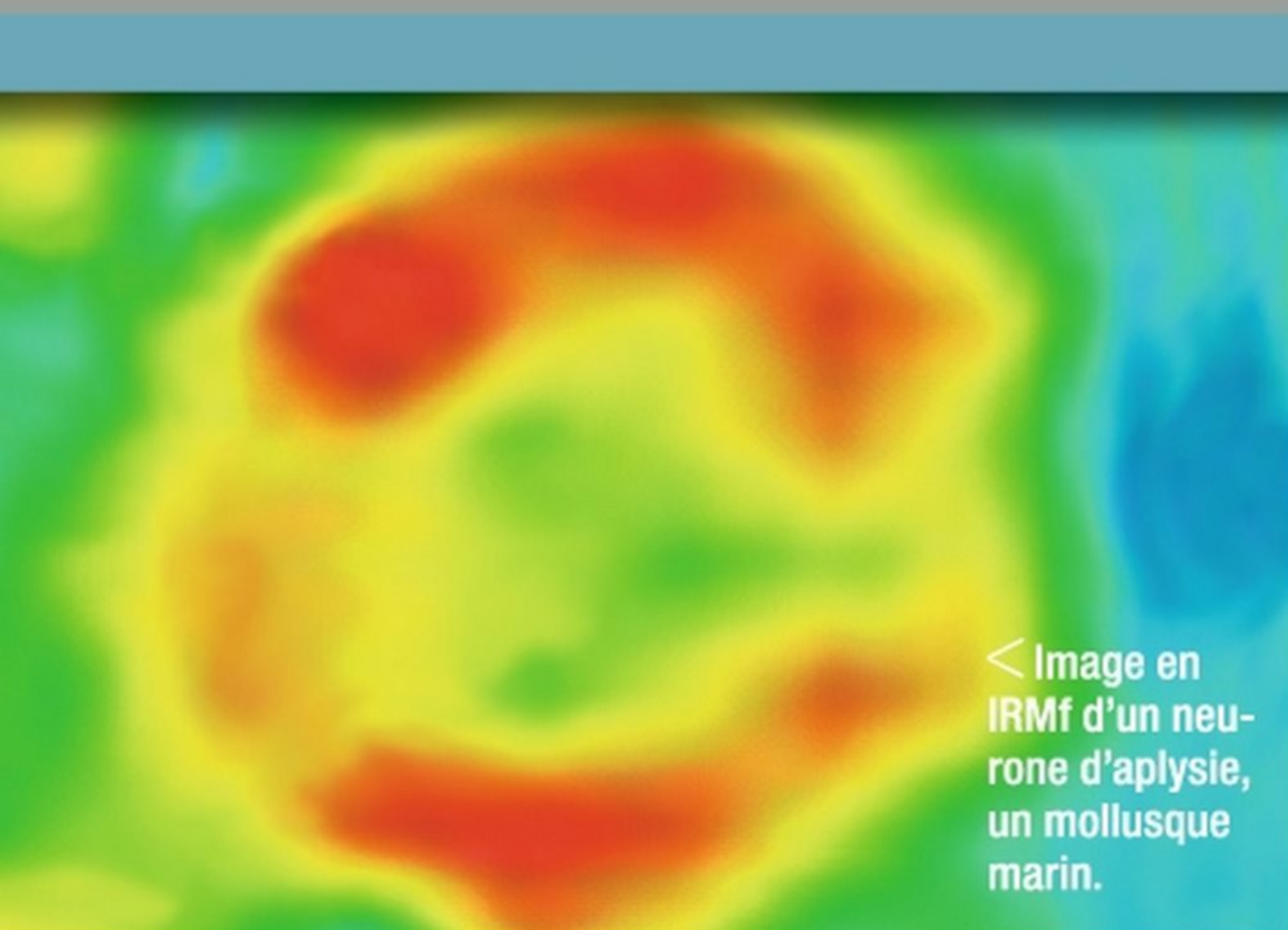
NEUROSCIENCE

L'activité de neurones a été observée individuellement

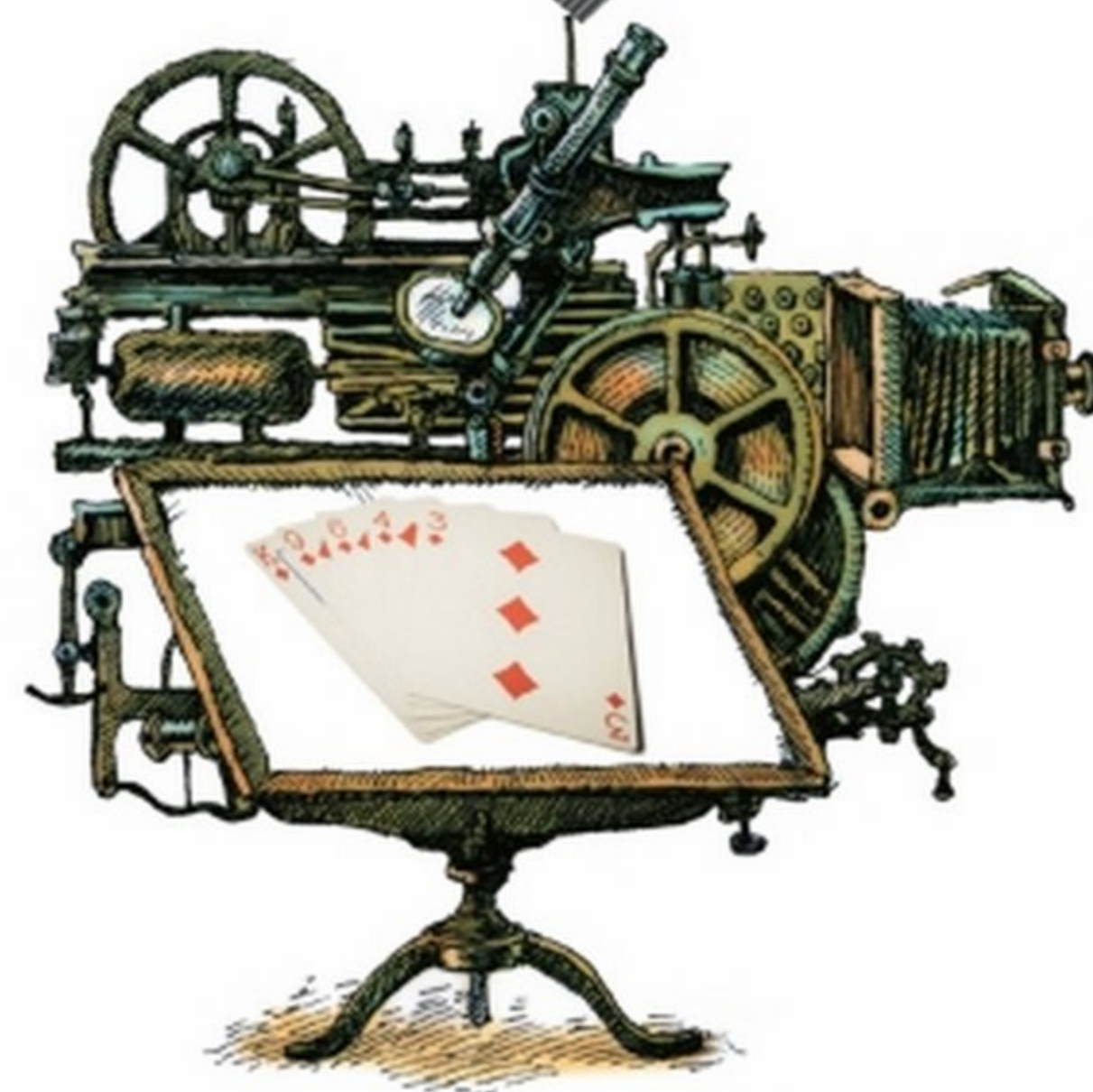
Visualiser l'activité de neurones individuels, voilà la prouesse de neuroscientifiques français. Leur modèle: l'aplysie, un mollusque marin dont le système nerveux compte 20 000 neurones (100 milliards chez l'homme). Grâce à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) à très haut champ (17,2 T contre 7 habituellement), et l'injection d'un traceur qui s'accumule dans les neurones activés, les scientifiques ont observé leur activation indépendante pour diverses stimulations. Une ère nouvelle s'ouvre pour l'étude de la mémoire. **M.-C.M.**



✓ Ce crâne de Cro-Magnon modélisé permet de comparer la localisation de l'aire de Broca (en vert) d'une espèce à l'autre.



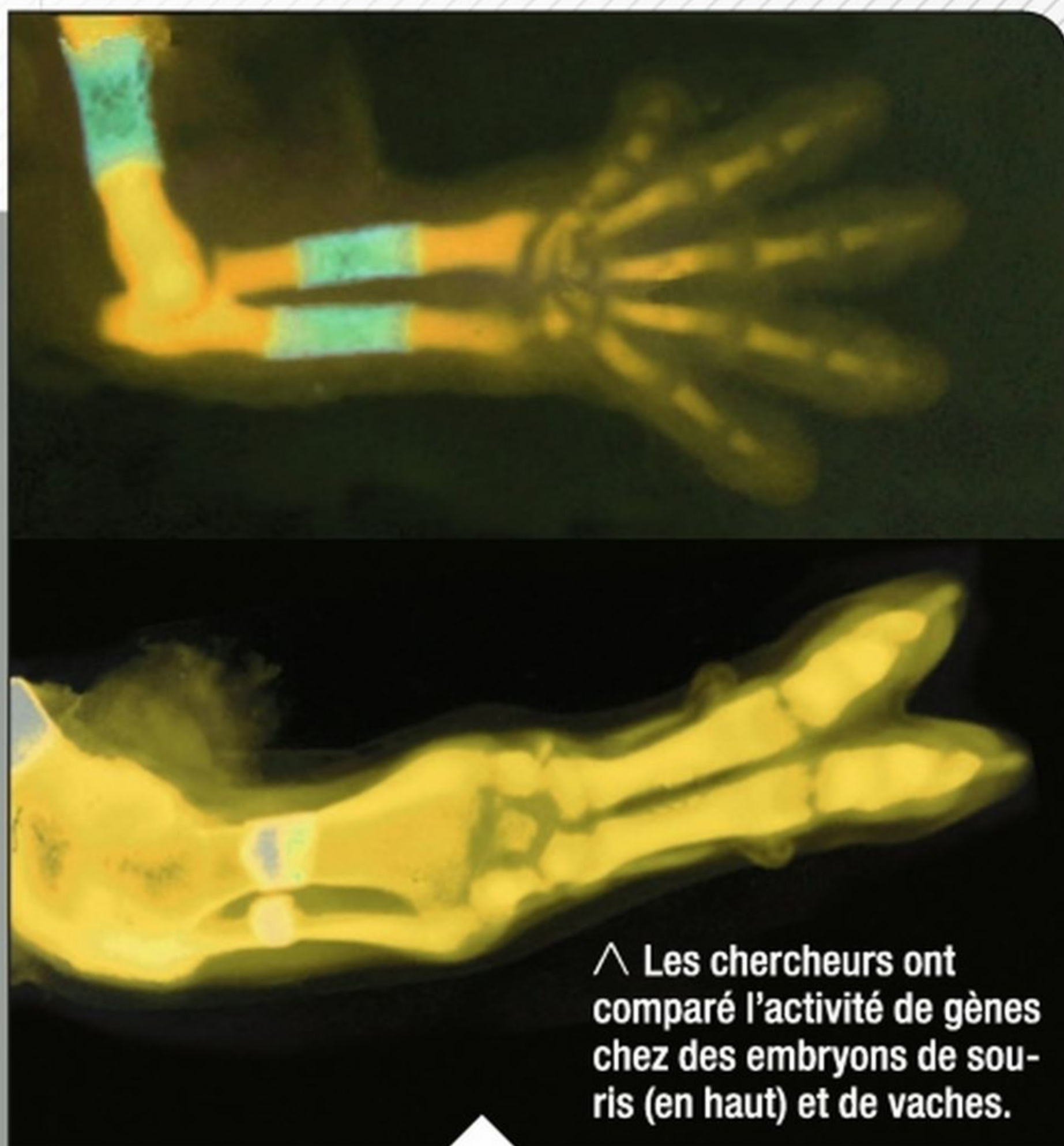
< Image en IRMf d'un neurone d'aplysie, un mollusque marin.



Le bridge est un jeu quantique

"L'essence d'une stratégie gagnante au bridge est une communication efficace entre les partenaires", explique Marcin Pawlowski, de l'université de Zurich. L'idée de ce spécialiste de physique quantique et de ses cinq collaborateurs pour améliorer les chances de gagner : offrir aux joueurs la possibilité de communiquer avec leurs partenaires à l'aide de particules de lumière quantiques. En effet, les photons intriqués sont liés par cette propriété fondamentale du monde de l'infiniment petit qui fait que si l'on mesure les caractéristiques de l'une, on connaît immédiatement celles de l'autre. *"Nous avons calculé qu'en utilisant des photons intriqués, il est possible de coder deux fois plus d'information",* explique le spécialiste de physique quantique, également fin connaisseur du bridge. Marcin Pawlowski estime donc qu'en utilisant des particules de lumière quantiques pour mener la phase des enchères qui initie chaque partie de bridge, il est possible d'augmenter sa probabilité de gagner de 2 %. *"Evidemment 2 % c'est peu, mais au fil des parties, cela fait la différence",* précise-t-il. Le physicien assure que l'astuce quantique n'est pas interdite par les règles... Reste aux joueurs à s'équiper d'un laser de précision, d'un cristal pour les intriquer et d'un manuel de physique quantique.

M.F.



^ Les chercheurs ont comparé l'activité de gènes chez des embryons de souris (en haut) et de vaches.

GÉNÉTIQUE

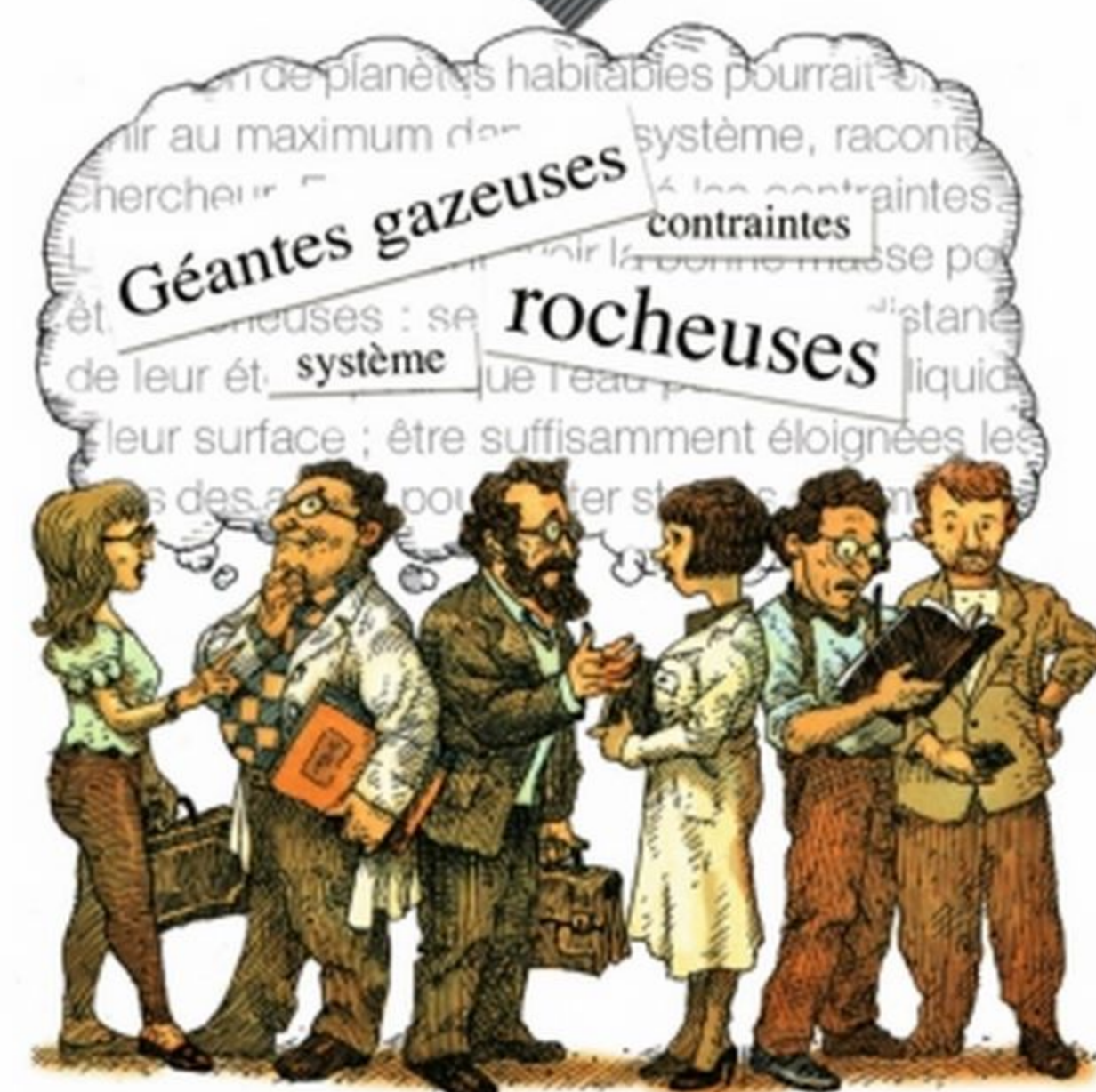
ON SAIT COMMENT LES VACHES ONT PERDU UN DOIGT

Sur les cinq doigts qu'avait son ancêtre, il n'en reste plus que quatre à la vache: deux très développés (le sabot) et deux ergots à l'arrière. Autant que le mouton et la chèvre, mais moins que l'éléphant (qui en a cinq) et plus que le cheval (un seul)... Pour comprendre comment une telle diversité a pu apparaître chez les ongulés, une équipe de biologistes menée par Javier Lopez-Rios et Amandine Duchesne (université de Bâle, Suisse) a comparé la mise en place du squelette des membres chez des embryons de vache et de souris (cinq doigts) au niveau moléculaire et génétique.

Résultats: ces variations sont dues à une perturbation de l'expression des gènes architectes HOX – qui orchestrent le développement embryonnaire. Chez la souris, les protéines de régulation sont réparties de manière asymétrique dans le bourgeon du membre, aboutissant à la formation d'un squelette à cinq doigts. Chez la vache, cette répartition est symétrique, ce qui a entraîné l'élongation simultanée des deux doigts du milieu. Une adaptation qui a été conservée car, en terrain difficile, il est plus facile de marcher sur deux doigts porteurs de même taille.

E.H.

Ça reste à prouver



Un système extra-solaire pourrait abriter 68 Terre...

"Je ne sais pas si l'on trouvera un jour un tel système... commence Sean Raymond. Mais physiquement, il est possible qu'il existe!" Ce spécialiste des exoplanètes de l'université de Bordeaux vient d'arriver à une conclusion hallucinante: une étoile pourrait abriter jusqu'à 68 jumelles de la Terre. "Je suis parti de la question: combien de planètes habitables pourrait-on faire tenir au maximum dans un système, raconte le chercheur. Et ensuite, j'ai listé les contraintes." Les planètes doivent avoir la bonne masse pour être rocheuses; se situer à la bonne distance de leur étoile pour que l'eau puisse être liquide à leur surface; être suffisamment éloignées les unes des autres pour rester stables des milliards d'années durant... Puis le chercheur a simulé les configurations possibles tout en cherchant à atteindre le maximum de compacité. Et il a trouvé qu'un système qui abriterait des géantes gazeuses autour desquelles tourneraient des lunes de la taille de la Terre pourrait accueillir jusqu'à 34 planètes... Or, ce système était centré sur non pas un soleil unique, mais sur l'une de ces étoiles binaires si courantes dans l'Univers, si bien qu'il pourrait en abriter le double. Soit 68. Le compte est bon, et vertigineux!

M.F.



VOICI UNE OFFRE QUI REDONNE LE SOURIRE À VOTRE BANQUIER.

Nouveau SUV
Gamme ŠKODA Yeti

à partir de

265 € /mois

sous condition de reprise⁽¹⁾

SANS APPORT

4 ANS DE GARANTIE⁽²⁾ INCLUS



Du 1^{er} au 30 septembre

- 3 sièges arrière amovibles
- Caméra de recul⁽³⁾
- Toit de couleur personnalisable⁽⁴⁾
- Toit ouvrant panoramique⁽⁴⁾

ŠKODA, PARTENAIRE DE TOUS CEUX QUI DONNENT VIE AU TOUR DE FRANCE.

Location longue durée sur 48 mois. 48 loyers de 265 €. Offre valable du 01/09/2014 au 30/09/2014.

(1) Exemple pour un Yeti Active 1.2 TSI 105 ch en location longue durée sur 48 mois et pour 40 000 km maximum, hors assurances facultatives. Aide à la remise de 3 000 € TTC et aide à la reprise de 500 € TTC (conditions générales ArgusTM) déduites du tarif au 26/05/2014. Offre réservée aux particuliers chez tous les Distributeurs présentant ce financement, sous réserve d'acceptation du dossier par Volkswagen Bank GmbH - SARL de droit allemand - Capital 318 279 200 € - Succursale France : Bâtiment Ellipse 15 Avenue de la Demi-Lune 95700 Roissy en France - RCS Pontoise 451 618 904 - ORIAS : 08 040 267 (www.oriass.fr). **Modèle présenté : Yeti Outdoor 1.2 TSI 105 ch avec options peinture métallisée, jantes alliage Matterhorn et phares avant bi-Xénon. Aide à la remise de 3 000 € TTC et aide à la reprise de 500 € TTC (conditions générales ArgusTM) déduites du tarif au 26/05/2014 : 48 loyers de 359 €.** (2) Garantie additionnelle de deux ans obligatoire souscrite auprès d'Opteven Assurances, Société d'assurance et d'assistance au capital de 5 335 715 € - Siège social : 35-37, rue L. Guérin, 69100 Villeurbanne. RCS Lyon n° 379 954 886 régie par le Code des assurances et soumises au contrôle de l'ACP. (3) Équipement en option. (4) De série ou en option selon les versions. Simply Clever : Simplement Évident. Volkswagen Group France - Division ŠKODA - 02600 Villers-Cotterêts - RCS Solssons B 602 025 538.

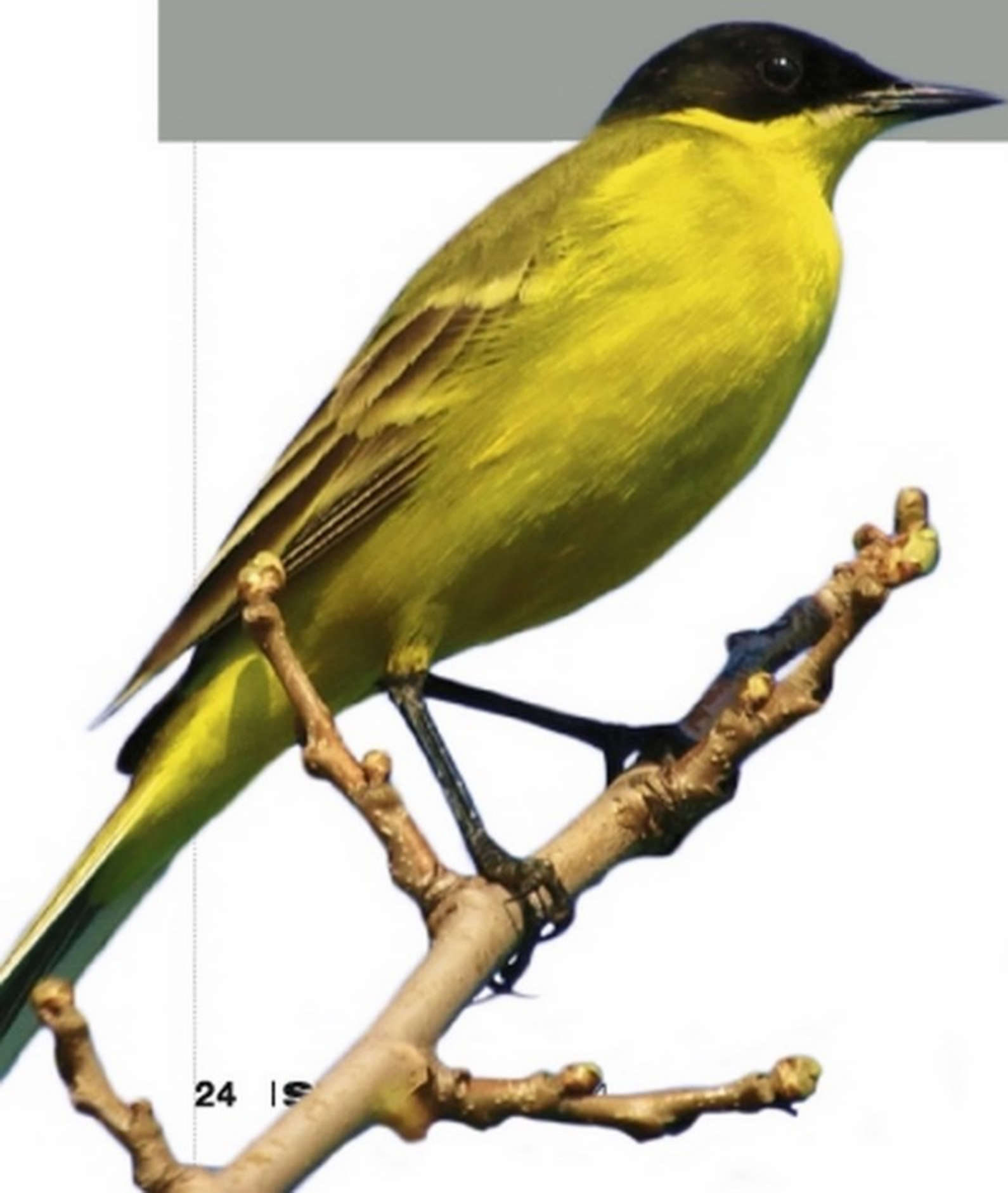


ÉCOLOGIE MARINE

LIMITER LA PÊCHE SAUVERAIT LE CORAIL CARIBÉEN

Un espoir pour les récifs coralliens des Caraïbes: leur déclin pourrait être prévenu par la simple régulation de la pêche des poissons herbivores, en particulier des poissons-perroquets. Ces récifs, qui ont perdu la moitié de leurs coraux depuis les années 1970, semblaient condamnés à disparaître dans vingt ans. La faute au réchauffement climatique, pensait-on. Mais le rapport d'un groupe d'experts internationaux, qui a compilé 35 000 études menées depuis 1969 dans 34 pays, est formel: la surpêche et la pollution côtière seraient à l'origine du déclin observé. Le changement climatique

aurait juste accentué le phénomène. Après l'épidémie qui décima l'oursin-diadème des Antilles en 1983, les poissons-perroquets sont les seules espèces capables de limiter, en les mangeant, la prolifération des algues qui étouffent les récifs coralliens. Une fonction qu'ils ne peuvent plus remplir s'ils disparaissent eux-mêmes. La couverture corallienne a ainsi bien plus souffert dans les zones de surpêche, comme en Jamaïque ou au Belize, que dans les régions où la pêche est réglementée. En meilleure santé, ces récifs riches en poissons-perroquets ont aussi mieux résisté aux cyclones. **C.H.**



ÉCOTOXICOLOGIE

Les pesticides font aussi des ravages chez les oiseaux insectivores

En suivant les populations de 15 espèces campagnardes communes (ci-contre, une bergeronnette) entre 2003 et 2010, une équipe de l'université de Nimègue (Pays-Bas) a établi un lien entre la présence d'imidaclopride (un insecticide de la famille des néonicotinoïdes) dans les eaux de surface et le déclin des oiseaux insectivores – qui atteint 3,5 % par an dans les régions les plus contaminées. L'imidaclopride décime en effet les insectes dont sont nourris les oisillons. L'usage de ce produit, également soupçonné de tuer les abeilles, a été suspendu pour deux ans par la Commission européenne, fin 2013. **D.H.**



< Le poisson-perroquet, herbivore, limite la prolifération des algues qui étouffent les coraux.

en
bref

TRISTE PACTOLE

Avec 156 milliards d'euros par an, le trafic d'espèces menacées (faune et flore) rapporte presque autant que les armes ou la drogue. Le bois, les produits de la pêche puis les animaux utilisés en médecine suscitent le plus de convoitises. F.C.

LES MANCHOTS INÉGAUX FACE À LA FONTE DES GLACES

En fondant, la banquise libère plus d'accès à la mer. Alors que le manchot papou en profite grâce à son régime varié, les manchots Adélie et à jugulaire souffrent, eux, du manque de krill (zooplancton), leur seul aliment. L.G.

LA FORÊT FAIT GROSSIR LES POISSONS

L'étude d'un lac canadien a révélé que plus les rives sont bordées de végétation, plus les poissons sont gros. Les débris végétaux tombant dans l'eau nourrissent en effet le plancton, lui-même englouti par les poissons. L.G.

✓ Des débris de polyester, de polypropylène et de Nylon ont été retrouvés dans la glace.



MICROPOLLUTION

Même l'Arctique est gagné par le plastique

En fondant, la banquise arctique pourrait libérer de leur prison de glace des quantités insoupçonnées de particules de plastique. C'est ce que craignent des chercheurs américains et anglais qui ont découvert pour la première fois la présence de microplastiques (moins de 5 mm de diamètre) dans des carottes de glaces prélevées en quatre points reculés de la région en 2005 et 2010. Les scientifiques ont inventorié entre 38 et 264 débris de polyéthylène, polypropylène, Nylon, etc., par mètre cube... soit près de 1 000 fois plus que dans la tristement célèbre "soupe de plastique" du Pacifique Nord. M.S.

840 000 ha

C'est la surface de forêt vierge abattue en 2012 en Indonésie, qui détient désormais le record de destruction de forêt tropicale, loin devant le Brésil (480 000 ha). Plus de 6 millions d'hectares ont disparu depuis 2000. Un phénomène amplifié par l'essor de l'exploitation illégale du bois et des cultures de palmiers à huile, malgré le moratoire de 2011 sur les permis de défrichement. E.H.



G.DOUWMA/SPL/BIOPHOTO - FOTOLIA - DR



△ L'enfouissement des eaux usées générées par le forage fait monter la pression dans le sous-sol.

SISMOLOGIE

LES Puits DE GAZ DE SCHISTE FONT BIEN TREMBLER LA TERRE

Le débat est tranché. Les séismes en Oklahoma (Etats-Unis) sont bien provoqués par l'injection, dans des puits d'évacuation, d'eaux usées engendrées par des exploitations telles que celle du gaz de schiste. C'est ce qu'a prouvé l'équipe de Kathleen Keranen, de l'université Cornell. Depuis dix ans, de nouvelles méthodes d'exploitation, comme les forages horizontaux, produisent des quantités considérables d'eaux usées dont on se débarrasse sous terre, en les injectant dans des puits profonds de 2 ou 3 km. Résultat : la pression monte dans le sous-sol. C'est ce phénomène que les

géologues viennent de relier aux séismes. Ils ont montré que quatre des puits les plus utilisés en Oklahoma sont responsables de 20 % des séismes qui se produisent jusqu'à 30 km alentour, avec des épicentres jusqu'à 5 km de profondeur. Ce qui expliquerait pourquoi cette région est bien plus souvent secouée par les tremblements de terre depuis 2009. Une conclusion inquiétante, car les terrains où la pression monte à cause de l'injection d'eau ne cessent de s'étendre, augmentant ainsi le risque d'atteindre une grosse faille susceptible de produire un séisme majeur. **S.F.**

POLLUTION URBAINE

En ville, certains arbres dégradent les bâtiments

Tous les arbres ne sont pas adaptés au milieu urbain. En réalisant une modélisation des échanges chimiques dans l'air des villes, des chercheurs britanniques ont constaté qu'au soleil, l'interaction entre la pollution automobile et les composés organiques relâchés par les érables sycomores ou les pins Douglas produit de l'ozone, qui contribue à dégrader le bâti. En particulier les pierres calcaires des vieux bâtiments, mais aussi le cuivre, le zinc et l'acier au carbone. **S.F.**

▽ Ce grand prédateur a vu sa population chuter d'environ 70 % dans les années 1970-80.



CONSERVATION DES ESPÈCES

Les grands requins blancs sont enfin de retour

Bonne nouvelle, la population du grand requin blanc montre des signes de rétablissement sur les côtes atlantiques d'Amérique du Nord. "Son retour est important pour l'équilibre de l'écosystème marin", souligne Tobey Curtis, de la NOAA (l'agence américaine de l'océan), qui a analysé les 649 observations ou captures effectuées depuis 1800. "Sa population avait chuté d'environ 70 % dans les années 1970-80, mais elle remonte depuis l'an 2000", détaille le biologiste. L'espèce est interdite de pêche aux Etats-Unis depuis 1997. Elle revient en Californie, et semble se porter mieux en Australie et en Afrique du Sud. **F.G.**

CONSULTEZ EN LIGNE 25 ANS DE SCIENCE & VIE !

Avec LES GRANDES SCIENCE & VIE ARCHIVES

Retrouvez
+ de **300 numéros**
de Science & Vie depuis 1989

Consultez
+ de **15000**
articles



Faites des
recherches efficaces
grâce à un **moteur
de recherche
performant**

Parcourez les
grands dossiers
conçus par la rédaction

Abonnez-vous aujourd'hui

pour bénéficier d'une
consultation illimitée
pendant **1 an**

**TARIF
ABONNÉ**

12€
au lieu de 36 €

**TARIF
LECTEUR**

36€

www.archives.science-et-vie.com

BULLETIN D'ABONNEMENT

A compléter et à renvoyer dans une enveloppe timbrée accompagné du règlement à
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

Oui, je m'abonne aux Grandes Archives.

Je suis abonné :

☐ Je règle la somme de 12 € 788 323
J'aurai besoin de mon n° d'abonné pour me connecter.

Je ne suis pas abonné :

☐ Je choisis l'abonnement aux archives seules :
je règle la somme de 36 € 788 331

☐ Je choisis l'abonnement au magazine et aux
archives (soit 35 €* l'abonnement + 12 € l'accès aux archives) :
Je règle la somme de 47 € 788 349

NOM : _____
PRÉNOM : _____
ADRESSE : _____
CODE POSTAL : _____ VILLE : _____
TÉL. : _____
E MAIL : _____ @ _____

Adresse mail obligatoire pour recevoir mes identifiants

Je joins mon règlement par :

☐ chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐ _____

Date d'expiration _____ Code crypto _____
(les 3 chiffres au dos de votre CB)

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

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

Date et signature obligatoire

► Dès réception de mon paiement je recevrai mes identifiants pour me connecter ◀

C1163

*Prix public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1^{er} abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/08/2014 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquiescer séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 €. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées.
Service Abonnements - Science & Vie - 8 rue François Dry 92543 MONTROUGE Cedex. RCS B 452 791 262 - Capital : 1 717 360 €.

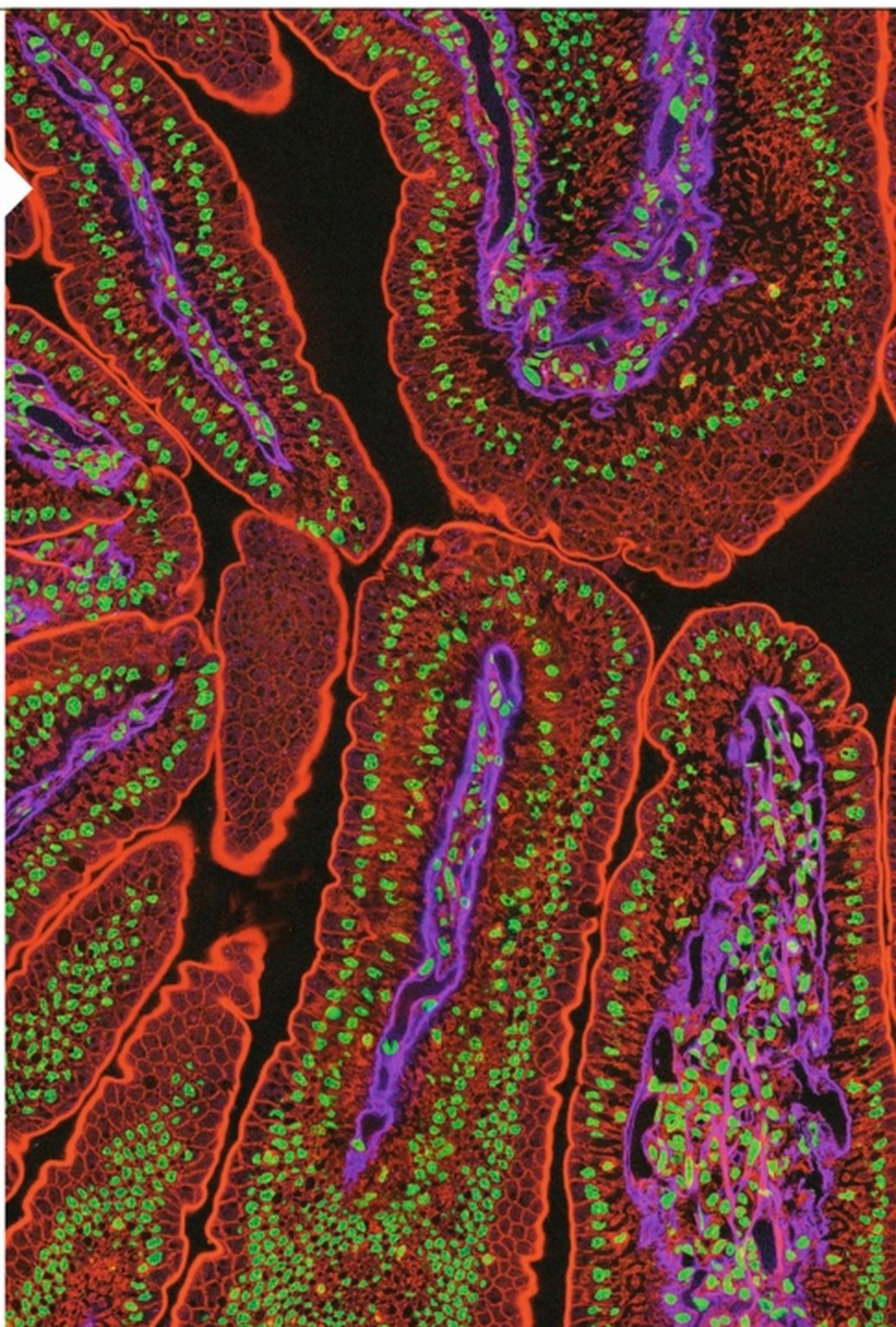
Je m'abonne en ligne sur :
www.maboutiquemagazines.com

PHYSIOLOGIE

UN REMÈDE AU DIABÈTE SE TROUVE DANS L'INTESTIN

Pourquoi réparer un pancréas défaillant si un autre organe peut assurer ses fonctions à sa place? Cette réflexion audacieuse d'une équipe de l'université Columbia (Etats-Unis) pourrait déboucher sur de nouveaux traitements du diabète, très éloignés des pistes habituellement envisagées. En faisant taire un gène, appelé FoxO1, dans des cellules intestinales humaines, les chercheurs ont doté une partie d'entre elles de la capacité à ressentir la présence de glucose et à y répondre en sécrétant de l'insuline, une enzyme qui favorise le stockage du sucre dans le tissu grasseux. Une fonction normalement assurée

par les cellules bêta du pancréas, qui sont détruites chez les diabétiques de type 1 – d'où le risque d'hyperglycémie et la nécessité d'injections quotidiennes d'insuline. Les cellules intestinales modifiées pourraient-elles prendre la relève? Réponse dans quelques années, espère Domenico Accili, l'auteur principal de l'étude: *"Pour l'instant, nous testons différentes molécules pour désactiver le gène FoxO1; puis nous essaierons de voir si l'ingestion de l'une de ces molécules, une fois par mois ou par an, peut bel et bien réduire, voire totalement éliminer, le besoin d'injections d'insuline chez les diabétiques."* E.A.



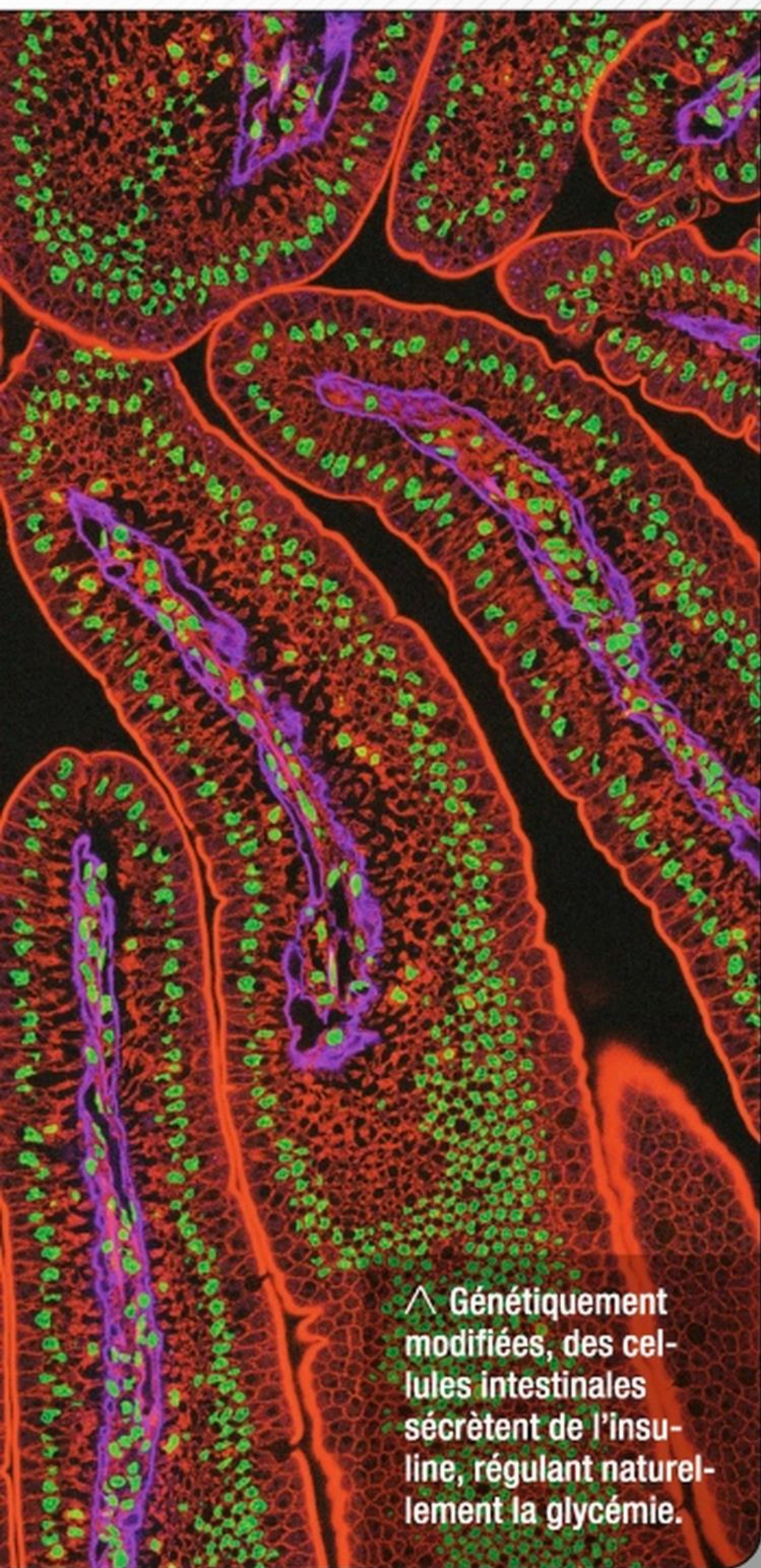
49,5 cm

C'est la taille moyenne d'un bébé à la naissance, à plus ou moins 1,9 cm près. Une taille standard très peu liée à la morphologie familiale ou l'origine ethnique, précise l'étude, qui a suivi 60 000 grossesses partout dans le monde. Aucune femme – en bonne santé et soumise à un régime équilibré – ne serait prédestinée à avoir un bébé plus petit. Ce sont les inégalités économiques qui ont un impact direct sur la taille du nouveau-né. L.G.

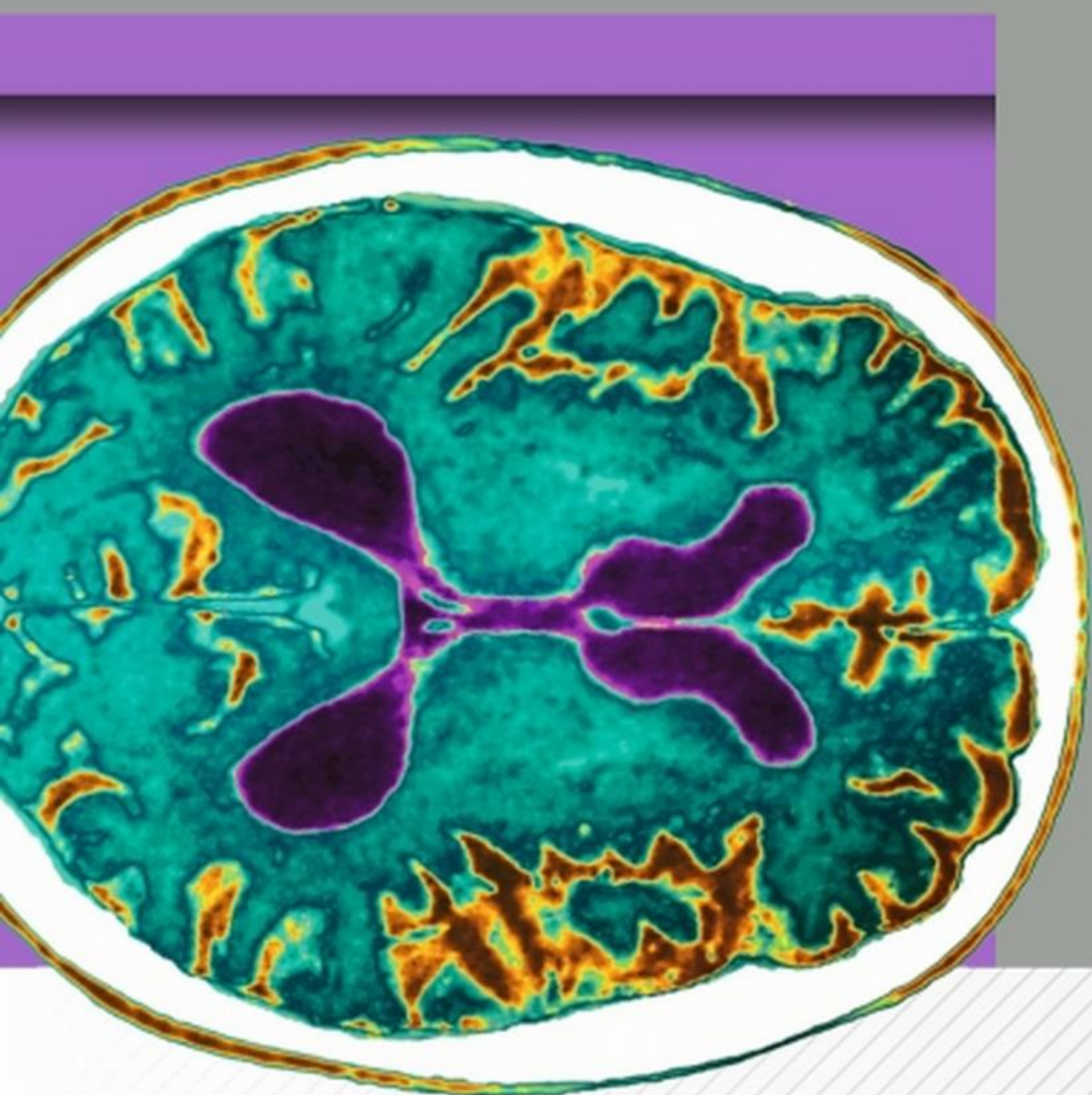
NEUROBIOLOGIE

Un test sanguin dépistera la maladie d'Alzheimer plus tôt

Diagnostiquer la maladie d'Alzheimer trois ans avant les premiers symptômes: c'est ce que promet un test sanguin mis au point par des chercheurs britanniques. Ils ont identifié une combinaison de 10 protéines dont le taux dans le sang permet de prédire la pathologie chez des personnes atteintes d'un déficit cognitif léger. En jeu: une prise en charge plus rapide pour un traitement plus efficace. D'autres essais seront nécessaires, mais sur les 1148 individus suivis, la fiabilité du test atteint 87 %, un résultat comparable à ceux obtenus par IRM (à dr., un cerveau atteint). F.C.



^ Génétiquement modifiées, des cellules intestinales sécrètent de l'insuline, régulant naturellement la glycémie.



CARDIOLOGIE

Le cœur des fumeurs est plus résistant aux accidents

Si le risque d'accident cardiaque est multiplié par cinq chez les fumeurs, paradoxalement, leur taux de survie après un arrêt cardiaque est meilleur, et le risque de séquelles moindre ! Tel est l'étonnant constat effectué par l'équipe de Gregg Fonarow, de l'université de Californie à Los Angeles (Etats-Unis). Entre 2003 et 2011, les chercheurs ont compilé les données, relevées pendant leur hospitalisation, de plus de 800 000 patients ayant subi un arrêt cardiaque. Conclusion : à âge égal, les fumeurs présentent un taux de survie de 28,2 %, contre 24,1 % pour les non-fumeurs. En outre, ils souffrent moins souvent de séquelles neurologiques. *"Lorsqu'on ranime un patient, le retour brutal du sang dans le cœur provoque malheureusement aussi des lésions. Or, il est possible que le léger manque d'oxygène diffus induit par le tabagisme conditionne l'organisme des fumeurs, l'aidant ainsi à mieux prévenir l'apparition de certaines lésions"*, avance le cardiologue. Avant de préciser : *"D'autres études seront nécessaires pour confirmer nos résultats et élucider les mécanismes physiologiques à l'origine de ce paradoxe"*... qui ne justifie en rien la poursuite du tabagisme !

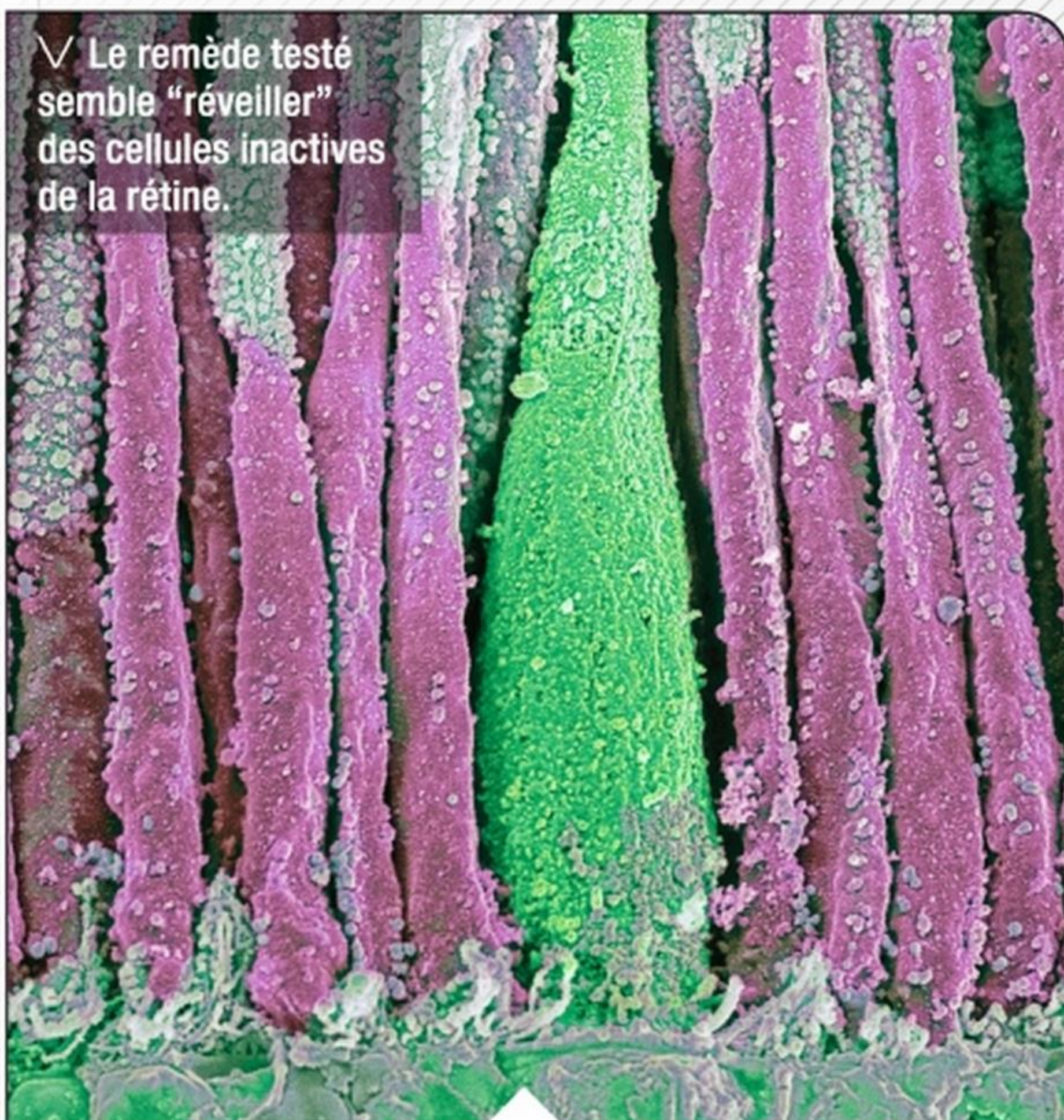
C.H.

✓ Cinq fois plus exposés aux accidents cardiaques, les fumeurs présentent cependant un meilleur taux de survie.



DR T. DEERINCK/CORBIS - ZEPHYR/SPL/PHANIE - BURGER/PHANIE

✓ Le remède testé semble "réveiller" des cellules inactives de la rétine.



OPHTALMOLOGIE

UN MÉDICAMENT GUÉRIRAIT UNE CECITÉ HÉRÉDITAIRE

Une dose quotidienne d'un médicament dérivé de la vitamine A: c'est le remède tout simple, mis au point à l'Institut de recherche du Centre universitaire de santé McGill (Canada), qui pourrait soigner une forme génétique de cécité touchant 1,4 million d'enfants dans le monde. Dans l'amaurose congénitale de Leber, une molécule dont la rétine a besoin pour capter la lumière est inhibée. Résultat: les cellules rétinienne meurent, et la vue se détériore... irréversiblement. Ce qui rend d'autant plus étonnante l'action du remède testé: l'acuité

visuelle de 10 des 14 patients (âgés de 6 à 38 ans) s'est améliorée au bout de sept jours seulement! La molécule aurait "activé des cellules rétinienne qui n'étaient pas mortes, mais simplement en dormance, optimisant ainsi la vision des patients", avance Robert Koenekoop, l'auteur principal de l'étude. Pour éviter que la vue ne se dégrade à nouveau (les cellules rétinienne ayant besoin d'une stimulation constante), le médicament serait prescrit tout au long de la vie. Reste à confirmer ces résultats préliminaires dans des études plus larges. **F.C.**

BIENTÔT UN CONTRACEPTIF TÉLÉCOMMANDÉ

Prévu pour 2018, l'implant contraceptif du futur garantira une dose quotidienne de progestérone pendant seize ans. Le traitement pourra être interrompu en vue d'une grossesse, puis réactivé grâce à une télécommande. **L.G.**

LE CANCER DU SEIN MIEUX DÉPISTÉ

La mammographie 3D permettrait de mieux diagnostiquer les cancers du sein, révèle une étude américaine menée sur un demi-million de femmes. Elle réduit de 15 % le nombre de faux positifs, l'un des travers de la mammographie classique. **L.G.**

LE GRAS NUIT À L'ODORAT

Après un régime riche en graisses, seule la moitié des neurones olfactifs reste fonctionnelle, estiment des chercheurs américains, qui ont observé la disparition de l'odorat chez des souris devenues obèses. **C.T.**

PHARMACOLOGIE

Les inhalateurs antiasthme freinent bien la croissance

Deux publications faisant le bilan de dizaines d'études déjà publiées confirment des craintes soulevées il y a plusieurs années: en inhibant la production de certaines hormones, les corticoïdes contenus dans les inhalateurs antiasthmiques ralentissent la croissance – de 0,5 cm par an en moyenne, par rapport aux enfants asthmatiques traités sans corticoïdes. Ce qui pourrait mener à une taille réduite de 1,2 cm à l'âge adulte. Selon les auteurs, ce facteur doit donc être pris en compte dans le choix des molécules et les doses prescrites. **E.A.**

> Les corticoïdes contenus dans ce traitement sont en cause.

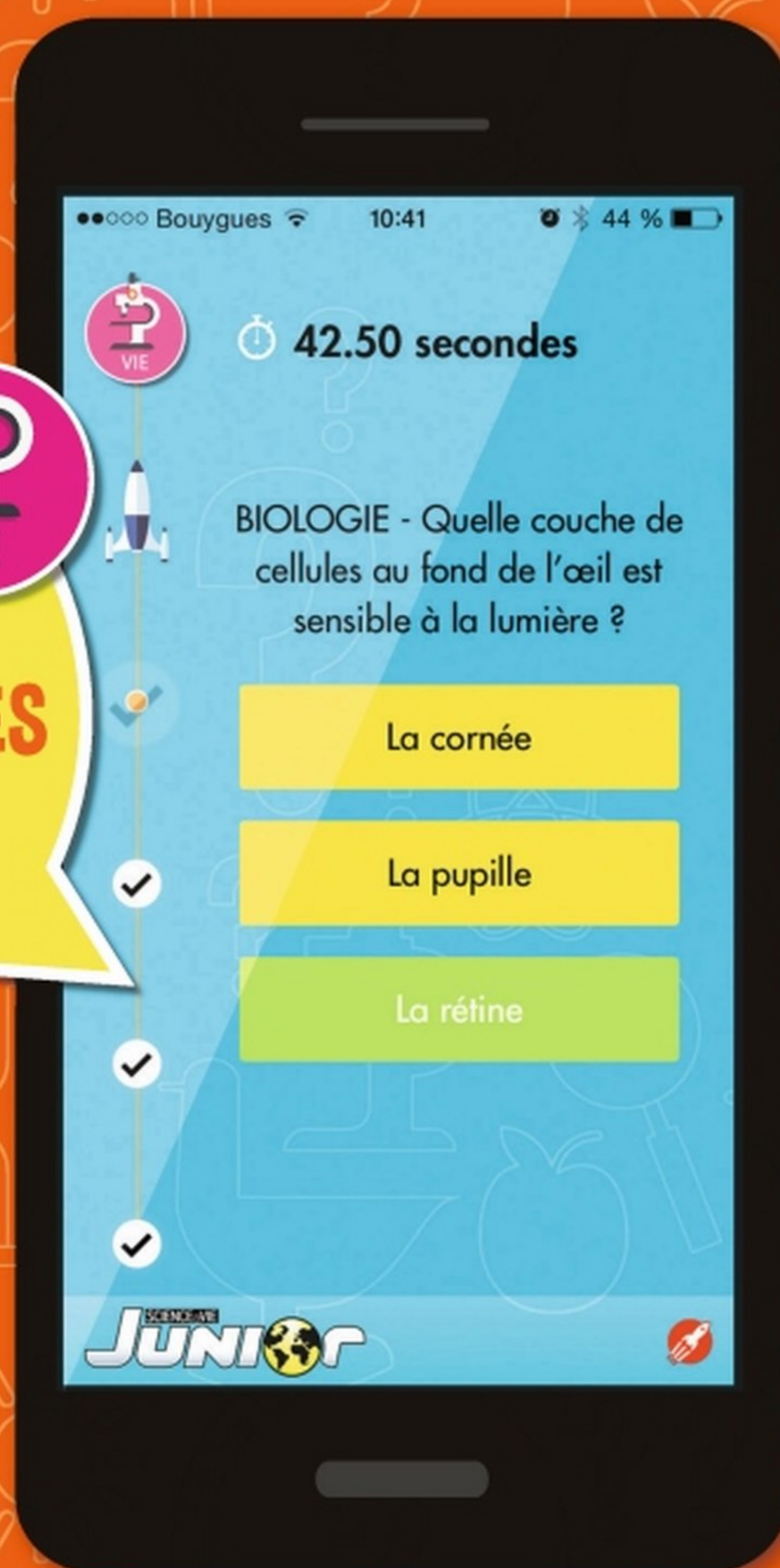


NOUVEAU!

DÉCOUVREZ NOTRE APPLICATION

QUIZ GÉANT

Testez
vos CONNAISSANCES
en 5 catégories !



Téléchargez
l'application ici



Disponible sur



Disponible dans
l'App Store



DISPONIBLE SUR
Google play

VOICI LA CARTE DES ORDINATEURS LES PLUS PUISSANTS DU MONDE

Le Top 500 des supercalculateurs, ces ordinateurs dotés de plusieurs milliers de processeurs, est établi depuis vingt ans par quatre experts mondiaux du calcul informatique. Et la 21^e édition dessine un paysage changeant.

Certes, le superordinateur le plus puissant du monde affiche un nouveau record : 33,86 pétaflop/s, soit 33,86 millions de milliards d'opérations par seconde ! *"Les appareils actuels vont 10000 fois plus vite qu'il y a quinze ans"*, confirme Jack Dongarra, directeur du Laboratoire du calcul innovant à l'université américaine du Tennessee. A l'horizon 2020, la barre symbolique de l'exaflop/s (un milliard de milliards d'opérations par seconde) pourrait être atteinte, seuil voisin de ce que les neuroscientifiques estiment être la capacité de traitement de l'information du cerveau humain.

Mais si les performances continuent de croître, c'est à un rythme moins soutenu – les budgets de recherche étant restreints... Les Etats-Unis restent le pays le mieux doté, avec 46,4 % des machines inscrites au Top 500. Il est pourtant en recul, au profit notamment de la Chine, confortée au 2^e rang mondial (15,2 %).

Réactions chimiques, phénomènes atmosphériques, interactions entre particules élémentaires... l'enjeu est de taille. Un supercalculateur donne vie aux simulations numériques essentielles aux recherches de pointe. F.C.

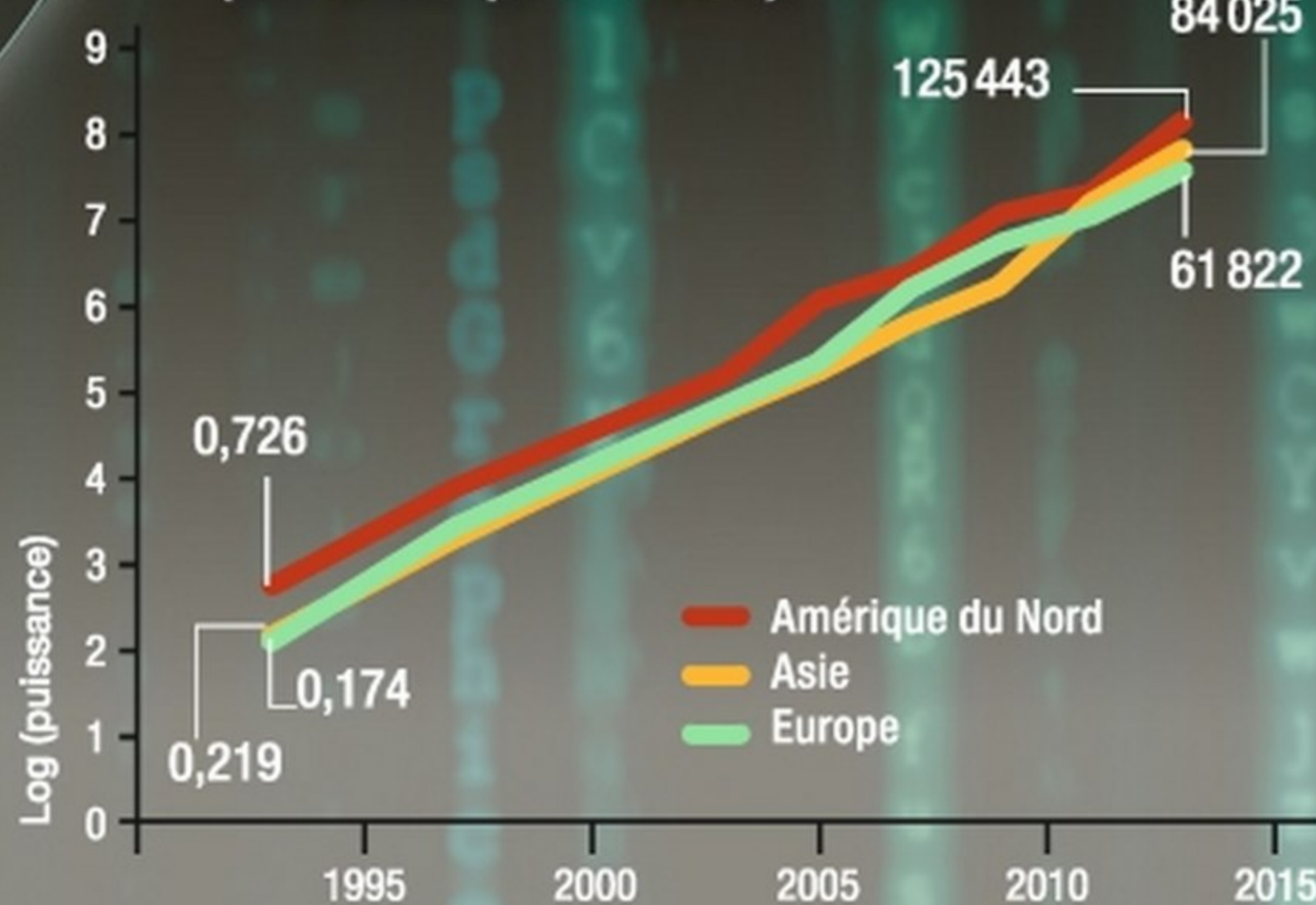


Capacité de calcul dans le monde

(en téraflop/s = 10^{12} flop/s: nombre d'opérations par seconde)



Vingt ans de croissance exponentielle (en téraflop/seconde)



SOURCE: TOP 500

17,8 MW, c'est la puissance électrique du plus gros supercalculateur.

3,12 millions: le plus grand nombre de processeurs dans un superordinateur.

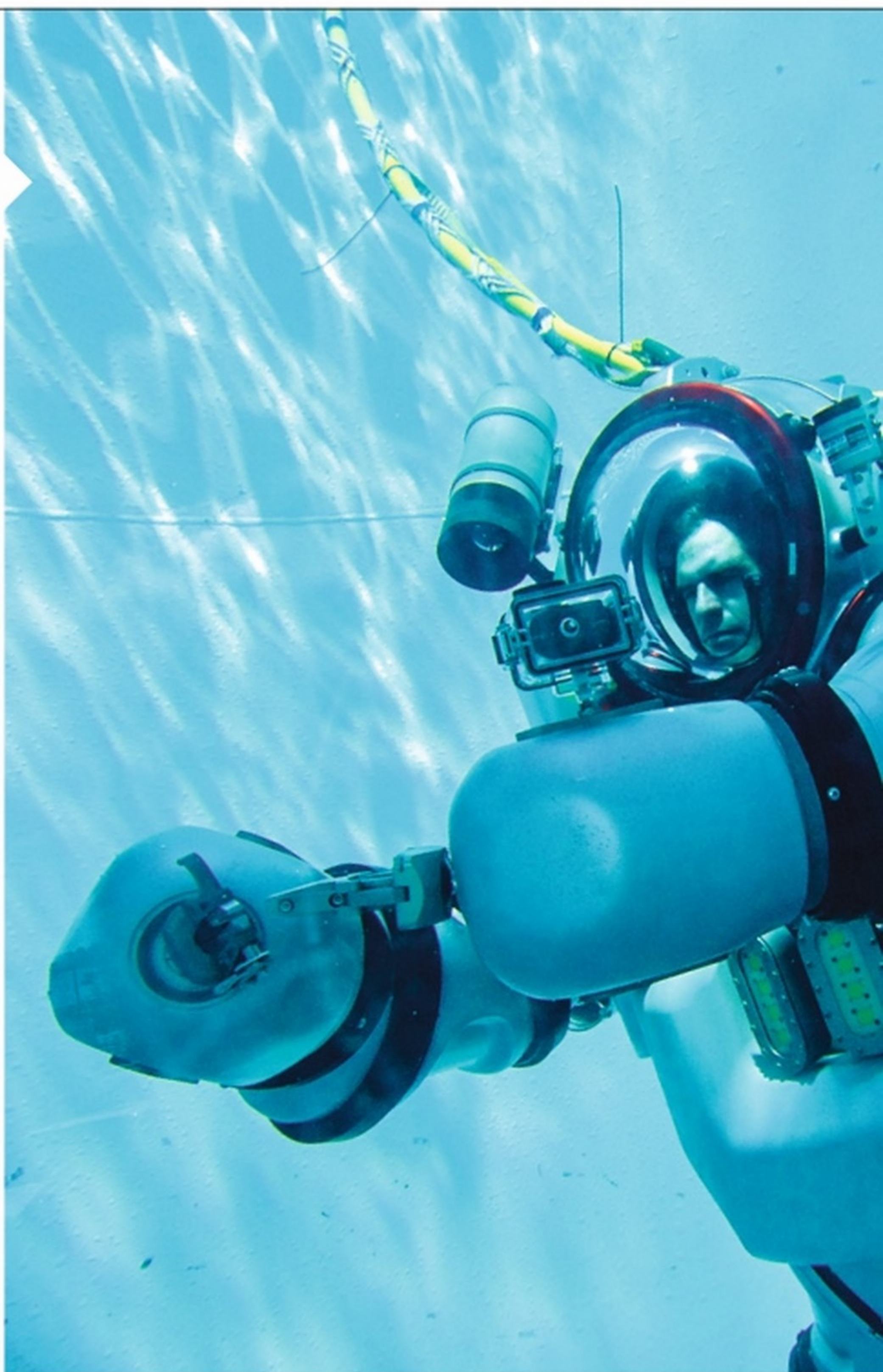
3,46 mégaflop/watt: le supercalculateur le plus économe.

EXPLORATION

LE "SOUS-MARIN" QUI S'ENFILE COMME UN SCAPHANDRE

Grâce à l'Exosuit, cette combinaison conçue par l'entreprise Nuytco Research Ltd (Canada), il est désormais possible de plonger à plus de 300 m de profondeur sans aucun danger. Entre le scaphandre et le sous-marin de poche, cet engin peut résister à une pression 30 fois supérieure à celle de la surface! *"L'Exosuit est une véritable percée technologique dans le milieu de l'exploration sous-marine, s'enthousiasme Michael Lombardi, membre du projet et plongeur qui a déjà testé la combinaison. Doté de 18 joints rotatifs simulant des articulations, il offre une maniabilité et une souplesse exceptionnelles."* Effectivement, la structure (2 m pour 240 kg), composée d'un alliage

d'aluminium, offre une liberté de mouvement et une sécurité jamais proposées jusqu'ici. Quatre moteurs de 1,6 ch actionnables avec le pied facilitent les déplacements, alors que de grosses LED proposent une visibilité optimale. Quant au système d'oxygénation, il assure cinquante heures d'autonomie. De surcroît, ce scaphandre peut être totalement contrôlé à distance, dans le cas de missions nécessitant d'accéder à des sites dangereux par exemple: équipé de caméras, il se convertit alors en sous-marin filoguidé. Déjà testé sur de courtes plongées, l'Exosuit sera utilisé dès cet automne dans les eaux de l'île grecque d'Anticythère, afin d'explorer les restes d'une épave. **F.C.**



INFORMATIQUE

Quand une vieille méthode de calcul refait ses preuves

Comment booster les calculs des simulations informatiques utilisées dans l'industrie? Grâce à une solution du XVIII^e siècle! En revisitant la méthode de résolution d'équations Jacobi, Xiang Yang (université Johns-Hopkins, Etats-Unis) s'est aperçu qu'en changer quelques lignes de code permettait d'arriver à un résultat 200 fois plus vite! De quoi améliorer les simulations utilisées en mécanique des fluides. Car en plus d'être rapide, cette méthode est adaptée aux systèmes de programmation des ordinateurs les plus performants. **M.F.**

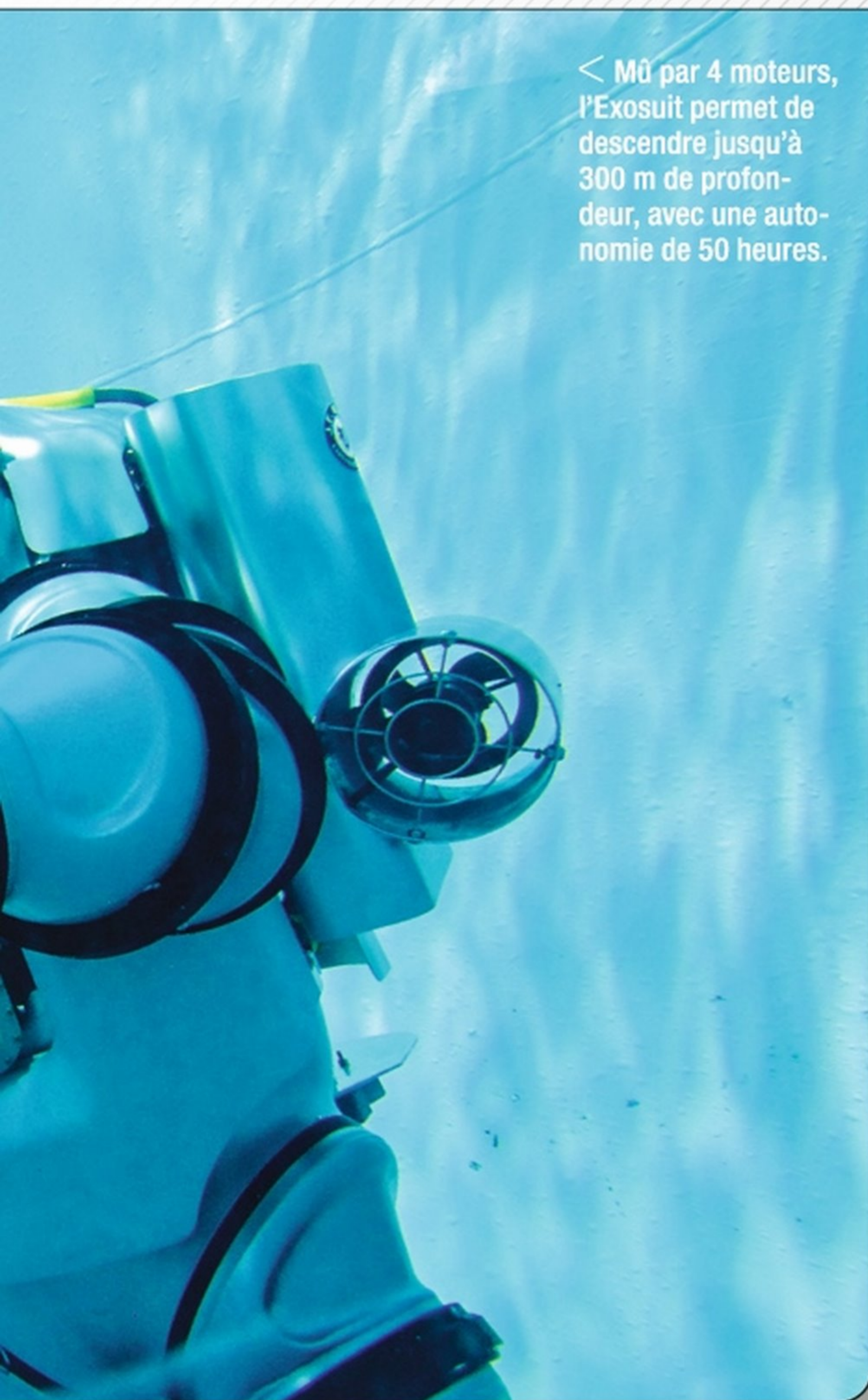
ROBOTIQUE

Un robot se repère sans caméra

Les insectes se situent grâce à des ocelles, des sortes d'yeux qui leur servent à percevoir la lumière, et donc la position du soleil et de l'horizon. C'est en partant de ce principe que des chercheurs d'Harvard et du MIT ont équipé ce robot de quatre photorécepteurs, montés sur un circuit en forme de pyramide, qui lui permettent de détecter une source lumineuse fixe et de se stabiliser en corrigeant en permanence sa position par rapport à elle. Un pas de plus vers l'autonomie de ce type de robots insectes, que l'on peut envoyer sur les sites de catastrophes naturelles, allégés désormais de leurs lourdes caméras externes. **S.F.**

**On tenait
à vous dire!**

< Mû par 4 moteurs, l'Exosuit permet de descendre jusqu'à 300 m de profondeur, avec une autonomie de 50 heures.



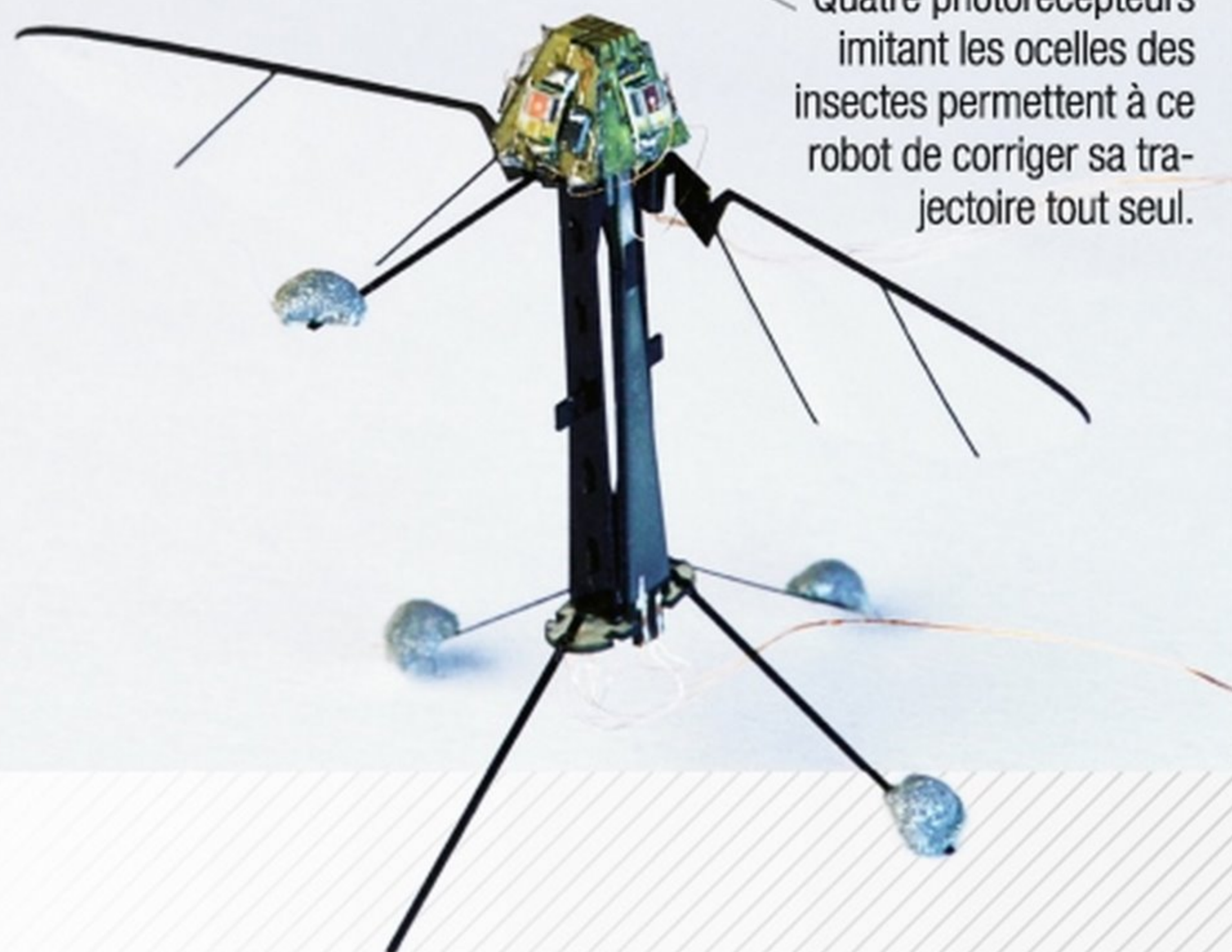
Sur Facebook, nous sommes tous des cobayes

Une étude publiée par des chercheurs de l'université Cornell, alliés à une équipe de Facebook, a, en juin dernier, provoqué l'ire des utilisateurs du réseau social. Les scientifiques révélaient en effet que filtrer les "fils d'actualité" (textes, vidéos, photos publiés par les "amis") en fonction de leur coloration émotionnelle influence l'humeur des utilisateurs. Rien de fondamentalement surprenant. Mais de quoi enrager les utilisateurs, qui ont découvert qu'un algorithme avait manipulé, à leur insu, les fils d'actualité de quelque 689003 "cobayes" involontaires.

Une colère compréhensible mais... mal renseignée. Car l'un des principes de Facebook consiste à manipuler en permanence les fils d'actualité. Ses algorithmes ne sélectionnent, à tout instant, que 20 % des publications "amies", sans respecter la chronologie et en privilégiant les contacts les plus proches, les contenus les plus partagés... Un filtrage revendiqué au titre de l'amélioration du service. Les conditions d'utilisation sont d'ailleurs sans équivoque: *"Nous utilisons vos informations pour des opérations internes."*

Reste l'indignation qu'inspire la capacité de la machine à orienter les émotions. Mais pourquoi viser les réseaux sociaux? Journaux et télévisions influencent l'humeur sociale depuis des décennies... **F.L.**

< Quatre photorécepteurs imitant les ocelles des insectes permettent à ce robot de corriger sa trajectoire tout seul.



INTERNATIONAL

Un drame mondial dans le ciel ukrainien

Un avion de ligne malaisien a été abattu au-dessus de l'Est séparatiste. 298 personnes ont trouvé la mort

UKRAÏNE L'hypothèse d'un acte de guerre a d'emblée été évoquée. Le Boeing 777 de la Malaysia Airlines s'est écrasé jeudi après-midi avec 295 personnes à bord, alors qu'il volait à une altitude de 10 000 mètres au-dessus de l'est de l'Ukraine. Parti d'Amsterdam à destination de Kuala Lumpur, la capitale de la Malaisie, le vol MH17 a disparu sans avoir été repéré par les radars en plein vol.

Un tir de missile meurtrier

Risque d'escalade

Le crash en Ukraine a été abattu hier faisant 298 victimes entre Moscou et Kiev risque d'escalader le conflit

Crash en Ukraine Survoler une zone de conflit demeure risqué

COMMENT TRACE-T-ON DES ROUTES AÉRIENNES SÛRES ?

Chaque vol commercial exige le dépôt préalable d'un plan de vol dans lequel la compagnie aérienne expose l'itinéraire qu'elle souhaite suivre. En Europe de l'Ouest, ces plans de vol

sont coordonnés et acceptés (et au besoin modifiés ou rejetés) par un organisme centralisé, basé à Bruxelles: le CFMU (Central Flow Management Unit). Des combats de faible intensité dans un territoire donné peuvent se traduire par une altitude plancher imposée aux avions.

Dans le cas du vol MH17, le plan de vol qui prévoyait un survol de l'est de l'Ukraine avait été accepté, l'espace aérien au-dessus de cette partie de l'Ukraine étant ouvert. Avec une restriction toutefois: des combats ayant lieu au sol, les avions ne devaient pas descendre sous le niveau de vol 320 (soit 32 000 pieds ou 9 753 m) pour se mettre à l'abri des missiles portables, tirs de mitrailleuses lourdes, etc.

À plus haute altitude, la menace potentielle des missiles à moyenne portée – dont la présence était connue dans le pays – n'a

pas donné lieu à une interdiction de survol par les autorités internationales... ou nationales. Si la thèse du tir sol-air est confirmée, l'Ukraine gardera donc une responsabilité en n'ayant pas su garder la maîtrise de son espace aérien ou bien en n'ayant pas correctement anticipé les risques.

Car il est de la responsabilité des Etats souverains d'émettre des restrictions d'usage de leur espace aérien, si les circonstances l'imposent. Bien entendu, un espace aérien fermé se traduit par une baisse des redevances perçues et une perte financière...

Quand un Etat est délinquant ou qu'il n'a pas de relations diplomatiques avec les pays d'appartenance des compagnies aériennes, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) peut émettre des recommandations, suivies ou non par les autorités nationales.



Ces autorités ont également la possibilité d'imposer des restrictions aux transporteurs: dès le mois d'avril dernier, la FAA (Federal Aviation Administration) américaine avait interdit aux avions immatriculés aux Etats-Unis le survol de la Crimée, de la mer d'Azov et de la mer Noire. Et des restrictions totales ou partielles

Le 17 juillet 2014, le Boeing 777-200ER de la Malaysia Airlines, qui assurait le vol MH17 entre Amsterdam et Kuala Lumpur, s'écrase dans l'est de l'Ukraine, une zone contrôlée par les séparatistes pro-russes. Les 298 occupants périssent dans la catastrophe. La piste largement privilégiée est celle d'un tir de missile sol-air.

IDENTIFIER LES DÉBRIS...

Les débris de l'avion sont éparpillés sur des kilomètres à la ronde, dans la zone tenue par les rebelles pro-russes, soupçonnés d'avoir abattu l'avion via un missile sol-air de fabrication russe. Le défi est de trouver des traces...



... POUR TROUVER DES TRACES D'IMPACTS

Ce reste de carlingue témoigne d'une attaque par missile. On voit sur ce gros plan que le métal a été criblé d'impacts : vraisemblablement les fragments du missile ayant explosé près de l'avion.

ou même des "avertissements" portant sur l'espace aérien d'une quinzaine de pays sont toujours d'actualité : de A comme Afghanistan à Y comme Yémen.

Et parce qu'il serait illusoire de vouloir protéger de manière active les vols commerciaux contre une menace sol-air, le déplacement d'une route aérienne est l'unique option

systématiquement choisie quand une menace est pressentie.

► QUELS PRÉCÉDENTS ?

En un peu plus de trente-cinq ans, au moins huit avions de ligne ont été abattus par des missiles, causant environ 600 victimes. La plupart du temps, ces appareils ont été visés de façon délibérée, par des missiles à guidage infrarouge, tirés par des terro-

ristes ou des milices. En raison de la faible portée de ces missiles, les plus fortes menaces pèsent sur les phases de décollage ou d'atterrissage. La destruction d'avions en altitude, qui exige des missiles plus puissants et un guidage radar, est le fait de troupes régulières... incompetentes ou trop nerveuses. Citons deux exemples : en 1988, le croiseur américain *USS Vincennes* abat un Airbus A300 d'Iran Air, considéré comme hostile, au-dessus

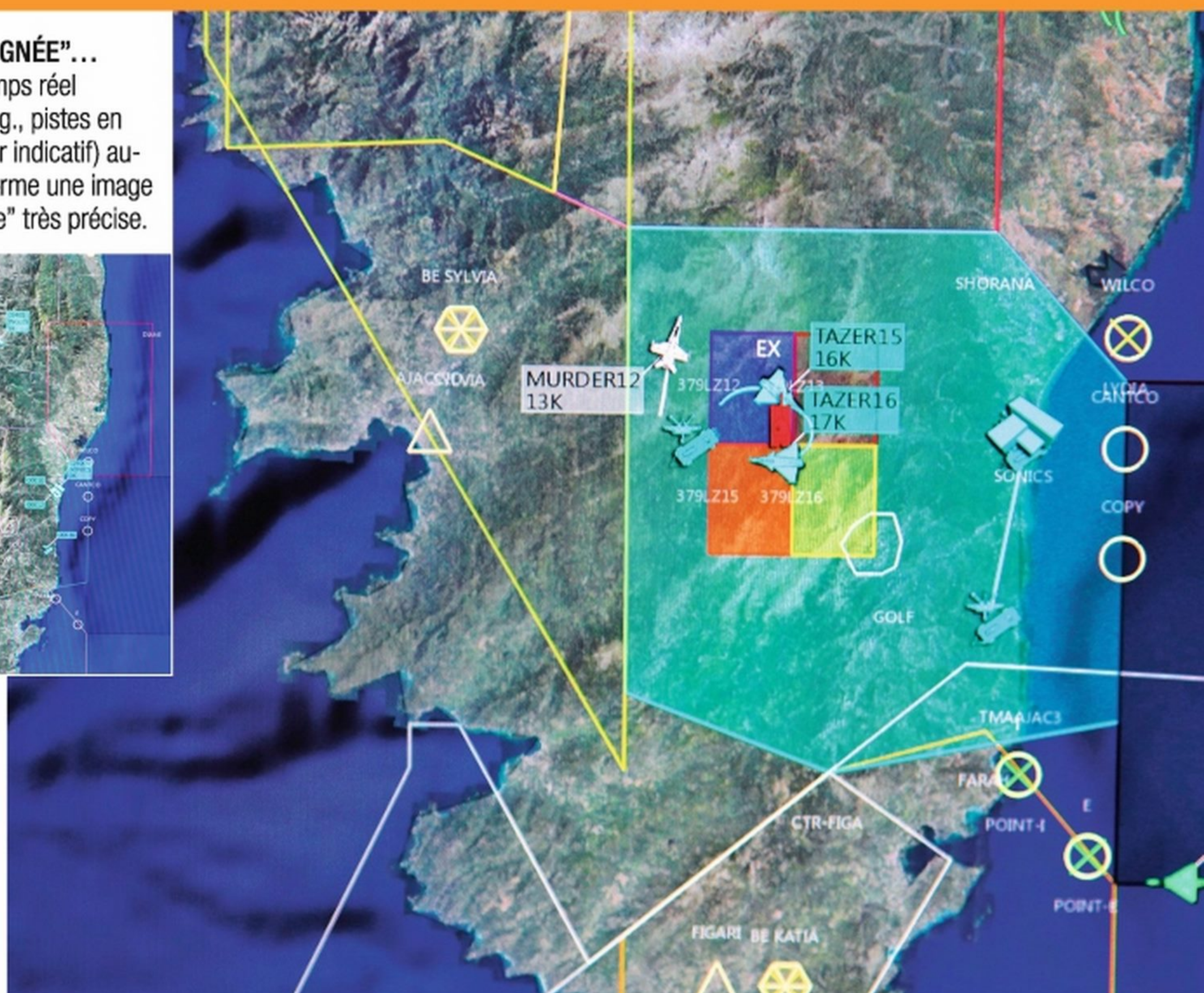
du golfe Persique ; en 2001, un missile S-200 d'une unité ukrainienne détruit un Tupolev 154 de Siberian Airlines reliant Tel Aviv à Novosibirsk.

► QUEL TYPE DE MISSILES PEUT ATTEINDRE UN AVION EN PLEIN VOL ?

Dans la grande famille des missiles, les missiles sol-air destinés à abattre des cibles aériennes forment une espèce à part entière.

DE LA SITUATION TRÈS "RENSEIGNÉE"...

Aujourd'hui, on peut afficher en temps réel les pistes radar des avions civils (à g., pistes en jaune) et militaires (signalés par leur indicatif) au-dessus d'une région. L'ensemble forme une image de la "situation aérienne renseignée" très précise.



Les plus légers, pesant une quinzaine de kilogrammes, sont à guidage infrarouge: la visée se fait à l'œil nu et le missile, totalement autonome, rejoint la source de chaleur (le réacteur en général) pour exploser. Leur domaine d'action se limite à 5 ou 6 kilomètres, ce qui place très largement les avions de ligne hors de leur portée quand ils sont en vol de croisière.

Dans le cas du vol MH17, tous les soupçons se portent sur le système SA-11 Gadfly (alias "Buk M1" dans la nomenclature

russe) ou son dérivé SA-17 Grizzly, l'un et l'autre de fabrication russe.

A l'instar des autres missiles à moyenne portée, il s'agit d'engins beaucoup plus lourds. Leur système de propulsion (propergols) leur permet de viser des cibles plus lointaines, au-

delà de 100 km pour les plus puissants. Cette portée accrue exige par ailleurs un guidage plus fin à grande distance et donc l'emploi du radar. En règle générale, un centre de commandement dispose d'un radar de surveillance qui détecte les cibles et les identifie

avant de passer l'ordre de tir aux unités de tir. Sur les missiles les plus anciens, le guidage est dit semi-actif: un radar de "poursuite" illumine en permanence la cible, le missile se guidant sur l'énergie reflétée. Les missiles plus récents ont la capacité de se guider seuls sur leurs cibles, ce qui permet à une même batterie de tir d'engager simultanément plusieurs cibles.

La particularité des unités de tir Buk M1 est de disposer d'un radar leur permettant, en mode secours (par exemple si le radar de surveillance principal venait à être détruit), de surveiller le ciel et de suivre une cible en totale autonomie, mais au prix de capacités d'identification très réduites. Une mauvaise analyse a peut-être coûté la vie

Comment identifier l'agresseur

Un tir de missile à guidage radar laisse de nombreuses traces: visuelles tout d'abord, avec le panache de fumée engendré par l'accélérateur à poudre. Electromagnétiques ensuite: la détection de la cible et le guidage du missile font appel à des radars connus, avec des formes d'onde bien référencées. Les autres indices d'un départ de coup sont à trouver dans l'infrarouge et l'ultraviolet. Depuis les années 1970, les Américains ont déployé dans l'espace un réseau de satellites permettant de repérer le départ de missiles. Depuis 2008, une nouvelle constellation de satellites aux performances encore supérieures est en train de prendre le relais. Les capteurs placés en orbite balaient très rapidement de vastes zones géographiques à la recherche d'un flash particulier qui traduirait un départ de coup. Nul doute que les bases de missiles stratégiques russes, l'Iran ou encore la Corée du Nord sont l'objet d'une surveillance étroite. Il est également possible que l'Ukraine ait fait l'objet d'une attention particulière ces dernières semaines.



... AU SYSTÈME ISOLÉ

Le lanceur de missiles, probablement un SA-11 de fabrication russe, renferme un radar dans sa tourelle. Non connecté à un réseau, ce système ne permet pas une identification précise des cibles.

ou proches des conflits. Dans la partie du Mali où le vol Ouagadougou-Alger s'est écrasé avec à son bord 54 Français, la présence des troupes françaises sur place a permis d'exclure l'hypothèse du tir de missiles parmi les causes possibles du crash : aucune batterie capable d'atteindre un avion en altitude n'est présente dans la région. Dans le monde, de nombreux pays (France, Etats-Unis, Chine, Inde, Afrique du Sud, Suède, etc.) sont capables de produire et vendre des missiles anti-aériens. Le système Buk M1 mis en cause en Ukraine aurait été livré par les Russes à une quinzaine de pays. **Frédéric Lert**

aux 298 occupants du vol MH17. *A priori*, l'hypothèse d'un départ de coup involontaire est en revanche peu probable, car plusieurs systèmes de sécurité (clés et boutons) existent.

► QUEL EST LE MODE D'ACTION DE CES MISSILES ?

Les missiles sol-air sont conçus pour frapper des cibles rapides et très mobiles. Un impact direct étant difficile à obtenir, les missiles vont avant tout chercher à exploser au plus près de leur cible en projetant de nombreux fragments. Un peu à la manière d'un fusil de chasse tirant des plombs. La cible est prise dans un cône de fragments lancés à très grande vitesse auxquels il est difficile d'échapper. La déflagration de plusieurs dizaines de kilogrammes d'explosifs crée une onde de choc suffisamment puissante pour déséquilibrer un avion ou le disloquer en vol.

► UN AVION CIVIL PEUT-IL ÉVITER UN TIR DE MISSILES ?

Un missile de moyenne portée ne laisse aucune chance à un avion civil incapable de le voir venir et dans l'impossibilité de manœuvrer pour l'éviter. Reste la menace posée par les missiles à guidage infrarouge, tirés à l'épaule, et pour laquelle deux solutions sont possibles. La première est l'utilisation de leurres thermiques : après la détection de la menace (par exemple, en repérant la "plume" du propulseur), des cartouches reproduisant la signature thermique de l'avion sont éjectées pour entraîner le missile loin de sa cible. La seconde solution fait appel à des systèmes à énergie dirigée (DIRCM). Après avoir été repéré, le missile est visé par un laser venant aveugler son système de guidage.

Cet équipement de pointe, aujourd'hui parfaitement opérationnel, équipe les

plus gros appareils militaires. Il ne tente guère les compagnies civiles, rebutées par le coût, mais aussi par l'encombrement et la masse qui augmentent la consommation de l'avion. Le tout pour une utilité réelle qui reste à démontrer, hormis quelques cas particuliers. *A priori*, seules les compagnies israéliennes auraient à ce jour équipé leurs avions.

► TOUTES LES BATTERIES DE MISSILES EXISTANTES SONT-ELLES RÉPERTORIÉES ?

Tous les pays équipés sont connus ou peuvent l'être si des moyens de renseignements (radar, écoute, enquête de terrain...) sont mis en place. Mais il n'existe pas de recensement exhaustif du positionnement en temps réel de ce type de batteries sur la planète. Ces armes, très mobiles, sont suivies avec grande attention dans certaines zones de conflits

Aller plus loin

- Le site (en anglais) de la Federation of american scientists. De très bonnes informations techniques sur les missiles et sur la prolifération des armes. <http://fas.org/>
- Le site du Bureau d'enquêtes et d'analyses (BEA) pour la sécurité de l'Aviation civile. Les rapports d'enquête sont consultables. <http://www.bea.aero/index.php>
- Un livre : *La Guerre vue du ciel*, éd. Nimrod, par Marc Scheffler, un pilote de Mirage 2000D.



Conférence sur l'évaluation à l'école Faut-il continuer à noter les élèves ?

Le rappel des faits

En décembre 2014, les propositions de modification du système de notation français seront en préparation.

Le 24 juin 2014, la conférence nationale sur l'évaluation des élèves est lancée. Le ministre de l'Éducation nationale, Benoît Hamon, déclare que les élèves français souffrent des "effets négatifs d'une évaluation qui ne prend en compte que leurs lacunes".

En juin dernier, le ministre de l'Éducation nationale, Benoît Hamon, ouvrait la conférence nationale sur l'évaluation des élèves. Pour ou contre les notes à l'école ? La question paraît insoluble. Les "contre" invoquent les effets pervers d'une notation qui sanctionne plutôt qu'elle n'encourage. Les "pour" y voient un objectif de progression pour l'élève. Depuis plusieurs années, les neurosciences et la psychologie cognitive tentent d'éclairer le débat.

Ainsi, en 2012, un collège de Bretagne a tenté de supprimer totalement la notation dans deux classes de 6^e. Le chercheur Alain Lieury, professeur émérite en psychologie expérimentale à l'université de Rennes-II, a comparé la motivation des écoliers non notés à celle d'élèves d'une classe traditionnelle. Les résultats furent nets : *"Les élèves qui n'étaient pas notés affichaient une plus forte démotivation et avaient davantage tendance à exprimer un désir de fuite de l'école"*, rapporte Alain Lieury.

Fin du débat ? Pas tout à fait. Car dans ce collège, le scientifique a pu constater que le climat était globalement positif. Les élèves ne ressentaient pas les notes comme une contrainte, mais plutôt comme un élément d'information pour progresser. *"Il est possible que dans des établissements comptant de nombreux élèves en difficulté ou avec une ambiance de compétition, les résultats soient différents"*, observe-t-il dans *Les Cahiers pédagogiques*.

L'ERREUR EST FERTILE

C'est d'ailleurs ce qu'a montré Sung-il Kim, à l'Institut de recherche sur le cerveau et la motivation en Corée du Sud. Le neuroscientifique a suivi des étudiants âgés d'une vingtaine d'années. Installés dans un scanner d'imagerie cérébrale, ils devaient effectuer une recherche visuelle puis recevoir une appréciation de leur performance. Elle pouvait être de deux types : soit une évaluation objective – par exemple, 85 points –, soit une évaluation relative,

fondée sur la comparaison avec les résultats des autres participants – 15^e rang.

Résultat : lorsqu'ils sont classés par rapport aux autres, le cerveau des jeunes ayant un faible niveau scolaire révèle une activation des régions classiquement impliquées dans l'anxiété, la peur et la frustration (le cortex cingulaire postérieur...). Ce n'est pas le cas pour les meilleurs élèves.

Or, les émotions négatives perturbent l'attention et la mémoire de travail, toutes deux indispensables à l'apprentissage. *"L'évaluation relative devrait être utilisée avec prudence, en particu-*





L'enseignant peut signaler à l'élève le nombre et la nature de ses fautes, mais sans le sanctionner.

C'est en faisant des erreurs et en comprenant comment les rectifier que le cerveau intègre de nouveaux apprentissages.

En stigmatisant l'erreur, l'évaluation du travail avec des notes peut freiner les apprentissages chez les enfants.

lier avec les élèves qui se sentent en difficulté", souligne Sung-il Kim. Alain Lieury propose même de mettre en place "un système de score individuel que les autres ne connaîtraient pas. Pour un élève faible, on revaloriserait la note; pour les plus forts, on éviterait en revanche de la surestimer".

En plus d'affecter le désir d'apprendre, les notes utilisées dans une logique de contrôle freinent les apprentissages en stigmatisant l'erreur. "Or, l'apprentissage est une déstabilisation cognitive et affective, pendant laquelle on ne peut pas ne pas faire d'erreurs", explique

Daniel Favre, docteur en neurosciences et professeur en sciences de l'éducation à l'université Montpellier-II.

Par exemple, l'acquisition de l'écriture, entre 5 et 7 ans, s'accompagne d'erreurs typiques. L'une d'elles consiste à écrire les lettres à l'envers, comme un reflet dans le miroir. Les neuroscientifiques expliquent parfaitement cette étape: l'apprentissage de l'écriture et de la lecture recycle une zone cérébrale, la région occipito-temporale, initialement dévolue à la reconnaissance des objets et des visages, quelle

que soit leur orientation. Cette région située à l'arrière du cerveau présente donc naturellement une grande capacité de généralisation en miroir des informations perçues.

Le développement cognitif de l'enfant est ainsi jalonné d'erreurs et de biais perceptifs dans les domaines de l'écriture, de l'orthographe, de la logique et de l'arithmétique. C'est seulement en faisant des erreurs et en les identifiant que le jeune cerveau intègre de nouveaux apprentissages. Autrement dit, l'erreur est fertile. Même après la phase intense de maturation du

cerveau, à l'adolescence puis à l'âge adulte, "durant la phase de déstabilisation [qui correspond au début de l'apprentissage quel que soit l'âge], l'apprenant étant vulnérable, les contrôles sont à éviter, car l'erreur, comptabilisée dans la note, peut décourager l'élève", explique ainsi Daniel Favre.

Une fois l'apprentissage terminé, les contrôles sont à nouveau possibles. Respecter l'erreur tout en notant les élèves... les deux impératifs sont donc compatibles si la dynamique d'apprentissage est prise en compte. Les sciences ne montrent pas autre chose. **M-C.M.**

D'ici à... doivent aller... rainé la mis... e formation... nels, préci... cherche... vens

L'entre... de nouveaux... de détection... les problèmes

LE CONTEXTE
Le très sévère rapport d'expertise sur la catastrophe de Brétigny-sur-Orge met en cause «un déficit dans la maintenance»

ance... En cours... déploie... attendu... entra... de RFF, propriétaire de... ne fait plus guère de doute. Alors qu'une cérémonie commémorative aura lieu samedi à Brétigny, la SNCF...

Après les derniers accidents sur notre réseau ferré

La résistance des rails reste un défi scientifique

Les rapports accablants se multiplient pour la SNCF. Et tous mettent en cause sa politique de maintenance, à l'origine d'une série d'incidents, voire d'accidents ces dernières années. Dès 2005, un audit mené par des experts de l'Ecole polytech-

nique de Lausanne avait tiré la sonnette d'alarme sur l'état du réseau ferré français; la durée de vie moyenne des lignes principales étant prolongée jusqu'à 70 ans, au lieu des 20 à 50 ans préconisés. Or, cette prolongation requiert une maintenance sans faille. Et l'évolution des voies de chemin de fer soulève encore des questions scientifiques.

70 000 À 80 000 FISSURES

“Le contact entre la roue d'un train et le rail est l'un des problèmes de mécanique les plus ardues, lance Ky Dang Van, chercheur à l'Ecole polytechnique (Palaiseau). A la différence d'une aile d'avion qui ne subit qu'une sollicitation simple (en flexion), le système roue-rail est décrit par une matrice de six paramètres qui varient simultanément. D'où des phénomènes de 'fatigue multi-axiale' très difficiles à anticiper.”



A Brétigny, une pièce métallique (une éclisse) est venue obstruer l'aiguillage. Trois des quatre boulons qui la fixaient se sont dévissés ou rompus. Le quatrième — lui aussi endommagé — a servi de bascule.

Le rappel des faits

Le 12 juillet 2013, un train Intercités Paris-Limoges déraile à la gare de Brétigny-sur-Orge. Bilan: 7 morts et 11 blessés graves. Le 6 juillet 2014, l'expertise judiciaire révèle que “le train a péri par fatigue, vibrations, battements, défauts de serrage, usure, etc., tous dommages relevant de la qualité de la maintenance”. Fin 2014, la direction de la SNCF prévoit le renouvellement de 365 aiguillages.

Les recherches ont beau avoir commencé il y a deux siècles, frottements et contraintes mécaniques continuent de défier les métallurgistes. C'est que, sous chaque roue de chaque train, 8 à 10 tonnes de pression s'exercent sur l'équivalent de la surface d'une pièce de monnaie, dans un mélange de compression et de traction, d'adhérence et de glissement. Ajoutez la corrosion et les points faibles que constituent les soudures...

Une catégorie de fissures, appelées “squats”, justifie aujourd'hui de nombreux programmes de recherche. De fait, “la phase d'initiation de ces défauts liés à la fatigue est assez floue, souligne Hugues Chollet, chercheur à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aména-

gement et des réseaux. Ces squats se propagent lentement et horizontalement sous la surface du rail puis, arrivés à un certain stade, plongent rapidement dans l'épaisseur du rail.” Les 70 000 à 80 000 “squats” répertoriés actuellement sur le réseau français font donc peser la menace de ruptures brutales et inattendues.

Des trains équipés d'appareils à ultrasons circulent depuis quelques années pour détecter squats et autres anomalies. Seulement, “certaines fissures sont difficilement décelables par ces moyens”, reconnaît Hubert Blanc, de l'Etablissement public de la sécurité ferroviaire.

En 2013, la SNCF a comptabilisé 301 ruptures de rail, toutes causes confondues. Ruptures parfois spectaculaires: le 26 novembre 2013,



sur la ligne Toulouse-Tarbes, 1,30 m d'un rail éclatait au passage d'un train... sans provoquer d'accident.

Les chercheurs rencontrent désormais une difficulté supplémentaire: les nouvelles rames de trains en circulation se montrent plus agressives pour les rails. "Leurs accélérations et freinages plus dynamiques accélèrent l'usure, voire créent de nouvelles formes de défauts", accuse un expert. "Plus lourd, le matériel roulant récent accroît les efforts en courbe", complète David Fletcher, de l'université de Sheffield (Angleterre).

La SNCF semble, enfin, avoir pris la mesure du problème: un programme de rénovation du réseau a été lancé jusqu'en 2020. De nouvelles nuances d'acier, plus résistantes, promettent de limiter les dégâts. **V.N.**

AFP - NATACHA PISARENKO/AP/SIPA

KRAMER: UNE FINALE DANS LE BROUILLARD

Le match, dans ma tête, a commencé en... Complettement groggy, le minot du football allemand (23 ans) se rappelait carrément plus de se qu'il s'était passé après s'être l'épaule du joueur de Benfica: "Je ne me rappelle pas de ce match, rien en ce qui concerne la première mi-temps. Je suis allé aux vestiaires. Le match, dans ma tête, a continué... nouvelle donc, puisqu'il se sera... la Mannschaft.

Kramer, défenseur de la Mannschaft, ne se souvient de sa finale contre l'Argentine. «J'ai revu le match bizarre de se regarder jouer sans se souvenir d'origine. Asses...»

Le footballeur a oublié sa finale de Coupe du monde

Un choc à la tête peut effacer les souvenirs

Pas besoin d'être mis K.-O. pour perdre la mémoire. Une légère commotion cérébrale sans perte de connaissance peut suffire. Que ce soit à l'occasion de la pratique d'un sport ou lors d'un accident de la circulation.

Lorsque le cerveau est projeté en avant, il heurte les parois rigides de la boîte crânienne. Ce choc peut provoquer la destruction d'axones – sorte de câbles qui relient les cellules nerveuses entre elles. Très diffuses, ces lésions sont la plupart du temps indétectables par une IRM classique. Néanmoins, la victime peut ressentir des troubles bien réels: maux de tête, fatigue et... amnésie à la fois rétrograde et

antérograde (avant et après le choc). De quelques minutes à plusieurs jours peuvent ainsi totalement s'effacer de la mémoire.

UNE AMNÉSIE PERSISTANTE DANS 5 % DES CAS

"C'est ce que j'appelle le syndrome de l'automate, explique Jean-François Chermann, neurologue à l'hôpital Léopold-Bellan (Paris). La mémoire immédiate et autobiographique est affectée, mais pas celle des gestes. C'est pour cela que les sportifs se relèvent et repartent jouer." Ainsi, le footballeur allemand Christoph Kramer a poursuivi le match pendant près d'un quart d'heure avant d'inter-

roger l'arbitre sur l'enjeu de la rencontre et les raisons de sa présence sur le terrain.

Généralement, le cerveau parvient à se réparer seul et ces troubles disparaissent dans les heures ou les jours qui suivent le choc. Ce n'est que dans 5 % des cas que l'amnésie persiste plusieurs mois, voire toute la vie. La durée et l'intensité de ces signes post-commotionnels ne sont pas liées à la violence du choc. "Un simple ballon mal réceptionné sur la tête peut provoquer une commotion. C'est le délai entre deux chocs qui est le facteur déterminant: plus il est court, plus la récupération sera longue", précise le spécialiste. **L.G.**

Le rappel des faits

13 juillet, à Rio: après un choc violent à la tête, le joueur de football allemand Christoph Kramer ne se rappelle même plus avoir participé à la finale de la Coupe du monde.



△ Assommé par un coup d'épaule, le joueur a continué de jouer pendant quinze minutes, avant de sortir du terrain, hagard et les jambes molles.



Dès 2016

Le sac plastique va-t-il vraiment disparaître ?

Un amendement au projet de loi sur la biodiversité introduit par la ministre de l'Environnement, Ségolène Royal, prévoit d'interdire les sacs plastique à usage unique dès le 1^{er} janvier 2016. Fabriqués en une seconde, utilisés vingt minutes... 17 milliards de ces emballages sont distribués chaque année en France. Environ un sur trois termine dans une décharge et

un sur cent dans la nature. Par quoi les remplacer, sachant qu'un Français en utilise 80 par an environ ? Le projet de loi prévoit d'autoriser, en caisse, des sacs réutilisables (cabas en plastique épais ou tressé) et, pour les aliments vendus à la pesée, des sacs non réutilisables mais compostables. Tour d'horizon des alternatives et des effets de chaque type de sac sur l'environnement.

La vente en vrac ou à la découpe est en tête des usages

La grande distribution utilise 14 fois moins de sacs de caisse qu'en 2002. Mais la vente en vrac et les commerces de bouche y recourent encore massivement.

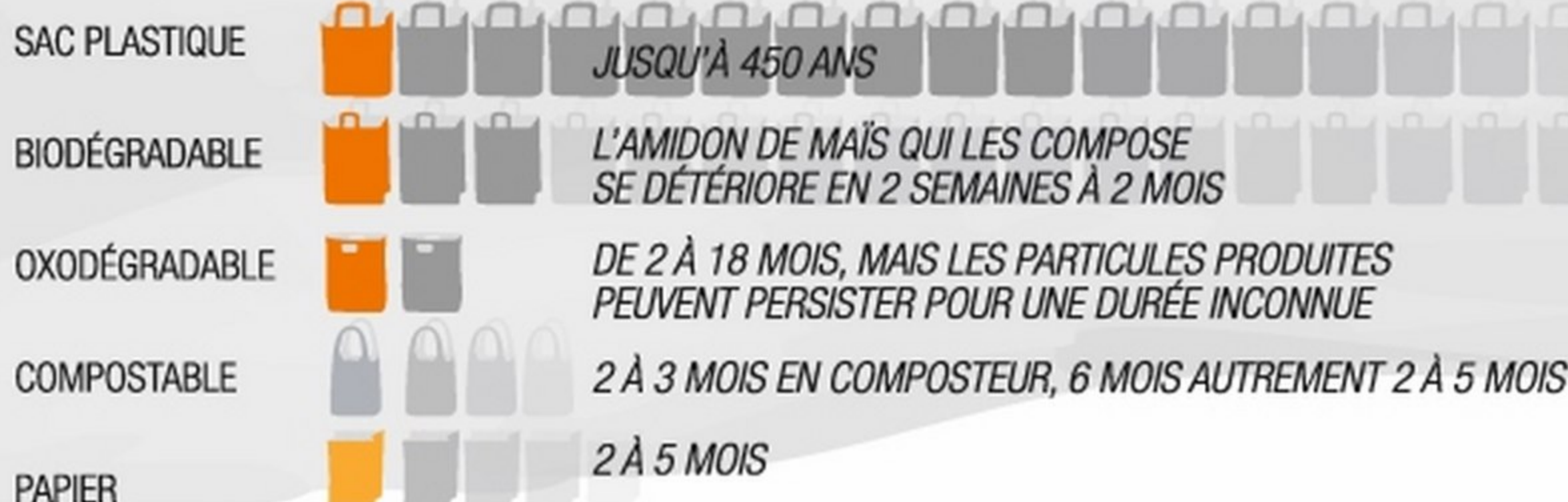


Parmi les 5 alternatives au sac plastique, une seule est recyclable : le papier



Dégradation : de deux semaines à 450 ans

Stockés en décharge ou abandonnés dans la nature, les différents types de sacs mettent entre deux semaines et plusieurs siècles pour disparaître.



Les cabas préservent mieux l'environnement

A condition d'être utilisés au moins 5 fois, les cabas réutilisables sont les moins nocifs pour l'environnement. La fabrication d'un sac papier nécessite, elle, 3,3 fois plus d'eau qu'un sac plastique.

	Ce qu'il faut pour les fabriquer		Ce que cela produit	
	Eau (litres)	Energie (mégajoules)	CO ₂ (kg)	Déchets solides (kg)
PAPIER (5 SACS À USAGE UNIQUE)	875	1500	105	25
PLASTIQUE (5 SACS À USAGE UNIQUE)	265	1500	55	14
BIODÉGRADABLE (5 SACS À USAGE UNIQUE)	235	925	45	11
CABAS (5 UTILISATIONS)	170	1000	36	8,5

SOURCES: AOV SAC CARREFOUR PAR ÉCOBILAN, 2004; ADEME, 2005

Compostage : une filière à créer

Il n'existe pas de filière industrielle pour les sacs compostables. Ils se décomposent dans la nature en deux à trois fois plus de temps, et sont ingérés par les animaux.



Avec un
composteur
(40-50 °C):
dégradé en
2 à 3 mois

Dans la nature:
dégradé en
6 mois

L'incinération plutôt que le recyclage

Théoriquement recyclables, les sacs plastique sont incinérés, produisant presque autant d'énergie que le charbon, et environ 3 fois plus que les ordures ménagères.

SACS PLASTIQUE



22 MJ/kg

CHARBON



29 MJ/kg

ORDURES
MÉNAGÈRES



8 MJ/kg

SOURCES: UE

SOURCES: ADEME, PAPREC, CENTRE NATIONAL DU RECYCLAGE

Des tentatives d'interdiction répétées

La loi d'orientation agricole de 2006 interdit les sacs non biodégradables dès janvier 2010. Mais l'article ne sera finalement pas appliqué.

La loi de finances pour 2010 prévoyait une taxe de 10 centimes pour les sacs de caisse en plastique à usage unique. Le décret n'est jamais sorti.

La loi sur la biodiversité devrait interdire dès 2016 les sacs plastique à usage unique; les sacs compostables à la maison seront autorisés pour les

légumes et aliments vendus à la découpe. **Une directive européenne** imposera une réduction de 50 % des sacs plastique en 2017 et de 80 % en 2019.



**OFFRE SPÉCIALE
« QUIZ DÉTENTE »**

LES 2 BOÎTES
19,95 €
au lieu de 24 €
seulement!

Le connaissez-vous?

Comment s'appelle le plus célèbre des candidats du Schmilblick? Quel est le titre de l'unique film réalisé par Coluche? Quel record sportif établit-il le 29 septembre 1985?... Testez-vous en vous amusant!

La boîte Coluche - 10,50 €

Dim. 14 x 8,8 x 7,8 cm. MARABOUT.



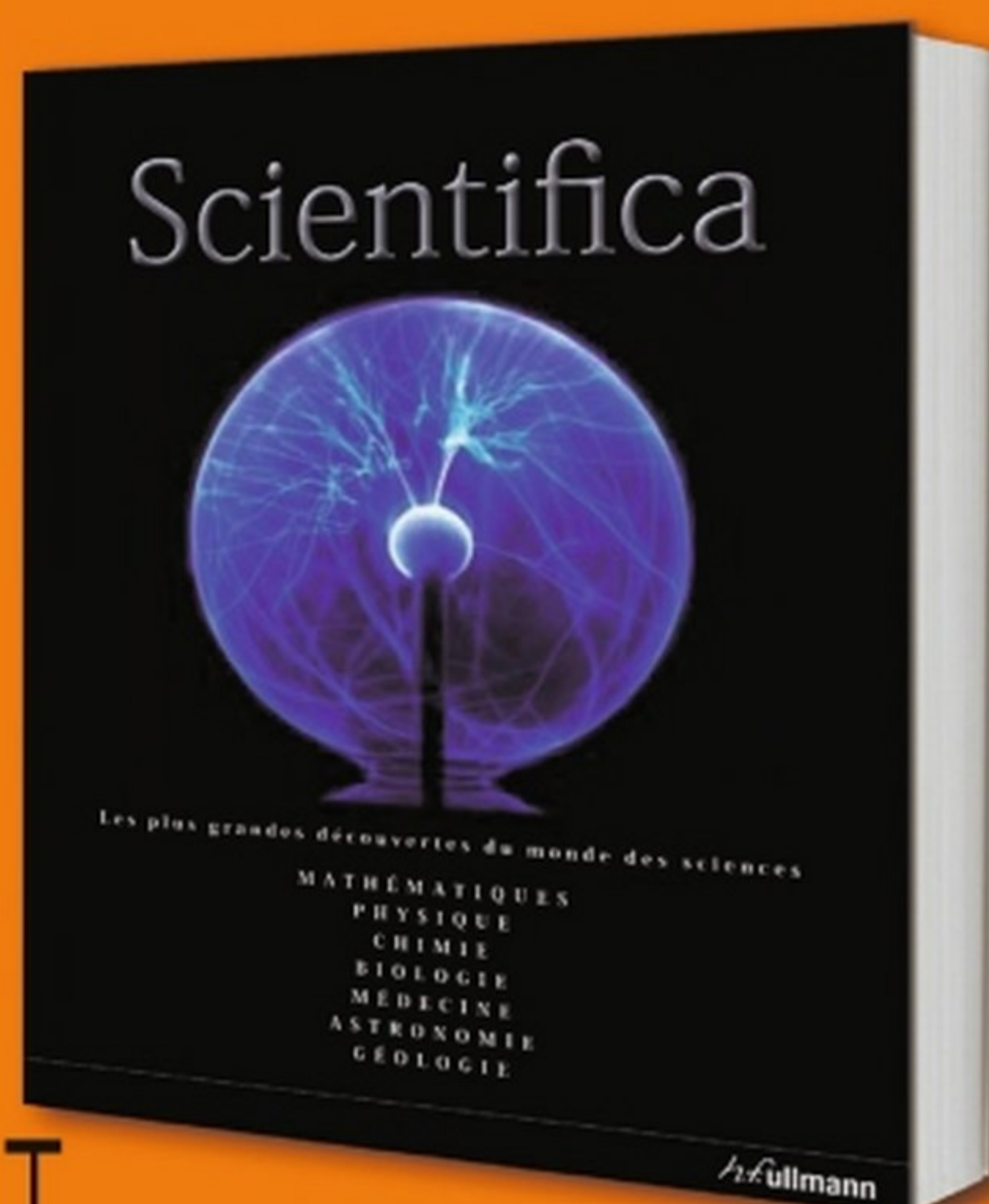
Confrontez-vous au Super Banco!

Toutes les questions sont reprises des émissions de France Inter à partir de mai 2012. Les règles sont identiques. 4 rubriques avec 4 niveaux de difficultés différents, 270 questions pour vivre le jeu le plus ancien du paysage!

La boîte du Jeu des 1 000 euros - 10,50 €

Dim. 14 x 9 x 7,6 cm. MARABOUT

LES RÉFÉRENCES SCIENTIFIQUES DE LA RENTRÉE



**OFFRE SPÉCIALE
« DÉCOUVERTES »**

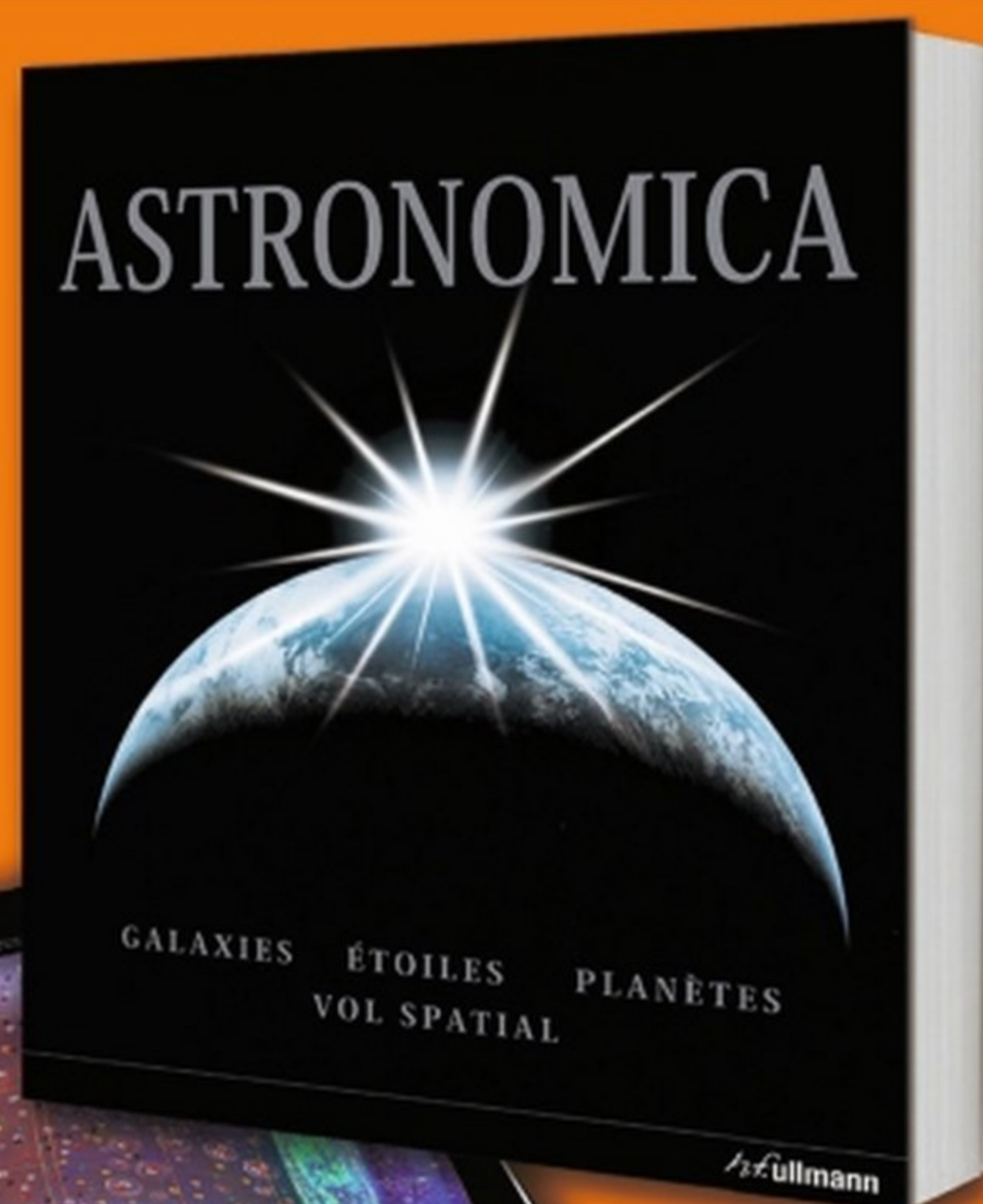
LES 2 LIVRES
37,91 €
au lieu de 39,80 €
seulement!

Le recueil des merveilles scientifiques

Ambitieux, cet ouvrage recense l'état actuel des connaissances scientifiques dans sept disciplines majeures : physique, chimie, médecine, biologie, géologie, astronomie et mathématiques. Avec des photographies, graphiques ou encadrés, et les propos de grands spécialistes, il se dévore!

Scientifica - 19,95 €

Dim. : 23 x 30 cm. 512 pages. Éd. ULLMANN. OUVRAGE RELIÉ SOUS JAQUETTE.



Les secrets du cosmos dévoilés

Ce très beau livre associe le savoir d'astronomes de renom au matériel photographique le plus récent pour nous raconter avec passion le monde fascinant des étoiles et des planètes, jusqu'aux plus lointaines galaxies ; les lois et les énigmes qui régissent l'univers.

Astronomica - 19,95 €

Dim. : 23 x 30 cm. 576 pages. Éd. ULLMANN. OUVRAGE RELIÉ SOUS JAQUETTE.

ACCIDENT

Et si...

Et si la France était victime d'un accident nucléaire majeur ? L'hypothèse est effrayante. Mais elle est plausible. Elle est même désormais envisagée. Des scénarios d'experts la décrivent de plus en plus précisément, de la perte de contrôle d'un réacteur à la gestion, des années durant, des retombées radioactives. Ces rapports ont été commandés par les autorités nationales. Ils dessinent à grands traits ce que serait la vie en France après la catastrophe. Pour affiner, apprécier et compléter cette esquisse officielle, nous avons interrogé des hauts responsables de l'Administration, des techniciens des autorités nucléaires et des experts qui sont intervenus à Tchernobyl ou Fukushima. Nous avons aussi parcouru les territoires contaminés japonais trois ans après la catastrophe. Les pages qui suivent montrent les moments décisifs de ce qui n'est, pour l'heure, qu'une fiction. La plus réaliste possible.

NUCLÉAIRE

COMMENT LA FRANCE S'Y PRÉPARE

Le risque nucléaire existe : oui, il est possible de perdre le contrôle d'une centrale, et qu'un nuage radioactif contamine les villes, les terres, les habitants. Depuis Fukushima, les autorités françaises ne peuvent décidément plus ignorer cette hypothèse longtemps taboue. Et doivent composer avec l'infinie complexité d'un tel scénario. Comment alerter, protéger, évacuer la population ? Qui viendra stabiliser la centrale ? Pourra-t-on un jour revenir en zone irradiée ? Voici les premières réponses aux questions que personne, jusqu'ici, n'avait osé se poser.

PAR VINCENT NOUYRIGAT
ILLUSTRATIONS : FRÉDÉRIC PAJAK





Est-on sûr que l'alerte sera entendue par tous ?

En cas d'accident grave sur un réacteur français, les sirènes du site nucléaire en question sont déclenchées. Le voisinage proche connaît ces trois mugissements longs d'une minute et quarante et une secondes, entrecoupés de cinq secondes de silence. Mais tout le monde n'entend pas forcément ce signal ! Les logements modernes sont, en effet, bien insonorisés...

Depuis 2009, EDF a mis en place un système d'appels automatisé sur les téléphones fixes dans un rayon de 2 km autour de chaque centrale. Seulement 2 km ? "Ces procédures

sont appliquées dans le petit périmètre de danger immédiat, justifie Catherine Guénon, de la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises, au ministère de l'Intérieur. Des évolutions sont en cours pour relayer cette alerte dans tout le bassin de risque nucléaire, en utilisant les sirènes de l'Etat, des mairies et d'autres sites industriels, mais aussi grâce à l'envoi de SMS ou encore l'utilisation de panneaux autoroutiers à message variable." Cette nécessaire modernisation du système national d'alerte devrait se déployer vers 2019.



Les bons gestes en cas d'alerte

Les préfectures éditent des bro-

chures résumant les consignes à suivre au déclenchement de l'alerte. A savoir, principalement : se mettre à l'abri dans un lieu clos (sauf véhicule) et se tenir informé (France Bleu, France 3). A l'inverse, parmi les erreurs à ne pas commettre : aller chercher ses enfants à l'école, par exemple. Mais encore faut-il consulter ces documents assez peu diffusés...



Y aura-t-il suffisamment de comprimés d'iode ?

Question critique: les premiers rejets d'un réacteur accidenté regorgent d'iode 131, un gaz extrêmement radioactif à l'origine d'environ 7 000 cancers de la thyroïde chez les enfants de Tchernobyl. Une population très vulnérable qui n'avait pas eu droit aux comprimés d'iode stable, capables de protéger cet organe.

En France, la Pharmacie centrale des armées a constitué un stock confortable de plus de 110 millions de doses. Sauf que leur distribution pourrait poser problème. Certes, les personnes logeant à moins de 10 km d'une centrale

bénéficient, à domicile, d'une boîte de comprimés fournie par la préfecture. Mais il en va autrement au-delà de ce périmètre très administratif, regrette Jean-René Jourdain, adjoint à la Direction de la protection de l'homme à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN): "Dans chaque département, le lieu de stockage est décidé par le préfet, qui peut opter pour les pharmacies, les écoles ou les mairies... Cela conduit à de grandes disparités et des pertes de traçabilité qui pourraient, en situation d'urgence, être source de cafouillages."

Autre point à éclaircir: "La doctrine française ne prévoit qu'une seule prise d'iode, éventuellement renouvelable une fois si l'évacuation est impossible... Or, les rejets ont duré douze jours à Fukushima, remarque Jean-René Jourdain. Nous menons donc des études expérimentales pour déterminer les risques éventuels liés à une prise répétée de comprimés – leurs effets secondaires possibles étant un dérèglement de production des hormones thyroïdiennes ou des troubles cardio-vasculaires chez les plus de 45 ans." Des risques à ne pas négliger.

Comment la population sera-t-elle évacuée ?

Le défi est considérable. Même si EDF a pris soin, dans les années 1970, d'implanter ses centrales loin des grandes villes, l'urbanisation galopante a fait son œuvre depuis. Des exemples ? Pas moins de 70 000 personnes vivent aujourd'hui dans un rayon de 10 km autour du site de Gravelines (Nord), et sans doute plus de 800 000 personnes logent à moins de 30 km des deux réacteurs de Fessenheim (Haut-Rhin).

"Prendre la décision de déplacer de grandes masses de population est très difficile. Il faut savoir évaluer la balance bénéfice-risque d'une telle opération", soulève Catherine Guénon, responsable de la sécurité civile au ministère de l'Intérieur.

En France, l'évacuation se justifie lorsque la population risque de recevoir une dose de 50 millisieverts (mSv) – la dose d'un travailleur du nucléaire ne devant pas dépasser 20 mSv/an.

Sauf que, avertit Jean-René Jourdain, adjoint à la Direction de la protection de l'homme à l'IRSN, *"une évacuation mal organisée entraîne des décès, qu'il s'agisse des malades dans les hôpitaux ou des personnes âgées dans les maisons de retraite"*. L'interruption des soins, l'épuisement, le stress, l'inconfort des centres d'accueil, sans compter le fait de quitter sa maison... peut-être pour toujours. Une étude japonaise, qui reste à confirmer, estime le bilan de la turbulente évacuation de Fukushima à quelque 1 200 morts !

Et la France n'est pas prête. Ainsi, le périmètre de planification d'intervention a été pensé au départ pour des accidents modérés. Résultat : il ne dépasse pas 10 km. *"Au-delà, prévient Jean-Luc Godet, de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), la population n'a pas le même niveau de préparation."* Or, la catastrophe de Fukushima a nécessité l'évacuation de zones

situées à 50 km de la centrale. Ce qui signifie que des villes comme Lyon, Bordeaux, Orléans, Saint-Etienne, Mulhouse, Colmar, Cherbourg, Calais ou Dunkerque sont susceptibles d'être évacuées sur ordre du préfet.

Encore faut-il savoir où fuir...

"Le périmètre des 10 km est réinterrogé par Fukushima, et l'Etat est en train de préciser sa doctrine d'évacuation de masse", dévoile Catherine Guénon. Des experts de la sécurité civile planchent sur les détails pratiques, comme mettre certains axes routiers à sens unique, regrouper des familles dispersées, savoir quels objets emporter, relever la présence dans le secteur de prisons, de maisons de retraite, d'hôpitaux...

Très bien, sauf qu'un accident nucléaire n'est pas une crise comme les autres.

D'un côté, explique Catherine Guénon, *"on pourrait avoir du mal à convaincre certaines personnes de partir car le risque pour la santé n'est pas immédiat, à la différence de la rupture d'un barrage ou du déminage d'une mine de la Seconde Guerre mondiale : il y a un effort pédagogique*

à faire. Notre expérience montre qu'il est possible d'influencer les habitants en leur faisant signer une décharge, avant de recourir à la force – nos juristes ont étudié la question".

De l'autre, le risque radioactif invisible déclenche aussi les plus folles inquiétudes : sur les 160 000 évacués de Fukushima, 60 000 ont fui spontanément, sans aucun ordre d'évacuation. *"Beaucoup de personnes partiraient de leur propre initiative",* lance Jean-Luc Godet. Ce qui risque d'ajouter au chaos... *"Nous ne pourrions pas empêcher ce phénomène. Tout l'enjeu consiste à l'accompagner au mieux",* analyse Catherine Guénon. Avant de s'inquiéter : *"Le nucléaire fait si peur, et de façon parfois irrationnelle, qu'il faudra s'interroger sur notre capacité à mobiliser les conducteurs de bus indispensables au transport des évacués."*

Mais l'incroyable complexité d'une crise nucléaire tient aussi aux caprices de la météo, qui décident de la propagation du nuage radioactif. Les rejets de Fukushima s'étaient étalés sur douze jours, offrant de nombreux rebondissements. *"Les autorités japonaises ont été dépassées : elles ont émis huit ordres d'éloignement différents*

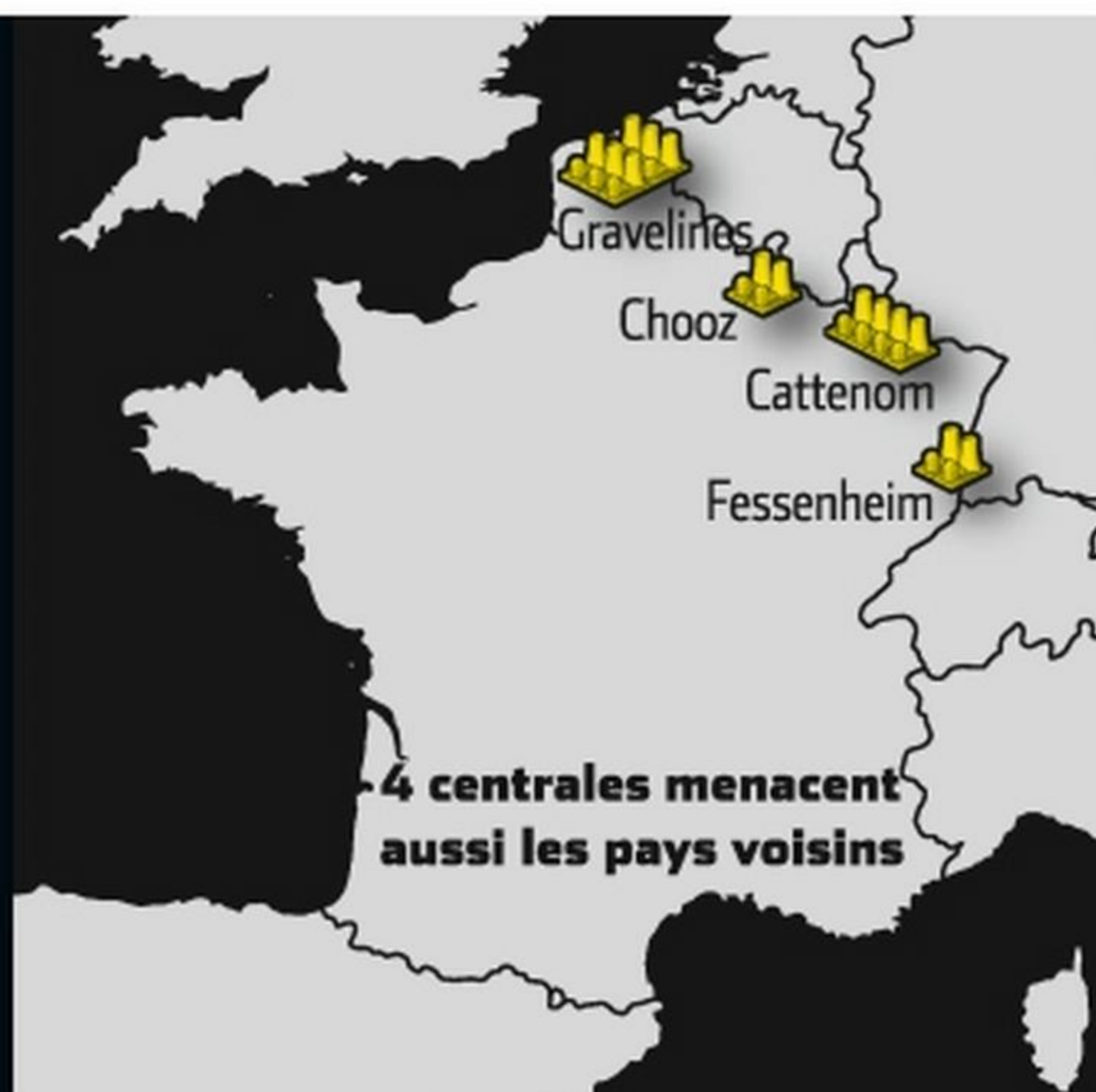
Une catastrophe qui dépasse les frontières

Le problème est méconnu. Et pourtant : les sites de Fessenheim, Cattenom, Chooz et Gravelines se trouvent près de nos frontières ; un accident grave pourrait donc menacer directement les populations belge, allemande, luxembourgeoise ou suisse. Des exercices de crise conjoints ont déjà eu lieu. L'ennui, c'est que chaque pays a sa doctrine : *"Les critères de déclenchement des actions de protection des populations, que ce soit pour le confinement, la distribution de pastilles d'iode ou l'évacuation, ne sont pas les mêmes partout",* lâchait récemment Pierre-Franck Chevet, président de l'Autorité de sûreté nucléaire. *"Au moment de Tchernobyl, la France et l'Allemagne ont eu des discours différents ; les ordres n'étaient pas cohérents. Et nous sommes encore largement dans cette situation."* Le "nuage de Fessenheim" n'en serait que plus redoutable.

pendant les trois premiers mois, dénonce Reiko Hasegawa, chercheuse à l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri). Incapables d'anticiper la trajectoire des rejets, les autorités locales recommandaient de se réfugier dans les villes voisines... qui ont ensuite été touchées par le nuage !

Un tel fiasco semble avoir été prévu. En effet, selon Jean-Christophe Gariel, responsable du pôle environnement à l'IRSN, "à la différence des Japonais, nous disposons d'un logiciel opérationnel capable de simuler la dispersion des rejets, en fonction de la météo et de la quantité de radioéléments, ce qui permet d'anticiper les mesures à prendre". Et, donc, de savoir où fuir !

En sachant que certaines personnes devront probablement rester sur place... En effet, toutes les activités industrielles ne peuvent être interrompues brutalement, au risque de provoquer d'autres accidents. Les usines chimiques, les barrages mais aussi les réacteurs tout proches de l'unité en fusion auront encore besoin de techniciens. La recherche de volontaires est déjà lancée.





Quels territoires seront condamnés ?

La décision sera attendue avec anxiété : quelles régions abandonner ? Les autorités soviétiques n'avaient pas fait dans la demi-mesure après Tchernobyl : 10 000 km² de territoire, émettant une dose annuelle de plus de 5 mSv, avaient été bannis.

La France s'est forgée, en 2012, une doctrine sur le sujet : une zone sera jugée inhabitable si l'ambiance radiologique dépasse 10 mSv durant le mois qui suit l'accident, puis encore 10 mSv répartis sur les douze mois suivants.

La décision devrait intervenir rapidement. *“Une fois les rejets terminés, un avion équipé de détecteurs gamma doit dresser une première carte de la contamination ; l'équivalent de la surface de la région de Fukushima peut être couvert en un jour et demi”*, décrit

Jean-Christophe Gariel, de l'IRSN. Au besoin, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) dispose d'un hélicoptère spécialisé. Tandis qu'au sol, des quads équipés de capteurs sillonnent le terrain. Pour être plus précis encore, l'IRSN débiterait une gigantesque collecte d'échantillons.

Plus facile à dire qu'à faire. Les plus fortes doses ne seraient pas forcément cantonnées au voisinage bien identifié de la centrale. La carte des dépôts devrait plutôt ressembler à une peau de léopard dont les taches correspondent à des épisodes de précipitations ; 5 mm de pluie suffisent à condamner une commune, même située à des dizaines, voire des centaines de kilomètres.

Le tracé de la zone interdite promet d'être d'autant plus délicat que le

niveau de radioactivité varie brutalement d'un pâté de maisons à l'autre. *“Cela conduit à diviser des villes en plusieurs zones qui correspondent à des niveaux d'indemnisation très différents, témoigne Norio Kanno, maire du village d'Iitate, dans la région de Fukushima. Depuis cette partition, mes administrés se jalourent, crient à l'injustice, se déchirent”* (voir aussi la question des indemnisations, p. 63).

Plus de 1 000 km² concernés

Soyons clairs : en cas d'accident majeur, la France pourrait perdre plus d'un millier de kilomètres carrés. Interdits, condamnés... Pour combien de temps ? Difficile à dire. A Fukushima, les autorités restent dans le flou, évoquant des zones où il y aura des “difficultés au



Comment saura-t-on si l'on a été contaminé ?



Dans les jours qui suivent l'accident, l'angoisse est à son comble. *"Il est important de pouvoir contrôler les personnes, en priorité les femmes enceintes et les enfants, ne serait-ce que pour les rassurer, estime Jean-René Jourdain (IRSN). Sur notre base du Vésinet [Yvelines], quatre camions-laboratoires sont prêts à partir à tout moment, ainsi que quatre conteneurs transportables par avion militaire, équipés du matériel de détection du rayonnement gamma émis par le corps."* Le diagnostic est délivré au patient après cinq minutes de mesures.

Pour les épidémiologistes, ce moment est crucial : il leur faut recenser les dizaines ou centaines de milliers de personnes concernées, dont certaines étaient seulement de passage lors de l'accident. Estimer les conséquences

d'un accident nucléaire exige plus de trente ans de suivi d'immenses cohortes de volontaires. Or, tout le monde ne pourra probablement pas être examiné. *"Nous avons réfléchi à la trame d'un questionnaire qui serait envoyé aux habitants de la région accidentée [où étiez-vous pendant la phase des rejets ? qu'avez-vous mangé ?], afin de calculer la dose reçue par chacun",* informe Jean-René Jourdain.

"L'expérience montre que plus les informations sont recueillies rapidement, plus elles donnent une idée précise de l'impact sanitaire réel, complète Philippe Pirard, à l'Institut national de veille sanitaire. Cette précision est la clé pour éviter que se propagent plus tard des rumeurs infondées." Et, bien sûr, pour prendre en charge les personnes contaminées.

retour"... Au risque de plonger les évacués dans une attente insupportable et vaine. Les documents officiels français parlent avec autant de pudeur de "zone d'éloignement", sans donner de délai.

Comme au Japon, *"cette zone d'éloignement serait maintenue sous bonne garde, et les entrées filtrées"*, prévient Catherine Guénon, du ministère de l'Intérieur. Evidemment, *"les familles pourront venir récupérer leurs meubles et leurs effets personnels"*, rassure Jean-Luc Godet, de l'ASN. Mais les questions sont encore nombreuses ! Un exemple : que faire des grands axes stratégiques de transports, autoroutes et autres lignes TGV, qui traversent ces zones d'exclusion ?



La difficile traque des radioéléments

Les laboratoires d'analyse se préparent à vivre une course contre la montre. *"Certains radioéléments à vie courte, comme l'iode 131 ou le tellure 132, deviennent indétectables dans le corps humain au bout de quelques semaines",* précise Jean-René Jourdain (IRSN). L'analyse des sols pose aussi question : installation techniquement laborieuse du matériel sur le terrain, acheminement de dizaines de milliers d'échantillons radioactifs... Sans compter que la détection du plutonium, au rayonnement alpha difficilement mesurable, requiert plusieurs jours d'analyse.

Qui viendra stabiliser la centrale ?

Tout le monde se souvient des “kamikazes” de Fukushima, ces pompiers et techniciens qui se sont précipités au chevet des réacteurs en fusion dans un mélange d’héroïsme et d’improvisation totale. Depuis cet épisode, EDF a commencé à mettre en place une Force d’action rapide nucléaire destinée à prêter main-forte en moins de vingt-quatre heures au personnel de ses sites nucléaires en cas d’accident.

Tel que décrit par l’électricien tricolore, le scénario d’intervention de ces experts volontaires semble bien réglé : à la moindre alerte, une équipe de reconnaissance de quatre personnes vient établir un diagnostic ; suivent une soixantaine d’hommes, ainsi que le matériel nécessaire à l’injection

d’eau et d’électricité (groupes électrogènes, pompes...). Leurs missions : refroidir le combustible, éviter l’emballement de la réaction nucléaire, garantir autant que possible le confinement des radioéléments à l’intérieur de l’enceinte.

Pour l’heure, ces procédures balbutiantes n’ont pas été validées par les autorités de sûreté, et de sérieux doutes subsistent sur la possibilité d’intervenir efficacement en cas de rupture de l’enceinte d’un réacteur. Alors que, dans ces circonstances dantesques, robots et drones sont encore trop peu utiles.

La question est de savoir quelles doses recevront ces courageux agents EDF : “Le code de la santé publique

prévoit un plafond pour ces ‘intervenant en situation d’urgence radiologique’, qui peut être repoussé jusqu’à 300 mSv lorsque des vies humaines sont en danger”, précise Jean-René Jourdain (IRSN). Une dose à comparer à la limite annuelle de 20 mSv

300 “urgentistes du nucléaire” en France

Environ 300 salariés d’EDF seront bientôt prêts à intervenir en cas d’accident : des volontaires, sélectionnés pour leur expérience sur site. En plus de leur activité normale sur les centrales françaises, ces “urgentistes” vont suivre vingt semaines d’entraînement par an.



imposée aux travailleurs du nucléaire, en sachant que les cancers commencent à apparaître au moins à partir de 100 mSv, sans parler des risques de cataracte... La France nucléaire ne pourrait donc se passer d'une armada de héros.



Faudra-t-il abandonner le bétail en zone interdite



En plein drame humain, se préoccuper du bien-être des veaux, vaches, cochons, moutons, volailles peut sembler parfaitement déplacé. Il n'empêche: le sujet est pris très au sérieux par les autorités, sensibles aux pertes colossales qu'endureraient les agriculteurs.

Les éleveurs seraient ainsi autorisés à pénétrer en zone interdite pour apporter nourriture, eau, soins, assistance au vêlage... Le cas le plus délicat concernant les vaches laitières qui, passé une journée sans traite, souffrent, s'emportent et tentent parfois de s'échapper. Songez que la centrale du Bugey (Ain) est cernée, à 40 km à la ronde, par quelque 739 exploitations laitières...

"L'idée serait de tarir ces vaches progressivement, tout en jetant leur lait

contaminé dans des fosses à lisier pour le répandre ensuite dans les champs déjà radioactifs", explique David Brouque, spécialiste des contaminants au ministère de l'Agriculture. *"Si besoin, certains cheptels au patrimoine génétique rare pourraient être déplacés en priorité hors de la zone pour être mieux préservés",* poursuit l'expert. Nourris avec une alimentation saine, tous ces animaux redeviendraient rapidement valorisables.

Mais il faut aussi envisager le pire: les détails sordides d'un abattage de masse (comptez 120 vaches par heure sur une exploitation) ont déjà été discutés, ainsi que le traitement à la chaux des cadavres. Comme aux pires heures de la crise de la vache folle.

Pourra-t-on vraiment se fier aux informations officielles



C'est un procès auquel les autorités s'attendent. *"L'ombre de Tchernobyl continue de planer, vingt-huit ans plus tard, sur la crédibilité du discours de nos experts nucléaires",* estime Christine Fassett, sociologue à l'IRSN.

A l'époque, le bien mal nommé Service central de protection contre les rayonnements du professeur Pellerin avait publié des communiqués à la fois flous, incomplets et exagérément rassurants. *"Ses experts avaient vigoureusement nié nos mesures des retombées radioactives sur la France, une carte qui s'est pourtant révélée exacte par la suite",* se souvient Roland Desbordes, président de la Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (Criirad).

Les mœurs ont changé. Depuis 2006, le nucléaire tricolore est contrôlé par une entité administrative indépendante, l'ASN, épaulée par un institut technique, l'IRSN, qui réunit 1 800 chercheurs à l'esprit critique très affirmé. Bien que certains doutent de leur liberté de parole si un tel scénario se produisait en France.

Face aux manques criants des experts japonais, des centres citoyens de

mesure de la radioactivité se sont mis en place à Fukushima. *"L'émergence d'une contre-expertise sera un élément moteur de la confiance",* pense Christine Fassett. *"Nous sommes bien conscients de l'importance de la pluralité des sources de mesure",* certifie Jean-Luc Godet, de l'ASN.

Il n'empêche: à l'heure d'Internet et des réseaux sociaux, tout discours public est immédiatement contesté.

L'aide citoyenne envisagée

Surfant sur la catastrophe de Fukushima, plusieurs constructeurs de smartphones y ont intégré un compteur Geiger (pour mesurer la radioactivité). *"Nous sommes en train d'évaluer la fiabilité des applications grand public, confie Jean-Christophe Gariel, à l'IRSN. Ces mesures citoyennes pourraient nous être utiles, en cas de crise, pour compléter notre connaissance de la situation radiologique."*



Quel sera l'impact de la catastrophe au-delà

"Inutile de le cacher: il y aura un avant et un après", soupire Jean-Christophe Gariel, chercheur à l'IRSN. Autour de la zone interdite, les responsables français entendent définir, au moins dans les premiers mois, deux secteurs spéciaux: une "zone de protection des populations" (ZPP) et, plus loin, une "zone de surveillance du territoire" (ZST). Des zones grises où, compte tenu de la dose ambiante, il serait possible de résider, travailler et circuler librement... au prix de quelques travaux et, surtout, de consignes strictes.

"Dans les villes et villages, il faudra élaguer les arbres, arracher les fleurs et les buissons, remplacer le sable des jardins d'enfants, au besoin goudronner certains sols. Surtout, il va falloir nettoyer au plus vite les bâtiments, façades et toitures avant que la radioactivité ne s'incruste", établit Jean-Luc Godet, de l'ASN.

Des pompiers ont déjà réfléchi au problème. *"Les lances à incendie ne semblent pas adaptées à ce grand nettoyage", estime le lieutenant-colonel Jérôme Gerbeaux, du service départemental d'incendie et de secours de la Vienne, où se trouve la centrale de*

Civaux. Il faudrait faire appel à tous les spécialistes des ravalements de façades, planifier des campagnes lourdes de un à deux mois renouvelables."

"Les protections de tous ces personnels de nettoyage resteraient modestes vu les faibles doses encourues, dédramatise Jean-Luc Godet. Voir débarquer des hommes en combinaison intégrale aurait un effet psychologique désastreux sur les populations..."

Le volontarisme est clairement affiché: les postes, les mairies, les écoles doivent rouvrir au plus vite après la crise; les supermarchés et les pharmacies restent indispensables. Bref, la vie doit continuer.

Un entre-deux difficile à vivre

"Le principal enjeu serait d'éviter la contamination interne de ces populations, en leur évitant d'avaler le moindre aliment contaminé", assène David Brouque, de la Direction générale de l'alimentation au ministère de l'Agriculture. Dans la zone de protection des populations, la plus proche de la zone maudite, une interdiction pure et simple des denrées produites localement serait prononcée au moins

le premier mois: légumes, fruits, céréales, lait, viande, miel, etc. Car les cultures auraient été saupoudrées, même légèrement, de radioéléments et les animaux auraient brouté l'herbe radioactive... "Le degré de contamination dépend surtout de la surface des feuilles, donc de la date de l'accident; à Fukushima, en mars 2011, les végétaux, encore peu épanouis, ont capté peu de radioéléments. Il y a ensuite un transfert moins intense par les racines, selon la nature des sols", soulève Philippe Renaud, chef du Laboratoire d'études radioécologiques (IRSN).

Les ordres du préfet seraient très fermes, avec la mise sous séquestre des exploitations agricoles et une traque impitoyable le long des réseaux de distribution jusqu'aux restaurateurs. Les produits du potager seraient également prohibés. *"Sauf, éventuellement, les légumes et fruits cultivés sous serre", consent David Brouque. Partout des contrôles auront lieu, sur le modèle de ceux toujours pratiqués par milliers à la suite de Tchernobyl.*

Et ce n'est pas tout. Le bois de chauffage local serait banni; les produits manufacturés immobilisés; en forêt,



de la zone interdite ?

le gibier, les baies, les champignons à éviter absolument pendant de nombreuses années. *“Une fois que le césium massivement intercepté par les feuilles retombe, il circule très facilement dans les sols des forêts, puis se reconcentre au cœur des champignons”*, avertit Jean-Christophe Gariel (IRSN). Les sangliers, animaux fouisseurs, atteignent alors des sommets de contamination. De toute façon, l'accès aux forêts serait certainement interdit.

En revanche, *“l'eau potable ne posera pas problème, car les nappes phréatiques restent hors d'atteinte de la contamination au césium. Charge au préfet d'interdire le pompage des sources à l'air libre, insiste Jean-Luc Godet. Bien sûr, j'imagine qu'il y aura des réticences...”*

En réalité, l'expérience montre que la vie dans cet entre-deux est particulièrement difficile. *“Le message est ambigu : menez une vie normale mais... surveillez-vous quand même, analyse Christine Fassert, du Laboratoire des sciences humaines et sociales à l'IRSN. Les gens deviennent gestionnaires de leurs risques, un rôle dont l'Etat et l'exploitant se déchargent*

d'une certaine manière : je pense à ces enfants de la région de Fukushima qui se demandent sans cesse s'ils peuvent jouer dehors ou non.”

Au Japon, dans un premier temps, femmes et enfants ont souvent quitté ces secteurs, le père restant pour travailler. *“Chacun a son opinion sur la radioactivité et les familles se déchirent”*, observe un élu japonais.

Un accident nucléaire en France aurait des conséquences sur une partie significative du territoire. D'autant

que *“la contamination n'est pas statique, rappelle Olivier Evrard, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CEA). Le césium, qui se fixe solidement aux particules d'argile du sol, est, au gré des fortes pluies, transporté par érosion en aval, dans les rivières, les fleuves et jusqu'à la mer. Gare aux accumulations sédimentaires dans les barrages. Des régions épargnées par le panache peuvent dès lors être concernées par la radioactivité”*.

Le contrôle des aliments à l'épreuve

Neuf laboratoires départementaux vérifient déjà la radioactivité de nos denrées alimentaires. En dehors du thé importé du Japon, ces contrôles soulèvent peu d'inquiétudes. Chaque année, un millier d'échantillons de lait, miel, fromage, viande, poisson, etc. sont analysés sans révéler de problème. En cas d'accident, le tableau serait différent : la représentativité des échantillons et les seuils choisis font débat.



Sera-t-il possible de tout décontaminer ?

Des centaines de kilomètres carrés de territoire sacrifiés, des villes abandonnées, des sites industriels inutilisables, une terre nourricière contaminée sur plus de 5 cm de profondeur... La perte serait tellement insupportable que la reconquête du terrain perdu est un objectif déjà affiché par les autorités françaises. Et ce, sans attendre la décroissance radioactive – le césium 137 met trente ans pour perdre la moitié de son activité.

Possible? Les murs peuvent à la rigueur être décapés, certains toits remplacés, les pelouses goudronnées et les arbres fruitiers élagués ou nettoyés. Mais comment décontaminer les vastes étendues agricoles? Les autorités japonaises ont opté pour la manière forte:

20 000 hommes s'activent, arrachant la terre sur 5 à 10 cm d'épaisseur. La seule solution vraiment efficace.

Mais cette stratégie coûte des dizaines de milliards d'euros, réclame une main-d'œuvre considérable sur plusieurs années et génère des montagnes de déchets radioactifs. Et puis, elle n'est pas applicable en forêt. *"Il n'est pas question d'élaguer ni d'abattre les forêts contaminées: cela générerait des phénomènes d'érosion redoutables mais aussi, dans le cas de la région très boisée de Fukushima, 25 millions de mètres cubes de déchets radioactifs supplémentaires, tranche Jean-Christophe Gariel, de l'IRSN. Remplacer la litière des forêts n'est guère plus envisageable."*

Au final, reconnaît Michael Tichauer (IRSN), *"une décontamination n'est jamais parfaite"*. Fatalement, quelques "points chauds" persistent. *"Les objectifs de doses très bas promis par le Japon ne sont pas réalistes"*, pense aussi le radiobiologiste Jean-René

La piste des OGM

"Nous avons lancé un programme de génie génétique visant à accroître la capacité des plantes à absorber le césium 137 des terrains contaminés", déclare Alain Vavasseur, du CEA. L'enjeu de ces travaux n'est pas mince, car pour l'heure, les plantes testées à Fukushima n'extraient pas plus de 1 % des radioéléments du sol.



Comment se débarrasser des déchets radioactifs ?

Jourdain. La réouverture promise de certaines zones faiblement contaminées a été plusieurs fois repoussée. Et les premiers retours n'ont eu lieu que le 1^{er} avril dernier pour quelques dizaines de familles seulement... au terme d'un travail de bénédictin.



“Au début, personne n’y prête attention, mais au fil des années de décontamination, le problème s’impose à tous”, confie Michael Tichauer, un ingénieur de l’IRSN qui sillonne les territoires contaminés au Japon.

Le problème des déchets est inévitable: le moindre hectare décapé sur 5 cm de profondeur génère environ 700 t de terre contaminée... Sans parler des matériaux ultraradioactifs de la centrale accidentée. Or, notre Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) n’a pas intégré cette hypothèse dans ses stockages actuels.

Le volume de 10 Stade de France

La région de Fukushima abrite un millier de sites officiels d’entreposage, auxquels s’ajoutent près de 13 000 dépôts dans les jardins de particuliers. La création de sites pour accueillir ces sacs faiblement radioactifs s’est heurtée aux réticences de certains riverains, avant d’être acceptée. Et la résistance ne serait pas moins farouche en France.

Au Japon, la conception de tous ces stockages a été aussi propre que possible et validée par l’équivalent nippon du CEA. Seulement, *“les experts japonais sont bien incapables de dire ce qui se trouve exactement dans chaque sac: de la terre? des déchets putrescibles? du mobilier de jardin? On risque d’avoir quelques mauvaises surprises...”*, pressent Michael Tichauer.

Pis, et cela interpelle les experts français, *“la durée de vie de la plupart des sacs en toile de jute utilisés est de seulement trois ans, or cette limite a été dépassée et la situation n’évolue pas”*, s’inquiète Hanzawa Takahiro, chargé de la décontamination de la ville de Date, proche de Fukushima.

Ces sacs sont en effet destinés à être transférés dans un immense centre de

stockage organisé tant bien que mal en zone interdite – la France opérerait aussi pour cette solution. Immense, le mot est faible: il faudra placer au moins 28 millions de mètres cubes de déchets radioactifs, soit 10 fois le volume du Stade de France. Le seul espoir de réduire un peu ces volumes serait de les incinérer.

Toujours est-il que rassembler au cœur de ce monstre ces innombrables colis éparpillés constituera un défi logistique ahurissant. *“D’abord, il faut espérer que les sacs résistent à leur déplacement”,* détaille Michael Tichauer. *Ensuite, cela implique 2 millions de voyages en camion, soit l’ordre de grandeur du trafic annuel de transport routier en France.”* Et dire que les déchets ne sont qu’un problème parmi beaucoup d’autres...

Un incinérateur spécifique

En cas de catastrophe, les experts français envisagent la construction d’un incinérateur dédié aux seuls déchets radioactifs. Le site de Marcoule (Gard) dispose déjà d’une installation de ce type. Resterait à régler le cas des cendres très radioactives.





Que vont devenir les réfugiés ?

Des centaines de milliers de personnes arrachées du jour au lendemain à leur terre, leur maison, leurs habitudes, leur travail, leurs amis... Comme si cela ne suffisait pas, ces exilés se retrouvent, au moins dans les premiers temps, stigmatisés : *“Les familles de Fukushima craignent de ne pouvoir marier leurs filles, considérées dans le reste du Japon comme des irradiées”*, témoigne Reiko Hasegawa, chercheuse à l’Institut du développement durable et des relations internationales. Tous les ingrédients du psychodrame sont réunis.

Relogement et effets psychologiques sont de plus en plus abordés dans les plans français de gestion des accidents

nucléaires. A ce jour, aucune bonne solution ne semble avoir été trouvée, et aucun “numéro vert” ne réglera cette situation. *“Le sort des évacués après un accident nucléaire présente des similitudes avec celui des réfugiés de guerre : privés de leur passé, de leur identité, empêchés de revenir chez eux sinon au péril de leur vie, analyse Reiko Hasegawa. Mais alors que les réfugiés de guerre sont protégés par une convention internationale, ce n’est pas encore le cas des évacués nucléaires.”*

Vivant jusque-là en milieu rural, les déplacés du Japon ont été entassés, faute de mieux, dans des préfabriqués – du temporaire qui dure – au cœur de villes aux infrastructures trop limitées.

L’université médicale de Fukushima a déjà établi chez les évacués une augmentation de l’obésité et de l’hypertension. Tandis que les cas de suicides liés à cette situation sont souvent rapportés dans la presse nippone...

Le cas des évacués volontaires, ces personnes qui ont quitté leur maison sans en avoir reçu l’ordre, est encore moins enviable. *“Pour les autorités japonaises, ce sont des évacués non-officiels. Ils n’ont reçu en tout que 750 euros par personne – 3 000 euros pour une femme enceinte”*, déplore Reiko Hasegawa.

Pour l’heure, les conséquences de toutes ces injustices ne semblent pas encore avoir été tirées...

Comment sera suivi l'état de santé de la population ?

Ce sont les plus jeunes qui concentreront l'attention des autorités sanitaires. *"Les enfants sont particulièrement sensibles aux radiations, car leur corps est en plein développement"*, explique Isabelle Dublineau, chef du Laboratoire de radiotoxicologie expérimentale (IRSN). Leur santé devient, dès lors, une préoccupation lancinante : les 360 000 jeunes de moins de 18 ans habitant la région de Fukushima subissent désormais une échographie de la thyroïde tous les deux ans. L'examen sera renouvelé jusqu'à leurs 20 ans, et le rythme passera ensuite à une visite tous les cinq ans.

"C'est probablement le protocole que nous suivrions en France", estime Jean-René Jourdain, de l'IRSN. *Les risques de développer un cancer de la thyroïde fulgurant en six mois sont très faibles ;*

en revanche, ce cancer peut se déclarer jusqu'à quarante ans après."

L'organisation d'un tel dépistage resterait à trouver : selon André Aurengo, chef de service de médecine nucléaire à la Pitié-Salpêtrière, *"à raison de vingt minutes par examen, les services satureraient. Il ne faudrait pas non plus oublier de former un groupe témoin de plusieurs dizaines de milliers d'enfants d'autres régions, pour comparer les résultats et évacuer les doutes"*.

A la différence du Japon, la France dispose d'un registre des cancers de la thyroïde chez l'enfant, offrant ainsi déjà un bon état de référence.

Au-delà de ces considérations techniques, relève André Aurengo, *"ces examens sont parfois difficiles à vivre, car le sur-risque de développer un cancer persiste tout au long de l'existence"*.

Qui indemniser les victimes ?

Dans l'immédiat, les évacués bénéficieront des fonds d'urgence votés chaque année au budget de l'Etat pour faire face à toute catastrophe. Mais ensuite, qui dédommagera la perte de milliers d'habitations, les faillites, les soins médicaux, la décontamination ?

"Un accident majeur mettrait rapidement EDF en faillite", affirme Patrick Momal, du Laboratoire d'économie des risques nucléaires (IRSN). Car ce risque est à peine pris en compte dans le coût du kWh nucléaire ! La Convention sur la responsabilité civile de l'énergie nucléaire prévoit seulement un apport de 345 millions d'euros, provenant essentiellement des Etats signataires. Même si cette indemnisation doit passer à

1,5 milliard – dont 900 millions à la charge de l'exploitant, EDF ou Areva –, on est très loin du compte.

L'Etat devra mettre la main à la poche. Et le tribunal de grande instance de Paris, seul compétent en matière de dommages nucléaires, statuera sur chaque cas. Un comité national de suivi des victimes, sur le modèle de celui des victimes des essais nucléaires, pourrait être créé. La liste des pathologies liées à l'accident devra être dressée par décret, en Conseil des ministres. Mais attention, avertit le radiobiologiste Jean-René Jourdain, *"il faudra aussi, pour les maladies radio-induites, réserver des fonds à l'échéance de trente ou quarante ans"*.

Les économistes ont fait les comptes

"Un accident nucléaire majeur coûterait à la France 450 milliards d'euros, soit 20 % de son PIB annuel", a calculé Patrick Momal (IRSN). Près de la moitié de ce coût serait liée à l'image dégradée du pays (tourisme, exportations). Ainsi, un nuage radioactif s'échappant de la centrale du Blayais, en Gironde, condamnerait certains vignobles du Bordelais et jetterait la suspicion sur tous les vins français. Les autorités réfléchissent à des labels susceptibles de rétablir la confiance des consommateurs.



Reviendra-t-on

La polémique ne manquerait pas d'éclater: est-il, oui ou non, dangereux de vivre sur des territoires décapés mais encore radioactifs? A ce jour, la science est incapable de trancher.

Aujourd'hui, un Français reçoit en moyenne chaque année 2,4 mSv en raison de la radioactivité naturelle du sol. En pratique, la Commission internationale de protection radiologique estime un retour possible sur des territoires infligeant au maximum 20 mSv/an. Sachant que cette dose va décroître avec le temps. *"Nous manquons cruellement de données sur les effets des faibles doses reçues à faible débit durant des décennies"*, admet Isabelle Dublineau, chef du Laboratoire de radiotoxicologie expérimentale (IRSN). *"Même s'il y a de fortes présomptions pour que ce risque soit acceptable vers 20 mSv/an, nous ne pouvons pas affirmer qu'il y a zéro risque"*, renchérit Jean-René Jourdain, radiobiologiste à l'IRSN. *Expérimentalement, aucun*

Les générations

"Tchernobyl a peut-être été la véritable raison de l'effondrement de l'Union soviétique", écrivait récemment Mikhaïl Gorbatchev. Un accident nucléaire engendre forcément des conséquences profondes et durables.

Durables, parce que le césium 137 met trente ans pour perdre seulement la moitié de sa radioactivité. *"Autour de la zone interdite de Tchernobyl, près de trente ans après la catastrophe, on craint désormais l'incendie de forêt qui soulèverait des nuages de cendres radioactives"*, témoigne

un jour en zone interdite ?

seuil d'apparition des cancers n'a pu être établi. La compréhension des mécanismes des faibles doses mobilise de nombreux chercheurs dans le monde."

La science est impuissante

Les débats sont virulents. Sachant que les réactions aux rayonnements sont différentes selon l'âge, le sexe, l'état de santé, le tissu touché... Aucune expérience n'est conclusive. Et, ajoute Pierre Bey, ancien directeur de l'Institut Curie, *"l'épidémiologie ne permet pas de distinguer l'impact des faibles doses alors que les cancers classiques affectent tôt ou tard 40 % des Occidentaux"*. *"Cette controverse sur les faibles doses ne s'éteindra jamais, à moins de trouver un jour la signature d'un cancer radio-induit... Or, il n'est pas dit que cette signature existe!"*, complète André Aurengo, chef de service à la Pitié-Salpêtrière.

Sans compter que d'autres pathologies jettent le trouble... L'arythmie

cardiaque des enfants de Tchernobyl fait ainsi débat depuis dix ans. *"Chez le rat, nous avons récemment observé une baisse de la pression artérielle, mais sans en comprendre les raisons"*, dévoile Isabelle Dublineau.

Les seuls arguments avancés font appel au bon sens. André Aurengo fait ainsi remarquer que *"ces 20 mSv sont inférieurs aux doses naturelles émises par le sol dans certaines régions d'Iran ou du Brésil, qui ne posent pas de problèmes de santé identifiés"*. *"A ce compte-là, il faudrait évacuer la Bretagne, riche en radon, ou la haute montagne, inondée de rayons cosmiques"*, surenchérit Pierre Bey. Selon lui, *"empêcher les personnes âgées de revenir en zone interdite est absurde : pour eux, changer de conditions de vie aura plus d'impact qu'un lointain risque de cancer"*. En revanche, note Isabelle Dublineau, *"les enfants auront tout le temps d'en développer un"*. Un casse-tête épouvantable...



La nature irradiée sous l'œil des scientifiques

Plusieurs chercheurs français étudient les effets de Fukushima sur la nature. Mais les enseignements de Tchernobyl sont déjà éloquentes. *"Dans les zones les plus contaminées, on observe une perte de biodiversité, des tumeurs, des cerveaux rabougris, une fertilité en berne..."*, égrène Timothy Mousseau. Ce biologiste américain vient de révéler qu'un déficit d'activité microbienne bloque la décomposition de la litière des forêts de Tchernobyl, augmentant le risque d'incendie.

futures seront-elles concernées ?

Jacques Lochard, de la Commission internationale de protection radiobiologique. L'attention ne peut tout à fait se relâcher, continue le chercheur, *"la culture de radioprotection doit se transmettre de génération en génération, dès l'école"*. Tel champignon ou tel animal risque toujours de présenter une radioactivité inquiétante.

La nature devient même, par endroits, étrange. Quant aux hommes... Aucune étude réalisée sur des populations humaines irradiées n'a mis en évidence de malformations

héréditaires. Quelques mutations ont certes été relevées dans certaines séquences génétiques, mais sans jamais constater d'effet. Des biologistes du CEA avancent cependant l'hypothèse d'une évolution à long terme, qui se révélerait après plusieurs générations. *"On manque encore de recul, car les premières irradiations datent seulement de l'époque de Marie Curie"*, souligne Jean-René Jourdain, de l'IRSN. *"La question de l'impact sur la santé des futures générations reste en suspens."* Ce qui suffit à inquiéter.

Le casse-tête agricole

Depuis Tchernobyl, les fermiers biélorusses emploient diverses recettes pour réduire l'accumulation de césium dans la viande, le lait ou les plantes : ils fournissent du bleu de Prusse au bétail, saturent les sols d'engrais au potassium... Avec une efficacité variable. *"Nous privilégierions plutôt une réorientation des cultures vers des secteurs non alimentaires"*, estime David Brouque (ministère de l'Agriculture).

OSER REGARDER LE RISQUE EN FACE

*Fukushima a achevé de le prouver :
Tchernobyl n'était pas une exception.
Après des années de déni, les autorités
affrontent enfin l'hypothèse du pire.*

"Aucun risque", "totalement improbable", "ça n'arrivera pas chez nous". Longtemps, les autorités françaises se sont réfugiées dans le déni. Incapables d'envisager le pire. Incapables, ou franchement réticentes à étudier l'un des scénarios les plus affolants : celui d'un accident nucléaire sur notre territoire... Un territoire jalonné par rien de moins que 58 réacteurs nucléaires répartis sur 19 sites (voir carte), sans oublier l'immense usine de retraitement des combustibles radioactifs de La Hague (Manche).

Ce déni patenté frôla souvent l'absurde. Chacun se souvient de ces discours bornés et trompeurs qui suivirent l'explosion de la centrale ukrainienne de Tchernobyl, le 26 avril 1986. Or, aujourd'hui, en 2014, l'hypothèse du pire n'est plus taboue ! Et pour cause : la catastrophe de Fukushima, débutée le 11 mars 2011, a ébranlé jusqu'aux plus fervents défenseurs de l'atome. Pas un seul expert n'avait imaginé la perte de contrôle de trois réacteurs nucléaires au cœur de l'ultramoderne Japon.

Et si, justement, l'inimaginable se produisait ici ? Et si, malgré toutes les précautions prises, un accident d'une ampleur comparable à Fukushima ou Tchernobyl se déroulait dans notre beau pays ? Cette préoccupation a pris un caractère officiel. Les pouvoirs publics et le secteur nucléaire multiplient désormais les réunions

de travail pour tenter d'imaginer les mesures à prendre face à un tel événement. Et pas seulement dans les premières heures ou les premiers jours ! Un accident nucléaire étend ses méfaits sur plusieurs décennies, soulève une foule de questions existentielles et de problèmes sans équivalent.

TCHERNOBYL N'AVAIT PAS SUFFI

Ce n'est pourtant pas aujourd'hui que nos experts découvrent le caractère diabolique d'une crise nucléaire. Dès 1985, soit un an avant Tchernobyl, des chercheurs de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) avaient proposé de simuler des retombées radioactives dans leurs laboratoires de Cadarache (Bouches-du-Rhône). "Ces expériences ont permis d'évaluer les conséquences d'un rejet sur nos grandes productions emblématiques, comme la vigne ou les céréales, se souvient Jean-Christophe Gariel, directeur du département Environnement à l'IRSN. Preuve que l'on pensait déjà à l'accident, même si la démarche n'était pas encore très structurée." Ce n'était alors qu'un frémissement, le tout début d'une prise de conscience.

"En 1990, Mikhaïl Gorbatchev avait demandé une évaluation indépendante de la situation à Tchernobyl, à laquelle j'ai participé avec 150 autres experts occidentaux, raconte Jacques Lochard, membre de la Commission

internationale de protection radiologique. Notre vision de l'événement était très calculatoire, bureaucratique, et nous nous attendions à trouver, quatre ans après la catastrophe, un pur problème technique de centrale dévastée... Or, pas du tout ! Nous nous sommes rendu compte sur place que, sous la menace invisible des radiations, les habitants avaient totalement perdu le contrôle de leur vie quotidienne, ils n'étaient plus capables de prendre la moindre décision."

Ukrainiens et Biélorusses, qui ont survécu aux pires atrocités de l'Histoire, se trouvent démunis face à cette tragédie incompréhensible et sans fin, sans limites claires dans l'espace et le temps, sans bilan définitif. La terre nourricière et la santé des enfants se retrouvent en première ligne... La crise est à la fois sanitaire, technique, sociale, psychologique, économique, symbolique et énergétique. "C'est là que nous avons pris conscience de l'extrême complexité d'un accident nucléaire, mais sans pour autant être entendus par les responsables dans l'Hexagone", regrette Jacques Lochard.

Non pas que l'Etat n'eût rien préparé : le fameux plan Orsec est censé, depuis 1952, faire face aux risques technologiques tandis que des "plans particuliers d'intervention" ont été mis en place en 1978 dans un rayon de dix kilomètres autour de chaque centrale. "Deux ans plus tôt, la catastrophe chimique de Seveso [Italie] avait accéléré la prise de conscience des risques technologiques", précise Xavier Delarue, responsable de la planification au Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale. Mais ces préparatifs se cantonnent alors à quelques réflexes répondant à des cas d'urgence bien calibrés. "Les exercices de crise s'achevaient toujours par la reprise de contrôle du réacteur, sans dommage à l'extérieur du site", relève encore Jacques Lochard.

Ce dogme officiel commença néanmoins à vaciller lorsqu'en décembre 1999, la centrale du Blayais (Gironde), submergée, frôla l'accident



La France a plusieurs fois frôlé la catastrophe nucléaire

17 OCTOBRE 1969

Saint-Laurent-des-Eaux

Le cœur du réacteur n° 1 entre partiellement en fusion à la suite d'une mauvaise manipulation.

13 MARS 1980

Saint-Laurent-des-Eaux

Le réacteur n° 2 connaît un défaut de refroidisse-

ment: le cœur commence à fondre... avant que l'arrêt de sécurité soit déclenché.

12 MAI 1998

Civaux

Le circuit principal de refroidissement du réacteur n° 1 est victime d'une brèche; les systèmes de secours prennent le relais.

27 DÉCEMBRE 1999

Le Blayais

La tempête couplée à une grande marée inonde les quatre réacteurs; trois d'entre eux sont arrêtés en urgence. Plusieurs systèmes de refroidissement et de sauvegarde tombent en panne. EDF lance son

organisation nationale de crise.

1^{er}-2 DÉCEMBRE 2009

Cruas

Des débris végétaux charriés par le Rhône bloquent le système de refroidissement du réacteur n° 4. Les systèmes de dernier recours s'enclenchent.

ACCIDENT NUCLÉAIRE EN FRANCE : QUELLE PROBABILITÉ ?

En théorie, les calculs sont plutôt rassurants : chacun de nos 58 réacteurs présenterait une probabilité annuelle d'accident grave de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-6} – soit un accident tous les 100 000 ans, au pire.

D'où vient ce chiffre ? *"Nous listons tous les initiateurs connus d'un accident (perte de source électrique, grosse brèche dans le circuit primaire, etc.), puis nous prenons en compte la probabilité de défaillance des systèmes automatiques de sauvegarde et enfin les modèles d'erreurs humaines des agents de conduite ainsi que des équipes de crise"*, précise Frédérique Pichereau, spécialiste des études probabilistes de sûreté à l'IRSN. Sauf que ces évaluations ne tiennent compte, pour l'instant, que des causes de défaillance internes aux réacteurs, et non pas de causes extérieures comme une inondation ou un séisme – pour lesquelles des mesures de protection supplémentaires sont en cours. Et ces statistiques n'évitent pas quelques sueurs froides aux autorités de sûreté (voir p. 67), qui répètent à l'envi qu'*"un accident nucléaire est possible en France"*.

vivre en territoire contaminé : une idée dangereuse, cynique et qui ne répond qu'à des impératifs économiques", fulmine Roland Desbordes, président de la Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (Criirad). Cette association antinucléaire n'a jamais cessé de dénoncer les projets de réhabilitation menés entre autres par EDF, Areva et le CEA depuis 1991 auprès des populations biélorusses victimes du nuage de Tchernobyl ; leurs résultats ont, en partie, inspiré la démarche actuelle.

"Ces projets risquent d'appuyer l'idée selon laquelle les nouvelles conditions de vie sur les territoires contaminés seraient normales et acceptables", reprend Sezin Topçu, sociologue spécialiste du nucléaire à l'Ecole des hautes études en sciences sociales. *"En aucun cas cette démarche ne devrait servir à rassurer les habitants des pays nucléarisés comme la France. Il n'existe pas de solution à la contamination, seulement des réarrangements."* D'autant que les plans français sont aussi accusés d'être autoritaires, sclérosés, illusoire, trop théoriques...

Reste que personne n'aurait parié sur une telle démarche il y a dix ans à peine. Aucun haut responsable français n'aurait même consenti à évoquer l'hypothèse d'un accident nucléaire dans l'Hexagone. Oser regarder en face ce risque est déjà un grand progrès. *"Des situations d'accidents plus sévères et réalistes, à la hauteur de Fukushima, sont maintenant à l'étude"*, précise Jean-Luc Godet. Avant de conclure : *"On ne peut que rester modeste face à un tel scénario catastrophe. Je ne peux pas vous promettre qu'il n'y aura pas de mauvaise surprise..."*

A consulter : les rapports officiels sur l'hypothèse d'une crise nucléaire en France. A lire : des livres de référence sur Tchernobyl, Fukushima et la France nucléaire. A voir : un docu-fiction d'Arte et le documentaire *La Bataille de Tchernobyl* (2006).

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

→ majeur (voir chronologie p. 67). Ensuite, *"les attentats du 11 septembre 2001 ont permis de réaliser que, quelle que soit notre maîtrise de la technologie d'un réacteur, la menace pouvait aussi provenir d'une cause extérieure"*, analyse Jean-Luc Godet, de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

Au printemps 2005, le gouvernement Raffarin demande à l'ASN d'entamer des travaux sur les conséquences d'un nuage radioactif. S'ensuit la création d'un Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire. Pas moins de 130 experts sont mobilisés par le secteur de l'atome, EDF compris. Comme l'explique Jean-Luc Godet, *"il n'existait aucune autre démarche de ce type dans le monde, et nous avons découvert l'ampleur des problèmes au fil des réflexions"*. Au vrai, les scénarios d'accident imaginés sont encore très modestes : les rejets sont filtrés, n'excèdent pas vingt-quatre heures, dans des conditions météorologiques absolument idéales. Fukushima n'était pas encore passé par là...

Depuis ce funeste 11 mars 2011, le sujet est devenu brûlant et très concret. Tchernobyl n'était décidément pas une

exception : un accident nucléaire est bien un phénomène monstrueux, hors normes, qui laisse un pays aux abois. Même s'il n'a fait aucune victime directe, l'accident de Fukushima a réussi à éclipser le tsunami et ses 18 000 tués.

L'AVERTISSEMENT EST ENFIN ENTENDU

Le Japon n'était pas prêt à affronter pareil événement. Une impréparation souvent à l'origine d'erreurs désastreuses. L'avertissement a été entendu : en novembre 2012, forte de ses travaux pionniers, l'ASN publiait les premiers éléments de sa Doctrine pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire. Elle commence à être éprouvée sur le terrain, pendant certains exercices de crise. Début 2014, Matignon rendait public un plan national de réponse "accident nucléaire ou radiologique majeur" décliné sur 117 pages. *"Fukushima démontre qu'un tel événement exigerait une mobilisation nationale"*, insiste Xavier Delarue.

Ces préparatifs officiels ne rassurent pas tout le monde et ne feront certainement pas taire les critiques sur l'industrie nucléaire. *"Ce lobby et les autorités françaises essaient de nous faire croire qu'il serait possible de*

& Science découvertes

MATIÈRE
70



SYSTÈME SOLAIRE

74



SENS
DU RYTHME
82



PALÉOBIOLOGIE

88



Expérience ultime

Ils vont créer de la matière

$E = mc^2$, la fameuse équation d'Einstein, le dit : toute énergie lumineuse est aussi matière. Mais observer la transformation de l'une en l'autre tenait jusqu'ici les physiciens en échec... Or, voici qu'une expérience pourrait changer la donne !

Par **Román Ikonikoff**



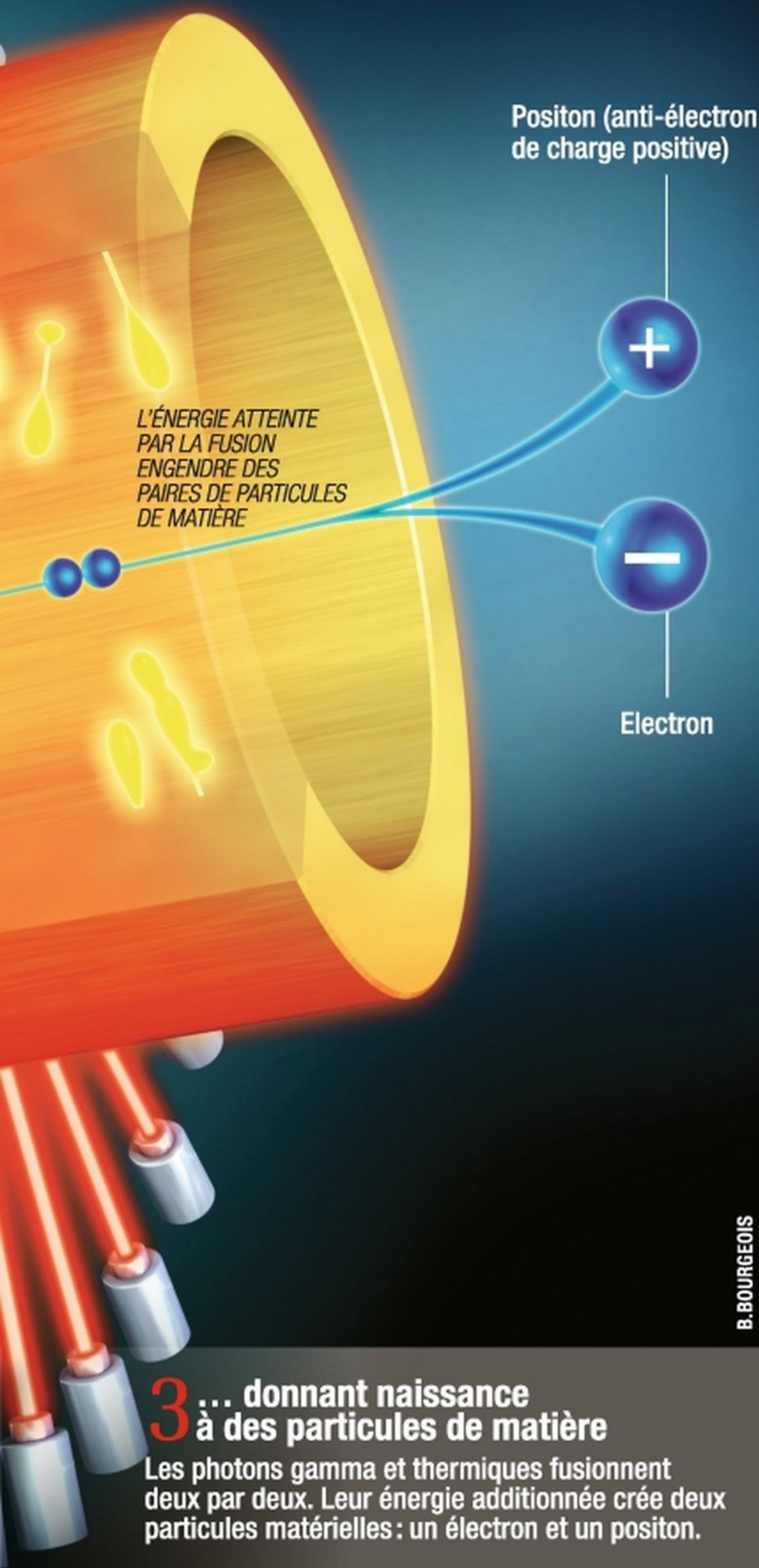
Le protocole expérimental mis au point pour relever le défi

1 Des photons gamma sont émis...

Bombardée d'électrons, une plaque d'or émet des photons gamma (des particules de lumière ultra-énergétiques) qui pénètrent dans un hohlraum (un cylindre creux en or).

2 ... et entrent en collision avec des photons thermiques...

A l'intérieur du hohlraum, ils rencontrent des photons thermiques, moins énergétiques, produits par chauffage à l'aide d'un laser ultrapuissant.



C'est un geste de démiurge. Un rêve de science-fiction. Transformer la lumière en matière... Un pouvoir qui échappe encore aux physiciens. Mais peut-être plus pour longtemps. Car enfin, une équipe de spécialistes en physique nucléaire a mis au point un protocole expérimental capable de réaliser la transmutation ultime. Sur le papier, il est désormais possible de métamorphoser un rayon lumineux en matière. Comment ? En faisant se heurter deux particules de lumière, des photons, dans le vide – soit une création de matière à partir d'énergie pure.

Voilà quatre-vingts ans que les physiciens courent après ce rêve. *"C'est le seul processus fondamental de la théorie quantique des interactions matière-lumière qui n'ait pas encore été produit expérimentalement"*, explique Felix Mackenroth, l'un des concepteurs de l'expérience à l'Institut Max-Planck de physique nucléaire (Heidelberg, Allemagne).

Le phénomène attend en effet d'être observé depuis qu'en 1934, les deux célèbres physiciens américains Gregory Breit et John Wheeler l'ont décrit pour la première fois.

Car si la fameuse équation $E = mc^2$, formulée par Einstein en 1905, a donné un principe général d'équivalence entre

masse et énergie très utile pour calculer, par exemple, l'énergie dégagée par une réaction de fission nucléaire, ce n'est qu'avec la physique quantique qu'ont été décrits les différents cas d'interaction entre particules de matière et de lumière. Entre autres : l'éjection d'électrons d'un matériau conducteur par collision avec des photons ; l'annihilation entre particules de matière et d'antimatière avec production de lumière ; la transformation d'un photon en particule de matière au voisinage d'un noyau atomique...

LA FAUTE À EINSTEIN

Toute une galerie de mécanismes s'accumule, que les physiciens s'empressent de tester. Jusqu'à ce qu'ils tombent sur le "processus de Breit-Wheeler" : la collision de photons dans le vide avec création de matière. De toutes ces interactions élémentaires, elle seule demeure inobservée directement en laboratoire. D'ailleurs, Breit et Wheeler eux-mêmes doutaient qu'elle puisse un jour être produite par une expérience.

Car rien dans notre monde n'est moins probable que cette transformation... la faute à $E = mc^2$.

L'équation d'Einstein résume en effet tout le problème : elle dit que tout objet de masse m est aussi un corps de pure énergie E , donc de lumière... justifiant naturellement la transmutation de l'un en l'autre. Mais elle dit aussi que la masse de matière créée à partir d'énergie pure sera égale à l'énergie E ... divisée par " c^2 ", soit la vitesse de la lumière dans le vide au carré ($90 \times 10^{15} \text{ m}^2/\text{s}^2$).

"Or, c^2 est énorme, rappelle Oliver Pike, qui a mené l'étude

Repère

La théorie quantique décrit les interactions possibles entre matière et lumière. Toutes ont été reproduites en laboratoire... sauf une : la transformation de lumière en particules de matière.

à l'Imperial College London, ce qui explique pourquoi il faut beaucoup d'énergie pour former ne serait-ce qu'un grain de matière."

Le coefficient démesuré de l'équation se retrouve ainsi être un avantage quand on passe de "m" à "E", autorisant la matière à se transformer en lumière quasi spontanément – 1 kg de matière peut développer une puissance de 22 mégatonnes de TNT. Mais il devient un obstacle insurmontable pour qui veut, à l'inverse, donner corps à de l'énergie pure.

UN SIMPLE CYLINDRE EN OR

Insurmontable? C'était sans compter un petit objet répondant au nom gothique de "hohlraum", "zone creuse" en allemand, utilisé en physique nucléaire pour concentrer l'énergie et provoquer des réactions de fusion. Un simple cylindre en or percé d'un trou de quelques millimètres de diamètre – ici 5 mm – par où l'on peut faire transiter des particules ou des grains de lumière.

C'est là toute l'astuce d'Oliver Pike et son équipe: détourner cet appareil de son rôle habituel pour en faire une sorte de four sous vide dans lequel des particules de lumière seraient forcées de se rencontrer jusqu'à s'assembler en matière. "L'idée



nous est venue lors d'une simple séance de brainstorming sur les applications possibles des hohlraums, raconte le chercheur. Nous avons été stupéfaits de découvrir qu'ils réunissent les conditions idéales pour former des collisionneurs de photons."

D'après les calculs des chercheurs, il suffirait d'enfourner des particules de lumière ultra-énergétiques – des photons gamma – dans un hohlraum. Là, ils rencontreraient des photons moins énergétiques

engendrés par chauffage à l'aide d'un laser ultrapuissant. Et de la collision deux par deux de ces photons gamma et thermiques naîtraient des paires d'électrons et de positons... de la matière, donc, qui ressortirait par l'autre extrémité du cylindre (voir l'infographie).

Le hohlraum joue ici un double rôle: "Il offre à la fois un volume réduit dans lequel concentrer les photons gamma entrants afin d'augmenter les probabilités de collision, et une technique pour produire des photons thermiques suffisamment énergétiques, précise Steven Rose, membre de l'équipe à l'Imperial College London. La somme des deux énergies qui se rencontrent atteint alors la valeur de la masse d'une paire d'électron-positon multipliée par c^2 ."

Et voilà comment une simple petite enceinte métallique pourrait réussir un tour de passe-passe réservé jusqu'ici

MAX-PLANCK INSTITUT FÜR KERNPHYSIK - H. RAGUET - A. COX - LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY/SPL/COSMOS

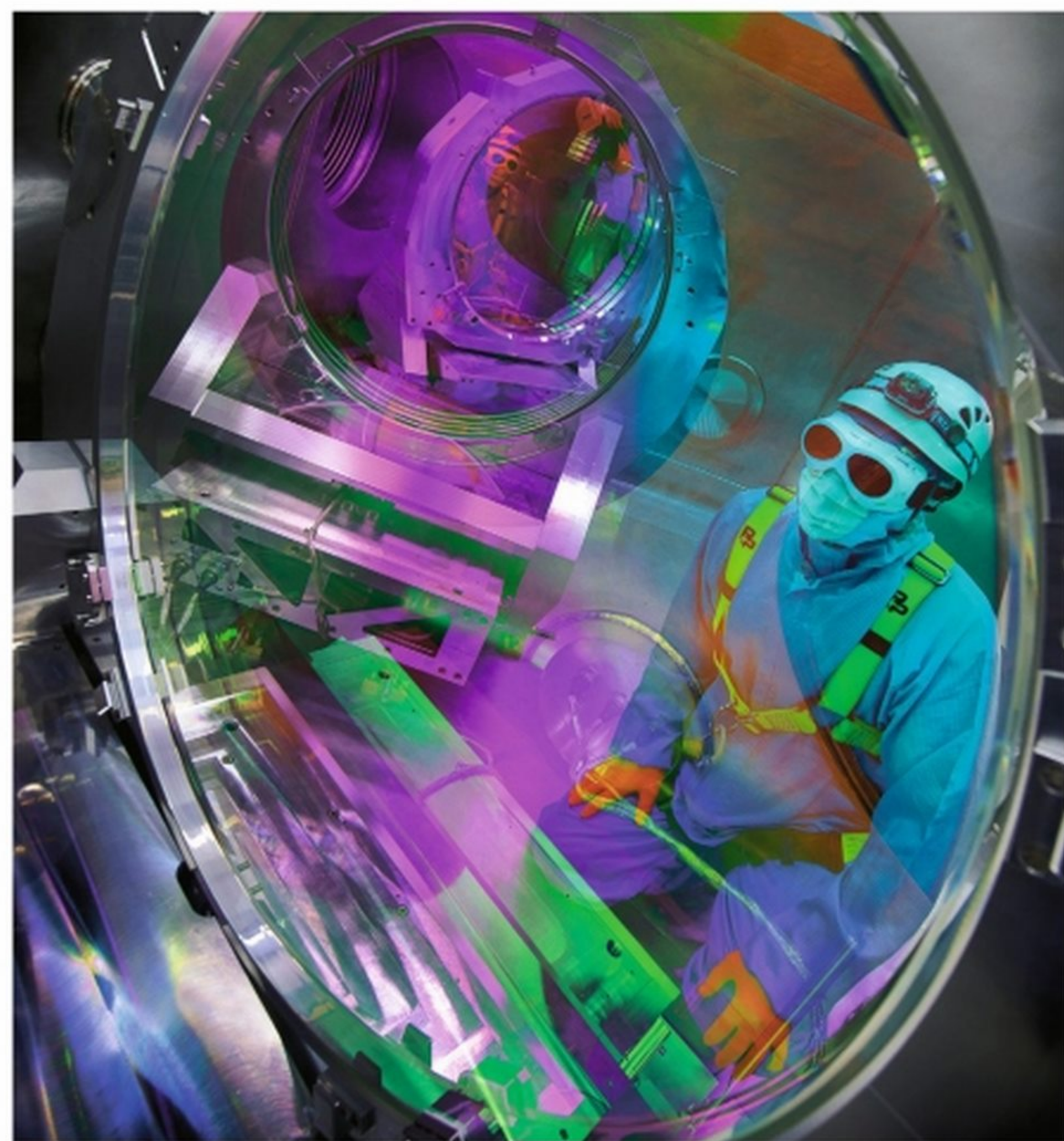


FELIX MACKENROTH
Physicien à l'Institut Max-Planck de physique nucléaire (Allemagne)

C'est la seule interaction décrite par la théorie quantique qui résiste encore à l'expérience

<V> SEULS 3 LASERS AU MONDE ONT LA PUISSANCE REQUISE

Pour réaliser leur expérience, les physiciens ont besoin d'un laser à très haute énergie : ils devront mobiliser soit le Laser Mégajoule (France), soit le laser Orion (Royaume-Uni), soit le National Ignition Facility (Etats-Unis).



à... l'Univers lui-même, à une époque où il regorgeait d'énergie lumineuse, quelques secondes après le big bang. Et voilà comment des physiciens nucléaires pourraient être sur le point de prendre de vitesse les spécialistes des particules en observant le dernier processus fondamental de leur corpus qui résiste encore à l'expérience...

UN PROTOCOLE ÉPROUVÉ

D'autant que les chercheurs ne se sont pas contentés de décrire un dispositif expérimental : ils ont déjà réalisé l'expérience... virtuellement. Pour cela, ils l'ont d'abord découpée en trois processus simples – création des photons gamma ; création des photons thermiques dans un hohlraum ; création de particules par collision – bien connus et bien maîtrisés.

Ils ont alors pu modéliser ces trois étapes sur le papier, puis les simuler via des programmes informatiques. Un mode opératoire, là encore, directement inspiré par les méthodes de la physique nucléaire. *"C'est le genre d'effets en cascade que l'on simule depuis la conception de la bombe H à la fin des années 1940"*, analyse Franck Varenne, spécialiste des modélisations et simulations à l'université de Rouen.

La méthode a une longue histoire, donc un haut degré de fiabilité. *"On peut qualifier le protocole des chercheurs de 'quasi-expérience', et ce travail vaut parfois plus qu'une expérience réelle, poursuit le chercheur. Aujourd'hui, il est préférable de monter dans un avion qui a été testé uniquement en simulation que dans un*



appareil qui a effectué des milliers d'heures de vol d'essai."

Le rêve est presque devenu réalité. Mais devant l'enjeu et l'originalité de l'approche, les physiciens des particules se refusent au moindre commentaire. Ils attendent de voir pour croire à l'ultime transmutation quantique...

Ce qui pourrait advenir rapidement. Oliver Pike et son équipe sont déjà en train de chercher à mobiliser un laboratoire disposant de l'équipement nécessaire. Comme le précise Steven Rose, il existe trois lasers dans le monde dotés de la puissance suffisante pour cette expérience : le National Ignition Facility aux Etats-Unis, le Laser Mégajoule en France et Orion au Royaume-Uni.

Et ensuite, qui sait, l'ingénieux petit dispositif pourrait faire plus encore... *"Pour le moment, l'enjeu est d'observer effectivement cette transformation pour la première fois, annonce Oliver Pike. Mais les collisions de photons pourraient produire pléthore d'autres types de particules, conduisant à de nouvelles connaissances et potentiellement à de nouvelles découvertes."* Le rendez-vous est pris.

A lire : la publication scientifique détaillant l'expérience. A voir : la vidéo de John Wheeler racontant la découverte du phénomène.



EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

Quoi de neuf dans le système

Par **Mathilde Fontez**

Les astronomes nous ont habitués à des paysages immuables, ou presque. Naissances d'étoiles ou de planètes, collisions de galaxies, courses de nuages de poussières... les histoires qu'ils nous racontent s'étalent jusqu'à des milliards d'années. Mais aujourd'hui, grâce à l'œil aiguisé des sondes, les voilà qui découvrent avec stupeur que le ciel change au jour le jour. En quelques mois, des boules de roche se sont agglomérées, une tempête a subi un apaisement accéléré... Ces mondes de terre et de gaz s'agitent donc autant que la Terre. Le spectacle du ciel est devenu dynamique. Et les astronomes sont sur le pied de guerre.



solaires?

Chronologie

Vers 140 : La Terre changeante et corruptible et le Ciel parfait et immuable... telle est la description de l'Univers par Ptolémée.

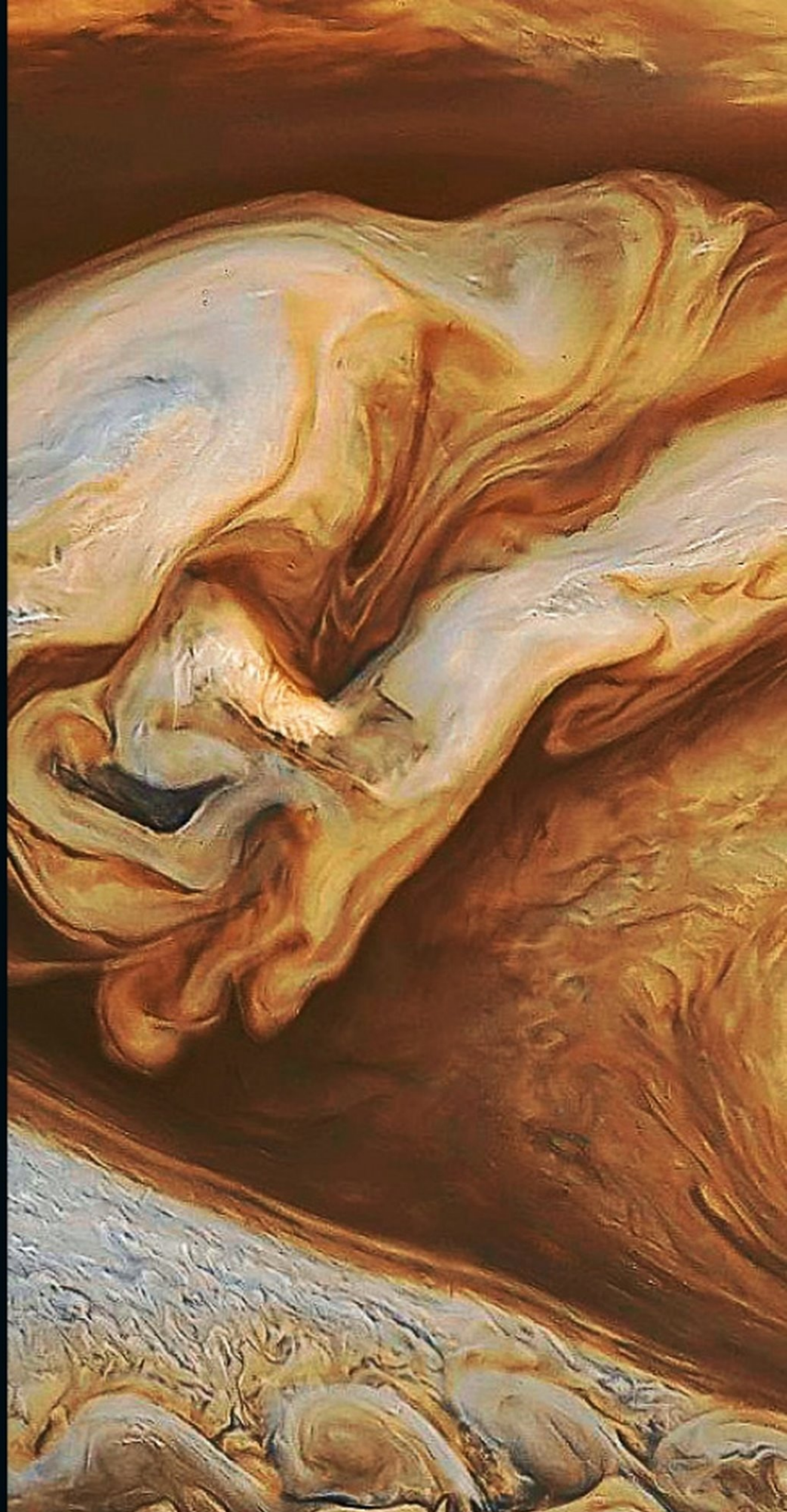
1610 : Sur la Lune, Galilée voit des cratères et de la roche... Le ciel tombe de son piédestal.

1979-80 : La sonde *Voyager* survole le système solaire et ses volcans, tempêtes... montrant la "géophysique" des astres.

2014 : Les plus infimes soubresauts des planètes sont captés. L'astronomie devient dynamique.

NASA

Ce sont des astronomes amateurs qui ont donné l'alerte. Observant la célèbre Grande Tache rouge, ce gigantesque anticyclone qui tourbillonne sur Jupiter, ils se sont aperçus qu'elle semblait se réduire à un rythme anormal. *"Je ne me suis d'abord pas affolée, raconte Amy Simon, spécialiste de Jupiter au Centre de vols spatiaux Goddard de la Nasa. Nous savions depuis longtemps que la tache rouge était en train de se réduire lentement, mais personne n'envisageait sa disparition."* L'astronome effectue néanmoins quelques mesures, par précaution... et s'aperçoit qu'il se passe bel et bien quelque chose d'inhabituel. La tache, en fait, n'est plus que l'ombre d'elle-même. Elle mesure seulement 16 500 km de diamètre... soit 4 000 km de moins qu'en 1995 et moitié moins qu'en 1979. A ce rythme, elle pourrait tout bonnement s'évaporer d'ici dix ou peut-être cinq ans! Cette somptueuse sculpture de gaz qui tourne autour de nos têtes depuis toujours, cet emblème du paysage céleste depuis sa découverte par Giovanni Cassini il y a 350 ans va peut-être connaître une fin express. Peut-être... Parce que devant la rapidité du phénomène, les spécialistes avancent à vue. *"Pour l'instant, nous ne savons pas expliquer cet affaiblissement, ni prédire ce qui va arriver, reconnaît Amy Simon. La tache peut disparaître, se stabiliser..."* Les spécialistes reprennent leurs modèles, épluchent les archives d'*Hubble* et des télescopes infrarouges en quête d'un mécanisme susceptible d'expliquer la perte d'énergie. Et surtout, ils surveillent la tache, comme le lait sur le feu.



Une tempête meurt sur Jupiter

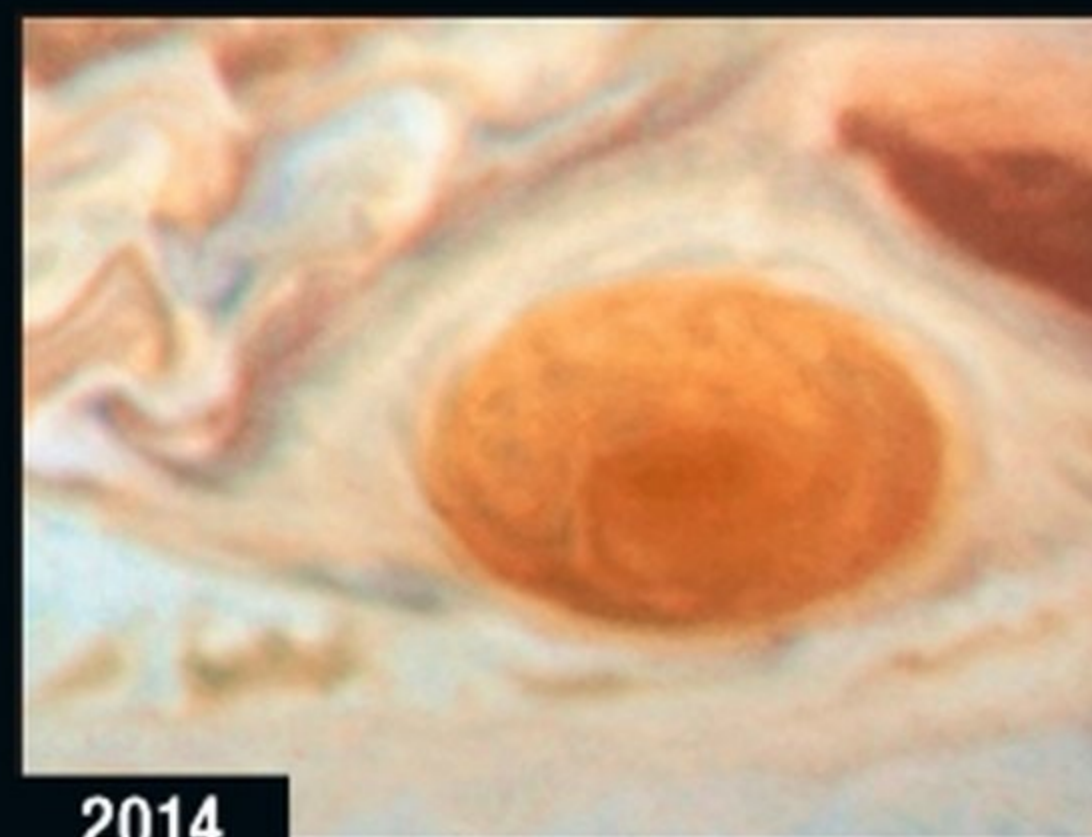


NASA

1995



2009



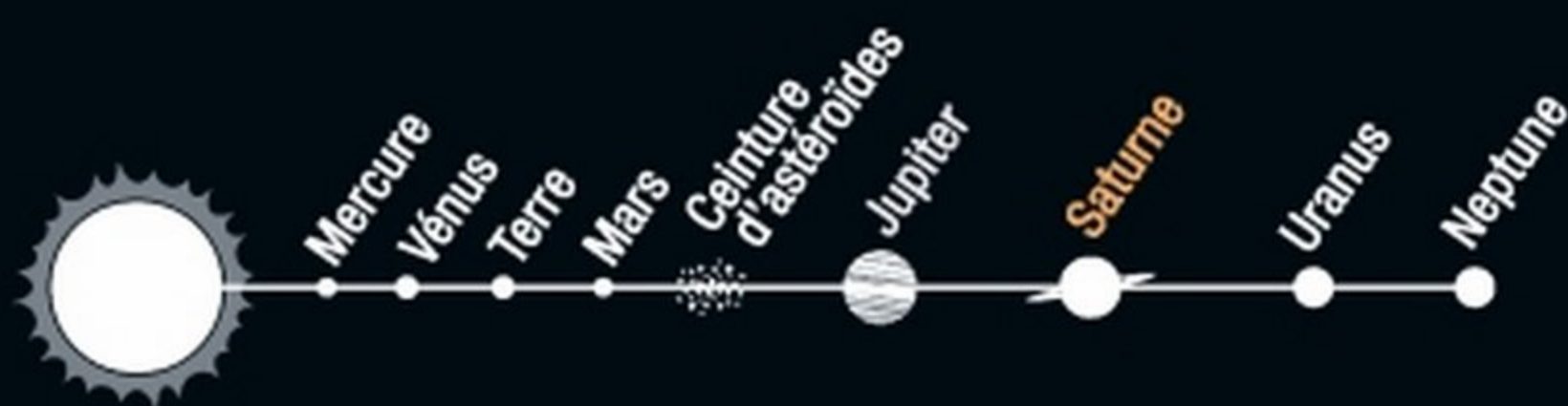
2014



La première observation a eu lieu le 15 avril 2013. Le 19, j'épluchais les données et je voyais quelque chose d'inhabituel", relate Carl Murray, l'un des membres de la mission Cassini. L'astronome avait dirigé la caméra de la sonde spatiale du même nom, qui évolue autour de Saturne et de Jupiter depuis dix ans, vers un satellite de la géante aux anneaux... Mais c'est en arrière-plan qu'il a détecté l'anomalie: un ourlet brillant de 1 200 km de longueur et 10 km de largeur. Autant dire rien comparé à la taille monstrueuse des anneaux de Saturne qui s'étendent sur près de 70 000 km. Mais un rien étrange, et visible sur les deux images prises par la caméra ce jour-là. "S'il n'y en avait eu qu'une, on aurait dû conclure qu'un rayon cosmique avait percuté notre caméra CCD... Mais là, on sait que c'est bien réel", argumente l'astronome. Il regarde alors dans les archives de Cassini... et s'aperçoit que la traînée brillante apparaît sur 107 images. En fait, elle évolue en orbite au bord des anneaux depuis le 23 mai 2012... Ce ne peut être qu'un nouveau satellite! Une petite lune en train de naître. "Nos calculs montrent qu'elle fait un millier de kilomètres de diamètre", ajoute Carl Murray. D'autant que justement, des théoriciens viennent de montrer que les anneaux planétaires forment un cocon parfait pour les bébés lunes, dans lesquels ils peuvent croître au gré des collisions, jusqu'à être expulsés et prendre une place indépendante en orbite. "Nous voyons exactement le mécanisme que nous avons prédit en train de se dérouler!", s'enthousiasme Aurélien Crida, l'un des auteurs du modèle à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Pour autant, impossible d'être sûr du devenir de la petite lune. Elle est encore bien fragile. Soit elle va profiter des collisions pour grossir et se renforcer... soit elle va subir un choc trop violent qui va la désagréger. De nouvelles séries d'observations sont déjà prévues pour la couvrir des yeux.

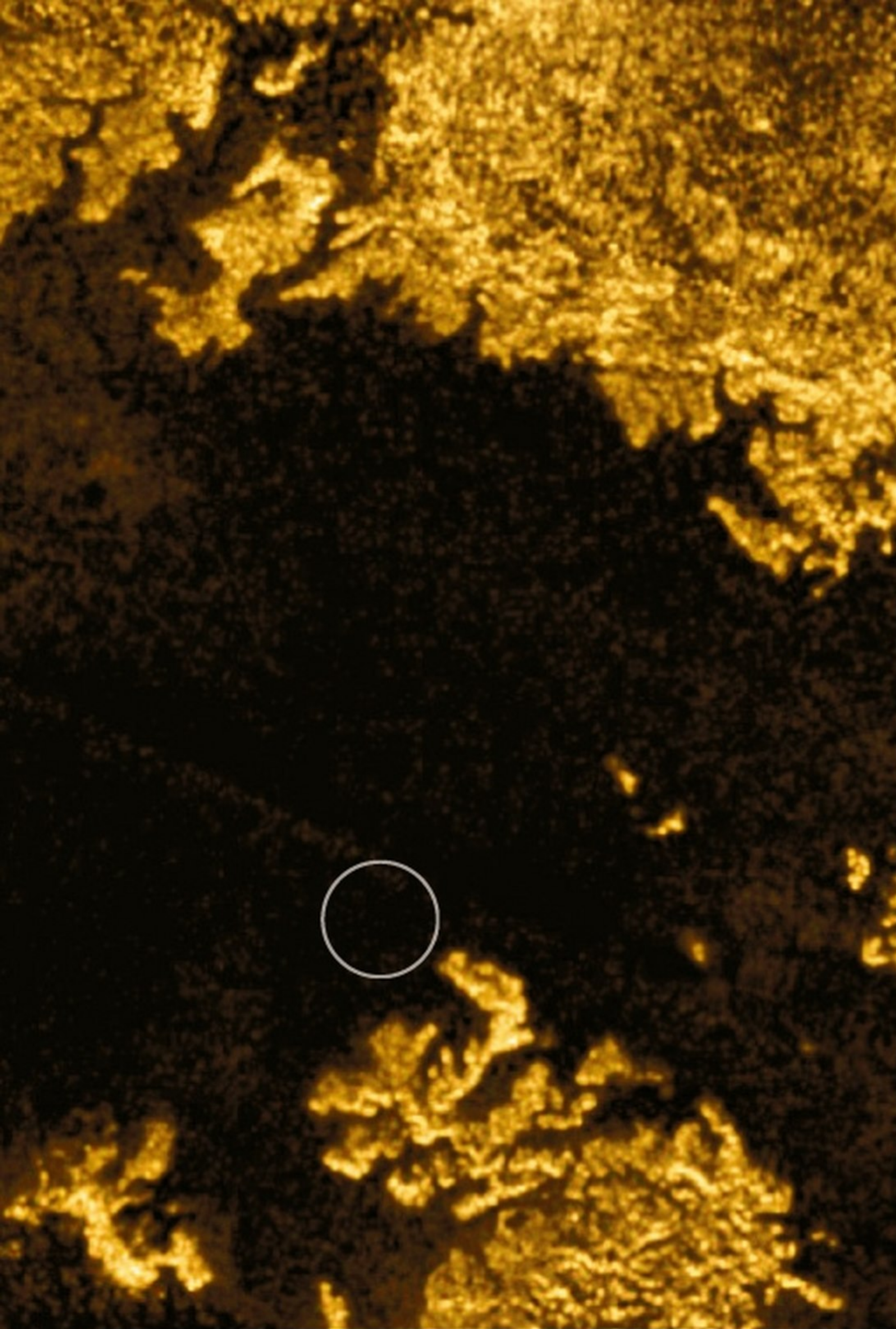
NASA

Une lune naît autour de



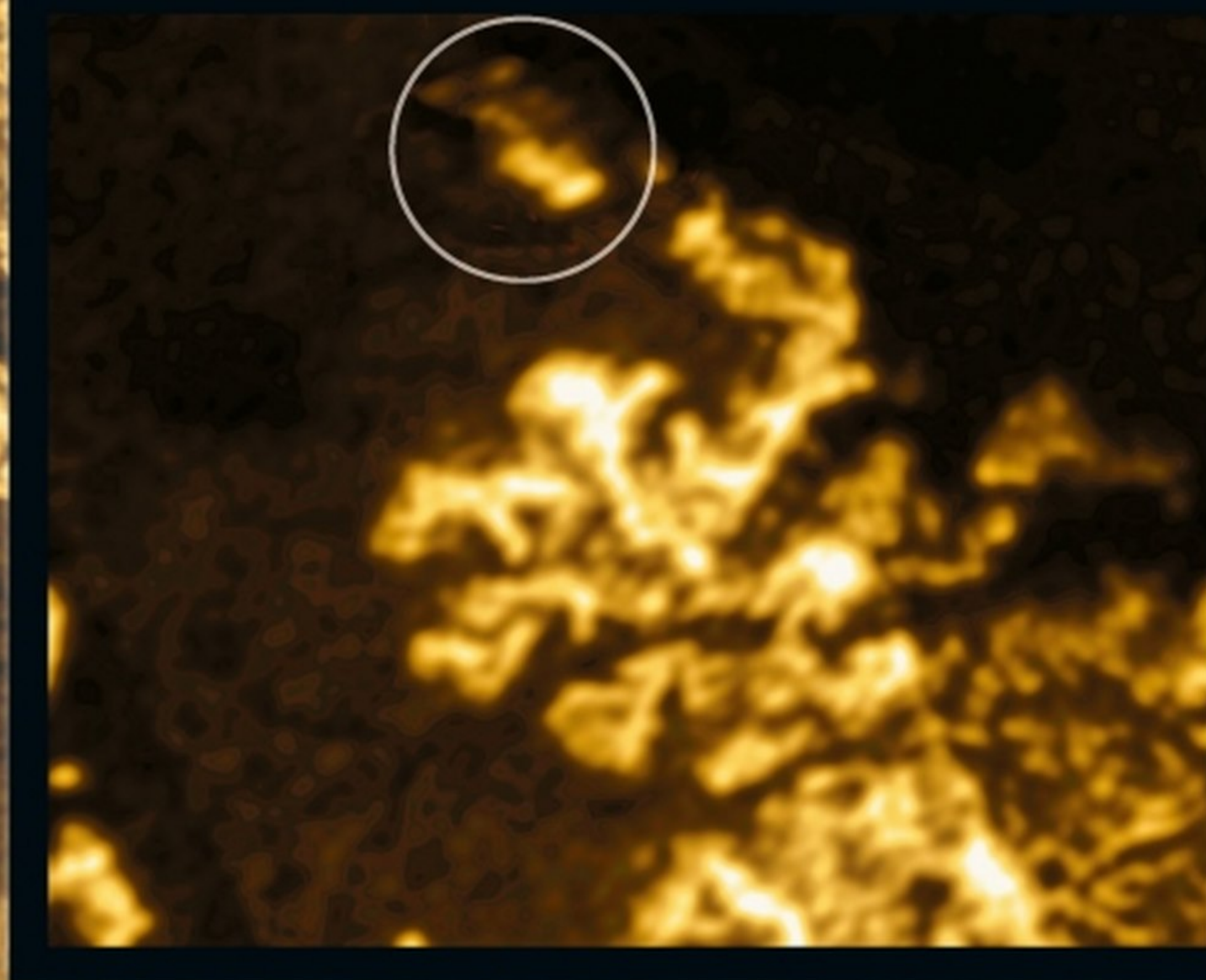


Saturne



Jason Hofgartner raconte avoir été ébloui par l'image. *"Nous regardions les nouvelles données et, soudain, notre rêve de découvrir un nouveau monde est devenu réalité!"* Le monde en question est une île mystérieuse, que l'astronome de l'université américaine Cornell et son équipe ont distinguée sur l'image prise par le radar de la sonde spatiale *Cassini* lors de son 92^e survol de Titan, l'un des satellites de Saturne, le 10 juillet 2013. Elle s'étale sur une vingtaine de kilomètres, près du bord de la Ligeia Mare, l'un des lacs de méthane liquide proches du pôle Nord. Mais on n'en trouve aucune trace sur les images du survol 91, daté du 23 mai 2013... ni dans celles du survol 93, daté du 26 juillet 2013. Pour l'instant, les astronomes ne savent pas exactement ce que c'était. *"Peut-être des vagues créées par le réchauffement de l'atmosphère titanesque; des bulles remontées à la surface à la faveur d'une perturbation thermique ou encore des solides peu denses qui se sont installés en suspension"*, énumère l'astronome. Une chose est sûre, cette île est le premier phénomène dynamique observé à la surface du satellite. Et peut-être la première

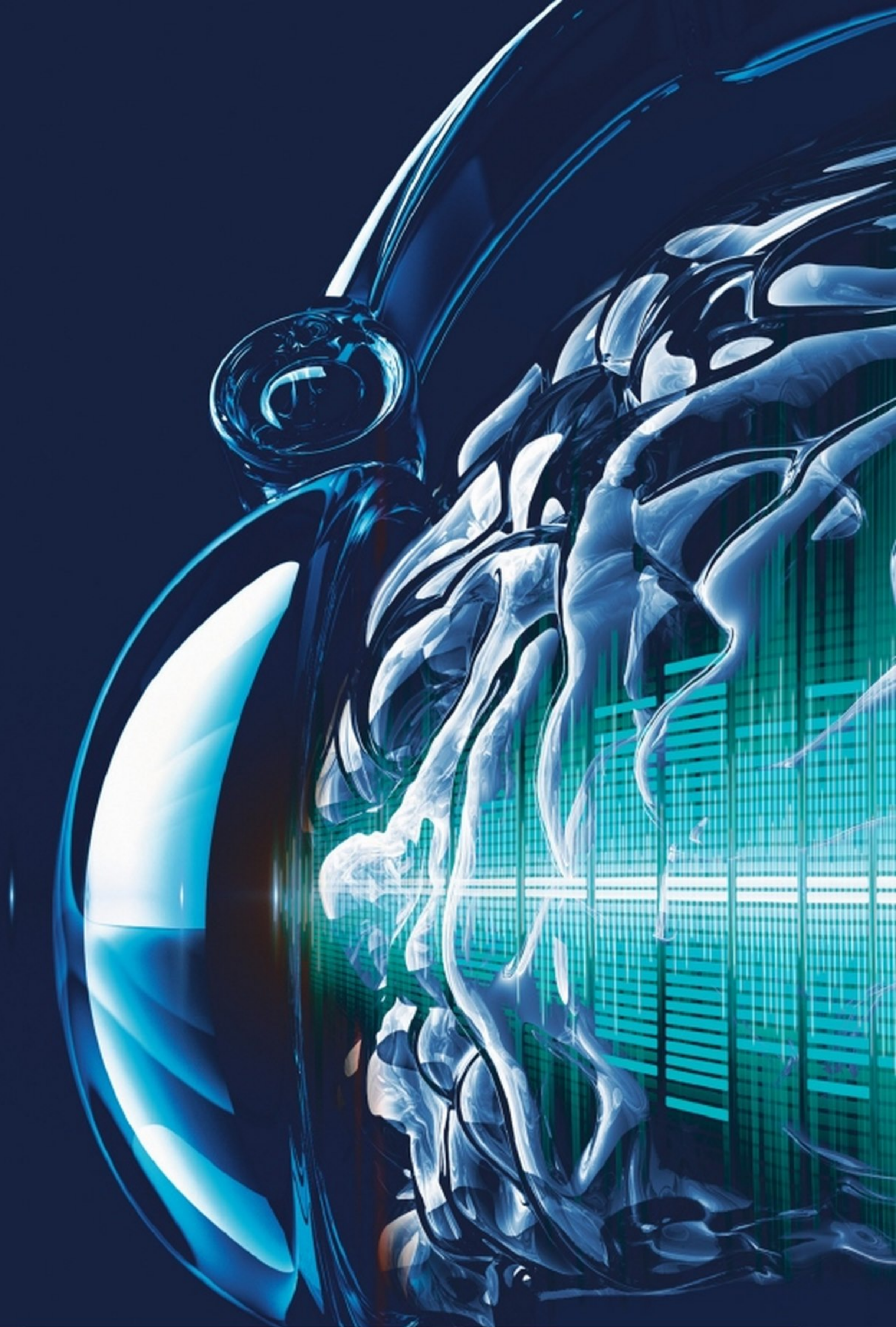
Une île apparaît sur Titan



preuve d'un processus que les astronomes tentent d'observer depuis longtemps. *"Titan est le seul objet, avec la Terre, à avoir du liquide en surface, rappelle Daniel Cordier, spécialiste du sujet à l'Observatoire de Besançon. Il est très probable que ce satellite soit rythmé par un cycle saisonnier qui donne naissance à des phénomènes thermiques. Et l'été approche dans l'hémisphère Nord, l'équinoxe aura lieu en 2017!"* Déjà, le radar de *Cassini* est en train de passer la région au crible en quête d'une nouvelle île éphémère...



S'il est une expérience largement partagée – et même par certains animaux –, c'est bien le plaisir de battre la cadence. Or, des travaux récents montrent que le sens du rythme trouverait son origine dans le fonctionnement même du cerveau. Au point que synchroniser des neurones améliore les capacités cognitives !



Sens du rythme

Il dope nos capacités

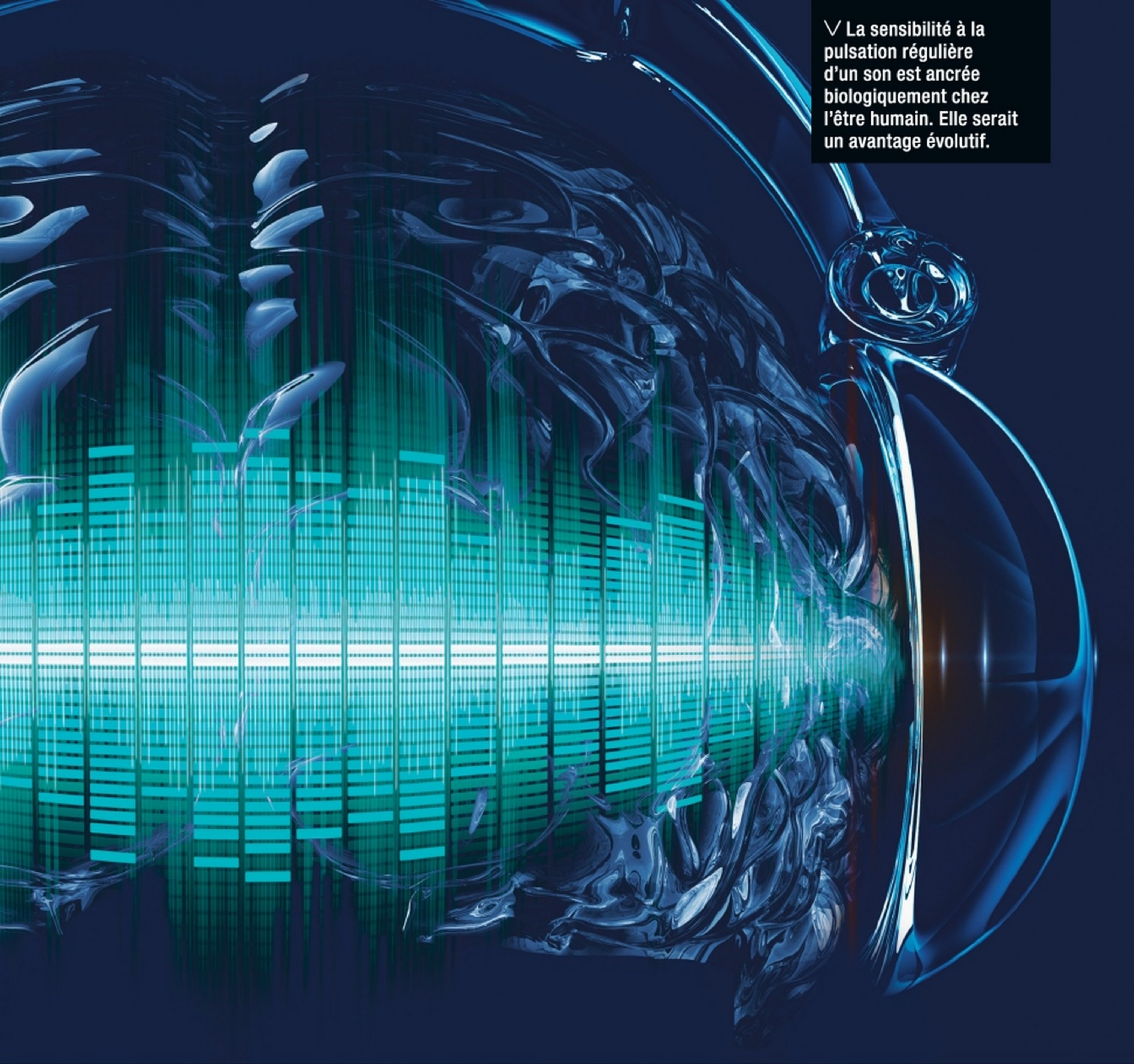
Ce sont des petits gestes banals. Un peu absurdes même. Des mouvements presque automatiques, voire moutonniers, que l'on réprime parfois ou que l'on exhibe. Mais auxquels on n'échappe pas, que l'on soit en Amérique ou au fin fond de

la Papouasie. Quels gestes ? Ici un hochement de tête, là un pied qui tambourine, ailleurs des doigts qui claquent ou carrément des mains qui battent... pourvu qu'il y ait de la musique.

Car c'est automatique : dès que l'occasion se présente, nous suivons le *tempo*,

mouvements à l'appui. Et cela depuis notre plus petite enfance. Encore incapable de marcher, le bébé agite déjà le haut du corps en rythme.

Des expériences en laboratoire montrent que dès 3 ans, l'enfant parvient à taper du doigt à la cadence du métronome qu'on lui fait écouter.



✓ La sensibilité à la pulsation régulière d'un son est ancrée biologiquement chez l'être humain. Elle serait un avantage évolutif.

cérébrales

Par **Lise Barnéoud**

Le rythme, nous le battons quand bien même nous sommes entourés de milliers de personnes lors d'un concert, ou lorsque nous écoutons la radio tout seuls dans notre voiture. Qu'importe, nous voilà pris par la pulsation.

D'où viennent ces petits gestes irrépessibles? Nul ne

le savait, avant que les scientifiques ne se penchent tout récemment sur la question.

En quelques années, ils ont découvert que le sens du rythme n'a vraiment rien d'anodin: il révèle non seulement un fonctionnement éminemment complexe de notre cerveau, mais aussi une

Repères

A partir d'une stimulation extérieure, nos 5 sens principaux vont déclencher des phénomènes chimiques et neurologiques au niveau de certains organes et du système nerveux central. Si le sens du rythme ne fait appel à aucun organe particulier (il repose sur ceux de l'audition), il produit une modification des ondes cérébrales, ce qui en fait une modalité de nos capacités perceptives.

→ histoire fascinante de notre évolution. Pour certains spécialistes, il apparaît même aujourd'hui si profondément ancré dans notre biologie qu'il aurait conféré un avantage décisif aux espèces qui le possèdent, et notamment à la nôtre.

La sensibilité à la pulsation régulière d'un son a d'abord été, il y a quelques années, rattachée à un talent relativement rare dans le monde animal : celui d'imiter les différentes tonalités et inflexions des vocalisations des congénères de la même espèce.

Un don que seuls possèdent quelques groupes d'oiseaux, les éléphants, certains cétacés, les chauves-souris et... les êtres humains. Telle était, en 2009, la conclusion de chercheurs de l'Institut de neurosciences de San Diego, dans une étude consacrée au perroquet Snowball.

Snowball ? Dans une vidéo postée sur Youtube en 2007, on voit ce perroquet danser, bouger la tête et lever la patte en rythme sur une chanson des Backstreet Boys (un groupe pop américain des années 1990).

Intrigués, les neuroscientifiques de San Diego avaient

> LE SENS DU RYTHME A D'ABORD ÉTÉ ATTRIBUÉ AUX ESPÈCES VOCALISANT...
Le perroquet Snowball est devenu célèbre car il danse en remuant en rythme ses pattes et sa tête sur une chanson pop. Pour certains chercheurs, sens du rythme et aptitudes vocales sont liés.

pris contact avec le propriétaire du volatile et apporté la preuve qu'il était bien doté d'un véritable sens du rythme... tout en proposant que seules les espèces capables de vocalisation complexe, comme le perroquet, pouvaient s'en prévaloir.

UN PROTO-LANGAGE MUSICAL

Leur argument ? Les espèces dotées de talents vocaux sont équipées de structures cérébrales très développées, activées lors des tâches de synchronisation rythmique... Et donc, *a priori*, indispensables pour battre la mesure.

Autrement dit : sens du rythme et aptitudes vocales seraient liés. Un lien que certains chercheurs n'hésitent pas à pointer aussi chez l'homme pour appuyer l'hypothèse selon laquelle le sens du rythme

Un rythme de prédilection ?

Selon le neuropsychologue japonais Makoto Iwanaga, l'homme aurait une préférence naturelle pour un rythme d'environ 70 battements par minute (bpm), ce qui correspond peu ou prou à notre fréquence cardiaque au repos. Dans les années 1990, le chercheur a fait écouter toutes sortes de musique à des volontaires, dotés d'une commande leur permettant d'accélérer ou de ralentir la cadence. Il a alors constaté que la plupart ajustaient le *tempo* à la fréquence de leurs pulsations cardiaques. Voilà qui expliquerait pourquoi une musique avec un rythme de 70 bpm produirait une sensation de détente. Mais pas seulement : plusieurs études montrent que cette cadence nous conduit aussi à rester plus longtemps à table et à boire davantage !



DR



Faits & chiffres

Dès 3 ans, l'enfant parvient à taper du doigt en **rythme**, à quelques **dizaines de millisecondes** près de la cadence. Et si ce rythme change, il s'adapte au bout de **3 ou 4 mesures**. A condition toutefois de rester dans une fourchette de **67 à 200 battements** par minute, soit le spectre de **notre rythme cardiaque** au repos jusqu'à l'effort intense.

aurait pu émerger des premiers pas évolutifs du langage.

“Les modifications cérébrales engendrées par l'évolution des capacités de vocalisation auraient permis, de façon secondaire, l'émergence du sens du rythme”, propose ainsi Aniruddh Patel, chercheur en psychologie à l'université de Tufts, dans le Massachusetts (Etats-Unis).

Mais d'autres spécialistes vont aujourd'hui plus loin, qui envisagent le sens du rythme non plus comme un effet collatéral et secondaire de l'évolution des capacités de vocalisation, mais carrément comme une étape indispensable de l'apparition du langage.

“C'est à travers les variations de rythmes, de tonalités et du timbre de la voix que nos ancêtres parvenaient à communiquer leurs émotions, estime ainsi Steven Mithen, archéologue et paléontologue à l'université de Reading, en Angleterre. C'est ce type de vocalisations, ce proto-langage musical, qui a donné naissance au langage. Ces éléments, même s'ils ont été éclipsés par le langage, restent profondément ancrés dans notre cerveau.”

Ainsi, l'impossibilité chronique de se parler en boîte de nuit – décibels obligent – ne serait qu'un retour aux sources : la danse remplaçant

la parole, réhabilitant le sens du rythme dans son rôle fondamental... Ou plutôt, dans l'un de ses rôles fondamentaux.

Car l'importance de la sensibilité aux pulsations sonores a pris une dimension nouvelle à la suite de deux expériences menées ces tout derniers mois.

La première, encore non publiée, est édifiante : Kuni, une femelle bonobo d'un zoo du Connecticut, aux Etats-Unis, frappant sur des tambours, parvient à suivre la cadence des battements qu'on lui fait écouter plus de 80 fois sur

Nos ancêtres communiquaient leurs émotions via des vocalisations rythmées

100 ; et elle peut changer de *tempo* selon le rythme imposé par l'expérimentateur.

La seconde expérience a été menée au printemps 2013 par Peter Cook, un jeune chercheur californien, avec une otarie. Entraîné – et encouragé avec force poissons –, Ronan dodeline de la tête en rythme, au son du métronome... ou bien de chansons des Backstreet Boys, encore eux.

En quoi Kuni et Ronan changent-ils la donne ? Tout simplement en ce qu'ils sont

> ... IL EXISTERAIT AUSSI CHEZ D'AUTRES ESPÈCES
C'est le cas de Ronan, une otarie qui secoue la tête au rythme d'une chanson ou d'un métronome. Cette aptitude serait commune à la plupart des animaux, selon le chercheur californien qui l'étudie.

incapables de vocaliser. Le sens du rythme ne se limite donc pas aux espèces douées pour la vocalisation.

L'un des chercheurs qui étudie Kuni y voit même l'indice d'une aptitude qui serait en fait commune :

“Il est très probable que la plupart des animaux partagent le sens du rythme”, pronostique-t-il. *“D'autres preuves sont encore*

nécessaires, mais je pense que cette capacité à suivre un rythme existe chez la plupart des mammifères et même des oiseaux”, renchérit Peter Cook, qui continue d'étudier Ronan, notamment avec des techniques d'imagerie cérébrale.

Si ces chercheurs voient juste, voilà qui donnerait raison, 150 ans plus tard, à... Charles Darwin, qui écrivait, dès 1871, dans *La Descentance de l'homme et la sélection sexuelle*, que “la perception des cadences

→ *musicales et du rythme est probablement commune à tous les animaux*”.

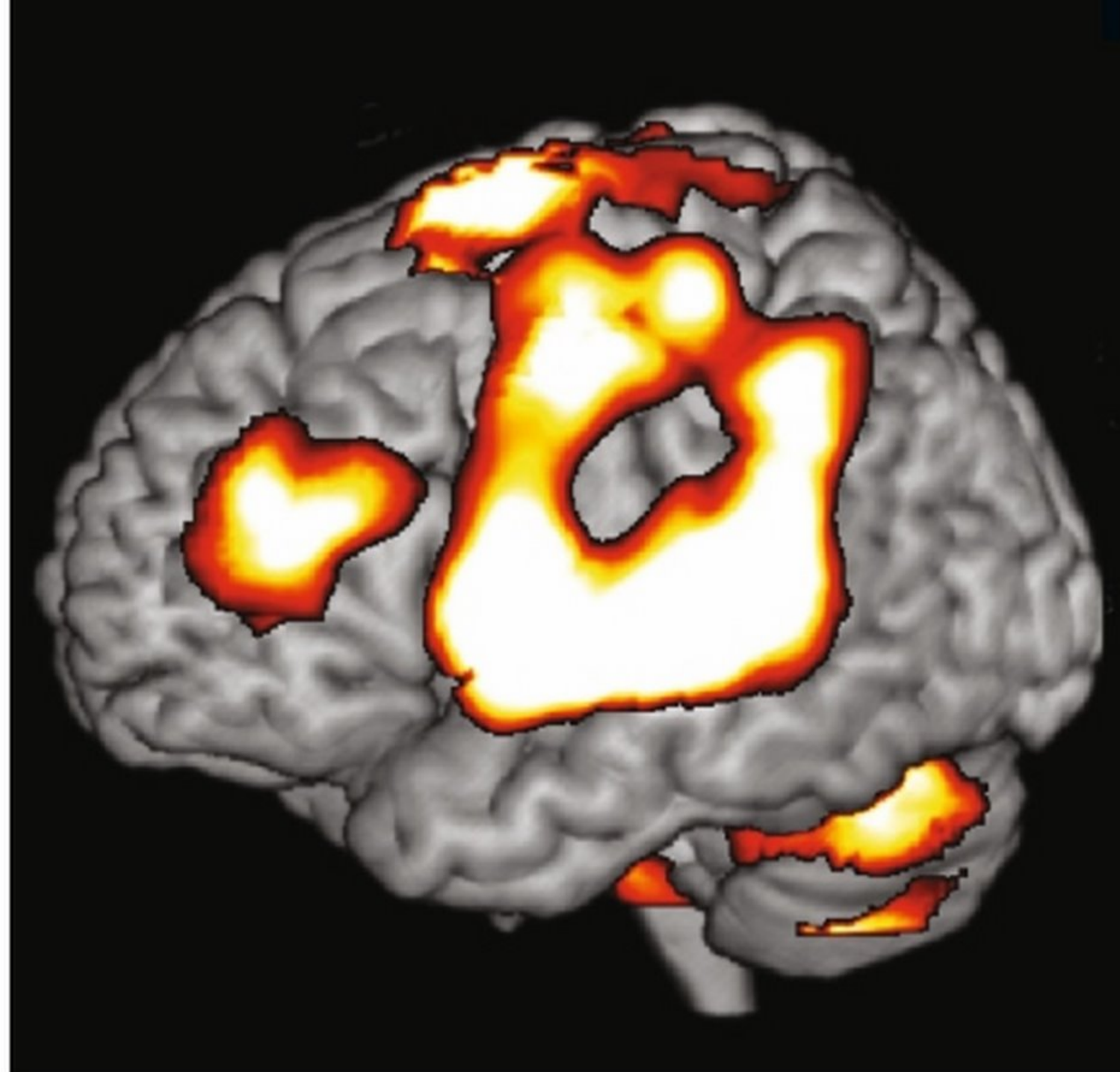
Pour l'heure, il ne s'agit que d'une hypothèse, qui demandera du temps avant d'être prouvée ou infirmée.

Car les conditions requises pour étudier le sens du rythme chez l'animal sont rarement réunies : les animaux testés doivent faire preuve d'une motricité fine, l'expérimentateur doit s'assurer qu'ils ne l'imitent pas mais adaptent leurs mouvements aux seuls rythmes sonores qu'ils entendent...

Reste un mystère : si le sens du rythme est largement ré-

se. Et la possibilité que le sens du rythme soit abondamment partagé dans la nature va dans le sens des dernières découvertes : pour les neuroscientifiques, cette aptitude très particulière pourrait bel et bien trouver son origine dans le fonctionnement même du cerveau, commun à tous les animaux.

De fait, la communication entre neurones est basée sur le rythme et la synchronisation. A preuve, la mesure de l'activité électrique d'un cerveau : elle laisse notamment apparaître des ondes électriques résultant de l'activité simul-



^ PLUSIEURS AIRES CÉRÉBRALES MOBILISÉES

La perception du rythme nécessite l'activation de nombreuses régions du cerveau impliquées, notamment, dans le contrôle du mouvement et la perception du temps (cortex moteur, cervelet...) ou les émotions (ganglions de la base...).

que ces oscillations spontanées des neurones s'alignent sur le rythme d'un stimulus extérieur sonore”, rapporte Nicolas Escoffier, du département de psychologie de l'université de Singapour.

Ainsi, des tests menés sur des volontaires montrent que, à l'écoute des fameux Backstreet Boys, avec leur rythme à environ 130 battements par minute, soit 2 battements par seconde – l'équivalent de notre fréquence cardiaque durant un jogging –, les ondes alpha se réorganisent dans le cerveau afin de placer le *tempo* systématiquement au même endroit, en l'occurrence dans les creux des ondes, toutes les 5 oscillations. *Idem* en ce

Jusqu'à la communication entre neurones qui fait appel au rythme et à la synchronisation

pandu dans le règne animal, et qu'il n'a pas pour rôle unique de servir d'assise aux capacités vocales et langagières... pourquoi l'évolution aurait-elle doté un large éventail d'espèces de cette subtile capacité à percevoir un *tempo*, et à synchroniser son corps avec lui?

De récents travaux en neurosciences esquissent une répon-

tanée d'un grand nombre de neurones. Les ondes dites “alpha” battent à dix oscillations par seconde. D'autres sont plus lentes (delta et thêta) ou plus rapides (bêta et gamma).

Or, toutes sont susceptibles de s'accorder à une pulsation sonore!

“Les expériences récentes en neuro-imagerie montrent

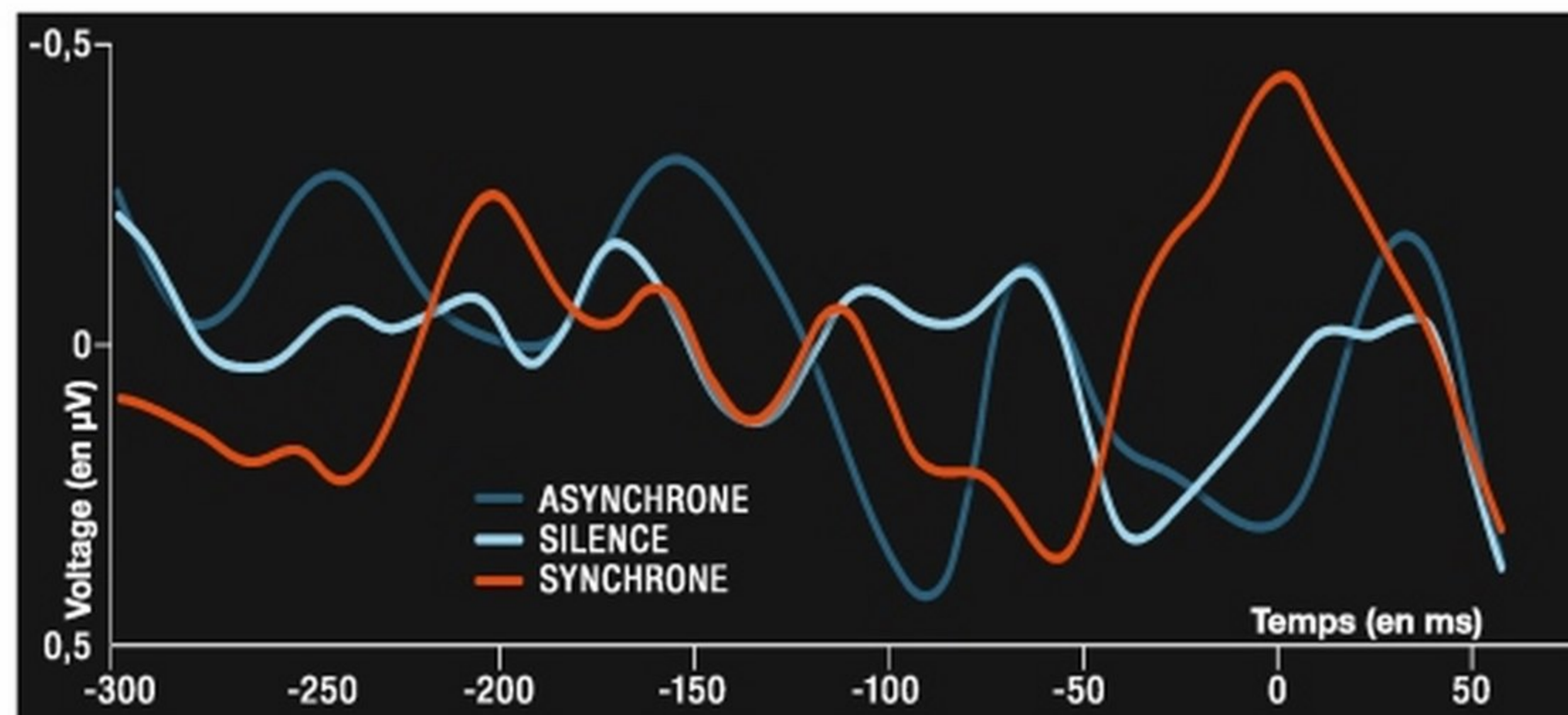
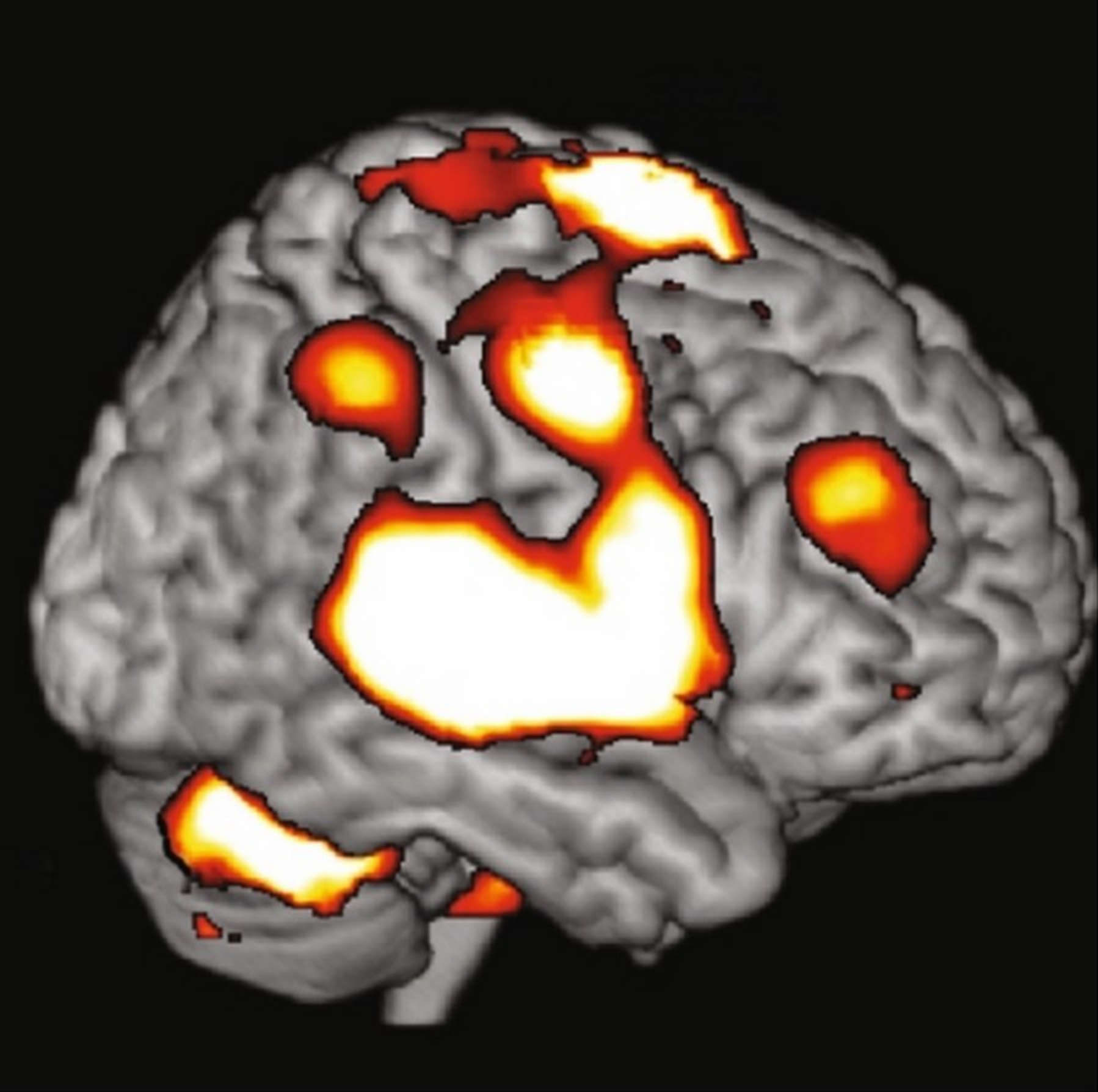
L'amusie, ou l'incapacité à comprendre la musique

Entre 3 et 5 % de la population, voire plus, sont frappés “d'amusie” (1), soit une incapacité à fredonner des airs connus et à déceler les fausses notes. Ernesto Guevara, par exemple, ne reconnaissait pas l'hymne de son pays sans les paroles! Un handicap présent dès la naissance ou qui peut survenir à la suite de lésions dans le cerveau. C'est ce qui a permis de distinguer des struc-

tures *a priori* indispensables au “sens de la musique” : le cervelet, les ganglions de la base et l'aire motrice supplémentaire du cortex. Deux “modules” permettraient de comprendre la musique : l'un dédié à la hauteur des sons et l'autre au rythme. En effet, après une lésion dans le cortex auditif primaire, des personnes ne décèlent plus les mélodies, mais conservent le sens du rythme. *A contrario*, sans acci-

dent, certaines parviennent à reconnaître un air mais sont incapables de taper des mains suivant le *tempo*. Des troubles très spécifiques : les sujets perçoivent bien les sons et les voix et n'ont aucun problème de langage. En outre, ils ne s'expliquent pas par un défaut de l'ouïe ni par un manque d'exposition à la musique.

(1) Pour tester son amusie éventuelle : www.brams.org/test-en-ligne/



^ UN RYTHME SONORE FIXE DÉVELOPPE LA CONCENTRATION

Le cerveau humain, confronté à un *stimulus* visuel présenté à une fréquence fixe et au son d'un métronome, réagit, au bout de 300 ms, plus fortement quand *stimulus* visuel et son "battent" au même rythme que lorsqu'ils sont asynchrones ou que le son est supprimé.

qui concerne les ondes bêta : elles calent ce *tempo* automatiquement sur leurs pics, toutes les 10 oscillations. "Ces réorganisations de l'activité neuronale s'observent quelques secondes après le début des morceaux dans les aires auditives et visuelles du cerveau, liées à l'attention", précise le chercheur.

LE RYTHME EST TRANSMIS AUX NEURONES MOTEURS

Reste à comprendre le passage de la perception au mouvement, du rythme sonore détecté aux doigts qui piaotent, à la tête qui bouge en cadence...

Ces dernières années, plusieurs équipes de neuroscientifiques ont montré que la synchronisation des ondes alpha et bêta des neurones des zones auditives se transmettait ensuite aux neurones des zones motrices.

C'est ce qu'on appelle la synchronisation neuronale : pour coupler les différentes informations d'une aire cérébrale à une autre, un groupe de neurones peut se mettre transitoirement en phase avec un autre. Ce qui permet d'avoir une perception cohérente et unifiée de son en-

vironnement. "Le rythme serait ainsi capturé par l'activité spontanée des neurones des zones auditives, puis serait transmis par synchronisation aux neurones moteurs, résume Nicolas Escoffier. Les détails de leurs activités ne sont pas connus, mais on sait que la stimulation de certains neurones de ces régions peut démarrer des séquences de mouvements complexes, comme l'extension d'un membre. La stimulation de ces neurones par ceux synchronisés avec les activités auditives pourrait donc produire des mouvements en cadence."

Ce n'est pas tout. Car d'autres neurones pourraient "bénéficier" de cette synchronisation en rythme. "Nous avons démontré que lorsque les neurones de la zone frontale impliqués dans l'attention se synchronisent avec un rythme extérieur, cela améliore les capacités cognitives", poursuit Nicolas Escoffier.

Concrètement, les sujets détectent beaucoup plus rapidement des photographies de maison ou de visage mises à l'envers lorsqu'elles sont présentées accompagnées d'un rythme sonore fixe, plutôt qu'en dehors de ce rythme ou

sans aucun rythme (graphique ci-dessus). Un peu comme un stroboscope permet de mieux décomposer un mouvement...

De quoi plaider pour l'existence d'un avantage générique du sens du rythme, en termes de sélection naturelle. Un avantage certes essentiel au langage, mais non limité à lui.

Dans la foulée, certains font l'hypothèse que le sens du rythme aurait permis à nos ancêtres de chanter, danser ou marcher ensemble, améliorant de ce fait la cohésion et la coopération au sein des groupes, et donc leur survie.

Autant d'activités qui augmentent également la production d'endorphine, une hormone qui procure une sensation de bien-être.

Sans compter que la danse aurait pu servir d'instrument de séduction, et faire l'objet d'une sélection sexuelle.

Bref, la prochaine fois que vous vous surprenez à taper du pied en rythme, dites-vous que ce geste anodin vient de loin.

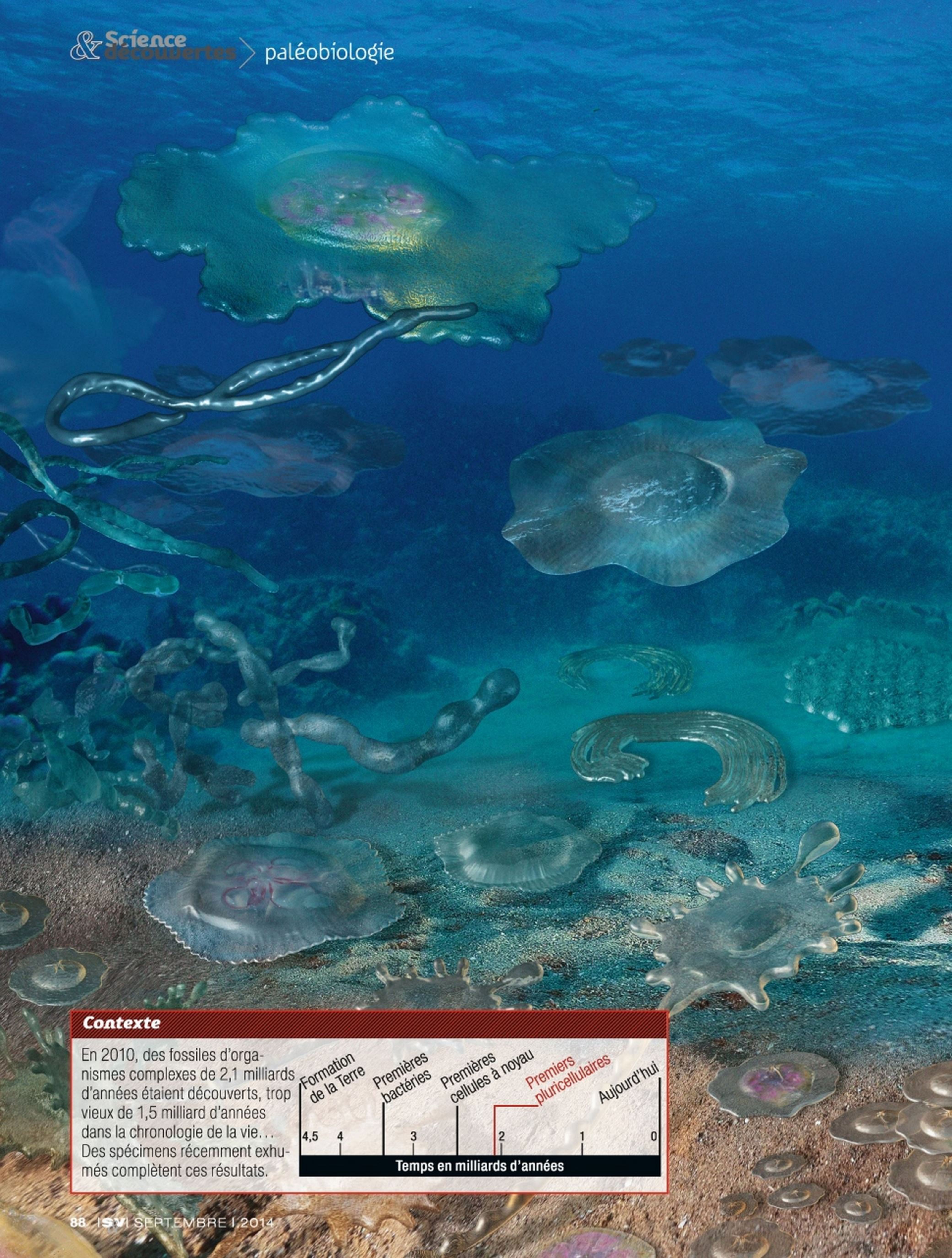
Que perroquets, otaries et grands singes s'en délectent aussi. Et qu'il pourrait s'agir d'un précieux héritage de nos ancêtres.

A voir : les vidéos du perroquet Snowball et de l'otarie Ronan.

A consulter : les articles scientifiques montrant la synchronisation du cerveau avec la musique.

★ EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com



Contexte

En 2010, des fossiles d'organismes complexes de 2,1 milliards d'années étaient découverts, trop vieux de 1,5 milliard d'années dans la chronologie de la vie... Des spécimens récemment exhumés complètent ces résultats.





Il y a 2,1 milliards d'années
sous les mers

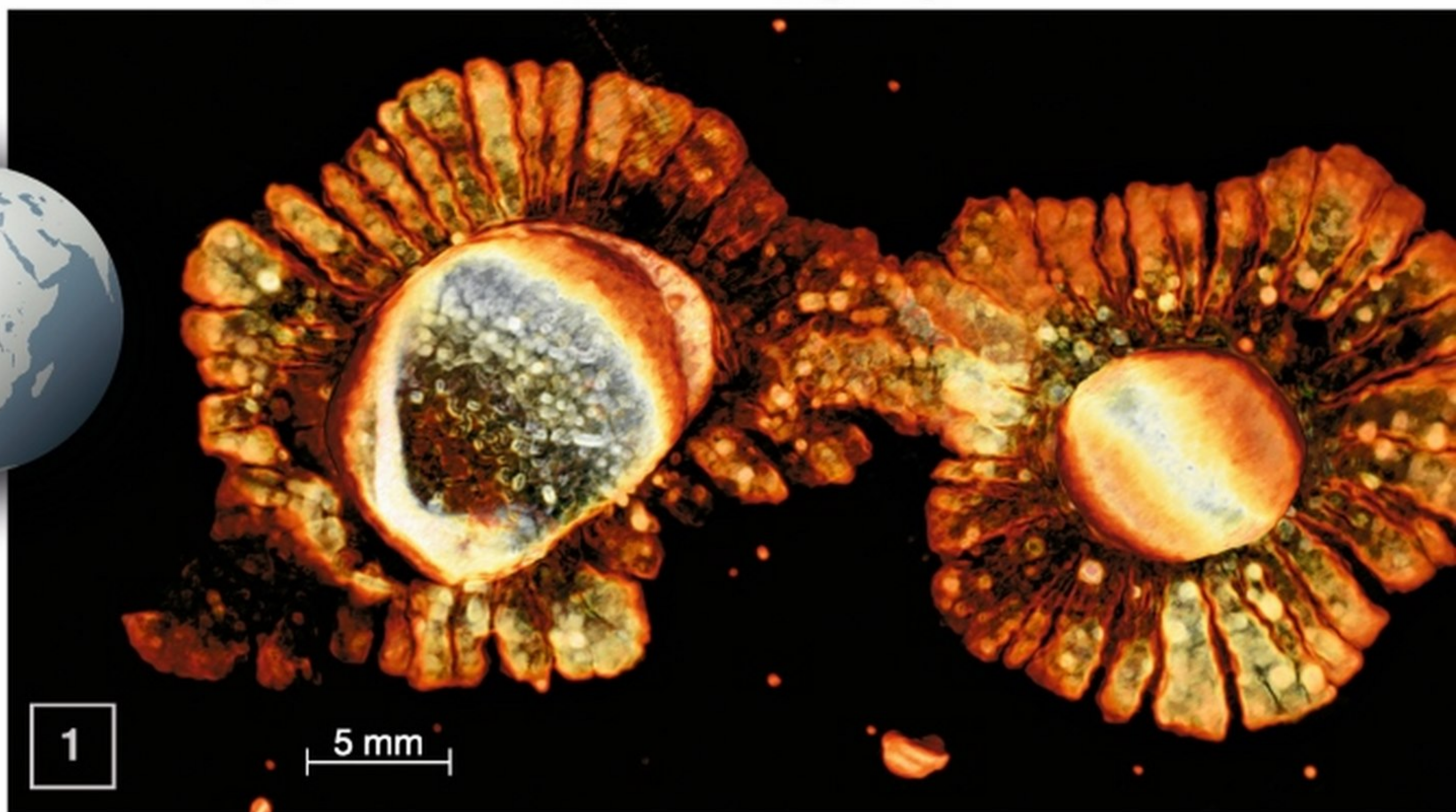
La vie foisonnait déjà !

Découverts par hasard dans une carrière gabonaise, des fossiles inconnus sont en train de bouleverser l'histoire du vivant : du haut de leurs 2,1 milliards d'années et de leur incroyable diversité, ils sont les témoins du premier écosystème ! Plongée dans un monde disparu insoupçonné...

Par **Emilie Rauscher**



L'anatomie des fossiles Gabonionta révélée par la microtomographie



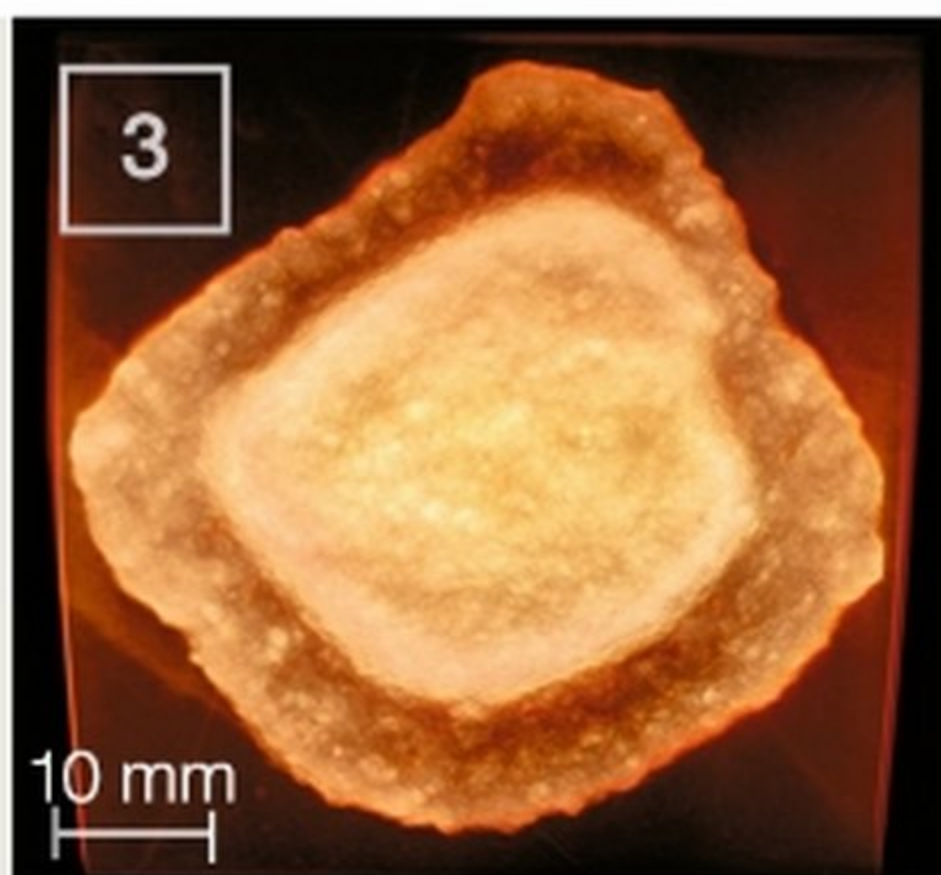
C'est le plus vieux "bestiaire" connu, le plus ancien écosystème jamais découvert... et le plus étrange aussi. Avec ses improbables créatures médusoïdes de 2,1 milliards d'années peuplant des eaux à l'ambiance quasi tropicale, il ne devrait simplement pas exister si l'on se fie aux diverses chronologies des premiers pas de la vie établies il y a encore seulement quatre ans.

PLUS DE 500 SPÉCIMENS...

La vie, pensait-on, c'était alors de simples bactéries, à peine concurrencées par quelques cellules plus complexes – mais rien d'aussi grands, rien de pluricellulaires. Et pourtant... les créatures sont là, entre les mains d'Abderrazak El Albani, de l'université de Poitiers, qui n'en revient toujours pas entièrement. "Quand on travaille sur ce genre de sujet, on se bat contre des dogmes et le conformisme. Il est très

Formé d'un large flotteur aplati

et d'une mince collerette lisse, ce spécimen granuleux frôle les 6 cm.



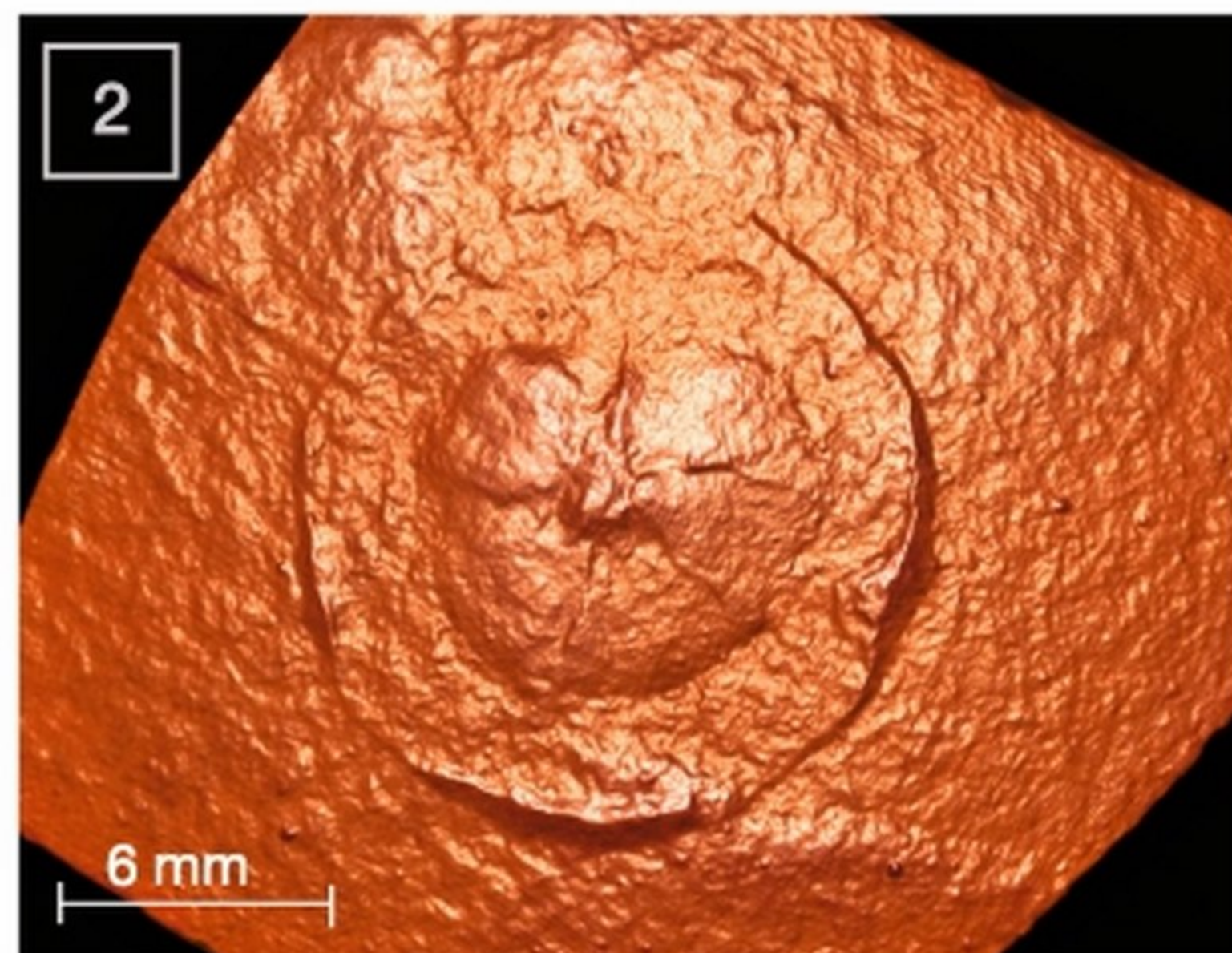
difficile de sortir des sentiers battus et des schémas classiques bien établis, a réalisé le sédimentologue et biogéochimiste. Alors soit on est passionné et on y va à fond, soit on n'y va pas..." Lui a décidé d'y aller. Depuis six ans et sa découverte quasi fortuite au Gabon d'un petit fossile en forme d'"oreille" dessiné par des paillettes de pyrite dorées sur du schiste argileux noir, il n'a pas arrêté. Si bien qu'après une première étude assez marquante pour obtenir la couverture de la revue scientifique *Nature*, le chercheur récidive: "En 2010, nous avons présenté notre découverte et



Rappelant un spermatozoïde,

mais long de 15 cm, ce fossile combine une "tête" et une "queue" enflées mais allongées et rectilignes.

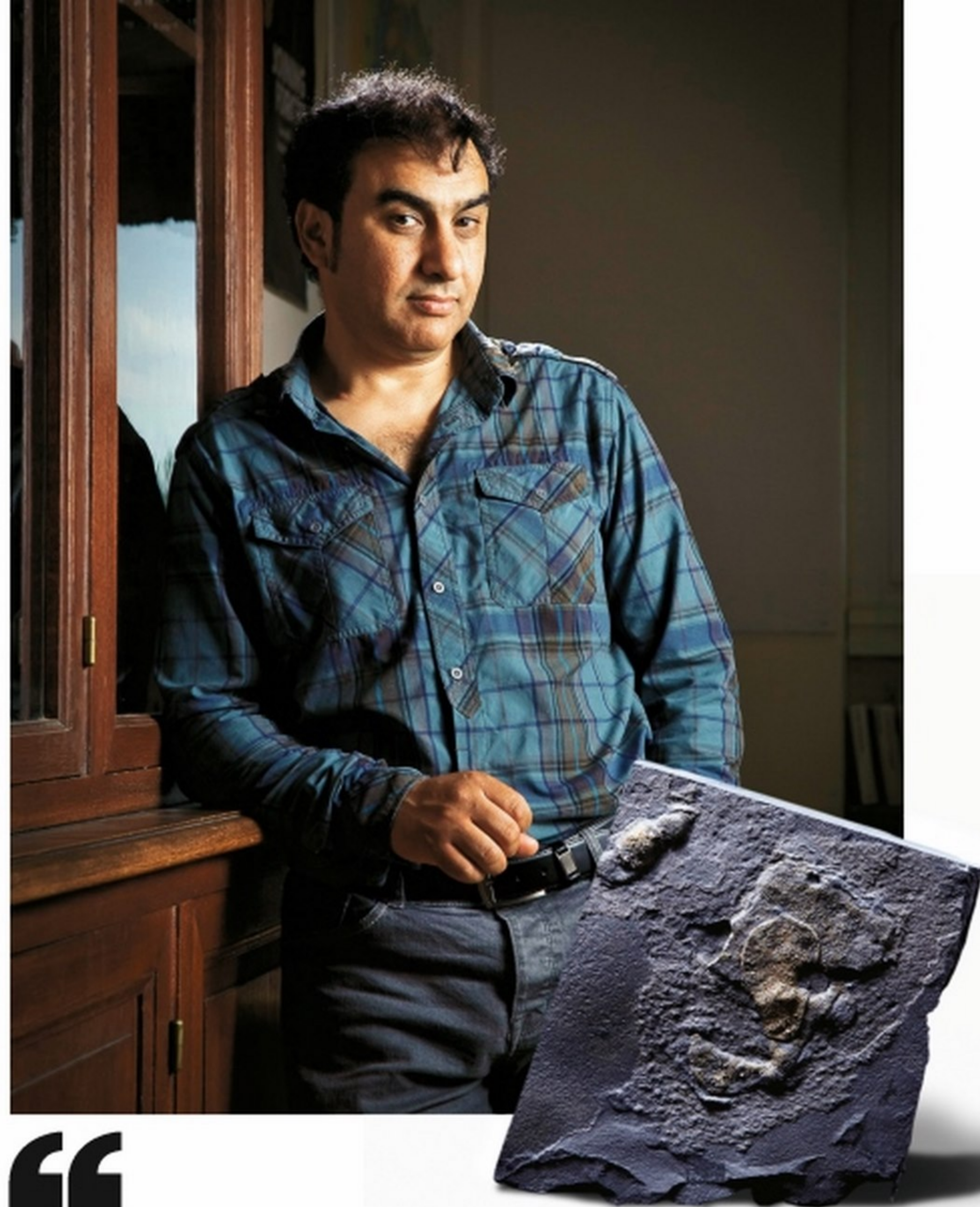
Les organismes emblématiques des Gabonionta, dévoilés dès 2010 : des spécimens arrondis, avec une large collerette périphérique striée et un "flotteur" central. Ils sont parmi les plus nombreux des spécimens gabonais (plus de 20 % des fossiles répertoriés aujourd'hui), et se retrouvent à tous les niveaux de fouille du site. Leur taille va de 2 à 6 cm.



Un disque surmonté d'un dôme central légèrement bombé, strié (vestiges d'une segmentation ?) et cerclé d'une bordure bien marquée : voilà les traits distinctifs de ce Gabonionta. Peu pyritisé, il atteint 4 cm de diamètre et peut se trouver à proximité d'autres formes, telles les "nids-d'abeilles".

avancé nos arguments quant à son origine biologique et non minérale. Aujourd'hui, nous présentons tout un panel d'organismes pluricellulaires différents... Pour la première fois, nous nous autorisons à parler de biodiversité : car c'est bien tout un écosystème – unique – que l'on met en lumière ! Un monde disparu lors d'une première grande extinction insoupçonnée jusque-là – mais que ses patientes recherches ressuscitent.

Derrière cette annonce fascinante, sept expéditions scientifiques au Gabon dans le bas-



“

ABDERRAZAK EL ALBANI
Sédimentologue et biogéochimiste
à l'université de Poitiers

Pour la première fois, nous parlons de biodiversité : c'est tout un écosystème – unique – que l'on met en lumière !

sin géologique de Franceville où tout a commencé. Avec 342 kg de pierre rapportés, plus de 500 spécimens identifiés et plusieurs centaines déjà analysés.

UN APPEL AUX SPÉCIALISTES

“Et le site est encore riche...”, sourit Abderrazak El Albani, qui se réjouit de la mobilisation gabonaise jusqu'au sommet de l'Etat pour protéger la zone de fouille. Quelques hectares ont déjà été explorés, mais il y a des fossiles sur quelque 45 niveaux superposés soit une épaisseur de 5 m ! Et sur

les strates les plus riches, les scientifiques comptent jusqu'à 50 fossiles par mètre carré, qui plus est de types différents. Une diversité totalement inattendue, mais que le sédimentologue, prudent, s'était bien gardé d'annoncer avant d'en savoir plus... *“Il y avait tant de questions et de doutes, légitimes, que nous avons voulu apporter les réponses les plus propres possibles. Alors il nous fallait des faits, des protocoles d'études et des résultats solides”*, souligne-t-il. Partisan de la pluridisciplinarité, il a donc sans hésiter fait appel à

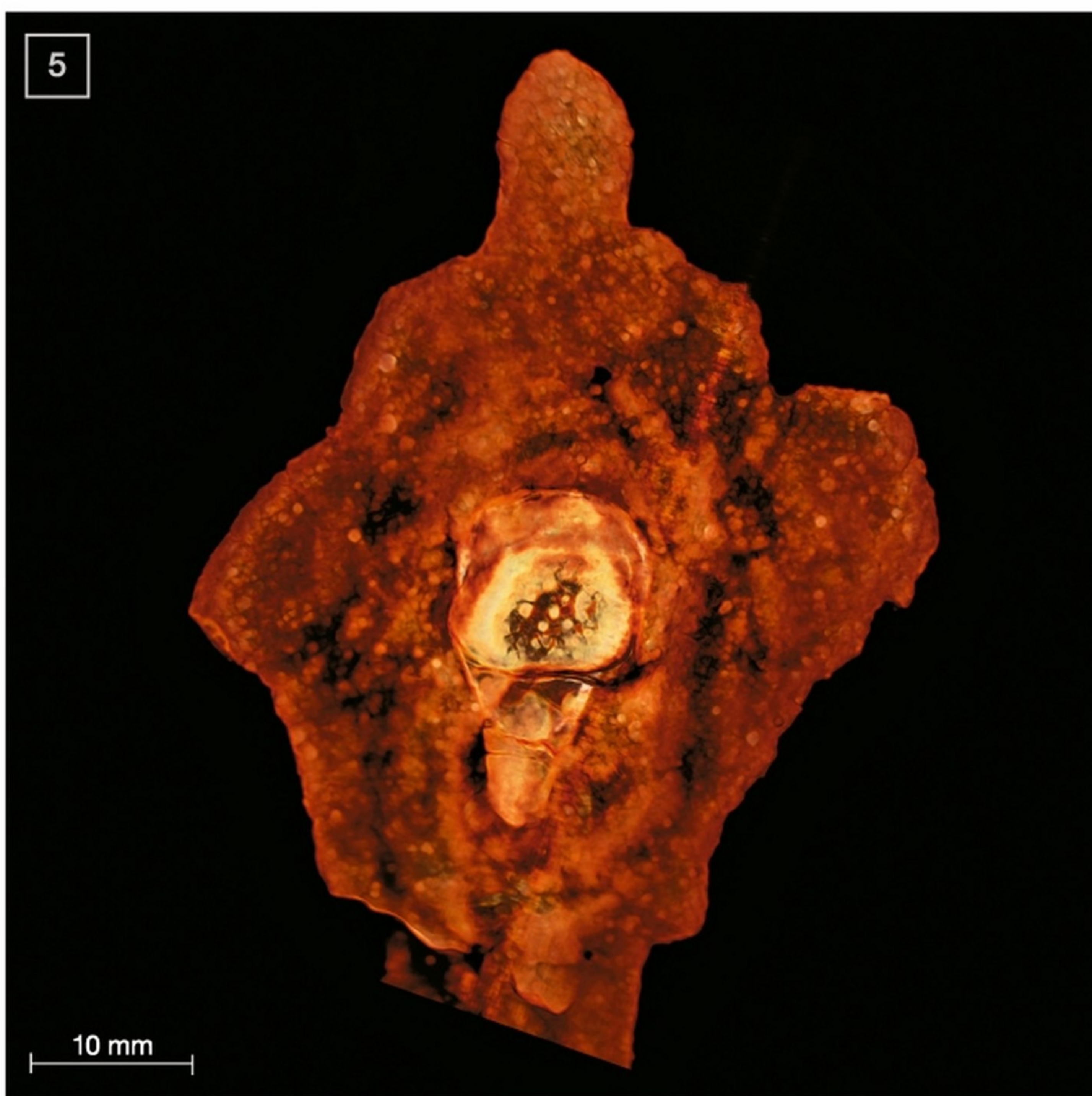
→ tous les spécialistes qui pouvaient lui permettre de mieux comprendre l'environnement de ces improbables fossiles, le pourquoi de leur apparition inattendue comme de leur disparition ou encore de leur parfaite conservation minérale 2 milliards d'années plus tard.

UNE AVALANCHE DE DONNÉES

C'est peu dire que l'équipe n'a pas lésiné sur les moyens... La géochimie par spectrométrie de masse a permis d'établir l'évolution des conditions d'oxygénation du milieu; la minéralogie, le degré de transformation des roches et les températures; la spectroscopie par sonde ionique, l'origine biologique des spécimens collectés et la microscopie, la microtomographie à rayon X couplée à la modélisation 3D leur morphologie, etc.

Une avalanche de données que se sont partagés des experts un peu partout sur la planète, qu'ils soient chimistes, paléontologues, géologues ou biologistes. Un choix plus que bénéfique au vu des réponses qui arrivent, les unes après les autres.

Le scénario de leur origine, déjà, s'est éclairci. *"En fait, c'est une répétition, avant l'heure, du phénomène à l'origine de la faune australienne d'Ediacara il y a 600 millions d'années [première explosion jusqu'ici connue de la biodiversité à la fin du Précambrien, voir encadré p. 94], explique Abderrazak El Albani. Il y a 2,3 milliards d'années, la Terre sort d'une glaciation, le taux d'oxygène dans l'atmosphère monte à 4 % (contre 0,001 % auparavant et 21 % actuellement), ce qui permet le développement d'organismes plus*



complexes... Et la baisse brutale qui suit 300 millions d'années plus tard leur sera sûrement fatale." Leur miraculeuse conservation s'explique également par l'action de bactéries dites sulfatoréductrices: *"A la mort d'un organisme, elles sont capables de transformer rapidement sa matière organique en matière minérale, ici de la pyrite, en donnant ainsi quasiment une photographie 3D naturelle, s'enthousiasme le jeune professeur. Puis il a fallu que les fossiles en formation soient correctement enfouis, qu'il n'y ait pas d'érosion, pas trop d'activité tectonique ni de transformation*

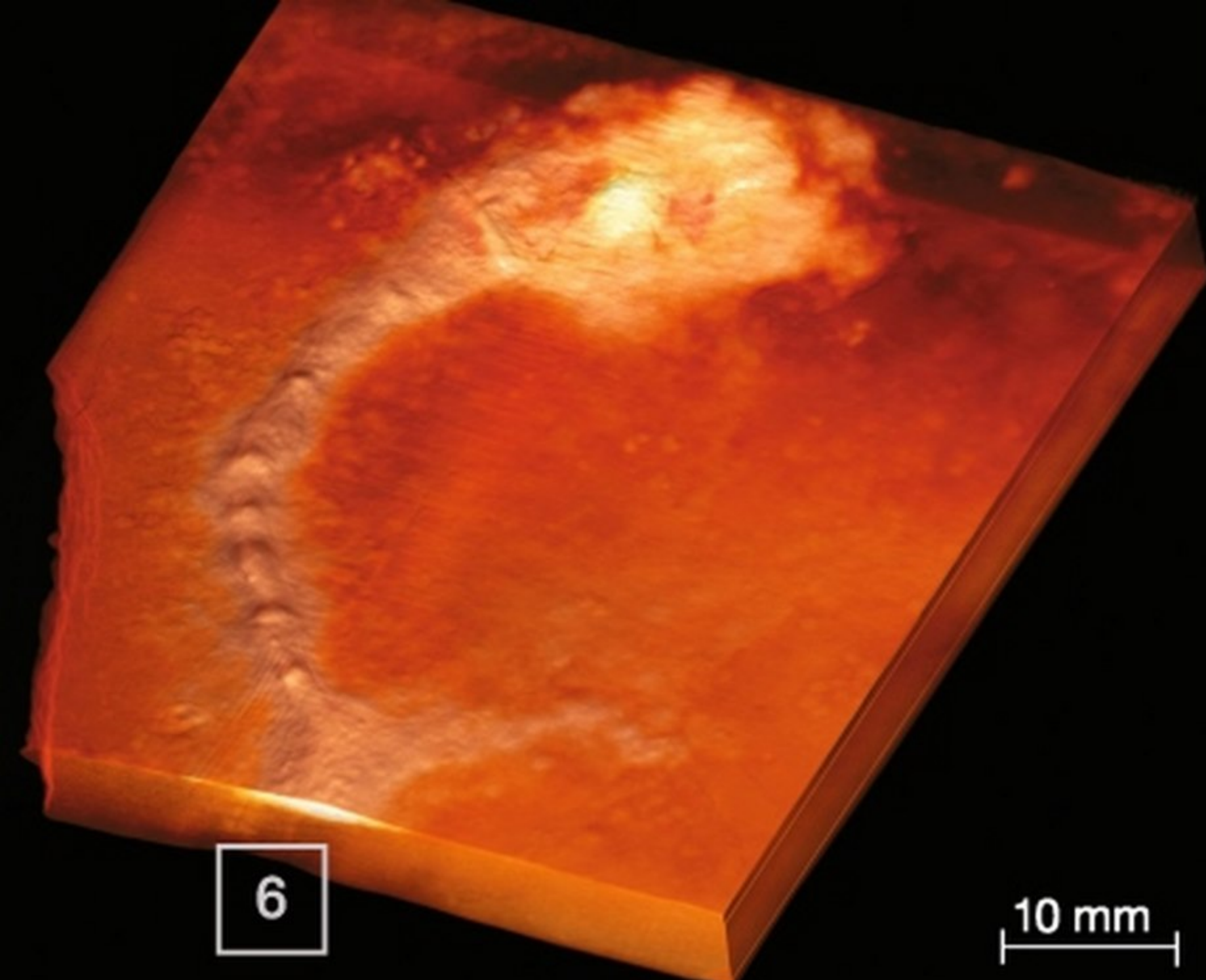
des roches qui les auraient détruits." Et il a fallu enfin un œil capable de les reconnaître pour ce qu'ils étaient, ce qu'ils avaient pu être. Des formes de vie inédites, plus étranges que tout ce qu'on a pu voir jusqu'ici car disparues sans descendance connue depuis des éons. On comprend la détermination prudente des chercheurs à explorer pas à pas cette "jungle" primordiale pour, d'une certaine façon, lui redonner vie dans l'environnement qui devait être le sien au lointain Protérozoïque...

Il faut se représenter un delta ou un estuaire, calme et sans traces d'activités volcanique

Jargon

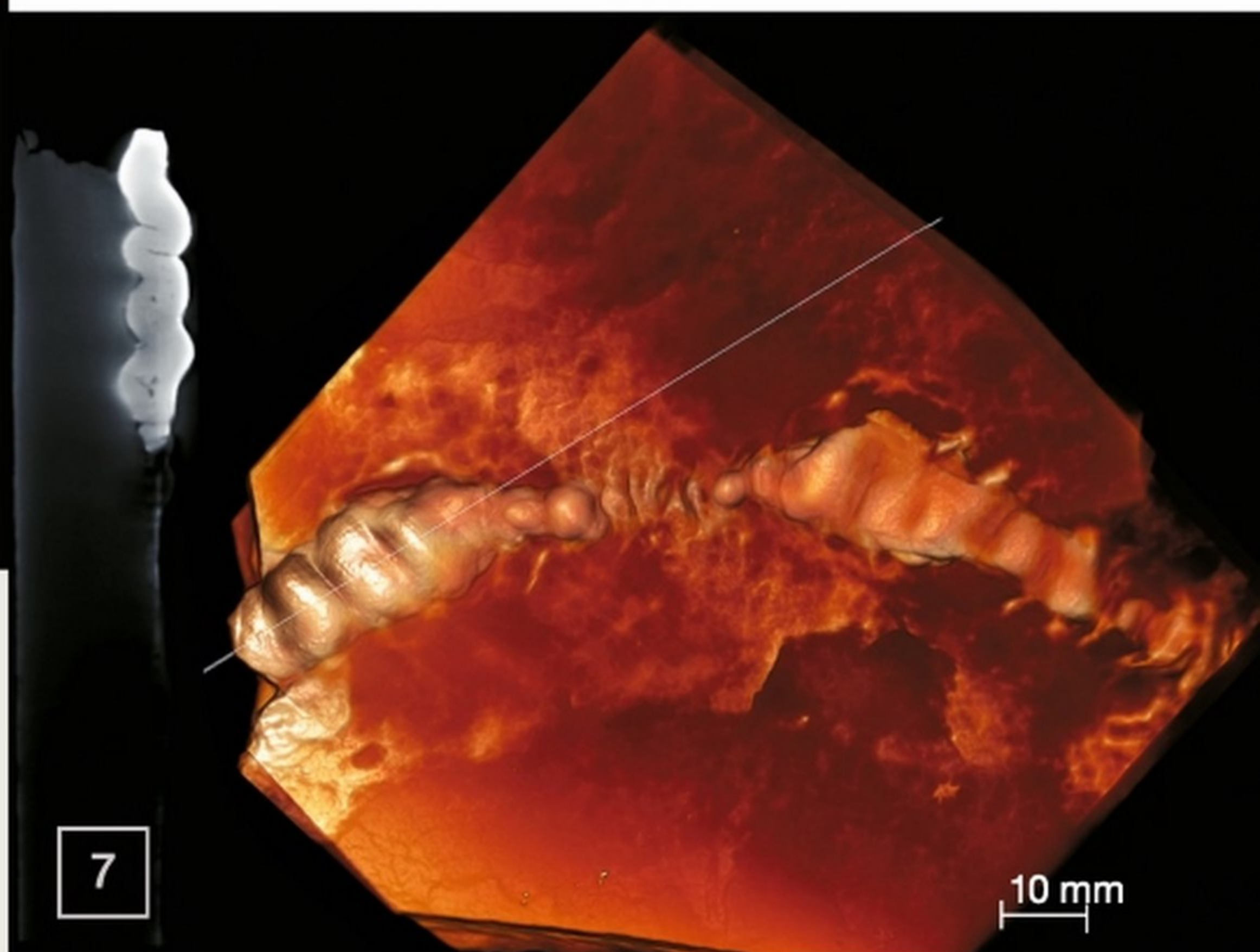
L'horloge moléculaire

permet d'estimer la date de séparation de deux espèces en se fondant sur le nombre de mutations entre leurs ADN. Pour les Gabonionta, le problème est double : leur ADN est perdu et on ne leur connaît aucun descendant.



Trois spécimens peut-être parents ?

Le fossile de gauche (7 cm) présente une collerette périphérique organisée en larges lobes et un "flotteur" central réduit. A droite, à l'inverse, le spécimen (8 cm) est allongé, noduleux. Différentes, ces morphologies se retrouvent pourtant combinées au centre dans un fossile doté d'une "tête" et d'une "queue" (17 cm).



Doté d'une structure en "nid-d'abeilles",

composée de petites sous-unités circulaires connectées les unes aux autres et formant un léger dôme, ce fossile, non tomographié (à gauche), rare, est très spécifique. Il peut atteindre jusqu'à 8 centimètres de circonférence totale.

ou hydrothermale à proximité. L'eau y est assez chaude mais sans excès, possiblement dans les 28 °C, et oxygénée; elle est claire aussi: la lumière y descend jusqu'au fond marin à au moins -40 m, sablonneux par endroits et argileux à d'autres. C'est là que prospéraient les Gabonionta – leur nom officiel, désormais – à la texture sans doute médusaire, molle et gélatineuse et peut-être parfois granuleuse, dont les morphologies diverses indiquent peut-être l'existence de plusieurs "espèces".

Pas moins de 10 types ont déjà pu être repérés (voir infographie en ouverture et les 7 exemples présentés ici et en pages précédentes), et bien d'autres sont à attendre... "Les distinctions que nous faisons entre ces organismes se basent sur des critères morphologiques observés en 2D et en 3D, indique Abderrazak El Albani. Nous pouvons ainsi distinguer des formes à 'fabrique radiale' (sorte de collerette), mono ou polylobées, d'autres

plus ou moins discoïdales ou allongées et plus ou moins fines, sinueuses, noduleuses, symétriques ou asymétriques, pyritisées ou non, etc." Et pour chaque morphologie, des spécimens de différentes tailles ont été découverts – de 1 cm pour les plus petits à plus de 17 pour certains morphotypes, qui devaient être plus grands encore de leur vivant, car non comprimés par la fossilisation; ce qui renvoie à un mode de croissance qui devait donc être à la fois coordonné et organisé.

"TOUT EST À REVOIR, À PENSER"

L'existence de fossiles "hybrides" entre deux morphologies pourtant apparemment distinctes pourrait peut-être suggérer que certains changeaient avec l'âge. Un peu comme le cycle de croissance des méduses actuelles les font passer par des formes extrêmement différentes avant d'atteindre l'âge adulte.

Si la fossilisation n'a *a priori* pas conservé les structures ou organes internes, elle a tout

→ de même préservé la trace de certains cloisonnements et replis : se repèrent ainsi comme des nodosités dans certains spécimens allongés ou dans des "queues", ainsi que ce qui a pu être des "flotteurs" bombés au centre d'autres plus arrondis – suggérant que certains individus pouvaient flotter doucement entre deux eaux, d'autres reposant sur le fond sablonneux. "Nous avons ainsi

donc à revoir, à penser. Ainsi, nous n'avons toujours pas pu trancher s'il s'agissait d'animaux métazoaires ou non... En fait, nous ne sommes pas encore dans la distinction des règnes du vivant que nous connaissons..." Seule certitude : tous les gros spécimens marquants du site sont bien des eucaryotes (dotés de cellules à noyau et membrane, comme les nôtres), qui plus

rait vu des phénomènes purement physico-chimique être à leur origine ; un des meilleurs spécialistes du sujet s'est penché sur les Gabonionta et a lui-même conclu à une origine biologique...

L'équipe internationale poitevine continue donc ses analyses. Après avoir prouvé l'existence d'organismes complexes il y a 2,1 milliards d'années en 2010, et leur organisation en un véritable écosystème en 2014, elle prépare déjà ses prochaines publications. Et elle s'attelle également à l'organisation de ses futures missions...

QUE S'EST-IL PASSÉ APRÈS ?

"Avant d'arriver à un stade aussi sophistiqué, les Gabonionta ont dû avoir des stades intermédiaires, estime Abderrazak El Albani. Un de nos objectifs est donc de trouver des formes un peu moins développées, moins évoluées... Et aussi de voir ce qu'il y a après leur extinction : que s'est-il passé ? Nous n'avons encore rien trouvé ni au-dessus ni en dessous, stratigraphiquement parlant, pouvant nous éclairer sur le devenir ou l'apparition de cette biodiversité. Ici, les terrains ne sont pas faciles d'accès et ailleurs sur la planète ceux du même âge ne sont généralement pas si bien conservés... Mais on tente, il y a toujours l'espoir de trouver !"

Faune d'Ediacara, l'ex-plus ancienne biodiversité...

Découverts il y a 150 ans dans les collines Ediacara (Australie) puis sur toute la planète, ces organismes pluricellulaires vieux de quelque 600 millions d'années constituaient jusqu'ici la plus vieille faune complexe connue... Apparue à la suite d'une hausse de la teneur en oxygène de l'atmosphère (à 16 %), elle possède un incroyable panel de formes de vie très différentes de ce qui était alors connu. Cul de sac évolutif ? Organismes ayant une descendance actuelle ? Pour de nombreux fossiles, difficile de trancher même si certains évoquent des vers, des mollusques, etc. Concernant un lien évolutif avec Gabonionta, si quelques formes gabonaises discoïdes ou noduleuses font penser à cette autre faune, aucun lien n'est actuellement établi.

des informations sur leur mode de vie, leur croissance... mais nous ne sommes pas prétentieux à vouloir aller plus loin dans nos interprétations – pas à ce stade de notre compréhension", ajoute le sédimentologue qui compte encore quelques atouts non publiés dans sa manche de blouse.

Car il y a encore beaucoup à comprendre, à découvrir sur cet écosystème qui ne ressemble à rien de connu : "Nous sommes au-delà de ce que peut nous dire l'horloge moléculaire [voir "Jargon"] sur les débuts de la vie, constate Abderrazak El Albani. Tout est

est, pluricellulaires comme cela avait été annoncé en 2010. La composition et surtout la diversité de formes développées, ainsi que la croissance complexe qu'elles impliquent chez ces macro-fossiles, excluent aujourd'hui d'autres interprétations. S'il y a bien des micro-organismes, puisque leurs premières traces remontent à plus de 3,5 milliards d'années, ils ne peuvent expliquer les structures observées. De fait, aucune colonie bactérienne n'en a jamais formé de semblables, ni dans la nature ni en laboratoire. Exclue aussi l'hypothèse minérale, qui au-

A lire : les publications citées et un rappel des autres faunes les plus anciennes connues.

A voir : des vidéos des dernières découvertes et l'exposition qui leur est consacrée à Vienne (Autriche).

A consulter : les sites très complets du Pr El Albani et de son laboratoire.

EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

& Science techniques

ORAGES
96

NEURONE-LASER
99

FRACTURES
102

ROSETTA
106

Orages

On peut les prédire à 1 km près

C'est un casse-tête de météorologue : savoir exactement où un orage va frapper, alors que ce phénomène est extrêmement délimité dans l'espace. Un modèle informatique permet désormais de mesurer ce risque à un degré de précision inégalé. Explications.

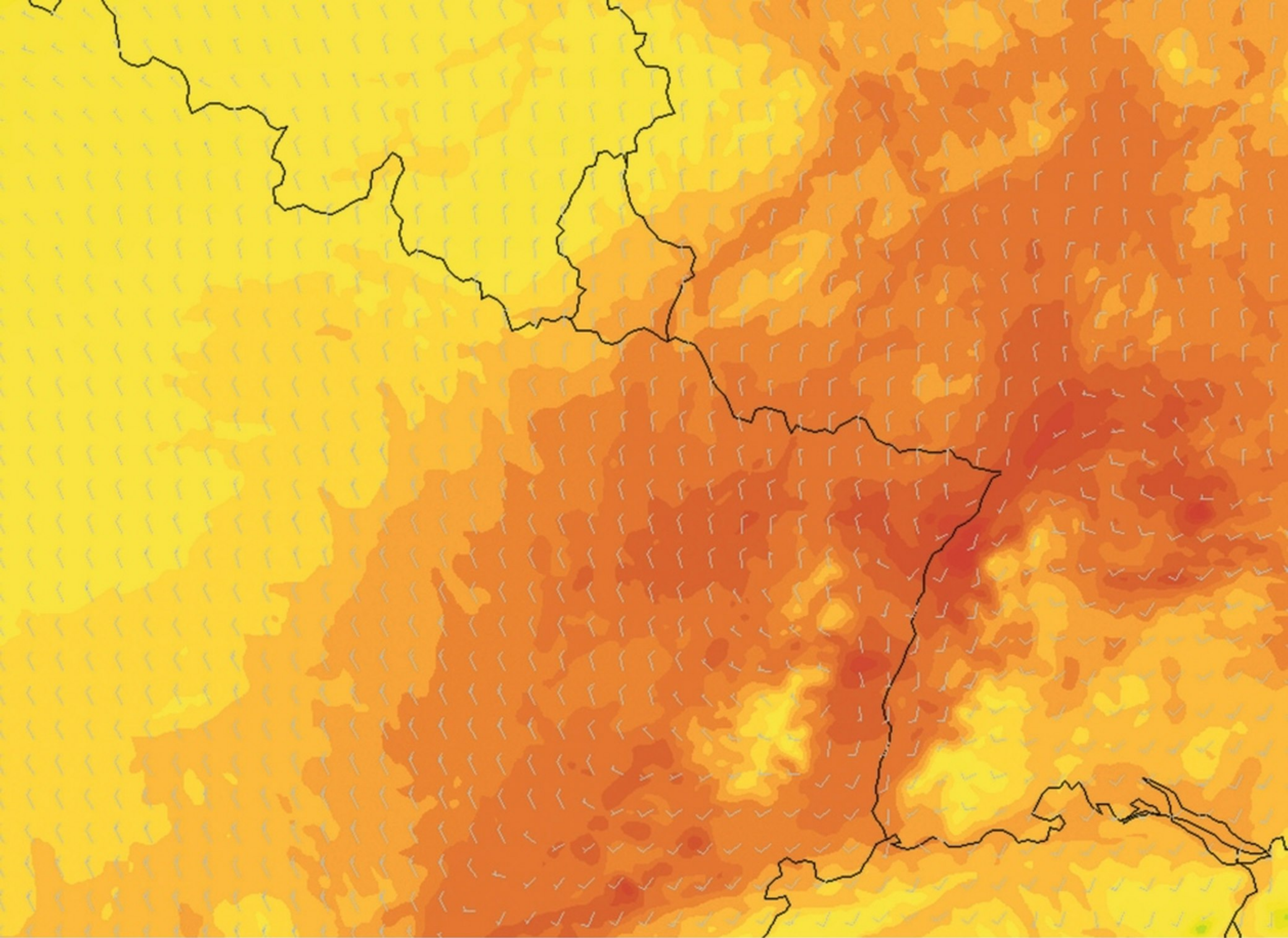
Par **Benoît Rey**

Cet été encore, Jupiter a frappé fort. Combien de cultures ont été dévastées par un orage ? Chaque fois pourtant, des parcelles voisines se sont retrouvées miraculeusement épargnées.

Les orages sont en effet des phénomènes ultralocalisés, à l'échelle du kilomètre. Rien d'étonnant donc à ce qu'ils soient passés jusqu'ici entre les mailles des modèles de prévision – le record de résolution détenu par Météo France étant de 2,5 km.

Or, ce record vient d'être battu par une entreprise privée, Keraunos, qui se targue de simuler l'occurrence des orages avec une précision de seulement 1 km ! Et ce, grâce à un modèle informatique issu d'un partenariat entre 150 organisations et universités américaines, le Weather Research and Forecasting (WRF), spécialisé dans les phénomènes météorologiques à petite échelle.

En l'appliquant à la France métropolitaine, les prévisionnistes de Keraunos parviennent



à déterminer trente heures à l'avance l'évolution des phénomènes qui constituent un orage: position et quantité des précipitations, vitesse des rafales de vent, intensité de la foudre, chutes de grêle... et jusqu'au diamètre des grêlons !

UNE QUINZAINE DE VARIABLES

"Passer à l'échelle du kilomètre ne s'est pas fait sans difficultés, raconte le président de la société, Emmanuel Wesolek. Nous avons dû investir pour décupler notre puissance de calcul. Et, sur le plan scientifique, prendre en compte des paramètres qui pouvaient être négligés à une résolution inférieure." Comme la physique de l'eau, notamment les

^ Les risques de pluie, foudre, etc., sont calculés par Keraunos avec une précision de l'ordre du kilomètre pour produire des cartes nationales du potentiel orageux (ici, plus on va vers le rouge, plus le risque est grand).

transferts d'énergie lorsqu'elle change d'état. Ou la nature de l'écoulement de ce fluide très spécial qu'est l'atmosphère orageuse. *"Lors d'un orage, l'air passe en permanence d'un mode d'écoulement à un autre [soit laminaire, à l'image d'un fleuve s'écoulant lentement, régulièrement; soit turbulent, un peu comme un cours d'eau rapide où se formeraient des tourbillons], un comportement dont les modèles de moindre résolution peuvent ne pas tenir compte",* indique Frank Roux, directeur du Laboratoire d'aérodynamique de Toulouse.

En pratique, l'équipe de Keraunos collecte deux fois par jour les données météorologiques de base: température,

Enjeux

Savoir si l'on peut maintenir, ou non, une manifestation prévue en plein air; anticiper les effectifs de pompiers qui seront nécessaires... La prévision précise des orages est cruciale pour limiter les dégâts causés par les bourrasques, la pluie battante et les inondations, la grêle ou la foudre. Humains, bétail, récoltes, habitations et véhicules risquent d'en faire les frais. Chaque année en France, la grêle est responsable de 500 millions d'euros de dégâts pour l'agriculture, et de l'ordre de 100 à 300 millions d'euros pour le bâtiment et le parc automobile.

pression, vitesse et direction du vent... en tout une quinzaine de variables, enregistrées par les stations météo et les satellites. Puis elle les insère dans une grille informatique dont la "maille" est de 45 km – en clair, le territoire est découpé en "cases" de 45 km de côté. Et à l'issue de cinq heures de calcul, le modèle WRF tire de ces données des cartes de prévision des orages.

agriculteurs et compagnies d'assurance principalement.

Et Météo France? L'entreprise publique possède son propre modèle de prévision numérique, appelé Arome... lequel n'est pas encore exploité en dessous de l'échelle de 2,5 km, pour deux raisons.

D'abord, *"cela ne sert à rien si la maille de la grille des données d'observation ne descend pas en deçà de 5 à 10 km"*,

"prévisions": elles ne seraient disponibles que quelques heures avant l'échéance!

Ces exigences théoriques, le modèle WRF ne s'y plie pas. Il se "contente" de 38 mailles verticales espacées de 250 m, et d'une résolution de 45 km pour les données de base.

BIENTÔT PLUS PRÉCIS ENCORE

Mais en pratique... ses prévisions se révèlent plutôt convaincantes. *"Le 21 mai dernier, une ligne orageuse a balayé le sud-ouest de la France. Notre modèle a anticipé précisément sa structure, sa vitesse de déplacement et les rafales de vent qui l'accompagnaient"*, fait valoir Emmanuel Wesolek. Tout en reconnaissant ne pas pouvoir prétendre avoir trouvé le modèle idéal. *"L'amélioration prochaine de la maille des données de base, à 15 km, devrait encore affiner les résultats"*, annonce-t-il.

De son côté, Météo France projette de descendre à une résolution de 1,3 km d'ici à 2015, grâce à ses nouveaux supercalculateurs. L'idéal, selon Jean-Marie Carrière, étant de réussir à *"prévoir les orages six à douze heures à l'avance à l'échelle d'une petite commune"*. Et un jour, qui sait, les prévisions d'orages d'été seront peut-être si précises qu'elles permettront à chacun de littéralement... passer entre les gouttes.

Un orage australien simulé à 100 mètres près

Des chercheurs poussent la modélisation de certains phénomènes météo bien particuliers à une échelle encore plus fine. Dans une étude à paraître, Jean-Pierre Chaboureau, du Laboratoire d'aérodynamique de Toulouse, a simulé, grâce au modèle français Méso-NH, le comportement d'Hector, un orage qui survient régulièrement dans le nord de l'Australie, avec une résolution record de 100 m sur 100. Il a ainsi pu reproduire fidèlement l'évolution du cumulonimbus et confirmer les mesures météo selon lesquelles le nuage atteint l'altitude record de 19 km et injecte de l'eau dans la stratosphère. Plus que prévoir le temps, l'enjeu est ici de mieux comprendre la contribution des orages tropicaux dans le transport d'eau au sein de la stratosphère.

Toutes ne sont pas pertinentes. Un prévisionniste aguerri intervient alors pour faire le tri. *"Son rôle est de choisir, parmi les scénarios modélisés, celui qui semble le plus crédible"*, explique Emmanuel Wesolek. Il s'appuie pour cela sur un panel de plusieurs modèles, dotés de résolutions et de paramétrages physiques différents, ainsi que sur l'expérience de situations passées comparables.

Keraunos délivre gratuitement une petite partie de ses résultats sur son site. Les prévisions complètes étant réservées aux clients professionnels,

estime Jean-Marie Carrière, directeur de la prévision de Météo France.

Ensuite, l'orage d'été est un phénomène qui s'inscrit dans l'atmosphère autant en largeur qu'en hauteur. *"Augmenter la résolution horizontale exige donc également de 'découper' en hauteur l'atmosphère en au moins 60 mailles espacées de 250 m"*, précise-t-il. Selon lui, Arome serait capable de fonctionner correctement avec une résolution deux fois plus fine que celle de Keraunos, mais au prix d'un allongement du temps de calcul tel qu'il rendrait absurde le terme de

A voir : les prévisions d'orages sur le site de Keraunos, et les pages consacrées à l'amélioration des prévisions sur le site de Météo France.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Voici le premier neurone-laser

Le “micropilier-laser” mis au point par des chercheurs français se comporte quasiment comme un neurone biologique : la voie royale vers des intelligences artificielles inédites...

Par **Román Ikonikoff**

C'est un minuscule cylindre d'à peine 4 micromètres de diamètre, formé d'un empilement de couches de matériaux semi-conducteurs, et qui produit un infime rayon laser pendant un temps extrêmement bref. Mais ses concepteurs y voient surtout... un neurone.

Car ce “micropilier-laser”, mis au point par six chercheurs du Laboratoire de photonique et de nanostructures du CNRS à Marcoussis, affiche plusieurs caractéristiques fondamentales d'un neurone biologique.

Contrairement aux “réseaux de neurones” virtuels, programmes informatiques qui tentent de simuler la manière dont le cerveau traite l'infor-

mation (lire “Contexte”), le neurone-laser, lui, mime le fonctionnement physiologique des neurones.

Il est l'un des derniers-nés des représentants d'un domaine en plein essor, les puces neuromorphiques. En clair : des dispositifs “exotiques” qui tendent à se rapprocher toujours plus des composants fondamentaux du cerveau... en version électronique (voir *Science & Vie* n° 1145, p. 44). Ou plutôt, dans le cas du neurone-laser, en version optoélectronique : il utilise la lumière laser pour traiter l'information.

En pratique, le micropilier est éclairé en continu par un laser extérieur qui l'alimente en énergie.

Surtout, et c'est la première de ses similarités avec le neurone biologique, il peut lui-même émettre de la lumière laser quand il reçoit une impulsion lumineuse d'un second laser, à la seule condition que cette impulsion dépasse une certaine énergie, son “seuil d'excitabilité” (une dizaine de nanojoules). Dans ce cas, le neurone-laser répond



Contexte

Pour reconnaître automatiquement des paroles, interpréter des requêtes envoyées aux moteurs de recherche, optimiser les transports... les réseaux de “neurones artificiels” sont de plus en plus présents. Mais s'ils peuvent mimer des aptitudes du cerveau, ils n'en sont pas moins de simples programmes informatiques. Le neurone-laser va plus loin : il imite le comportement physique des neurones biologiques.

→ par une impulsion laser ayant toujours la même forme et la même durée: une réponse de type "tout ou rien".

Deuxième caractéristique commune: l'existence d'une "période réfractaire absolue". Après avoir émis une impulsion, le neurone-laser reste inactif pendant un délai équivalent (200 picosecondes) et ne peut réagir à une nouvelle excitation.

10 MILLIONS DE FOIS PLUS RAPIDE QU'UN NEURONE

Enfin, le neurone-laser dispose d'une période réfractaire "relative" (de 150 ps) qui suit immédiatement la précédente. C'est la troisième propriété essentielle qu'il partage avec les neurones vivants.

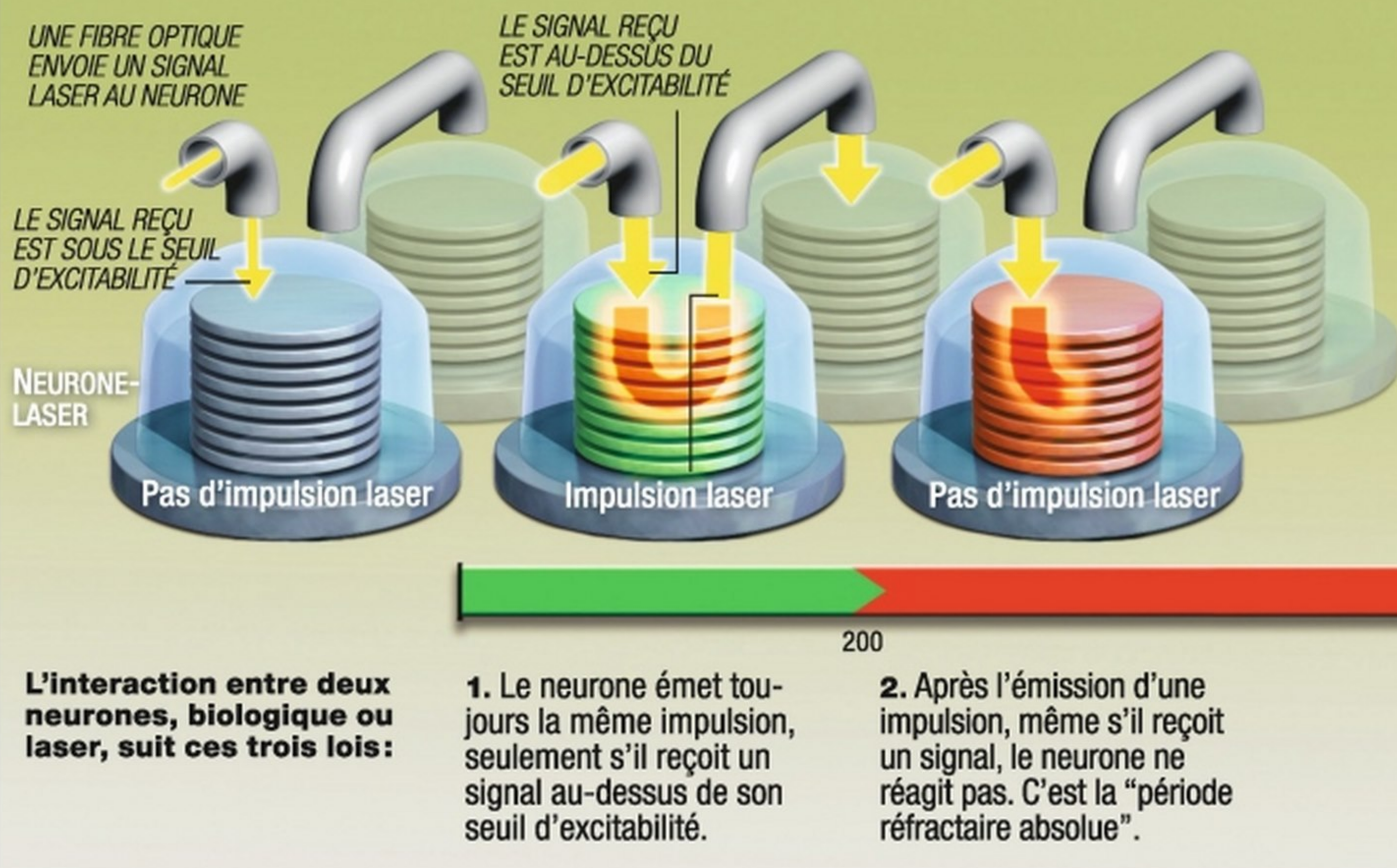
En pratique, le dispositif ne peut réagir que si l'impulsion dépasse largement son seuil d'excitabilité. Alors, il émettra une impulsion, mais plus faible que sa réponse habituelle "tout ou rien".

Entre neurone artificiel et neurone biologique, la nature des signaux, les énergies et les délais en jeu ne sont pas les mêmes. Le premier est d'ailleurs dix millions de fois plus rapide!

La machine a enfin la notion du temps

C'est via la fréquence des impulsions électriques des neurones et les délais entre ces impulsions que notre matière grise code et traite l'information. Pour le cerveau, traiter l'information revient en effet à orchestrer une symphonie, avec ses harmonies et ses ruptures de rythme. Un talent essentiel, dont sont dépourvus les "neurones" formels des programmes informatiques, qui s'échangent des informations en prenant en compte de manière très limitée cette dimension. En pariant sur des dispositifs capables d'ajuster leur comportement en fonction des fréquences et délais des impulsions, les chercheurs qui développent les prochaines générations de puces neuromorphiques espèrent donc dépasser le cadre purement mathématique de l'informatique pour rapprocher la machine de notre mode de pensée, inscrit dans le temps.

Le neurone-laser obéit aux 3 lois qui régissent le



Mais c'est la réunion des trois caractéristiques essentielles des neurones biologiques dans un dispositif microscopique (qui plus est, pouvant être fabriqué en série à moindre coût) qui en fait un rêve d'informaticien.

"Ce dispositif peut ouvrir la porte à des échelles de calcul que l'on n'envisageait pas jusqu'alors", s'enthousiasme Rudy Guyonneau, respon-

sable recherche & développement de la start-up Spikenet Technology, spécialisée en systèmes neuromorphiques (laboratoire CNRS Cerveau & cognition de Toulouse).

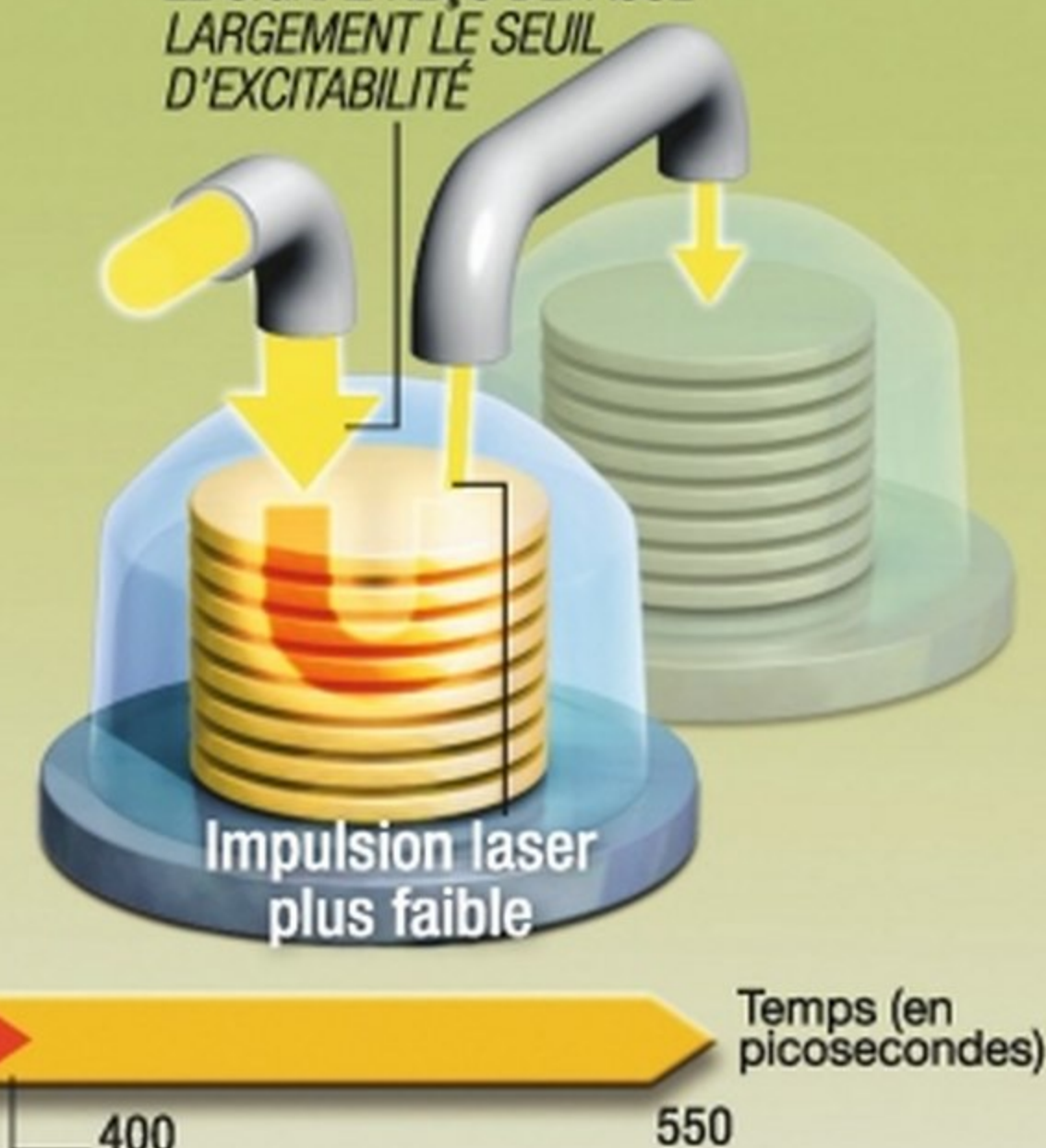
De fait, ces trois caractéristiques essentielles inspirées du modèle biologique offrent au neurone-laser des méthodes inédites pour traiter l'information, inaccessibles aux dispositifs classiques.

Elle permet notamment de séparer les signaux utiles d'éventuels parasites. "La réponse d'un neurone à une perturbation a toujours la même forme, explique Sylvain Barbay, l'un des six inventeurs. Ce type de réponse, dite non linéaire, permet de s'affranchir du bruit de fond."

Les deux périodes réfractaires, quant à elles, rendent les neurones-lasers capables de travailler à l'économie. "Dans les réseaux de neurones biologiques, les périodes

neurone biologique

LE SIGNAL REÇU DÉPASSE
LARGEMENT LE SEUIL
D'EXCITABILITÉ



3. Immédiatement après, le neurone ne réagit qu'à des signaux bien plus forts que son seuil d'excitabilité. C'est la "période réfractaire relative".

réfractaires [environ 1 ms chacune] sont essentielles pour orienter le sens de la propagation d'un signal, explique Sylvain Barbay. Elles empêchent ce dernier de rebrousser chemin et le poussent vers des neurones non encore sollicités. Ce qui évite d'épuiser les neurones et permet de répartir les calculs de manière efficace.

VERS DES SYSTÈMES HYBRIDES

Plus particulièrement, la période réfractaire relative permet aux neurones de transmettre à leurs pairs des informations sur le rythme temporel des impulsions reçues. Une aptitude essentielle, au cœur du fonctionnement du cerveau humain (lire l'encadré page ci-contre).

"Si un neurone reçoit un train d'impulsions durant cette période, il peut le transformer en un seul signal, envoyé aux autres neurones, contenant certaines informations sur les



RUDY GUYONNEAU

Responsable R&D de la start-up
Spikenet Technology

Ce dispositif peut ouvrir la porte à des échelles de calcul que l'on n'envisageait pas jusqu'alors

caractéristiques temporelles de ce train d'impulsions", souligne Sylvain Barbay.

Une grande vitesse de traitement, une économie de moyens inégalables, une sensibilité exceptionnelle à la manière dont les informations se succèdent dans le temps... le neurone-laser a tout de la voie royale vers le développement d'intelligences artificielles tirant le meilleur parti des mondes organique et artificiel.

Parce qu'il fait circuler l'information par voie lumineuse, il pourrait même être un point de rencontre entre ces deux mondes, augurant des systèmes hybrides intégrant neurones biologiques et dispositifs neuromorphiques, "ce qui est possible depuis que l'on sait manipuler génétiquement les neurones pour les rendre sensibles à la lumière", se prend à rêver Sylvain Barbay.

Mais, comme l'avouent les chercheurs, leur domaine est encore très jeune et les performances restent bien en deçà de celles de l'informatique. "Nous travaillons à la mise en réseau de nos micropiliers afin d'obtenir un véritable système de traitement de l'information", explique Sylvain Barbay.

Il leur manque surtout un autre élément clé des neu-

rones biologiques: leur aptitude à garder l'information en mémoire. Un réseau biologique mémorise les événements passés en modifiant à chaque cycle de traitement la connectivité entre tous ses neurones. C'est la force du lien entre chaque neurone qui encode les souvenirs, le lien étant renforcé quand le neurone est souvent sollicité, ou diminué dans le cas contraire. "Nous cherchons à doter nos micropiliers de cette capacité, note Barbay, peut-être en jouant sur l'in-

Réunir les attributs du neurone sur une puce : un rêve d'informaticien

tensité du laser de base [celui qui alimente le neurone-laser continuellement en énergie], pour modifier individuellement en temps réel le seuil d'excitabilité de chaque unité."

Qu'à cela ne tienne, le Laboratoire de communications par ondes lumineuses de l'université Princeton aux États-Unis travaille déjà sur la mise en réseau des micropiliers des chercheurs français. Les neurones-lasers n'ont pas fini de faire parler d'eux...

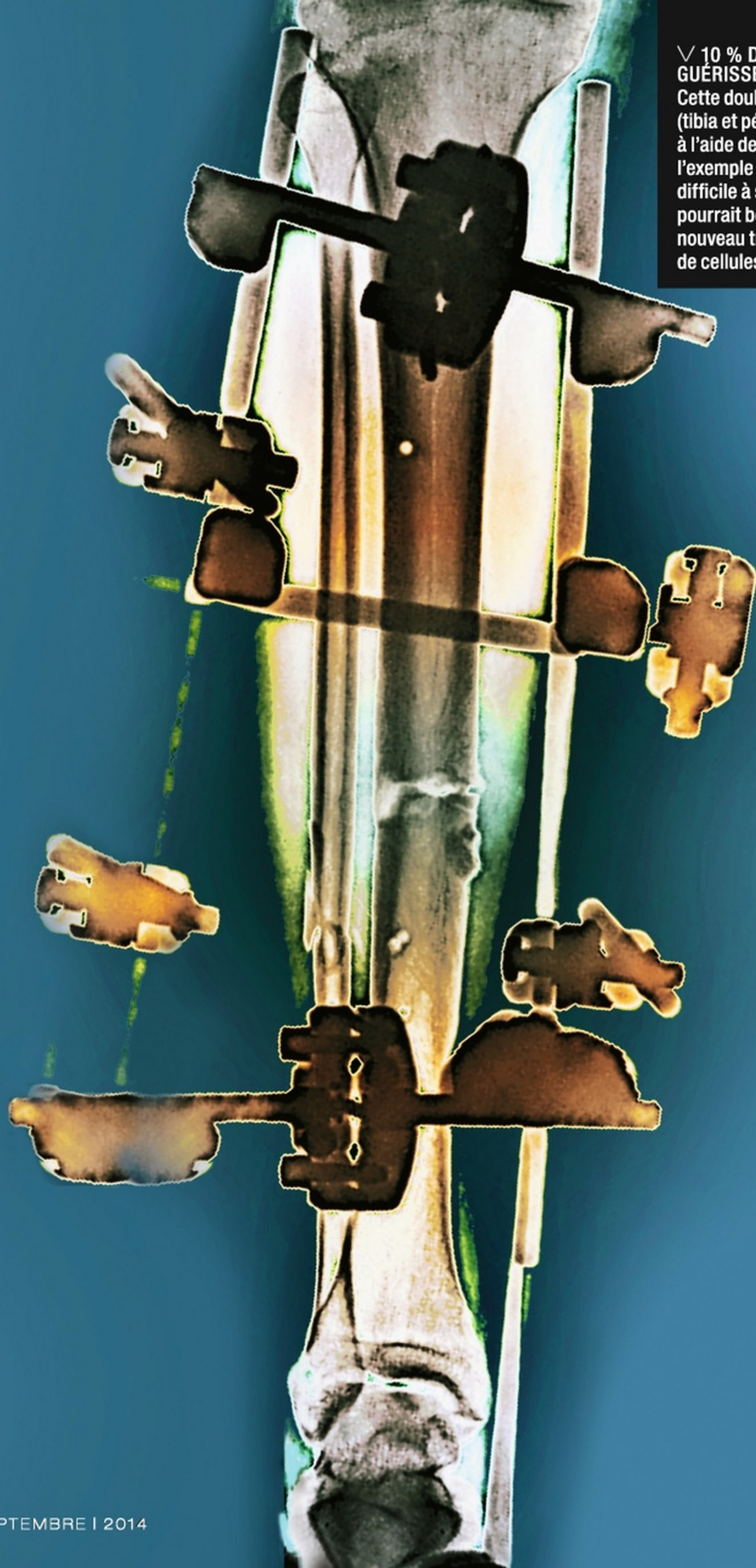


A consulter :
l'article scientifique des
6 concepteurs
du neurone-
laser.

EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

✓ 10 % DES FRACTURES
GUÉRISSENT MAL
Cette double fracture
(tibia et péroné), traitée ici
à l'aide de broches, est
l'exemple type de la lésion
difficile à soigner, qui
pourrait bénéficier d'un
nouveau traitement à base
de cellules souches.



Cellules souches

Elles réparent même les fractures

Recréer du tissu osseux quand le corps ne parvient plus à se réparer seul, tel est le pari de cette approche étonnante. Des patients en bénéficient déjà.

Par **Coralie Hancock**

L'os est un tissu extraordinaire. Endommagé, cassé, fracturé, il possède la faculté de se réparer tout seul, sans l'aide d'aucun médicament. Un plâtre et quelques semaines d'immobilisation plus tard, il est comme neuf! Mais parfois, cette ma-

chinerie bien huilée déraile. "Dans 10 % des fractures, soit 35 000 personnes chaque année en France, l'os ne se consolide pas", indique Pierre Layrolle, directeur de recherche au Laboratoire de physiopathologie de la résorption osseuse à Nantes (université de Nantes/Inserm).

Pour ces patients, il faut alors greffer un morceau d'os prélevé ailleurs sur leur squelette ou issu d'un donneur (voir "Contexte"). Avec plus ou moins de succès...

Pierre Layrolle a donc imaginé une alternative étonnante: injecter au niveau de la fracture un mélange constitué de cellules souches et de granules de phosphate de calcium.

Et ça marche! Un peu plus d'un an après le lancement du premier essai clinique de Reborne, le projet européen qu'il coordonne, 21 patients de France, d'Espagne, d'Italie et d'Allemagne ont été traités. Et pour environ deux tiers d'entre eux, l'opération a été suivie d'une régénération osseuse.

"Cette technique pourrait être à la fois plus efficace et plus rapide que la greffe osseuse, l'actuel traitement de référence pour les fractures non consolidées", s'enthousiasme Enrique Gomez-Barrena, chirurgien orthopédique à l'hôpital La Paz de Madrid, qui a opéré plusieurs patients.

ISSUES DU PATIENT LUI-MÊME

Bien sûr, des tests supplémentaires devront le confirmer. "Nous espérons mener dès 2016 un essai clinique avec deux groupes de patients, l'un recevant la greffe, l'autre l'injection de cellules souches. Cela permettra de comparer vraiment les deux techniques et, espérons-le, de prouver la

Contexte

Avec plus d'un million de greffes réalisées chaque année en Europe, l'os est le tissu le plus transplanté chez l'homme, surtout en chirurgie orthopédique et maxillo-faciale. Une technique bien rodée, mais aux nombreuses limites: quantité d'os disponible lorsqu'il est prélevé sur le patient; compatibilité et risques sanitaires quand l'os provient d'un donneur.

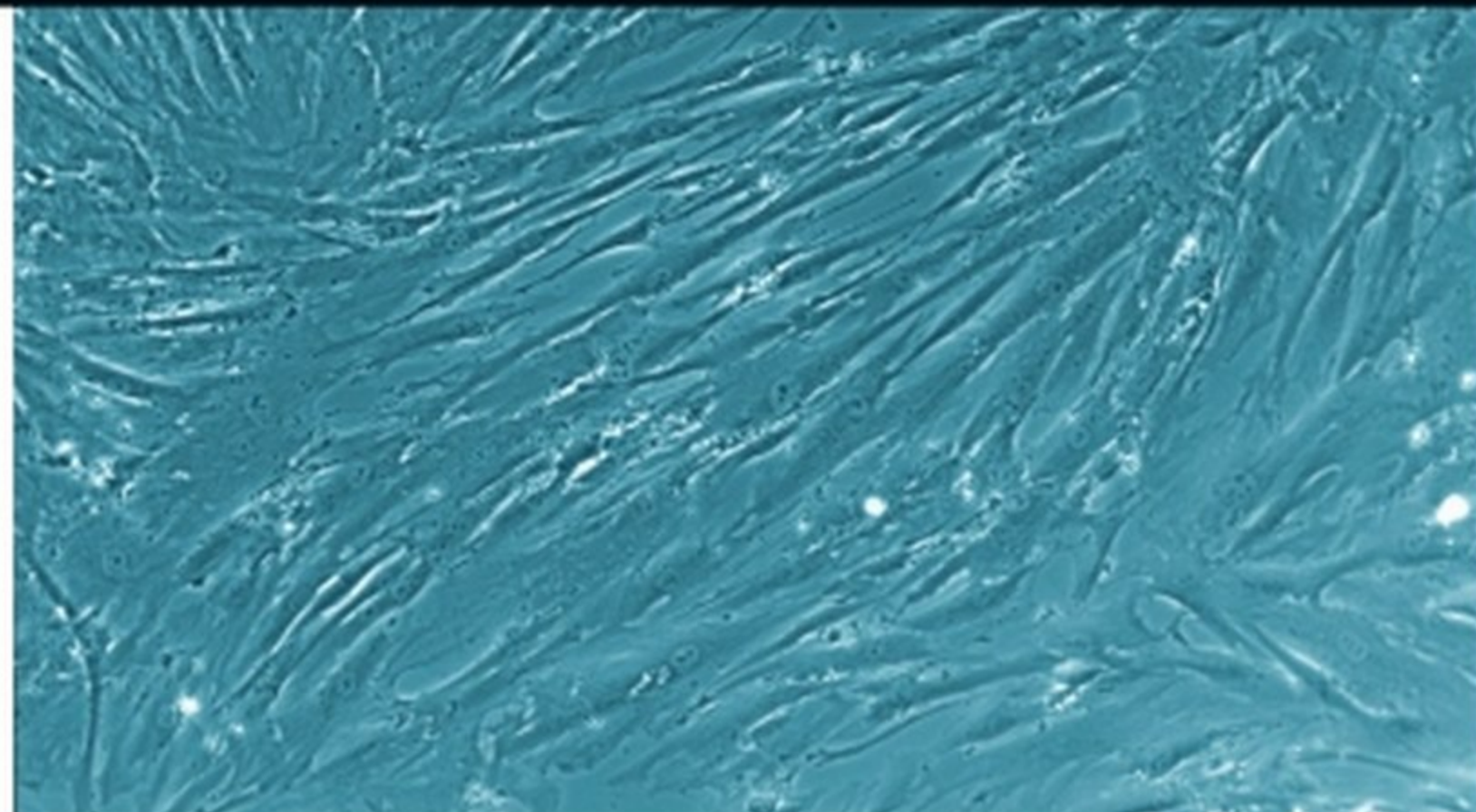
→ *supériorité de la nôtre*”, précise de son côté Pierre Layrolle.

La technique, parlons-en. Les cellules souches, d’abord. Contrairement aux cellules souches embryonnaires sur lesquelles ont été fondés beaucoup d’espoirs (voir encadré), les cellules souches utilisées par l’équipe de Pierre Layrolle ne proviennent pas d’embryons surnuméraires (issus d’une fécondation *in vitro*) mais... du patient lui-même. Même à l’âge adulte, nous possédons tous un petit stock de cellules souches dans certaines zones de notre corps, la moelle osseuse par exemple.

Certes, celles-ci ne sont pas capables de se transformer en n’importe quelle cellule du corps humain, comme le font les cellules souches embryonnaires. Elles sont déjà un peu spécialisées : certaines donneront les cellules sanguines, d’autres deviendront des cellules de tissus tels que le muscle, la peau, le cartilage ou... l’os.

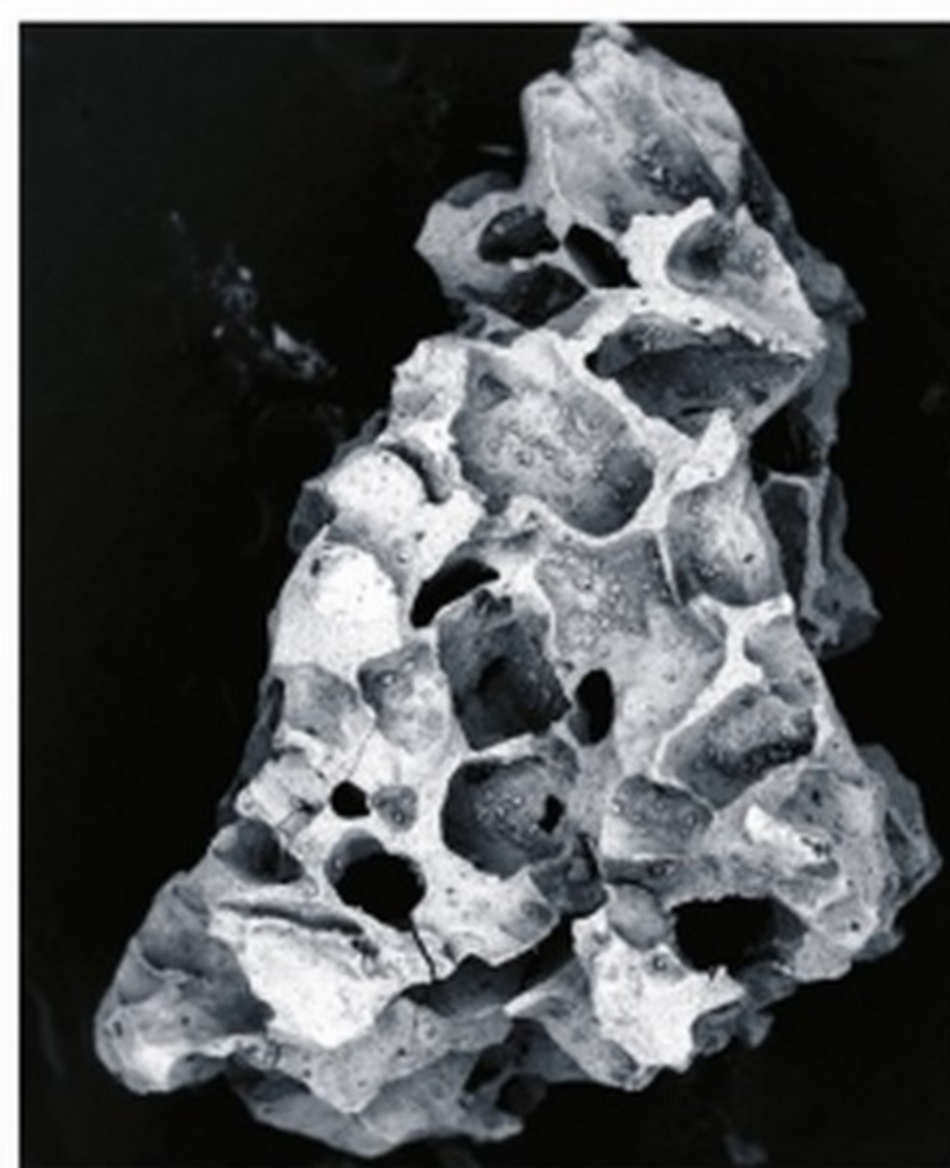
Ce sont ces dernières, appelées cellules souches mésenchymateuses, qu’a choisies Pierre Layrolle. Leur concentration étant trop faible à l’état naturel (environ 100 000 cellules souches dans une ponction de 10 à 30 ml de moelle osseuse), elles sont cultivées

Une régénération de l’os réussie :



L’OS EST TRAITÉ PAR INJECTION...

Cette fracture non consolidée du fémur vient d’être traitée par injection d’un mélange de cellules souches (en haut) et d’un biomatériau à base de granules de phosphate de calcium (à dr.).



en laboratoire. Au bout de vingt et un jours, elles sont alors 400 millions, prêtes à être injectées au cœur de la fracture.

Lorsque la lésion est trop importante – souvent au niveau du tibia ou de l’humérus –, les cellules souches sont associées à un biomatériau constitué de granules de phosphate de calcium. “Ce biomatériau forme une matrice, un échafaudage

qui facilite la colonisation cellulaire. Il comble le vide puis, au fur et à mesure que les cellules souches s’installent, il se résorbe pour laisser place à un os tout à fait naturel”, explique Guy Daculsi, spécialiste des biomatériaux et des substituts osseux à l’université de Nantes.

Dans le cadre du projet Reborne, les chercheurs testent également cette association cellules souches-biomatériau en chirurgie maxillo-faciale. “Chaque année en France, entre 200 000 et 400 000 patients reçoivent un implant dentaire. Or, dans 30 % des cas, le capital osseux n’est pas suffisant pour supporter cet implant. Cela nécessite alors une greffe osseuse qui n’est pas toujours possible, notamment chez les patients âgés”, indique Pierre Layrolle.



PIERRE LAYROLLE

Coordinateur du projet de régénération osseuse Reborne

A l’avenir, on pourrait disposer de banques de cellules dans lesquelles on puiserait à l’envi

la preuve en images



... SIX MOIS APRÈS, IL EST RÉPARÉ

L'opération est un succès : l'os ne présente plus de trace de fracture, il s'est régénéré (ci-dessus en bleu-vert, moelle osseuse en rose).

Un autre essai clinique teste l'injection de cellules souches, cette fois sans le biomatériau, dans le traitement de la nécrose de la tête fémorale. Un problème qui touche 50 000 Français par an. Déjà, pour soigner ces patients, la moelle osseuse est appelée en renfort. *"Mais il s'agit simplement de la prélever, puis d'en injecter directement les cellules souches dans la tête de fémur du patient"*, détaille le biologiste.

DES TRAVAUX RÉGLEMENTÉS

Evidemment, cette procédure ne permet d'obtenir qu'un nombre limité de cellules. Avec sa technique de mise en culture et de multiplication cellulaire en laboratoire, Pierre Layrolle espère donc offrir aux patients de meilleures chances de guérison.

Avant de commencer leurs essais, les chercheurs ont franchi un premier obstacle de taille. *"Dès lors que la moelle osseuse sort du bloc opératoire pour rejoindre le laboratoire où elle est amplifiée, les cellules souches deviennent un médicament. Elles sont alors soumises à un ensemble de réglementations très strictes auxquelles le projet Reborne a dû se conformer"*, explique Pierre Layrolle.

Cette conformité aux règles européennes est aujourd'hui l'une des forces du projet. En effet, d'autres essais associant cellules souches et biomatériaux ont déjà eu lieu dans le monde – le premier dans les années 1990 en ex-URSS. Mais chaque fois, les grands espoirs des expériences en laboratoire se sont fracassés sur la réalité du bloc opératoire... et des exigences de sécurité et de

reproductibilité. Même si certaines équipes ont publié des résultats positifs, leurs procédures n'ont jamais pu être reproduites. Depuis, elles ont d'ailleurs jeté l'éponge.

Reste la question du coût. Et Guy Daculsi le reconnaît, la technique coûte cher. Très cher. *"Environ 20 000 euros par patient"*, précise-t-il. Un coût qui pourrait toutefois diminuer, selon Pierre Layrolle, si l'on utilisait non plus les cellules du patient, mais celles d'un donneur. *"À l'avenir, on pourrait disposer de banques de cellules dans lesquelles on puiserait à l'envi pour soigner les patients"*, imagine-t-il.

Cela complique la procédure, et plus encore les dispositions réglementaires à prendre. Mais demain, appeler sa banque – de cellules – pour un déficit osseux sera peut-être la règle.

Cellules souches, l'éternelle arlésienne ?

Vantées depuis des années comme une véritable panacée, les cellules souches n'ont pourtant enregistré jusqu'ici que très peu de succès. Du moins, les cellules souches embryonnaires. Car c'est oublier un peu vite les cellules souches adultes, qui ont déjà sauvé des milliers de vies. Les greffes de moelle osseuse, pratiquées dès les années 1950, puis celles de sang de cordon à partir de 1988, constituent en effet, sans qu'on en ait conscience à l'époque, les toutes premières utilisations de cellules souches adultes – en l'occurrence, celles dites hématopoïétiques, à l'origine des cellules sanguines. Quant aux cellules souches mésenchymateuses du projet Reborne, elles ont déjà servi à traiter, avec succès, une dizaine de patients victimes de graves brûlures cutanées induites par des rayonnements ionisants. Des accidents rares, mais qui conduisent souvent à l'amputation.


A consulter : le site du projet (financé par la Commission européenne)

Reborne, <http://www.reborne.org/>

science-et-vie.com

EN
SAVOIR
PLUS





Après un périple de dix ans dans l'espace, l'atterrisseur de *Rosetta* doit s'agripper le 11 novembre à la comète 67P Churyumov-Gerasimenko. Objectif : y déchiffrer, grâce à une batterie d'instruments, l'histoire primordiale du système solaire. Une première...

ROSETTA

Enfin à l'abordage

Par **Benoît Rey**

Repère

La cible de *Rosetta*, la comète 67P, est une boule de glace et de roche de la taille du Fuji-Yama qui file à 43 000 km/h à plus de 450 millions de kilomètres de la Terre. Autant dire un bolide infiniment lointain, petit, rapide et instable : cela revient à viser une bille en furie à une distance de 1 kilomètre.

ESA/C. CARREAU/ATG MEDIALAB

Le moment est historique. Après des siècles à regarder ces mystérieux astres défilier au-dessus de sa tête, l'humanité va y poser un de ses représentants. Une sonde spatiale va atterrir sur une comète.

Car après dix ans de voyage, la sonde spatiale *Rosetta* a atteint sa cible: le 10 septembre, elle s'approchera à moins de 30 km d'une boule de glace et de roche nommée 67P Churyumov-Gerasimenko et se mettra en orbite, avant d'y lâcher, le 11 novembre, son module Philae. Une mission à plus de 450 millions de kilomètres de la Terre dans la constellation du Sagittaire... Une première.

Une double première même: première mise en orbite d'une sonde autour d'un corps aussi petit, et premier atterrissage sur un noyau cométaire, le tout au cours d'une seule mission!

"Lors de l'exploration de la Lune et de Mars, on avait envoyé des sondes cartographier le sol avant d'y envoyer des rovers, raconte Nicolas Biver, membre de l'équipe de MIRO, l'un des instruments de Rosetta.

Un double défi: mettre la sonde en orbite autour d'un si petit corps, puis y atterrir

Ici, on tente les deux à la fois, et sur un astre dont on ne sait à peu près rien." La taille de 67P varie selon les estimations (en juillet dernier) – entre 3 et 5 km de diamètre, soit presque du simple au double – tandis que sa densité est estimée à 370 kg par mètre cube... à moins que ce ne soit 10 fois plus.

Une seule chose est sûre, 67P est minuscule, sa gravité est si ténue que c'en devient un problème. "L'atterrisseur *Philae* pèse 98 kg sur Terre. Sur la comète, il pèsera entre 1 g et 100 mg, estime Cédric Delmas, le responsable des opérations à Toulouse, chargé par le Cnes de préparer la manœuvre. Pour être sûr qu'il [...] ne rebondisse pas et se perde dans l'espace, deux harpons l'aideront à se cramponner et un propulseur le plaquera au sol."

LANCEMENT DE BON AUGURE

Et elle a une surface accidentée: des images prises le 14 juillet montrent que le noyau de 67P est double, comme s'il était constitué de deux morceaux accolés... "ce qui ne nous simplifie pas la vie, précise Philippe Gaudon, responsable de la partie française de la mission. Le centre de gravité ne sera pas celui de la planète, le dégazage sera complexe... Ça fait de l'inconnu en plus!" Car on ne connaît pas non plus la texture de la piste d'atterrissage ni sa composition précise, ni l'épaisseur de la couche de poussière qui la recouvre...

C'est d'ailleurs ce que *Rosetta* s'efforce à établir en scanant 67P sous tous les angles depuis son arrivée dans le champ de gravité de la comète, le 6 août

dernier, dix ans après son lancement depuis la Guyane

"Le lancement s'était alors très bien passé, il n'a fallu effectuer que quelques petites corrections de trajectoire après-coup", se souvient Philippe Gaudon. C'était de bon augure.

Les ingénieurs n'ont eu à faire face à aucun imprévu du-

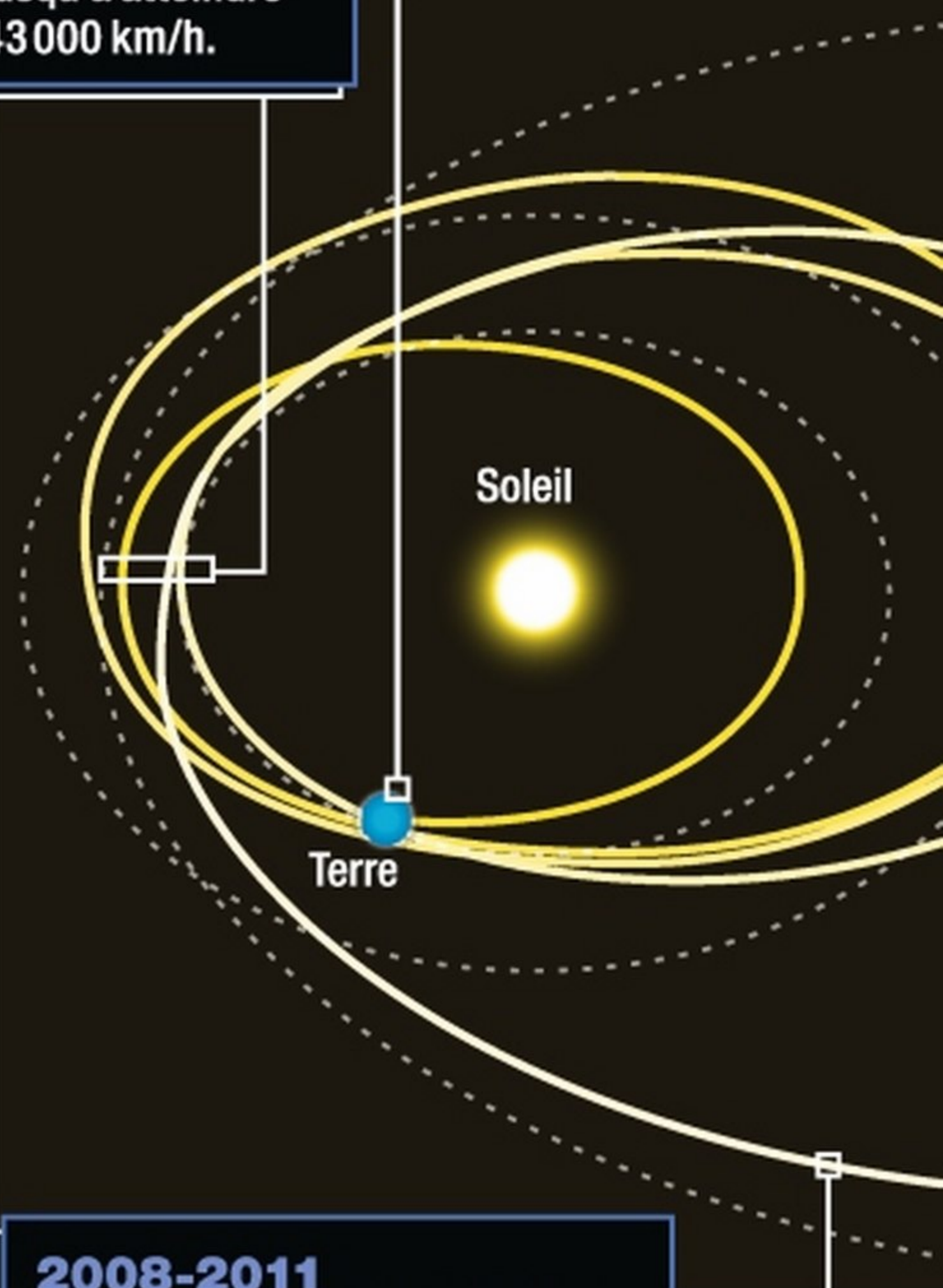
UN LONG VOYAGE DE 6,5 MILLIARDS DE KILOMÈTRES AVANT D'ATTEINDRE LA COMÈTE

2004 LE DÉCOLLAGE

Le 2 mars 2004, Rosetta s'envole depuis la Guyane au sommet d'une Ariane 5G+.

2004-2008 L'ACCÉLÉRATION

Cinq ans durant, elle accélère, s'aidant de l'attraction gravitationnelle de la Terre et de Mars, jusqu'à atteindre 43 000 km/h.



2008-2011 DEUX ESSAIS TECHNIQUES

En septembre 2008 et en juillet 2010, la sonde survole les astéroïdes Steins et Lutetia et les mitraille de clichés afin de vérifier le bon fonctionnement des instruments de bord.



2015-2016 LA FIN

La comète s'approchant du Soleil, Philae sera neutralisé. Rosetta s'éteindra elle aussi, fin 2016, faute de carburant.

11 NOV. 2014 L'ATERRISSAGE

Le module Philae se pose sur Churyumov-Gerasimenko.

10 SEPT. 2014 ENFIN, LA COMÈTE

La sonde entre en orbite autour de la comète.

15 JANVIER 2014 LE RÉVEIL

Rosetta se réveille et entame la manœuvre de décélération. En six mois, elle brûle plus de 700 de ses 1 700 kg de carburant, pour ralentir à la vitesse relative de 1 mètre par seconde.

4 JUIN 2011 L'HIBERNATION

La sonde poursuit sa route, tous instruments éteints.

Churyumov-Gerasimenko, une cible parfaite

Il fallait une comète qui tourne autour du Soleil suivant une orbite peu inclinée, afin d'utiliser l'assistance gravitationnelle de la Terre et de Mars pour accélérer la sonde; et suffisamment lente pour qu'elle puisse être rattrapée et au diamètre inférieur à 5 km, sinon y poser un "lander" aurait été trop risqué. Partant de ces critères techniques, les membres de la mission Rosetta ont d'abord ciblé une comète du nom de Wirtanen, membre de la famille de Jupiter à orbite courte, une série de corps originaires de la lointaine ceinture de Kuiper qui, à cause de l'attraction colossale de la géante gazeuse, se rapprochent du Soleil à chaque révolution jusqu'à finir désagregés au bout d'un millier de passages. Mais en 2003, un problème de lanceur les a contraints à la laisser filer. Ils se sont alors rabattus vers 67P Churyumov-Gerasimenko. Cette comète, baptisée en l'honneur des astronomes ukrainiens qui l'ont découverte en 1969, fait partie de la même famille. Son diamètre est entre 3 et 5 km et elle tourne autour du Soleil en 6,6 ans. Un second choix donc, mais une cible idéale.

→ rant la phase de croisière qui suivit. A mi-chemin, la sonde a survolé deux astéroïdes sur lesquels elle a testé des instruments. Tout était OK.

Puis elle est entrée dans une phase d'hibernation de 957 jours, qui ont laissé le temps aux ingénieurs d'écrire et de télécharger sur la sonde les programmes informatiques qui orchestreront le 11 novembre la manœuvre d'atterrissage.

Si elle réussit, cette mission va véritablement révolutionner nos connaissances

"Il était inutile de développer les logiciels avant le décollage, vu qu'ils n'allaient servir que dix ans plus tard, explique l'ingénieur. Il était préférable d'attendre avant de les rendre opérationnels. Ainsi, les logiciels tiendront compte des caractéristiques de la comète."

Dix ans, 6,5 milliards de kilomètres parcourus dans le vide intersidéral... Le voyage paraît disproportionné lorsqu'on sait qu'aller sur Mars se fait en six mois. Mais voilà: après la microgravité et notre profonde méconnaissance des comètes, leur orbite très elliptique est la troisième difficulté inhérente à une telle mission. *"Une décennie était nécessaire pour prendre 67P en filature, s'aligner sur son orbite et la rattraper à l'allure de 12 km/s, explique Philippe Gaudon, et tout ça avant qu'elle ne s'approche trop du Soleil et n'entre en activité."*

Car telle est la dernière spécificité d'une mission cométaire: lorsque ces boules de glace s'approchent à moins de trois fois la distance Terre-Soleil, au niveau de l'orbite de la cein-

ture d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter, leur eau se sublime et s'échappe sous forme gazeuse dans l'espace, déployant alors leur chevelure laiteuse.

"67P est entrée en activité dès avril dernier, et son dégazage était si important qu'il en devenait inquiétant, raconte Philippe Gaudon. Il aurait pu compromettre la manœuvre de largage de Philae, en empêchant Rosetta de s'appro-

cher à moins de 5 km de la surface pour raison de sécurité. Par bonheur, le nuage de poussière s'est dissipé en juin, et le réveil brutal de la comète n'a été qu'un sursaut d'activité passager. Depuis, le niveau de dégazage est revenu à la normale", assure-t-il.

Malgré les apparences, l'Esa n'a pas programmé cette mission par simple goût de la performance technique. Si elle y a investi 1,3 milliard d'euros, (dont la France contribue à 20 %) c'est parce qu'au cœur des comètes est gravée l'histoire du système solaire.

AVANT MÊME LES PLANÈTES

De fait, les comètes se sont formées en des temps si reculés que les planètes elles-mêmes n'existaient pas encore: il y a 4,6 milliards d'années.

Depuis, elles orbitent dans la ceinture de Kuiper, à 30 fois la distance entre la Terre et le Soleil, si loin de notre étoile qu'elles sont restées intactes, comme congelées.

Régulièrement, au gré des déviations chaotiques de →

UNE BATTERIE D'INSTRUM

Dans quelques jours, la sonde *Rosetta* se mettra en orbite autour de la comète 67P et commencera à l'étudier. Elle aura deux mois pour préparer l'atterrissage du module Philae qui sera largué le 11 novembre prochain en chute libre. A peine posé, ce mètre cube bourré de 100 kg disposera de 50 heures avant que sa pile électrique ne soit vidée pour réaliser le maximum de mesures. Texture, composition, température, rien ne devrait échapper à sa batterie d'instruments.

FORER le sol jusqu'à 23 cm de profondeur: c'est la tâche de l'instrument SD2. Il prélèvera 26 échantillons de 10 à 40 mm³ qu'il versera dans un four à 800 °C pour analyse.

IDENTIFIER les molécules organiques complexes, dont la vie sur Terre est potentiellement issue, est le rôle de COSAC.

CALCULER le rapport isotopique de l'hydrogène, du carbone, de l'azote et de l'oxygène – élément clé pour identifier l'origine de l'eau sur Terre – est dévolu à PTOLÉMÉE.

ENTS POUR AUSCULTER 67P SOUS TOUTES LES COUTURES



COLLECTER ses données depuis son orbite, et les renvoyer vers la Terre est le travail de *Rosetta*, qui recueillera aussi des échantillons des poussières soulevées en atterrissant.

MESURER le champ magnétique qui enveloppe la comète est confié à ROMAP. L'instrument traquera aussi des molécules ferreuses dans le noyau cométaire.

JAUGER la texture et la composition chimique du sol, grâce à 7 microcaméras, réparties sur toutes les faces. C'est la tâche qui incombe à CIVA si la sonde rate son atterrissage et tombe sur le flanc.

ANALYSER la composition chimique du sol en le bombardant de rayons X et alpha : APX Alpha en a la charge.

SONDER les entrailles de la comète : CONSERT enverra depuis *Rosetta* des signaux radio vers Philae, signaux qui traverseront la comète, révélant sa structure interne.

ÉTUDIER les propriétés du sol, via un thermomètre, un marteau-piqueur miniaturisé, un détecteur sismique et deux accéléromètres incrustés dans des harpons qui s'enfonceront à 1,50 m. Cette mission est confiée à MUPUS.

cette région, l'une d'entre elles se décroche et tombe vers le Soleil. C'est alors l'occasion pour les astronomes de les observer et d'y lire l'histoire primordiale du système solaire, comme Champollion en son temps a déchiffré l'histoire des Égyptiens grâce à la pierre de Rosette. Car c'est bien en référence à cette pierre qu'a été baptisée la sonde: les comètes sont en fait les seuls et uniques témoins des origines du système solaire que l'homme puisse physiquement espérer approcher...

Deux sondes ont déjà touché une comète

Les astronomes se sont longtemps contentés de scruter à distance les traînées blanches des comètes. Ils ont dû attendre 1986, et que la sonde *Giotto* passe à 600 km de la célèbre Halley, pour confirmer qu'un noyau solide se cache sous ces halos brillants. Mais l'hypothèse qu'ils pourraient être à l'origine de l'eau, et même de la vie sur Terre a fait remonter ces petits corps glacés en tête de liste des agences spatiales. Ainsi, en janvier 2004, la sonde américaine *Stardust* a rapporté une poignée de grains de la chevelure de Wild2, et en juillet 2005, la sonde *Deep Impact* a lâché un projectile sur le noyau de Tempel 1 pour passer au crible le nuage de poussière provoqué par le crash.

"Les missions précédentes ont révélé une grande diversité de comètes, aussi ne pourra-t-on pas extrapoler les caractéristiques de 67P à toutes les autres, prévient cependant Alessandro Morbidelli, auteur du modèle de formation du système solaire le plus abouti actuellement. Il n'empêche que la mission va véritablement révolutionner nos connaissances." Que ce soit sur les comètes elles-mêmes, mais surtout sur les débuts de notre système...

Et ce n'est pas tout. Car en prime, la mission devrait va-

lider ou invalider la fameuse théorie selon laquelle la Terre était initialement sèche avant qu'une pluie de comètes, il y a 4 milliards d'années, n'y apporte l'eau à l'origine des océans. Le débat fait rage depuis trente ans dans la communauté des astrophysiciens et aucune mission jusqu'à présent n'a été en mesure de trancher.

Certains vont même jusqu'à penser que les comètes ont pu, par la même occasion, apporter les molécules organiques à partir desquelles se serait déve-

terne, mais aussi les caractéristiques des gaz et des grains qui s'échappent dans l'espace... Elle produira le premier panoramique à 360° et en trois dimensions du sol d'une comète! Et percera même son sol d'une vingtaine de centimètres, faisant de 67P le troisième corps extraterrestre à être foré par l'homme, après la Lune et Mars

LA PRESSION MONTE...

"C'est l'une des manipulations que l'on redoute, dit Philippe Gaudon. On croise les doigts pour que les échantillons se versent dans le four et ne restent pas collés au foret à cause de la microgravité." Jusqu'à présent tout a été pour le mieux. *"Seuls deux sous-systèmes de l'orbiteur montrent une légère défaillance, précise-t-il. La pressurisation des réservoirs d'ergols est plus basse que la normale et il faut freiner un peu plus longtemps que prévu pour ralentir la sonde. Deux roues de réaction, qui permettent de basculer la sonde dans un sens ou dans l'autre grincent... Mais cela ne devrait gêner en rien la suite de la mission."*

Détendus et confiants, les opérateurs sentent mine de rien la pression monter à mesure que s'approche la date du 11 novembre et que la sonde plonge un peu plus en avant vers l'inconnu. Au-dessus de nos têtes, un des plus grands exploits de l'astronautique est en train de se dérouler. Si le succès est au rendez-vous, nous apprendrons peut-être que nous sommes tous des poussières de comètes.

A voir : les images de *Rosetta* à mesure qu'elle s'approche de la comète, la vidéo de son réveil...

EN
SAVOIR
PLUS

science-et-vie.com

Nouvelle croisière SCIENCE & VIE Aux origines de l'homme et de l'univers

du 20 au 27 octobre 2014 - vacances de la Toussaint

8 jours / 7 nuits
à partir de

890€

EN PENSION COMPLÈTE

Au départ de Marseille
Prix par pers. en cabine double cat. IC.

Spécial vacances de la Toussaint
Croisière gratuite pour
les enfants de -18 ans⁽¹⁾
+ ANIMATIONS SPÉCIALES JUNIOR

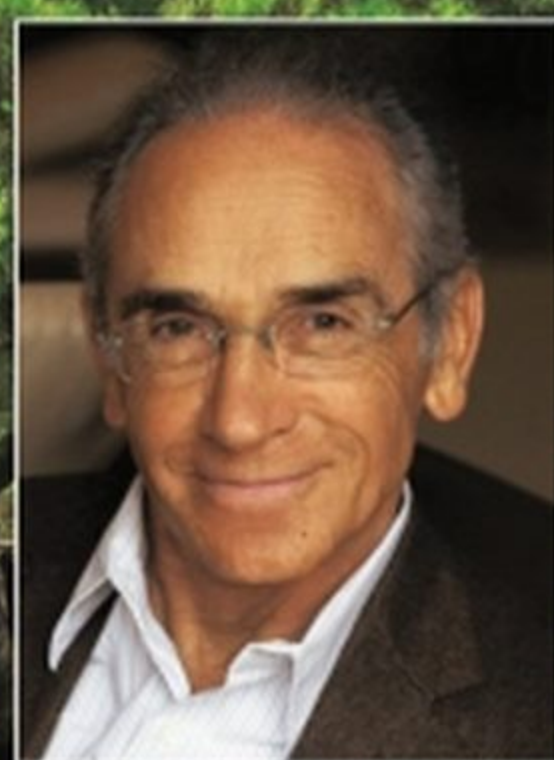
LES CONFÉRENCIERS DE VOTRE CROISIÈRE



Mathilde Fontez',
journaliste scientifique



Yves Coppens',
paléontologue



François de Closets',
votre maître de cérémonie

PALMA • TUNIS • PALERME • NAPLES • SAVONE



LE PROGRAMME DE VOTRE CROISIÈRE

- **François de Closets'** animera plusieurs conférences dont «Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire» le roman-essai d'Albert Einstein, et «alerte à l'orthographe».
- **Yves Coppens'**, membre de l'académie des Sciences tiendra deux conférences : «les origines de l'homme» et «le métier de paléontologue».
- **Mathilde Fontez'**, journaliste scientifique, spécialiste de l'astrophysique vous initiera aux mystères de l'univers.

Et d'autres conférences et animations dont des ateliers de navigation à découvrir dans la brochure.

Des excursions vous seront proposées avec des visites de sites prestigieux, tels que Pompéi, Carthage et le musée du Bardo, Naples souterraine ou le Léserve !

Ce programme non contractuel est susceptible d'évoluer.

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

0 811 020 033

Du lundi au samedi de 9h30 à 17h30 (0,09€ TTC/min depuis un poste fixe en métropole)

OU SUR LE SITE :

<http://origines.scienceetvievoyages.com>

En précisant
le code avantage :
"SCIENCE ET VIE"

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE & VIE CROISIÈRES - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

☐ **OUI, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION COMPLÈTE**
de la croisière AUX ORIGINES DE L'HOMME ET DE L'UNIVERS proposée par Science & Vie Croisières.

☐ Mme ☐ M Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville : Date de naissance :

Tél. : Email :

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

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification des données vous concernant. Cette croisière est organisée en partenariat avec Costa Croisières - Costa Crociere S.p.A. France - Alcot France 0921 00061. Science et Vie est une publication du groupe Mondadori France Siège Social : 8 rue François Dry - 92 543 Montrouge Cedex. * Sauf cas de force majeure. création, réalisation : amplitude c.m.p. Crédits photos : © iStock : EnginKokkraz, hmeier - MasterLu - Angeloloio © Shutterstock : Francesco R. Iacolino - © Costa Croisières.

Costa

**SCIENCE & VIE
CROISIÈRES**

C14SV2P

OFFRE SUPER DISCOUNT, "SPÉCIAL RENTRÉE"

18 magazines à prix cassés

Abonnez-vous vite !

jusqu'à
-52%
sur le prix kiosque



-39%

12 n°s pour **16€**

au lieu de 26,40€
soit 1,33€ le n° au lieu de 2,20€



-37%

10 n°s pour **17€50**

au lieu de 28€
soit 1,75€ le n° au lieu de 2,80€



-33%

10 n°s pour **29€90**

au lieu de 45€
soit 2,99€ le n° au lieu de 4,50€



-29%

6 n°s pour **16€**

au lieu de 22,80€
soit 2,67€ le n° au lieu de 3,80€



-52%

26 n°s pour **18€50**

au lieu de 39€
soit 0,71€ le n° au lieu de 1,50€



-44%

9 n°s pour **17€50**

au lieu de 31,50€
soit 1,94€ le n° au lieu de 3,50€



-44%

12 n°s pour **23€50**

au lieu de 42€
soit 1,96€ le n° au lieu de 3,50€



1€
LE NUMÉRO

20 n°s pour **20€**

au lieu de 30€
soit 1€ le n° au lieu de 1,50€



2 numéros GRATUITS

12 n°s pour **29€**

au lieu de 34,80€
soit 2,42€ le n° au lieu de 2,90€



-31%

12 n°s pour **42€90**

au lieu de 62,40€
soit 3,58€ le n° au lieu de 5,20€



-38%

12 n°s + 6 HS pour **55€90**

au lieu de 90,60€
soit 2,96€ le n° au lieu de 4,80€
soit 5,09€ le HS au lieu de 5,50€



-39%

8 n°s pour **29€**

au lieu de 47,60€
soit 3,63€ le n° au lieu de 5,95€

Offre réservée aux lecteurs de **SCIENCE&VIE**



Mon magazine partout avec moi,
sur tablette, smartphone ou ordinateur.

**La version numérique
OFFERTE !**



-31%

17 n°s pour 26€

au lieu de 38€
soit 1,53€ le n° au lieu de 2,23€



-35%

20 n°s pour 26€

au lieu de 40€
soit 1,30€ le n° au lieu de 2€



**12 numéros
GRATUITS**

52 n°s pour 39€90

au lieu de 52€
soit 0,77€ le n° au lieu de 1€



**0€95
LE NUMÉRO**

52 n°s pour 49€60

au lieu de 57,20€
soit 0,95€ le n° au lieu de 1,10€



-29%

6 n°s pour 25€

au lieu de 35,70€
soit 4,17€ le n° au lieu de 5,95€



-42%

52 n°s pour 59€

au lieu de 103,48€
soit 1,13€ le n° au lieu de 1,99€

BULLETIN D'ABONNEMENT

A compléter et à retourner à **OPÉRATION RENTRÉE**
CS 50273 - 27039 EVREUX CEDEX 9

1 Je choisis mes abonnements et je coche les cases ci-dessous. 786 459

Magazine	Réf.	Durée de l'abonnement	Prix au numéro	MON PRIX	Ma réduction
<input type="checkbox"/> Modes et Travaux	12	1 an - 12 numéros	26,40 €	16€	- 39%
<input type="checkbox"/> Top Santé	13	10 mois - 10 numéros	28,00 €	17,50€	- 37%
<input type="checkbox"/> L'Ami des Jardins	10	10 mois - 10 numéros	45,00 €	29,90€	- 33%
<input type="checkbox"/> 750g	62	1 an - 6 numéros	22,80 €	16€	- 29%
<input type="checkbox"/> Nous Deux	14	17 semaines - 17 n°	38,00 €	26€	- 31%
<input type="checkbox"/> Les Veillées des Chaumières	19	20 semaines - 20 n°	40,00 €	26€	- 35%
<input type="checkbox"/> Grazia Format Poche	57	6 mois - 26 numéros	39,00 €	18,50€	- 52%
<input type="checkbox"/> Vital	61	18 mois - 9 numéros	31,50 €	17,50€	- 44%
<input type="checkbox"/> Pleine Vie	18	1 an - 12 numéros	42,00 €	23,50€	- 44%
<input type="checkbox"/> Closer	17	20 semaines - 20 n°	30,00 €	20€	1€ le n°
<input type="checkbox"/> Télé Poche	50	1 an - 52 numéros	52,00 €	39,90€	12 n° gratuits
<input type="checkbox"/> Télé Star	51	1 an - 52 numéros	57,20 €	49,60€	0,95€ le n°
<input type="checkbox"/> Télé Star Jeux	52	1 an - 12 numéros	34,80 €	29€	2 n° gratuits
<input type="checkbox"/> Science&Vie Découvertes	35	1 an - 12 numéros	62,40 €	42,90€	- 31%
<input type="checkbox"/> Science&Vie Junior + 6 HS	33	1 an - 12 n° + 6 HS	90,60 €	55,90€	- 38%
<input type="checkbox"/> Les Cahiers de Science&Vie	36	1 an - 8 numéros	47,60 €	29€	- 39%
<input type="checkbox"/> Guerres & Histoire	37	1 an - 6 numéros	35,70 €	25€	- 29%
<input type="checkbox"/> Auto Plus	40	1 an - 52 numéros	103,48 €	59€	- 42%

Nombre total TOTAL DE MA COMMANDE _____ €

2 Adresse(s) de livraison des abonnements :

Mes coordonnées (à remplir dans tous les cas) pour recevoir les abonnements

Références des magazines : _____ / _____ / _____ / _____

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Pour recevoir mes codes d'accès à la version numérique de mon(ou mes) magazines, je note :

Email _____

☐ Je souhaite recevoir les offres promotionnelles des partenaires sélectionnés par le groupe Mondadori France.

Coordonnées de la personne à qui j'offre des abonnements

Références des magazines : _____ / _____ / _____ / _____

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

3 Mon règlement. Le montant total de ma commande est de : _____ €

☐ Je règle par chèque ci-joint à l'ordre de **Mondadori Magazines France**.

☐ Je règle par carte bancaire : N° de carte _____

Expire _____ Notez les 3 derniers chiffres du N° inscrit au dos de votre carte _____

Date _____ Signature : _____

Offre valable jusqu'au 30/09/2014.

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori Magazines France. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. En cas de refus de votre part, il vous suffit de nous prévenir par simple courrier.

EXCLUSIF

+ rapide et - cher !

Et en plus à partir de 2 abonnements

-10%

supplémentaires

sur **www.KiosqueMag.com**



△ Les cabines pour 2 personnes du Skytran glisseront par lévitation magnétique sous un rail jusqu'à 240 km/h : d'ici à 2016, 200 km de réseau seront installés.



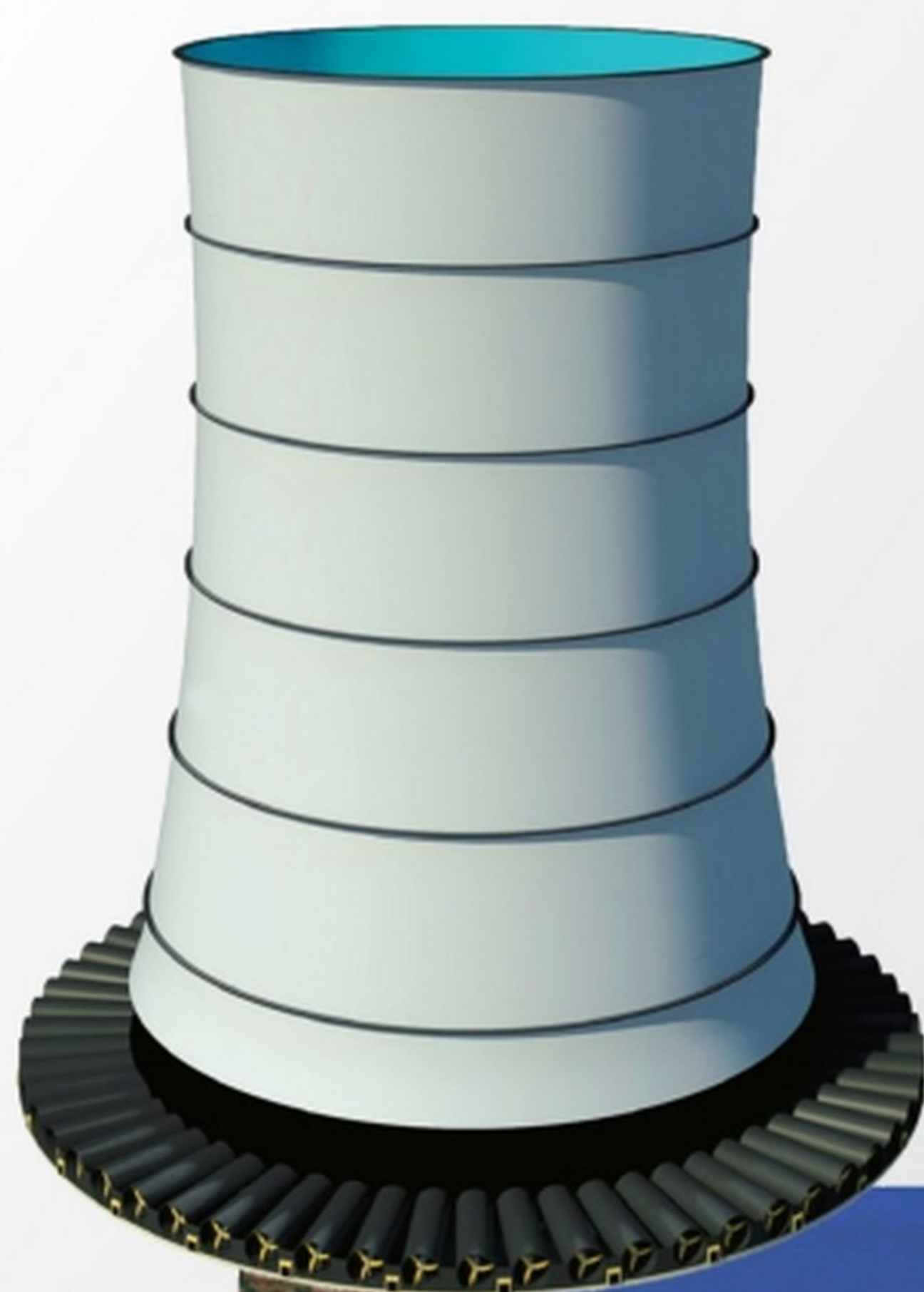
TEL AVIV (ISRAËL)

La lévitation à grande vitesse va desservir la ville

Comment limiter les embouteillages au cœur des villes ? En faisant circuler une partie de la population en hauteur ! En partant de cette idée, Jerry Sanders, un chercheur américain, a développé avec la Nasa un nouveau moyen de déplacement aérien. Baptisé Skytran, ce réseau d'un nouveau genre est en train d'être déployé à Tel Aviv, en Israël. Le principe ? Des minitéléphériques pour 2 personnes glissent les uns derrière les autres, sous un rail, par lévitation magnétique. "Notre technologie de propulsion est unique et brevetée. Et elle a l'avantage d'être très économe en énergie", annonce Jerry Sanders qui ne donnera pas plus de détails techniques. Les cabines de

Skytran circuleront à 5 m au-dessus du sol, dans le même sens, et pourront atteindre une vitesse de 240 km/h. Pour y accéder, les usagers emprunteront des ascenseurs ou rejoindront le sommet des immeubles où des plateformes seront aménagées. "Le site est prêt, nous prévoyons de commencer le déploiement de la structure dans les toutes prochaines semaines, annonce Jerry Sanders qui espère terminer ce premier réseau de 200 km d'ici à 2016 (moyennant 58 millions d'euros). Ensuite, nous envisageons de construire Skytran en Inde, en Asie du Sud-Est et en France, où nous sommes notamment en pourparlers avec Bordeaux, Toulouse et Strasbourg."

M.V.



SAN LUIS (NOUVEAU-MEXIQUE)

Cette **tour solaire** veut produire autant qu'une **centrale nucléaire**

Cette installation en béton de 686 m de hauteur est la Solar Wind Energy Tower. Elle doit voir le jour à San Luis (Nouveau-Mexique), en 2018, pour quelque 1,1 milliard d'euros. Objectif : produire jusqu'à 435 MW d'électricité par jour grâce à de l'eau, acheminée au sommet via des pompes, puis injectée en brouillard qui s'évaporerait en créant un courant d'air descendant, qui s'engouffrerait dans des dizaines de turbines situées à la base de la tour. Bémol : cette tour doit être érigée dans une zone sèche, pour produire des courants d'air, mais a besoin d'eau – même si celle-ci sera en majeure partie remise en circulation grâce aux pompes.

F.C.

EL HIERRO (CANARIES)

Une île inaugure l'**autonomie** totale en **électricité propre**

Dès la fin de cette année, l'île espagnole d'El Hierro deviendra totalement autonome en électricité grâce à sa centrale hydro-éolienne. Cette "station de transfert d'énergie potentielle" utilise l'excédent d'électricité produit par ses cinq éoliennes pour remplir, grâce à un système de pompage, un bassin de 500 000 m³ situé à 700 m d'altitude. En l'absence de vent, les eaux stockées sont déversées dans un bassin inférieur, alimentant une centrale hydroélectrique de 11,5 MW. Ce qui permet de couvrir, quel que soit le temps, les besoins des habitants et de l'usine de dessalement d'eau de mer. El Hierro économisera ainsi 40 000 barils de pétrole par an, et rejettera 18 700 t de CO₂ en moins. D.H.



CHANTIER NAVAL DE CHALKIS (GRÈCE)

Un prototype d'**airbag** pour bateaux est à l'étude

Les ingénieurs du projet SuSy (SURfacing SYstem for ship recovery), financé par l'Europe, développent un prototype d'airbags destinés à retarder le naufrage d'un bateau en détresse. Placés entre la double coque du navire ou au sein de ses réservoirs d'eau de ballast, ces ballons en kevlar se gonfleront en cas de brèche. Leur volume passera de 0,5 à 500 m³ de gaz en seulement quinze secondes, grâce à une violente réaction chimique au sein de cartouches contenant du nitrate de potassium, de l'oxyde ferrique et de la résine époxyde. En prolongeant la stabilité et la flottabilité du navire, c'est un temps précieux gagné pour évacuer le bâtiment.

En outre, ce procédé permettra d'éviter des pollutions si le bateau reste à flot. D.H.

Idée neuve



"DES MURAILLES GÉANTES POURRAIENT PROTÉGER LES PLAINES AMÉRICAINES DES TORNADES"

Rongjia Tao, université Temple (Etats-Unis)

Dans les plaines du Midwest américain, les tornades provoquent chaque année des dégâts matériels et humains considérables. Aucun relief ne contrarie en effet la violente rencontre entre les masses d'air chaud venues du Nord et les vents froids du Sud, à l'origine des "twisters". Pour empêcher leur formation, le physicien Rongjia Tao propose, dans l'*International Journal of Modern Physics*, une solution pharaonique : ériger 3 murailles géantes, hautes de 300 m, larges de 50 m et longues de plusieurs dizaines de kilomètres ! Il a en effet remarqué que, dans les plaines de sa Chine natale, "très peu de tornades violentes se forment, en raison de trois rangées de montagnes est-ouest qui les protègent". Il préconise donc, calculs à l'appui, de construire de véritables collines artificielles en travers de la Tornado Alley (l'allée des tornades). Leur coût serait à mettre en regard des dégâts causés chaque année, qui se chiffrent en milliards de dollars. D.H.



SOLAR WIND TOWER - KATELL ABIVER/AFP - RONGJIA TAO



NEW HAMPSHIRE (ETATS-UNIS)

Via le gaz de ville, on va produire de l'électricité

Chaque maison pourra bientôt avoir sa propre source d'électricité grâce au moteur Beacon. Développé par Dean Kamen (l'inventeur du Segway) et NRG Energy, ce moteur, comme le Stirling dont il s'inspire, chauffe le gaz domestique contenu dans un cylindre pour actionner un piston relié à un alternateur. Le Beacon délivrerait ainsi jusqu'à 10 kW et pourvoirait aux besoins électriques d'un foyer. Le surplus alimentant le réseau public. Selon Dean Kamen, *"son déploiement à grande échelle constituerait un mode de production d'électricité décentralisé"*. D.H.

COWRA (AUSTRALIE)

Un robot innove en travaillant aux champs

Dans un an, les agriculteurs pourront compter sur un nouvel ouvrier agricole, le robot autonome Ladybird ("coccinelle"). Grâce à des lasers et des caméras, ce dôme ambulant cartographie en 3D, rangée par rangée, le champ et ce qui s'y trouve, avec une résolution de l'ordre du centimètre. Il peut ainsi suivre la croissance des plantes, établir leurs besoins en engrais et en eau, détecter les mauvaises herbes et, bientôt, les parasites. Les chercheurs de l'université de Sydney prévoient aussi d'équiper Ladybird d'un bras robotisé pour récolter les légumes à maturité et éliminer les adventices. O.L.

Rendez-
vous en...

2034

AVIATION

LES COCKPITS D'AVION N'AURONT PLUS DE FENÊTRE

Ce n'est, pour l'heure, qu'une esquisse, accompagnant une demande publiée par l'Office américain des brevets en juin dernier. Mais elle révèle ce que pourraient être les cockpits d'avion d'ici vingt ans (le temps de passer du brevet aux appareils sortant des ateliers de production) : des espaces sans fenêtre. Folie d'un inventeur fantaisiste ? Pas du tout : l'idée émane des bureaux d'étude d'Airbus. La compagnie envisage même de déplacer les pilotes au niveau des soutes ou dans la queue de l'avion. L'intérêt ? Le nez de l'appareil, libéré du pare-brise du cockpit, très lourd et source de résistance à l'air, prendrait une forme plus élancée, améliorant l'aérodynamisme de l'appareil. Les pilotes gagneraient, aussi, en informations : des caméras connectées à des écrans vidéo en trois dimensions devraient offrir une vue de l'extérieur à 360°. Les écrans pourraient également accueillir des indications complémentaires (bulletins météorologiques, zones de turbulence...). De quoi, selon Airbus, faciliter le pilotage et améliorer la sécurité des vols. Sans compter le profit réalisé grâce aux sièges supplémentaires disponibles pour les voyageurs... F.C.

ZONES D'INTERVENTION D'URGENCE

Ces abris pliables assureront un minimum de confort pour les réfugiés

Concevoir une tente high-tech pour loger les habitants dans les zones sinistrées : tel est le défi que s'est lancé la designer Abeer Seikaly, lauréate du Lexus Design Award 2013. *"L'idée était de remédier à l'échec à la fois fonctionnel et social des abris traditionnels, explique la jeune femme d'origine jordanienne. Dénués du moindre confort, ils ne font que refléter le malheur dans lequel la guerre et les catastrophes naturelles ont plongé les habitants."* Abeer Seikaly a donc imaginé des abris pliables en tissu, qui s'adaptent tant au froid qu'à la chaleur avec leurs alvéoles modulables qui laissent passer l'air et la lumière. Recouvertes de cellules photovoltaïques, les tentes sont alimentées en électricité et contiennent même une douche solaire, grâce au réservoir à eau que renferme le toit. *"Le premier prototype devrait être achevé dans six mois", s'enthousiasme la designer. Plusieurs ONG sont déjà intéressées.*

L.G.



COURTESY OF ABEER SEIKALY - LADYBIRD ROBOTICS/UNIVERSITY OF SYDNEY

NEW YORK (ETATS-UNIS)

Le premier bâtiment en briques organiques est né

Cette tour est littéralement vivante. Elle est constituée de briques organiques. Une première qui ouvre la voie aux immeubles en matériaux biologiques. Le nom du projet, Hy-Fi, est une référence aux hyphes, le type d'organisme utilisé pour mettre au point le matériau constructeur. Il s'agit de racines de champignons mélangées avec des tiges de maïs. La mixture est placée dans un moule rectangulaire et au bout de cinq jours, les blocs ont en quelque sorte "poussé" : les racines se sont développées pour former une matrice autour des déchets végétaux. Un processus totalement écologique et tourné vers l'économie locale. La tour a été exposée cet été à New York dans la cour du MoMA, qui lui a attribué le premier prix de son concours d'architecture. Elle sera ensuite transformée en compost pour les jardins communautaires de la ville.

L.G.

Culture Science

124

Bon à savoir

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

126

Questions / Réponses

D'où viennent les propriétés curatives de l'argile ? Un cyclone peut-il être plus puissant qu'une bombe atomique ?...

132

A lire / à voir

Un jeu en ligne pour piloter une usine de microalgues ; "Le tour du monde des télescopes en 20 étapes" ; Dans le ciel ce mois-ci : la galaxie d'Andromède.

136

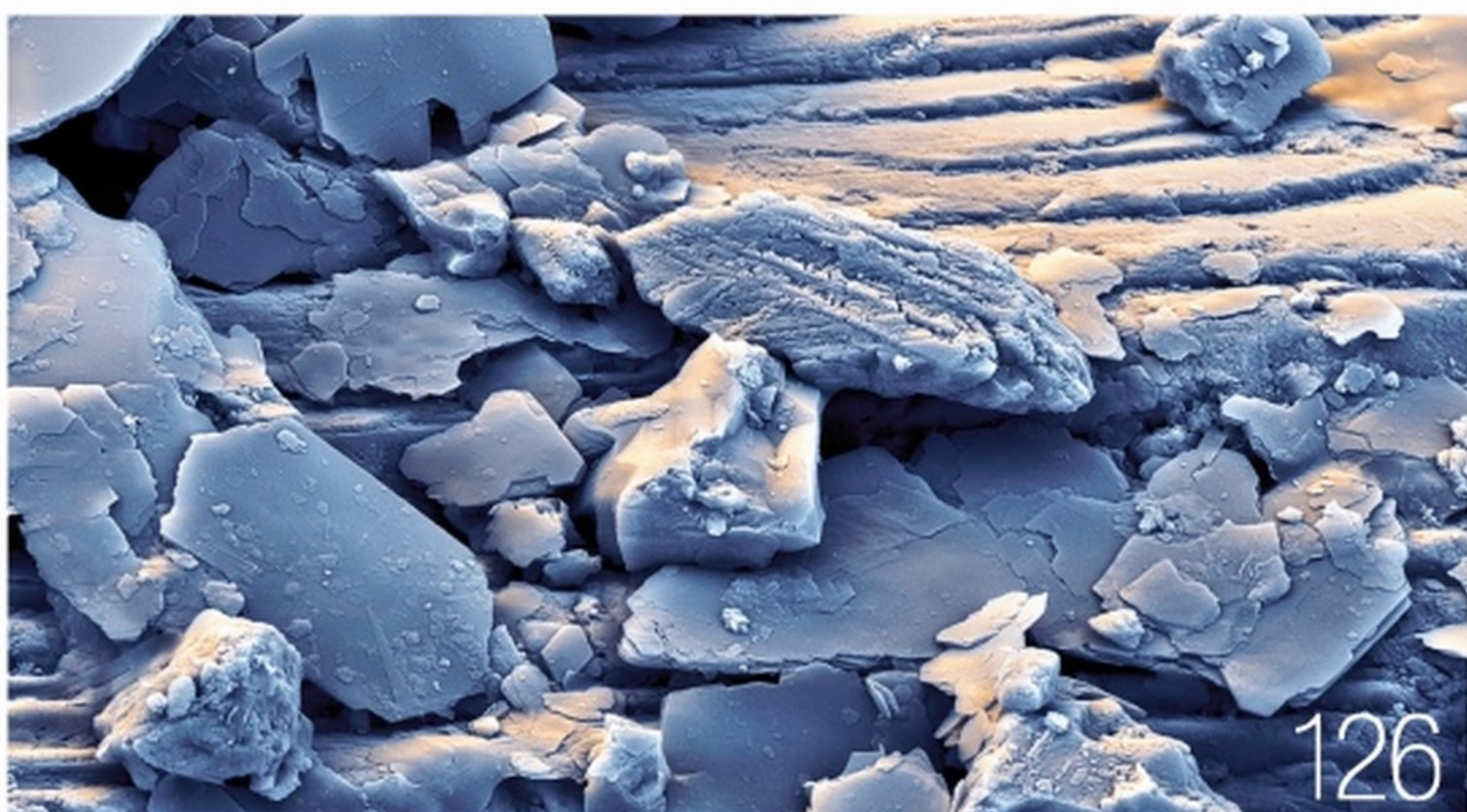
Technofolies

Le drone qui filme vos exploits ; Le smartphone qui se joue des espions ; Un couteau inusable affûté par la Nasa...

140

Il y a... 20 ans

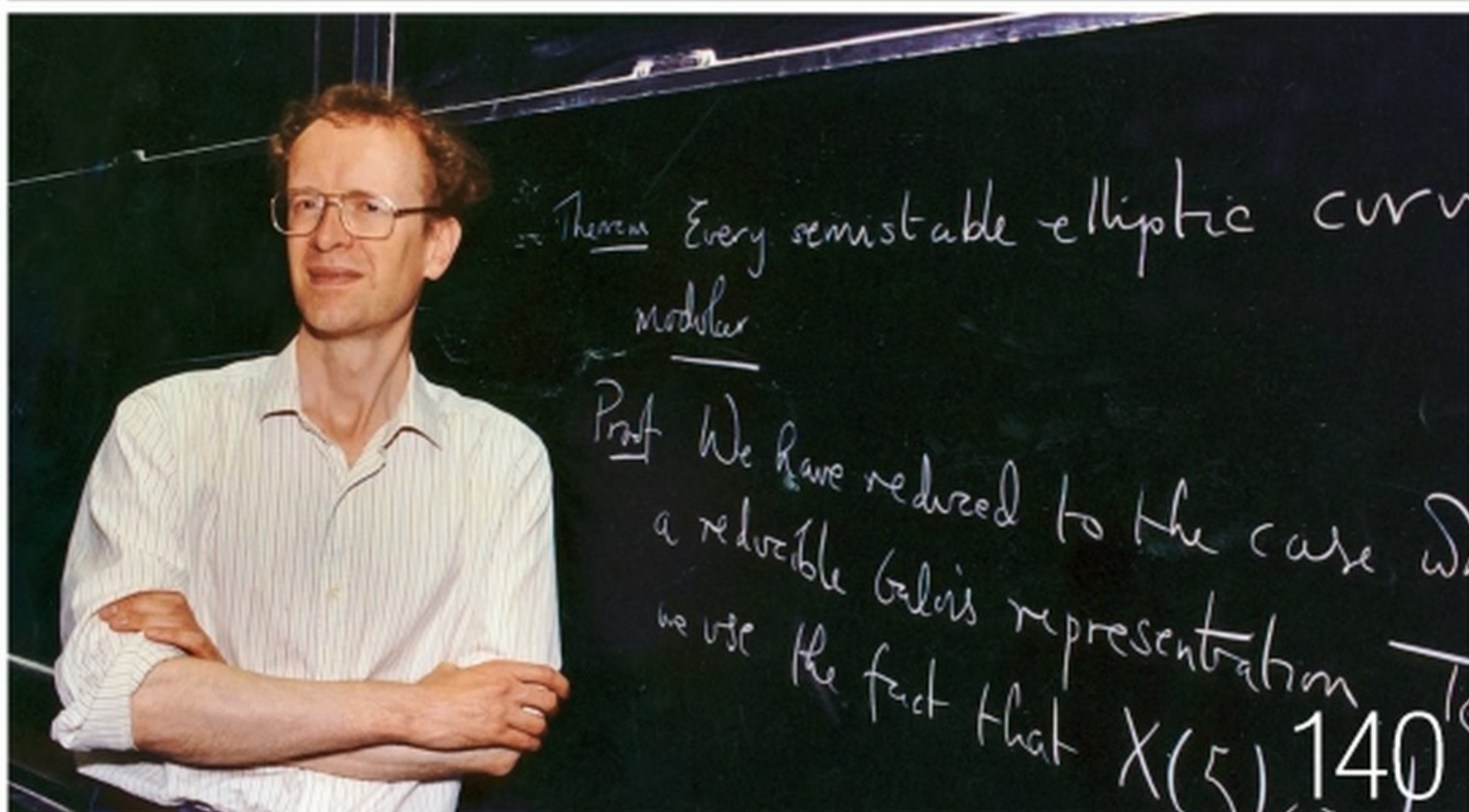
Le 19 septembre 1994, le Britannique Andrew Wiles triomphe d'une des plus célèbres énigmes de l'histoire des mathématiques : le dernier théorème de Fermat.



126



136



140

TRAVAILLER EN DÉCALÉ FAVORISE LE DIABÈTE

Le risque de souffrir de diabète de type 2 (le plus fréquent) augmente de 9 % chez les employés ayant des horaires décalés, et de 42 % lorsqu'ils alternent jour et nuit!

En cause: un sommeil perturbé et des repas irréguliers. Les hommes sont plus vulnérables à ce facteur de risque. "OEM", juillet 2014



LE PARACÉTAMOL NE SOULAGE PAS LE LUMBAGO

Il est efficace contre les rages de dents... mais pour ce qui est des douleurs aiguës aux lombaires, le paracétamol ne ferait guère mieux qu'un placebo. Les raisons de cette inefficacité sont encore inconnues. "The Lancet", juillet 2014

LA CIGARETTE DU MATIN EST LA PIRE

Une étude américaine le confirme: la première cigarette de la journée est la plus dangereuse. Plus le délai entre le réveil et la première bouffée est court, plus le risque de cancer du poumon augmente, quelle que soit la quantité de tabac fumé ensuite. "JNCI", juin 2014

LES LANGUES SE RÉVISENT MIEUX EN DORMANT

Pour bien retenir sa leçon, mieux vaut la réécouter... en dormant! Telle est la conclusion d'une étude menée sur 60 germanophones. Ces derniers ont tous appris des mots néerlandais à 22 h, puis la moitié du groupe s'est endormie tandis que l'autre est restée éveillée. Pendant ce temps, on leur faisait écouter soit un enregistrement des termes préalablement appris, soit une bande sonore avec des mots complètement différents. Quatre heures plus tard, tous ont été soumis à un test de néerlandais. Résultat: ceux qui avaient été bercés dans leur sommeil par les mots appris quelques heures plus tôt ont obtenu les meilleurs résultats. "Cerebral Cortex", juin 2014

MÊME SANS ÊTRE UTILISÉ, LE SMARTPHONE AFFECTE NOS RELATIONS

La simple présence d'un smartphone altérerait nos échanges avec les autres... même lorsqu'on ne s'en sert pas! Des chercheurs de l'université de Virginie (Etats-Unis) ont invité 100 binômes à discuter dans un café, à proximité ou non d'un téléphone portable inactif. Interrogés ensuite sur leur conversation, les volontaires l'ont jugée de moins bonne qualité lorsqu'un smartphone était entre les mains de leur interlocuteur ou même posé sur la table. Leur capacité d'empathie et leur bonne humeur étaient aussi dégradées. La seule présence du téléphone suffirait à détourner l'attention. Au restaurant, gardez-le donc dans votre poche... "Environment and Behavior", juillet 2014



M. SYKES/ALAMY/MEDIAFORMEDICAL - J. MIGNOT/ÉTÉ80 - GETTY IMAGES - FOTOLIA



BOIRE TRÈS PEU EST AUSSI MAUVAIS POUR LE CŒUR

Boire un verre d'alcool par jour sous prétexte que c'est bon pour la santé n'est décidément plus une excuse valable. Après la découverte de ses effets cancérigènes, une étude internationale portant sur plus de 260 000 participants révèle que la consommation modérée d'alcool ne présente aucun effet protecteur pour le cœur – bien au contraire. Les chercheurs se sont intéressés aux individus intolérants à l'alcool (rougeurs, picotements...), et qui boivent donc de manière exceptionnelle. Ils se révèlent être en meilleure santé (pression artérielle et poids moins élevés, notamment) que des personnes ne buvant pourtant que deux verres d'alcool par semaine. Même les petits buveurs gagneraient donc à réduire leur consommation d'alcool pour se protéger des maladies cardio-vasculaires! "BMJ", juillet 2014

SECOUER LA TÊTE EN CONCERT FAIT DES RAVAGES

Des neurochirurgiens allemands alertent contre la pratique du "headbanging" lors des concerts de "metal". Balancer violemment la tête peut provoquer des hématomes cérébraux, des fractures des vertèbres cervicales ou le "coup du lapin". "The Lancet", juillet 2014

DANS LES GRANDES VILLES, ON A PLUS D'AMIS

La solitude urbaine est-elle un mythe? L'étude de millions d'appels téléphoniques en Europe suggère que les habitants des grandes villes ont plus d'amis que ceux des petites villes, et entretiennent des relations tout aussi approfondies. "JRSI", septembre 2014

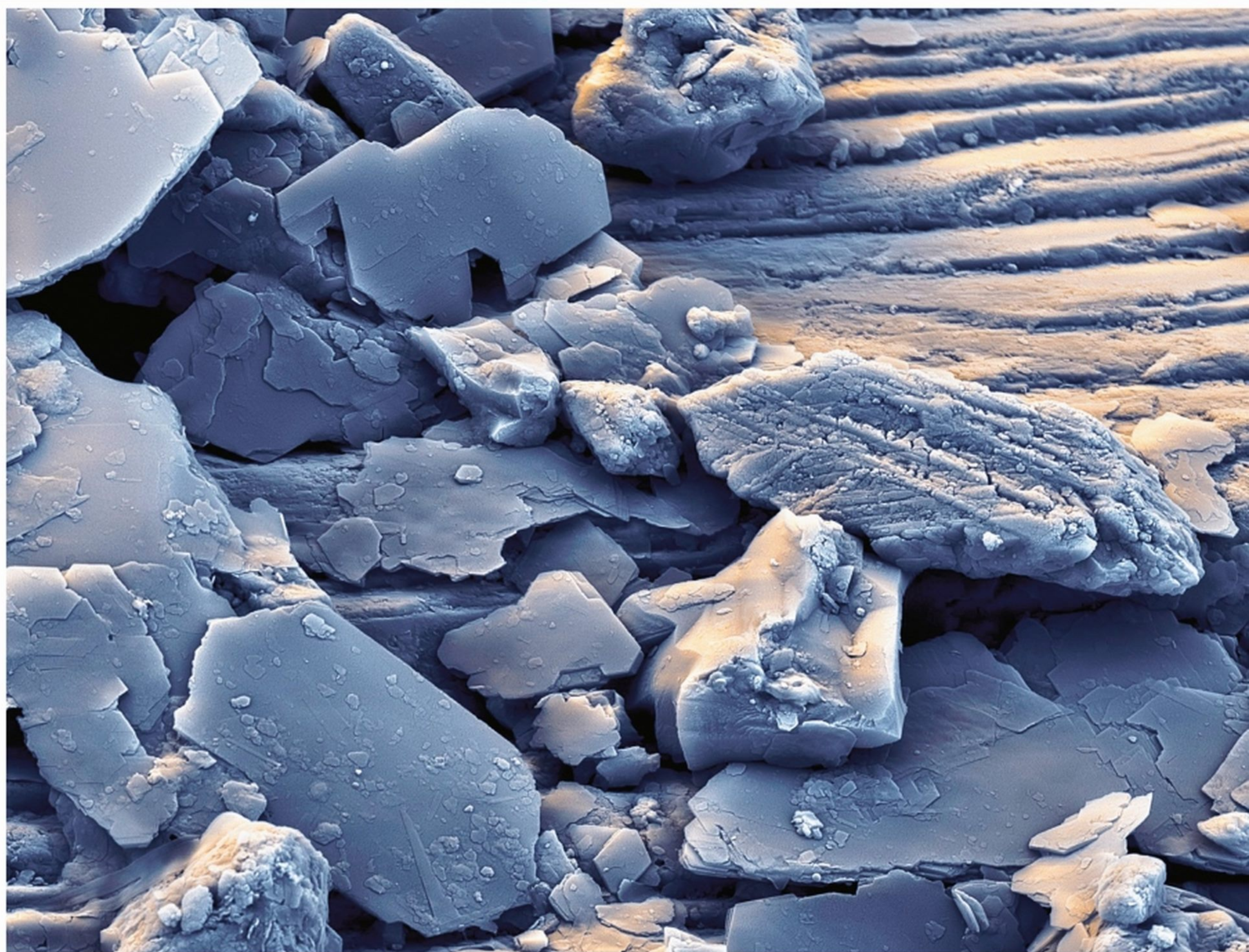
POUR SE SALUER, RIEN NE VAUT UN "CHECK"

Un "check", qui consiste à se saluer poing contre poing, véhicule dix fois moins de bactéries qu'une poignée de main appuyée. Alors que le "high five" et la peu engageante "poignée de main molle" sont seulement deux fois plus hygiéniques. "AJIC", août 2014

ON SAIT PRÉDIRE OÙ LE GOAL VA PLONGER

Les gardiens de but avaient une faille: la voici. Deux chercheurs anglais ont examiné 361 penalties tirés entre 1976 et 2012 en Coupe du monde ou d'Europe, et étudié le comportement des goals lorsque les trois tirs précédents ont eu lieu du même côté. Dans 70 % des cas, le joueur plonge dans la direction opposée. Une information utile pour l'attaquant qui voudrait miser sur l'effet de surprise... mais dont la portée pourrait être limitée si des gardiens de but nous lisent et prennent en compte cette étude pour déconcerter leurs adversaires lors d'un prochain match. Conclusion des auteurs: le meilleur moyen de marquer reste un tir... bien cadré. "Current Biology", juillet 2014





Quelle taille maximale peut atteindre une bulle de savon ?

Question de Lon Chen, Le Raincy (93)

Selon les derniers records officiels, 47,3 m ; la plus grande créée en plein air atteint 20,65 m³. Le Tchèque Matthew Kodes a réussi, lui, à enfermer 214 personnes dans une bulle ! Une bulle est composée d'air, sa paroi est un mince film d'eau, qui possède des molécules tensio-actives et *"peut se fracturer, par déplacement de l'eau vers le bas via la gravité, ou par évaporation, expose Emmanuelle Rio, chercheuse et maître de conférences à l'université Paris-Sud. La bulle finit donc par éclater."* Il existe des moyens de repousser les limites, comme le savon, dont les molécules ralentissent l'écoulement de l'eau, ou bien le sucre, qui freine son évaporation, ou encore le glycérol, qui stabilise la bulle en la rendant plus visqueuse. *"Mais personne ne peut dire s'il existe une taille maximale."* **F.C.**

D'où viennent les propriétés curatives de l'argile ?

Question de Myriam Martinelli, Toulouse

Masques verts censés purifier la peau, cataplasme contre une douleur articulaire ou tendineuse... Si les vertus de l'argile sont bien reconnues par les scientifiques, ses mécanismes ne sont pas totalement élucidés. *"Il existe de nombreuses sortes d'argile, comme les kaolinites, les smectites, les illites, les montmorillonites, les beidellites..."*, explique Nicole Liewig, enseignante-chercheuse à l'université de Poitiers. Ce qui ne facilite pas leur étude.

Toutefois, *"toutes les argiles ont une microstruc-*

ture en mille-feuille, et il n'en existe que deux catégories : celles constituées de deux couches (alumine et silice) et celles qui en ont trois – l'alumine en sandwich entre deux silices".

SELON LA STRUCTURE...

Or, le secret de l'efficacité d'une argile dépendrait pour l'essentiel de son type de structure. *"Les argiles à deux couches, comme les kaolinites, ne contiennent pas autant d'eau que celles à trois couches, telles les montmorillonites ; elles sont donc moins hydratantes, gardent*

peu la chaleur et permettent moins d'échanges chimiques, contenant moins d'ions minéraux (calcium, magnésium, fer...)".

Ingérée, l'argile agit comme un tamis : elle fixe les agents pathogènes (bactéries, virus...) et toxines, qui seront ensuite évacués par les selles. *"Que ce soit par voie externe ou interne, attention toutefois à n'utiliser que des argiles sans impuretés. Car l'argile peut contenir elle-même des agents pathogènes... dans ce cas le remède serait pire que le mal !"*, prévient Nicole Liewig. **M.K.**

< Les propriétés des diverses argiles dépendent du nombre de couches de leur microstructure.

Pourquoi la majorité des insectes volent-ils en nuée ?

Question de Françoise Richard, Saint-Gratien (95)

Mystère. Aucune recherche scientifique n'a encore justifié de manière précise ce phénomène. Cependant, des hypothèses sont bel et bien évoquées. Ainsi, Claudio Lazzari de l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte à Tours, note que *"le comportement d'agrégation adopté par beaucoup d'insectes peut s'expliquer par des raisons biologiques diverses : pour attirer des femelles, échanger des micro-organismes bénéfiques, se protéger de la prédation... Mais pour de nombreuses espèces, nous n'avons pas suffisamment d'informations pour pouvoir émettre des conclusions"*. Les moucheron se regrouperaient donc dans un endroit précis, attirés par des signaux de communication chimique, acoustique et visuel (phéromones, chants, contraste...) ou par des facteurs environnementaux (température, éclairage, odeur...). Mais ça reste à confirmer. **F.C.**



Un cyclone peut-il être plus puissant qu'une bombe atomique?

Question de Simon Borès, Paris 18^e

Oui. Les plus fortes tempêtes tropicales sont des phénomènes d'une puissance inégalée. Elles provoquent toutefois beaucoup moins de victimes – 6000 pour les plus meurtriers – qu'une bombe atomique (celle d'Hiroshima: entre 95 000 et 166 000).

Mais l'énergie déployée par un cyclone est supérieure. *"En pleine maturité, c'est cinq bombes atomiques par seconde en équivalent énergétique!"*,

explique Jérôme Lecou, de Météo France. Plus précisément, son énergie dépend de sa taille et de la force des vents. Exemple: l'énergie d'un kilomètre cube d'air se déplaçant à 250 km/h – un ouragan de catégorie maximale – est de $2,9 \times 10^{12}$ joules. L'énergie dégagée par le bombardement d'Hiroshima était de $6,3 \times 10^{13}$ J, soit 20 fois plus. Mais imaginez quand l'ouragan atteint 15 km de haut sur plusieurs centaines de kilo-

mètres de diamètre! *"Un cyclone tropical peut excéder 2×10^{19} J par jour! Cela équivaut à faire détoner une bombe thermonucléaire de 10 mégatonnes toutes les 20 min, ou 200 fois la capacité instantanée de production électrique mondiale"*, décrit Jérôme Lecou.

Il reste toutefois difficile de calculer l'énergie dégagée d'un ouragan. *"Soit on considère la quantité totale d'énergie libérée par la condensation en gout-*

telettes d'eau (formation de nuages et/ou de pluie), soit on calcule la quantité d'énergie cinétique générée pour maintenir les vents tourbillonnants." (ci-contre), explique l'ingénieur. A ce jour, le plus puissant enregistrée est le typhon Haiyan, qui a frappé les Philippines en novembre 2013, avec des vents moyens de plus 300 km/h. Son énergie totale: 10^{20} J, soit 5 millions de bombes Hiroshima! **M.K.**

Pourquoi les nouveau-nés ont-ils les yeux bleus?

Liliane Lomba, Borlon, Durbuy (Belgique)

S'il est vrai que la plupart des nourrissons d'origine caucasienne – quelle que soit la couleur de leur iris à l'âge adulte – ont les yeux bleus, ce n'est pas le cas pour les bébés africains ou asiatiques. Le changement de couleur est dû à l'apparition progressive dans l'iris d'un pigment brun, la mélanine. A la naissance, seule la couche profonde gris-bleu de l'iris est visible. Mais peu à peu, les gènes responsables de la coloration des yeux s'expriment. Ils commandent à chaque mélanocyte, cellule sécrétrice de mélanine, la production d'une quantité de pigment dans l'iris, déterminant de fait la répartition du brun dans l'œil. Et si certains gardent leurs yeux bleus, c'est parce que leurs gènes ont justement bloqué la production de mélanine dans l'iris. **M.K.**



Vaut-il

Question de S. Petitcolas,

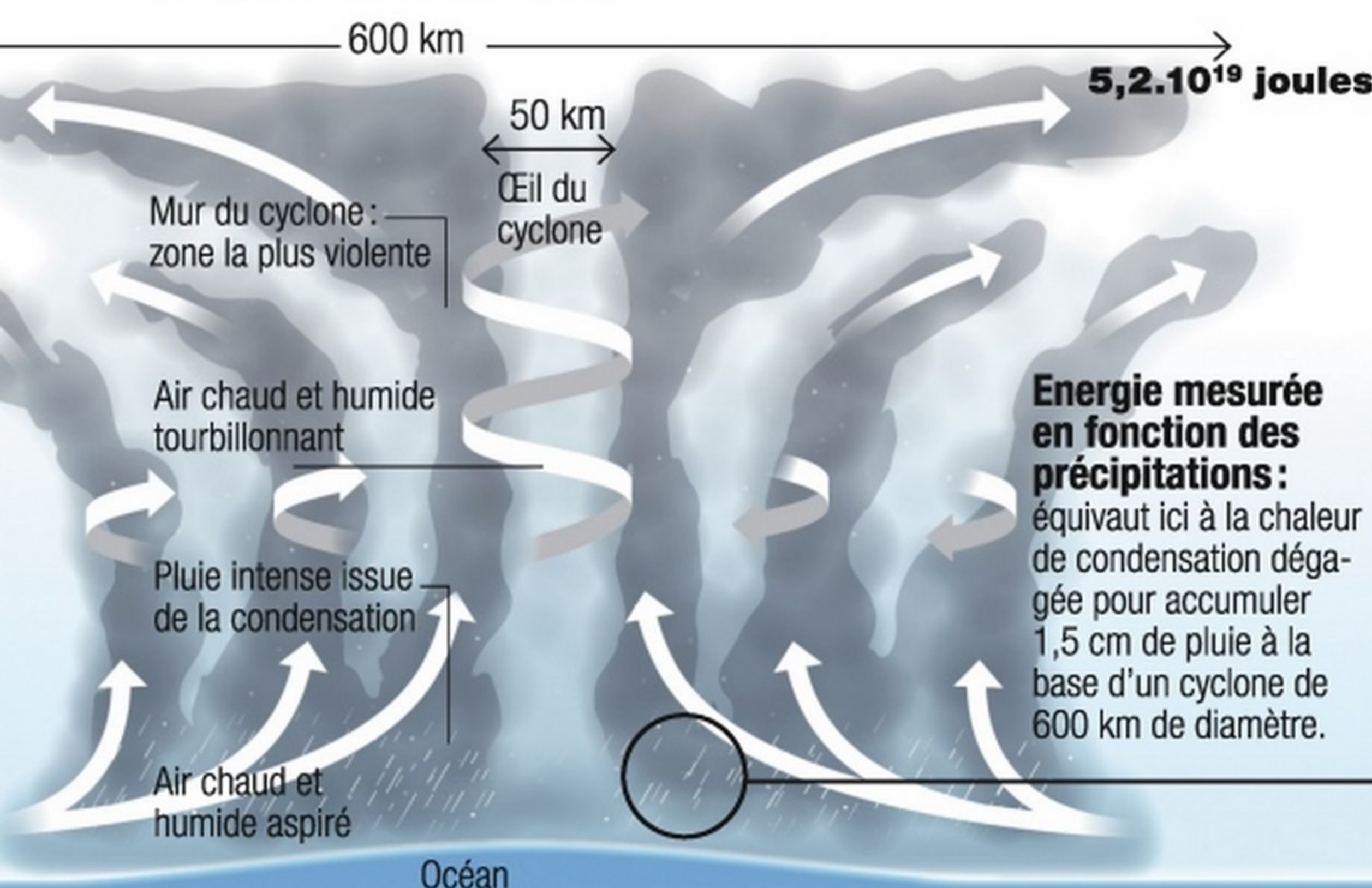
La "raw food diet" ("régime à base de nourriture crue"), a beau être une tendance actuelle, son origine remonte à plus d'un siècle et demi. Aux Etats-Unis, Sylvester Graham, puis, en Suisse Maximilien Bircher-Benner – l'inventeur du muesli – mettent au point des régimes sans cuisson. Dans les années 1970-1980, la "raw food" refait son apparition aux Etats-Unis, remise au goût du jour par les adeptes d'une nourriture plus saine et plus proche de nos origines. Leurs arguments? D'abord, le fait que la cuis-

ANNE-SOPHIE BOST/ORELIA - A. DAGAN

Un cyclone concentre bien plus d'énergie qu'une bombe atomique

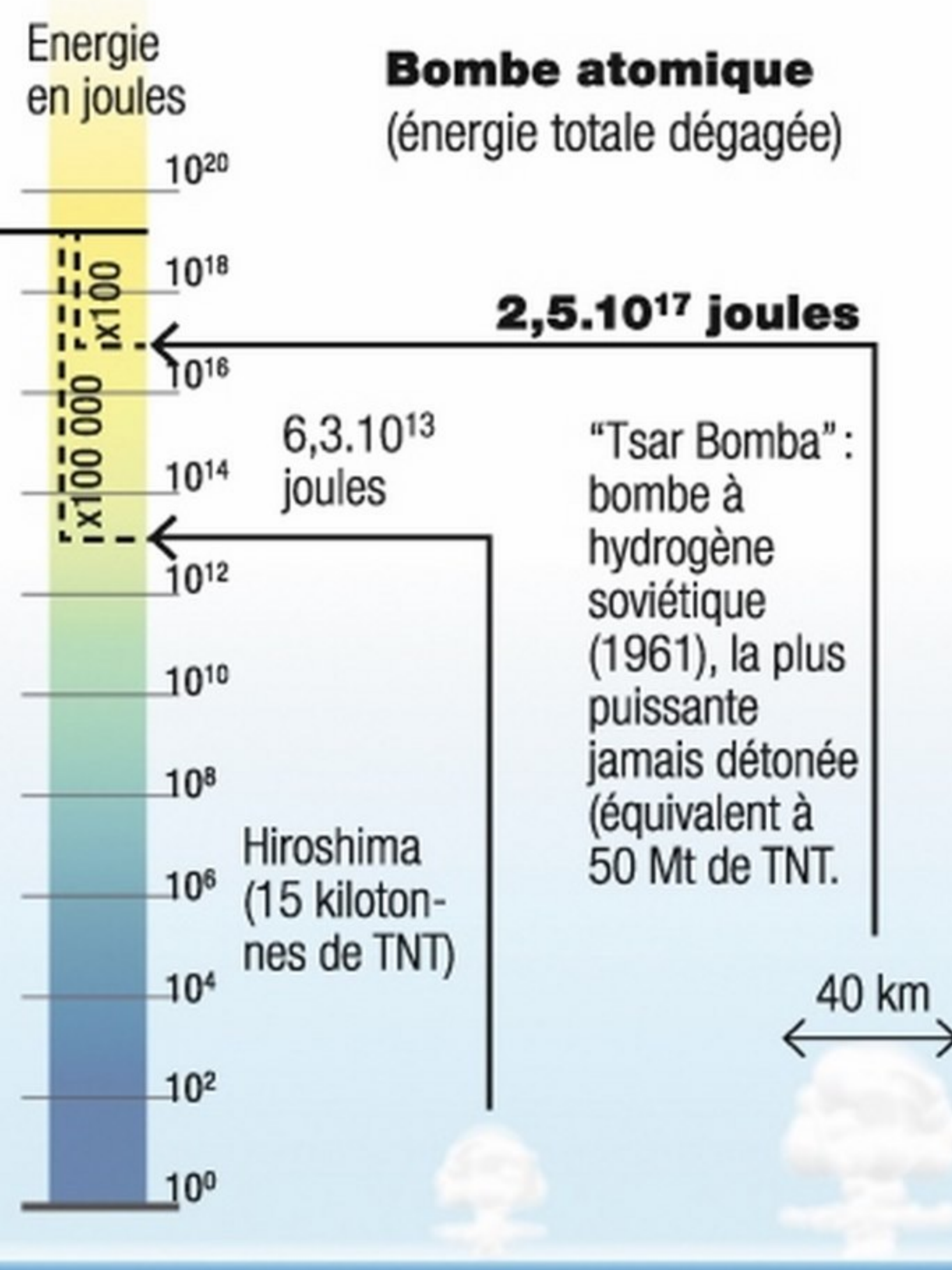
Tempête

(énergie mise en œuvre par jour)



Bombe atomique

(énergie totale dégagée)



mieux manger cru, ou cuit?

Uzès (30)

son détruit les vitamines des fruits et légumes.

“Si certaines vitamines sont effectivement thermolabiles, la plupart sont hydrosolubles. Lorsqu’on cuit un aliment dans l’eau bouillante, ses vitamines sont éliminées dans l’eau de cuisson. Mais la cuisson à la vapeur en préserve une grande partie”, explique Irène Margaritis, de l’Agence nationale de sécurité sanitaire de l’alimentation, de l’environnement et du travail (Anses).

Pour les adeptes de la “raw food”, la cuisson, même à la vapeur, détrui-

rait également les enzymes des aliments, qui leur permettraient de s’autodigérer, facilitant ainsi la tâche de notre propre organisme. “Notre organisme possède les enzymes nécessaires à la digestion et, de ce fait, rien ne s’oppose à ce qu’on mange des aliments cuits”, rétorque Irène Margaritis.

PAS SANS RISQUE...

Alors bien sûr, en bannissant les produits transformés saturés en sucres, graisses et sel pour faire la part belle aux fruits et légumes, la “raw food diet” peut lutter contre l’épidémie d’obésité mondiale. De façon plus étonnante, quelques rares études ont

montré qu’un régime à base de nourriture crue pouvait améliorer la santé de patients souffrant de fibromyalgie.

Oui, mais manger cru n’est pas non plus sans risque. D’abord, parce qu’il conduit à éliminer certains aliments qui ne peuvent être mangés que cuits. Adieu pommes de terre, riz et autres céréales. “Un régime cru exclusif conduit forcément à un déséquilibre nutritionnel”, indique Irène Margaritis. Ensuite parce que, comme le rappelle Jean Dupouy-Camet, professeur de parasitologie à l’hôpital Cochin de Paris, “la cuisson constitue la meilleure prophylaxie

contre les virus, bactéries et parasites que peuvent contenir les aliments”. En 2011, la bactérie *E. coli* retrouvée dans des graines germées faisait plus d’une trentaine de morts à travers l’Europe. Dans les années 1980-1990, ce sont des épidémies de trichinellose liées à l’ingestion de viande de cheval crue ou mal cuite qui avaient défrayé la chronique. En raison du risque de toxoplasmose congénitale, on conseille aux femmes enceintes non protégées contre le parasite de ne pas consommer de viande crue. Les aliments crus sont également déconseillés aux personnes immunodéprimées. C.H.

Porter un soutien-gorge est-il vraiment utile ?

Question de D. Fage, Barbentane (13)



Pour ce qui est d'éviter l'affaissement des seins (la ptôse), *"il n'est pas prouvé que le port du soutien-gorge soit utile"*, répond d'emblée le docteur Dominique Gros, sénologue et praticien honoraire du CHU de Strasbourg. Il n'existe que deux études sur le sujet. La première, menée au Japon en 1990, a été confirmée par la seconde, française, en 2013. Son auteur, le docteur Jean-Denis Rouillon, médecin du sport au CHU de Besançon, a étudié pendant seize ans la hauteur et la fermeté des seins avec et sans soutien-gorge chez plusieurs centaines de femmes. Bilan : en porter un ne prévien-

dra pas l'affaissement du sein – au contraire, même. Privé de son propre poids, le sein perdrait de sa suspension naturelle... Mais la recouvrerait progressivement avec l'arrêt du port du soutien-gorge. Et la gêne ressentie alors, signe d'adaptation naturelle à la pesanteur, diminuerait significativement au bout d'un mois et demi.

UN AFFAISSEMENT LIÉ À LA TONICITÉ DE LA PEAU

"Dans le milieu académique, on a du mal à faire des études sur le soutien-gorge parce que cela ne fait pas sérieux, commente le docteur Gros. En médecine, à part en chirurgie esthétique, on s'occupe du sein malade. L'affaissement est une évolution naturelle et inexorable, liée à la gravité et à la bipédie." Mais il est

plus ou moins marqué selon les femmes. Il dépend de la tonicité de la peau (variant avec le patrimoine génétique, affaiblie par la tabagie ou les régimes amaigrissants), du poids des seins, de leur morphologie, et des grossesses, qui augmentent souvent leur volume. Le docteur Gros précise toutefois que l'allaitement n'est pour rien dans le fléchissement des seins.

Le port du soutien-gorge est, aussi, une question de confort. La chirurgienne américaine Christine Haycock a étudié la pratique du sport chez les femmes et établi que soutenir la poitrine évite les douleurs – dues non pas à un endommagement des muscles ou de la glande mammaire mais à l'étirement de la peau. **E.L.**

Existe-t-il des arbres carnivores ?

Question de Louis-Albert Pichai, Pau (64)

Non. Certes, des plantes ont pu devenir carnivores : sur des sols pauvres, leurs racines souffrant d'un déficit en azote, elles ont développé des feuilles capables d'absorber de petits animaux, ressource nutritionnelle en azote et phosphore.

Or, comme le rapporte Laurence Gaume du Laboratoire botanique et bio-informatique de l'ar-

chitecture des plantes (Montpellier), lorsqu'une plante est limitée en ressources, elle investit dans le système racinaire, ou aérien. Et un arbre ne peut pas croître avec peu de racines et des feuilles pièges. *"L'arbre a besoin d'un dispositif racinaire qui lui permette d'explorer les strates souterraines pour optimiser l'absorption de nutri-*

ments. Dans un sol pauvre, il met en place des stratégies alternatives au niveau des racines pour se procurer l'azote et le phosphore" – des associations symbiotiques avec des champignons ou des bactéries qui fixent l'azote de l'air.

L'arbre carnivore est donc un mythe, à l'image du légendaire arbre cannibale de Madagascar. **F.C.**

GAGNEZ UN
ABONNEMENT
D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à toutes et à tous, mais les auteurs des questions que la rédaction sélectionnera se verront offrir un abonnement d'un an à Science & Vie (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Vous pouvez nous envoyer vos questions à :
sev.qr@mondadori.fr
ou bien par courrier à :

SCIENCE & VIE
QUESTIONS/RÉPONSES
8, rue François-Ory
92543 MONTROUGE CEDEX

La Lune a-t-elle des satellites ?

Question de Raphaël Lemaire, Paris (12^e)

La Lune n'a pas de lune... Simplement parce qu'elle n'offre aucun refuge stable autour d'elle pour accueillir un satellite.

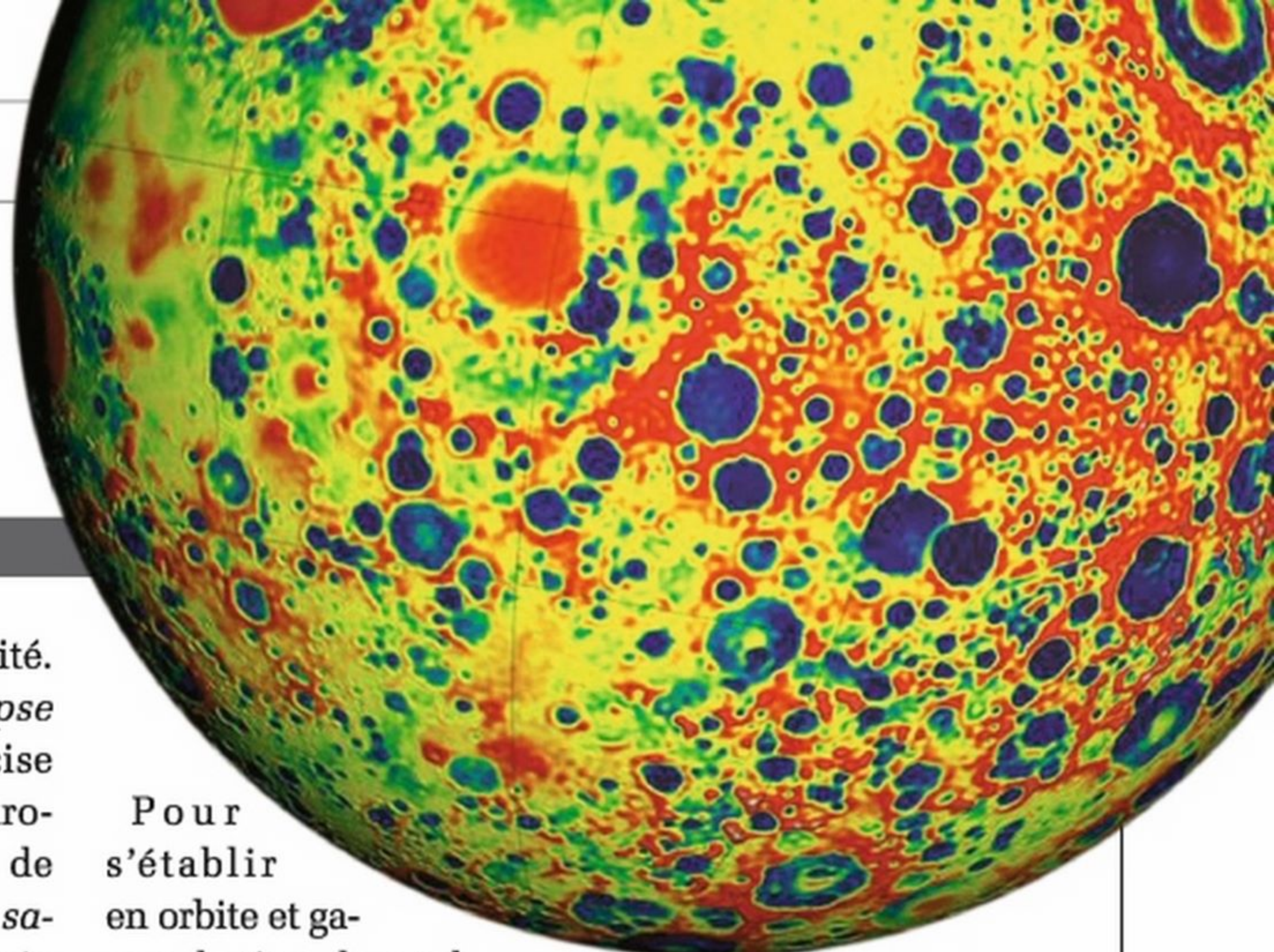
D'abord, son orbite autour de la Terre est très irrégulière à cause d'anomalies gravitationnelles qui constellent sa surface. Des zones plus denses, ou "réplétions", qui ont été formées par la chute d'astéroïdes et de comètes juste après sa naissance, alors qu'elle était encore chaude, et qui augmen-

tent localement la gravité. *"Elles déforment l'ellipse de l'orbite lunaire, précise Jérémie Vaubaillon, astronome à l'Observatoire de Paris. Ce qui fait que si satellite il y avait, il serait très instable."*

Par ailleurs, autour de la Lune agissent aussi les forces gravitationnelles de la Terre et du Soleil. Trois influences qui ont plutôt tendance à expulser les astéroïdes potentiels vers le Soleil ou à les propulser vers le sol lunaire.

Pour s'établir en orbite et gagner le titre de satellite, un astéroïde devrait ainsi arriver avec pile le bon angle par rapport à l'équateur lunaire, autour de 27°, 50°, 76° et 86°, là où Alex Konopliv et son équipe du Jet Propulsion Laboratory ont calculé que l'influence du Soleil est moindre... *"Mais cette sta-*

bilité reste relative, prévient Jérémie Vaubaillon, car dans l'espace, tout dépend de l'échelle de temps utilisée." Au bout de quelques années à quelques centaines d'années, une éventuelle lune de la Lune finirait de toute façon par être éjectée. **B.R.**



LES ANIMAUX SAUVAGES SONT À PARIS.

Venez les découvrir au Parc Zoologique de Paris.


PARC
ZOOLOGIQUE
DE PARIS
une nouvelle espèce de zoo

Plus de 1 000 animaux vous attendent au Parc Zoologique de Paris. Venez visiter en immersion totale les 5 biozones qui ont été reconstituées pour les accueillir. Accès : Porte Dorée Métro Ligne 8 / Tramway Ligne T3. Billetterie : parczoo.paris.fr

PHOTOGRAPHIE : BERNARD MÉRAT

Jeu vidéo *Viridis*

Une usine de micro-algues à piloter en ligne

"Enfant du monde de l'après, approche maintenant, éprouve le crépuscule, prends courage [...]. Le temps est venu [...]. Erige les fondations de ta propre société. Endosse cette mission et sois le porteur de la vie, le porteur de Viridis." La voix est grave, sombre, inquiétante. Vous êtes dans un monde post-apocalyptique, à la bandeson angoissante, où seul le "Guru" et sa canne vous accompagnent dans votre quête: voilà pour l'atmosphère du jeu *Viridis*.

UN JEU PARTICIPATIF

Arpentant grottes, forêts et bâtiments désaffectés, le héros que vous incarnez survit en récupérant et fabriquant des objets et matériaux nécessaires à la création d'une exploitation de spiruline, une micro-algue essentielle pour... sauver les derniers habitants de la planète. Car, à l'origine de cet avenir incertain et lugubre, une catastrophe a engendré une brume mortelle qui s'est répandue aux quatre coins de la Terre. Seul remède: le contrepoison vert *Viridis*, nom donné à la spiruline, censée immuniser contre les effets de cette brume toxique. A l'issue d'innombrables clics, il

s'agit, *in fine*, de concevoir une ferme inédite et d'y installer une nouvelle communauté, dans une limite de temps donnée.

Un jeu vidéo basique? Bien davantage. Les missions réussies dans ces univers glauques et obscurs désertés par la vie se traduisent en moissons de points. Des points indispensables pour contribuer au pilotage d'une exploitation de spiruline... cette fois bien réelle. Car la micro-algue (véritablement utilisée comme complément alimentaire) est bel et bien cultivée – pour le jeu – dans une petite exploitation installée dans les Cévennes méridionales. Fruit du travail des artistes Gaspard et Sandra Bébié-Valérien, plus connus sous le nom d'Art-Act et auteurs du projet *Viridis*, elle est portée par l'association Oudeis.

Constituée d'une simple serre abritant un bassin, l'exploitation nécessite l'interaction des joueurs pour prospérer. Au fil du temps et des événements, les deux créateurs du jeu, officiant comme fermiers de chair et d'os sur le site, dialoguent avec les internautes et leur soumettent différentes tâches à effectuer. En pratique, les points obtenus dans le jeu



^ Dans les Cévennes, une exploitation bien réelle de spiruline...

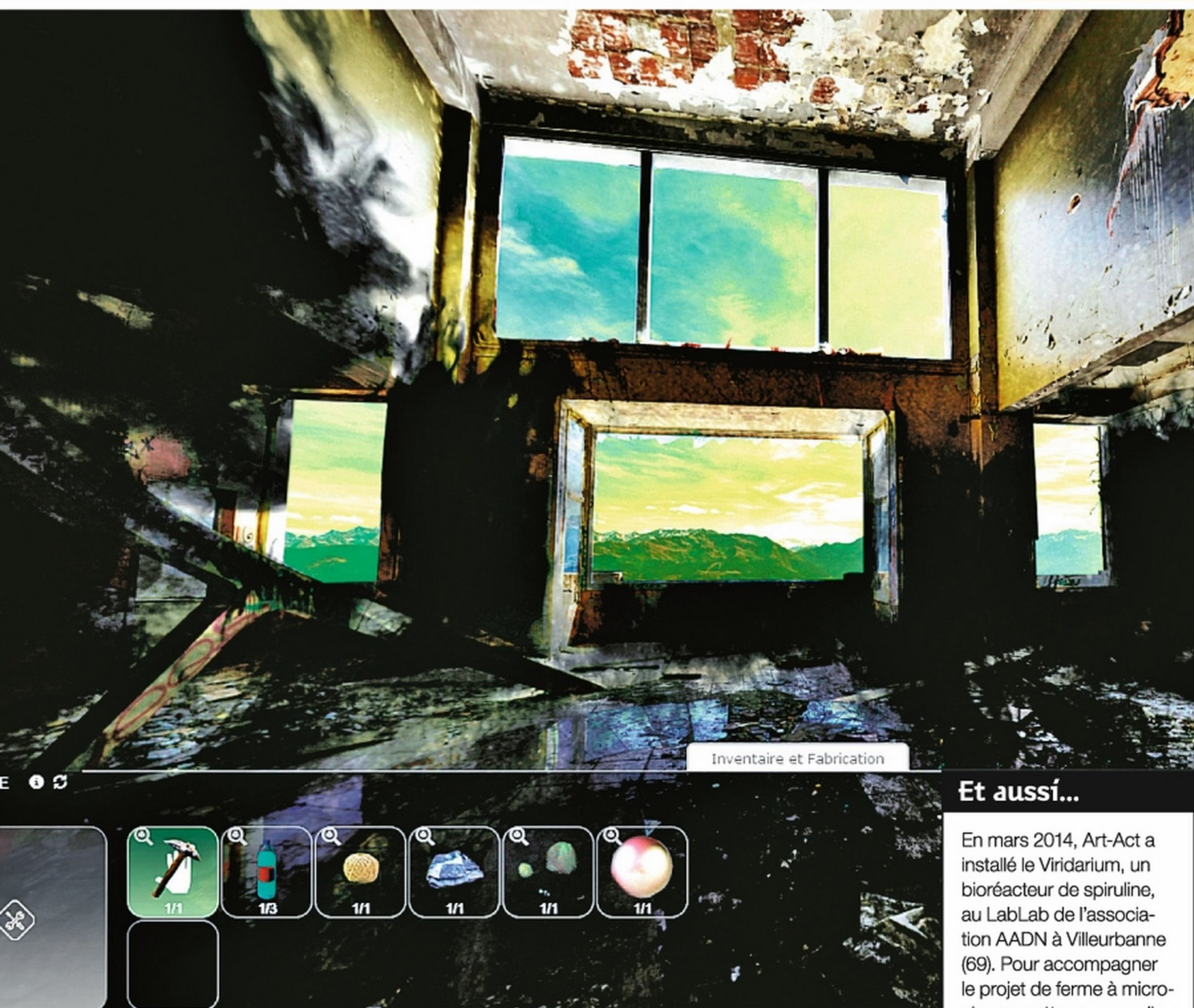


^ ... prospère grâce aux décisions prises par les internautes.

permettent de voter lors de référendums décidant du sort de l'exploitation dans la réalité. Doit-on rajouter une batterie solaire et des connectiques? Y a-t-il besoin d'un séchoir ou d'une pompe plus performante? Faut-il nettoyer la serre ou réparer la bâche immédiatement? Aux joueurs d'en décider. Tant que les propositions des fermiers n'engendrent pas suffisamment

de votes, rien ne bouge dans le monde réel.

Au quotidien, les membres sont invités à donner leur avis sur la conduite à tenir. Ajout d'eau, fréquence et durée de brassage, augmentation de l'ombrage... pas de décision sans volonté commune. *Viridis* prône le régime démocratique. Pour faciliter les choix, un journal de bord tenu par les deux fermiers recense en



Et aussi...

En mars 2014, Art-Act a installé le Viridarium, un bioréacteur de spiruline, au LabLab de l'association AADN à Villeurbanne (69). Pour accompagner le projet de ferme à micro-algues, cette œuvre collaborative est conçue à base de matériaux simples et objets inutilisés, comme des bonbonnes de verre ou des verreries de laboratoire. L'objectif ? Montrer que la conception d'une microserre et la gestion de sa propre exploitation d'algue verte sont accessibles à tout un chacun. A retrouver sur vimeo.com/99331861

► Site internet : <http://viridis.guru/fr/>
 ► Inscriptions possibles jusqu'en octobre 2014

△ Le joueur doit réussir à cultiver la micro-algue pour "sauver" les survivants d'un accident virtuel.

permanence les paramètres clés de l'exploitation (pH, turbidité, température, ensoleillement, densité de spiruline dans l'eau...) via Twitter. Le Guru prodigue, lui, astuces et connaissances indispensables au bon fonctionnement de l'installation.

L'internaute, peu à peu, s'initie ainsi aux techniques et aux savoir-faire clés de l'exploitation, et en détermine son destin.

Viridis réussit brillamment à mêler mondes virtuel et réel, via le jeu et la délibération collective, autour d'un projet technique suffisamment simple pour être accessible à tous... et assez complexe pour nourrir le suspense. Car les joueurs, collectivement responsables de la production réelle de spiruline, courent le risque de laisser mourir l'exploitation

s'ils se trompent. En cas de mauvaises décisions et en dépit du caractère ludique du projet, les fermiers réels pourraient alors, au cours d'une mission inaboutie et en écho au Guru virtuel, proférer ces quelques paroles : *"Enfant de l'après, tu as échoué. La course du temps t'a rattrapé et Viridis se meurt [...]. La communauté va s'affaiblir et elle t'aura perdu à jamais."* F.C.



Un n'est pas que des cobayes!
 France Télévisions
 9,99 €

Diffusée par France 5 depuis 2012, l'émission repose sur un principe simple hérité des concepts télévisuels anglo-saxons (*MythBusters*, par exemple): au cours d'une conversation entre amis, une question incongrue jaillit... Les chats ont-ils vraiment peur de l'eau? Peut-on marcher sur des œufs?... et tous veulent la mettre à l'épreuve. La démarche n'a rien de l'explication pas à pas, avec maquettes et animations didactiques. Tout l'intérêt repose ici sur des expériences originales... et la maladresse des "laborantins". Pas indispensable, mais agréable, et riche en anecdotes "savantes". **V.N.**



Muséum national d'histoire naturelle, Paris
 Les 20 ans de la Grande galerie de l'évolution
 septembre 2014

A l'occasion de son vingtième anniversaire, la Grande galerie de l'évolution se refait une beauté. Pas de grand changement dans la disposition des espèces, mais un nouveau dispositif scénographique de son et de lumière pour un unique objectif: donner vie aux spécimens en simulant leurs milieux naturels. Cieux bleutés, orages tropicaux, cris et chants d'animaux immergent le visiteur dans la savane ou les récifs coralliens. Quelque 179 enceintes et une nef complètement transformée par l'ajout de nombreux éclairages ont été nécessaires pour recréer ces atmosphères... et se faire surprendre par le rugissement d'un lion! **F.C.**

DOCUMENTAIRE



Entre Terre et ciel

Série de 20 documentaires de 26 minutes, écrits par Serge Brunier et Bruno Bucher
 Diffusion sur Arte du 1^{er} au 26 septembre, du lundi au vendredi à 17 h 35

Le tour du monde des télescopes en 20 étapes

Porto Rico, Hawaï, le Svalbard, la Namibie, l'Atacama... Si vous êtes lecteur de *Science & Vie*, ces destinations exotiques vous évoquent sans doute quelque chose... de spatial: elles abritent les plus puissants télescopes du monde, ceux dont les découvertes font régulièrement la une de la presse scientifique. Ces lieux, le journaliste Serge Brunier, collaborateur de *Science & Vie*, les visite depuis des années. Il nous fait aujourd'hui partager cette expérience intime dans une série de vingt documentaires: *Entre Terre et ciel*, diffusée sur Arte. Chaque épisode aborde une notion d'astronomie (météorites, Soleil, aurores boréales, ondes radio...) tout en prenant le temps d'aborder les alentours des hauts lieux de la science.

Quand Serge Brunier nous emmène à Hawaï (*Le Chant des étoiles*, dif-

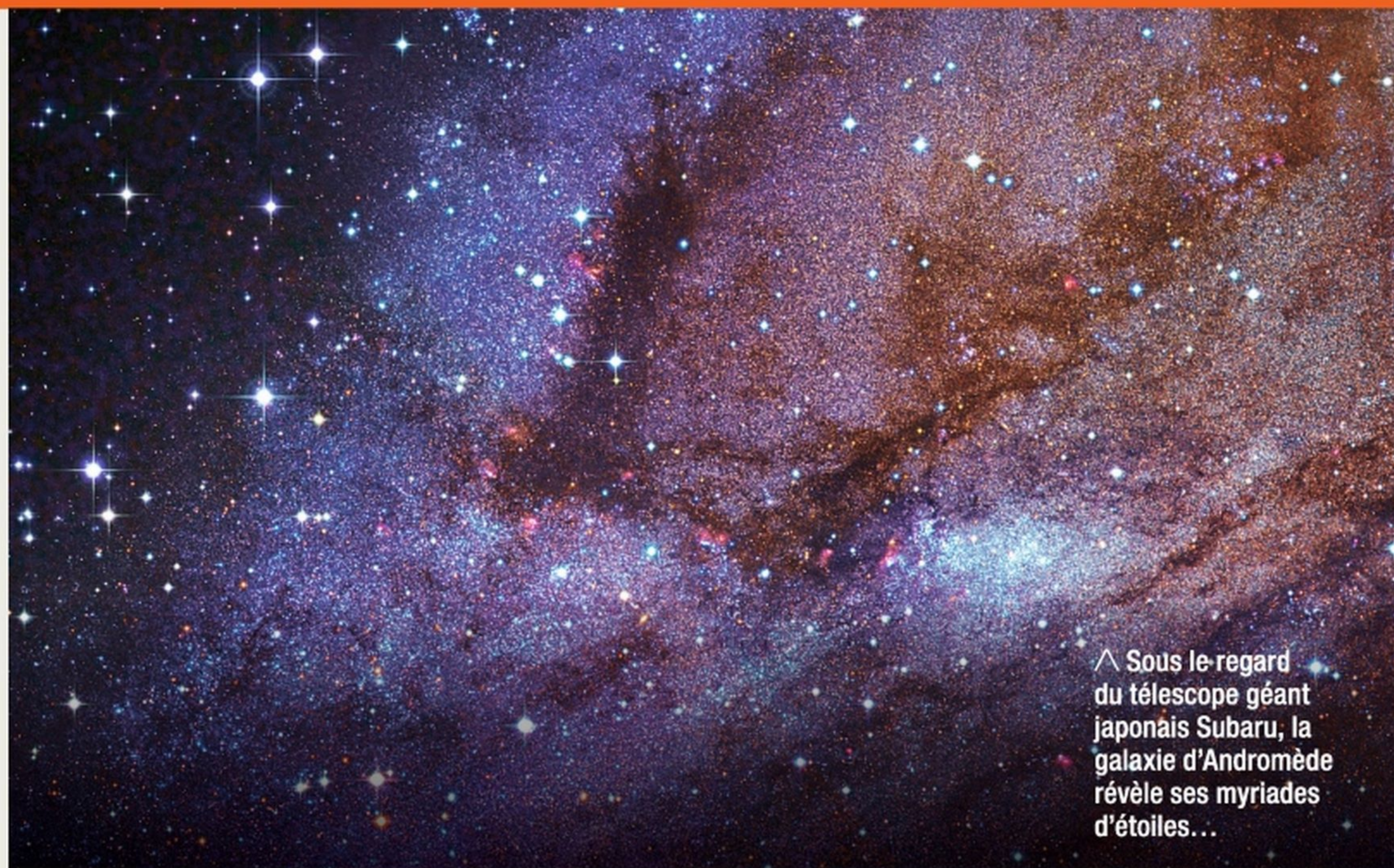
fusé le 1^{er} septembre), c'est bien sûr pour se diriger vers le sommet du volcan Mauna Kea et son armada de télescopes. Une astrophysicienne nous y décrit avec passion sa cartographie des galaxies de l'Univers. Mais des pêcheurs sur la plage nous expliquent aussi la façon dont leurs aïeux se repéraient aux étoiles pour naviguer entre les îles de Polynésie.

Quand le journaliste se rend à Porto Rico (*Un télescope dans la jungle*, le 5 septembre), c'est pour voir fonctionner Arecibo, le plus grand radiotélescope du monde... après une halte dans la vieille ville de San Juan. Une escapade de nuit dans un kayak permet d'observer la bioluminescence responsable du scintillement des eaux de la mangrove. Quant à la caméra qui filme l'arrivée en hélicoptère sur l'extraordinaire site d'Arecibo, elle révèle ce qui a poussé les

scientifiques à construire ce monstre de métal en pleine jungle! Une fois sur place, on se réjouit d'écouter les spécialistes des astéroïdes et des pulsars, mais on est tout aussi ravi de se glisser sous la structure métallique du monstre pour écouter le chef-jardinier relater l'importance du débroussaillage en milieu tropical.

La série fait voyager. Sur Terre, dans le ciel... et même dans le temps. Certains épisodes, particulièrement accessibles et instructifs, nous éclairent en effet sur l'histoire de l'astronomie. C'est le cas des *Astronomes géomètres* (le 23 septembre), qui se déroule à l'observatoire de Paris, créé par le jeune Louis XIV, ou du *Maharaja astronome* (le 12 septembre), qui nous transporte dans l'Inde du XVIII^e siècle, à la découverte des gigantesques structures de pierre destinées à mesurer la course des astres. **C.B.**

Dans le ciel ce mois-ci



^ Sous le regard du télescope géant japonais Subaru, la galaxie d'Andromède révèle ses myriades d'étoiles...

La galaxie d'Andromède, miroir de la Voie lactée

Elle est connue depuis le X^e siècle comme une vague tache pâle visible à l'œil nu, parmi les étoiles de la constellation d'Andromède. Ce mois-ci, elle est visible, en l'absence de clair de lune et loin de la lumière des agglomérations, non loin du zénith, entre 23 h et 2 h du matin... M 31 – c'est-à-dire la trente et unième objet du catalogue de Charles Messier, astronome de Louis XV, dressé en 1774 – est la sœur jumelle de la Voie lactée, comme elle est une galaxie spirale géante... Distante de 2,5 millions d'années-lumière, elle est l'astre le plus lointain visible à l'œil nu, et l'une des galaxies les plus observée par les chercheurs. En effet, sa proximité leur permet d'étudier, avec les télescopes géants, notamment le télescope japonais de

8 mètres de diamètre Subaru, à Hawaï, qui en a dressé un portrait vertigineux, ses étoiles individuellement, comme celles de notre propre galaxie, à un point tel que certaines images en gros plan de la galaxie d'Andromède ressemblent à s'y méprendre à la Voie lactée... La galaxie d'Andromède et la Voie lactée, dont chacune compte environ 200 milliards d'étoiles, s'attirent inexorablement... Fonçant à 300 km/seconde vers la Voie lactée, M 31 va percuter et finalement fusionner avec elle dans quelque quatre milliards d'années. Ce faisant, les deux galaxies perdront leur magnifique structure spirale et se métamorphoseront en une galaxie géante elliptique, dénuée de gaz, qui aura été entièrement consommé durant la collision.

S.B.

► Quand ?

Du 15 au 30 septembre vers minuit

► Comment ?

A l'œil nu et aux jumelles

► Où ? Dans la constellation d'Andromède



Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info

tous les samedis et sur www.france-info.com

Le drone qui filme vos exploits

Hexo+ est un drone autonome qui peut immortaliser vos exploits depuis le ciel... en vous suivant et en vous filmant sans relâche. De quoi faire des images aériennes dignes des plus beaux films de sports extrêmes. Son secret? Il exploite les coordonnées GPS de votre smartphone pour se maintenir en permanence à la distance souhaitée (jusqu'à 50 mètres) et dans la position choisie (de face, de dos, de profil...) pour réaliser les meilleures images.

Avant le départ, une

application dédiée permet de programmer les angles de vue d'une caméra GoPro embarquée (en option), et elle se charge ensuite de gérer la trajectoire de l'appareil. *"Un algorithme anticipe les mouvements du sujet afin de garantir un cadrage parfait"*, indique Matthieu Giraud, cofondateur de la start-up française Squadrone System à l'origine du drone. L'application permet également de programmer des plans de vol à partir de coordonnées GPS pré-enregistrées. Avec ses 6

hélices, + est capable d'atteindre les 70 km/h, avec une autonomie d'une quinzaine de minutes. Et en cas de problème technique ou de perte de liaison, le drone se pose seul ou rejoint un point GPS préalablement programmé. Facilement démontable et d'un poids réduit (1 kg), ce drone est transportable

> Grâce aux données GPS de votre smartphone, le drone vous suit à la trace avec sa caméra.

dans un sac à dos, pour vous suivre dans toutes vos aventures sportives: en VTT, en surf, à moto... ou tout simplement en randonnée.

D.H.

Prix: à partir de 350 €. Rens.: www.hexoplus.com

✓ Son cadre, sa fourche et ses jantes sont revêtus d'une peinture qui réfléchit la lumière.



Une bicyclette pour briller en ville

Le Lumen, de la société californienne Mission Bicycle Company, est revêtu d'une peinture contenant une poudre constituée de milliers de minuscules sphères.

Celles-ci renvoient la lumière à sa source, à la façon des catadioptrés ou des autocollants rétro-réfléchissants. D'un gris anthracite aux reflets irisés le jour, le vélo s'illumine la nuit à la lumière de la ville. Le Lumen est ainsi visible jusqu'à près de 300 m. Bon à savoir: le site du constructeur propose de personnaliser entièrement son deux-roues, jusqu'à la couleur des poignées ou au type de freins.

D.H.

Prix: à partir de 1 500 €. Rens.: www.missionbicycle.com

LE COIN DES PROTOTYPES

Des minirobots capables de s'assembler en meubles

Assembler, transformer tout le mobilier d'un logement d'une simple commande: c'est l'idée de chercheurs de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Ils ont développé d'étonnantes petits robots – les Roombots –, longs de 22 cm, qui se déplacent grâce à trois moteurs indépendants et communiquent entre eux. Mieux, plusieurs Roombots peuvent s'assembler sous vos yeux, pour former les meubles de votre choix: table, chaise ou encore tabouret. *"Nous voulons créer des sortes de Lego robotiques, explique Auke Ijspeert, directeur du laboratoire de biorobotique. D'ici une vingtaine d'années, nous pensons que les Roombots pourront conduire au concept d'appartement qui change de forme et de fonctionnalité au fil du temps."*

S.D.

Rens : <http://biorob.epfl.ch/roombots>

La poupée connectée qui a réponse à tout

Des poupées qui parlent, ça existe. Mais Cayla, elle, sait tenir une vraie discussion! Quand on lui demande "Qu'est-ce qu'un reptile?", elle en donne la définition complète. Mieux: elle fait preuve d'ironie, et lorsqu'on l'interroge sur la façon de faire les bébés, elle conseille de "poser la question aux parents"! Créée avec le fabricant de jouets Manley (Honk Kong), cette poupée a été conçue par la société britannique Vivid pour pouvoir interagir avec les petits. Connectée aux réseaux 3G, wi-fi et Bluetooth dans un rayon de 10 m, elle utilise une application gratuite pour smartphones et tablettes ainsi que le programme de reconnaissance vocale de Google. Ses réponses proviennent de cette même application ou de Wikipédia. F.C.

Prix : env. 80 €. Rens. : <http://myfriendcayla.com/>

> Elle puise ses réponses dans Wikipédia et parle via la reconnaissance vocale de Google.

La bière sortie toute fraîche du jardin

Pour déguster des boissons fraîches toute l'année tout en économisant l'énergie, voici eCool, le distributeur de canettes qui se passe du froid produit par le réfrigérateur. Ses concepteurs, originaires de l'île de Mors (Danemark), ont utilisé une méthode bien connue chez eux : celle de refroidir les aliments en les enterrant dans le sol, qui est à une température plus froide que celle de la surface terrestre. Une fois enfoui dans le jardin, le système est entièrement

manuel, si bien que pour obtenir sa canette, il suffit de tourner une manivelle qui fait remonter la boisson. Le système étanche garantit une température constante. Cette température dépend cependant de plusieurs facteurs : localisation (latitude), niveau par rapport à la mer, chaleur de l'été ou encore fraîcheur de l'hiver. Mesurant 113 cm de long pour 30 cm de large et pesant 12 kg, ce distributeur écolo peut contenir 24 canettes de 33 cl. A la vôtre! **M.S.**

Prix : env. 260 €. Rens : <http://eng.ecool.dk>

> La partie inférieure du distributeur est enterrée : les canettes sont ainsi maintenues à la température (relativement fraîche) du sous-sol.



Une souris reposante

Non, cette souris d'ordinateur n'est pas en équilibre instable : l'iMouse E10 du constructeur américain Adesso a été conçue "penchée", de façon à



soulager le bras en réduisant les douleurs provoquées par une utilisation prolongée. En configuration droitier (la seule disponible), le pouce agrippe l'intérieur, l'index et le majeur cliquent. L'E10 est par ailleurs sans fil et dispose d'une portée de 9 m. Elle mesure 12,5 cm de long pour 7,5 de haut et 6,3 de large. Elle fonctionne sur piles, aussi bien sur les systèmes Windows que Mac. Seul hic : hormis certains points de vente au Canada, la société ne livre pour le moment qu'aux Etats-Unis. **G.S.**

Prix : env. 35 €. Rens : www.adesso.com

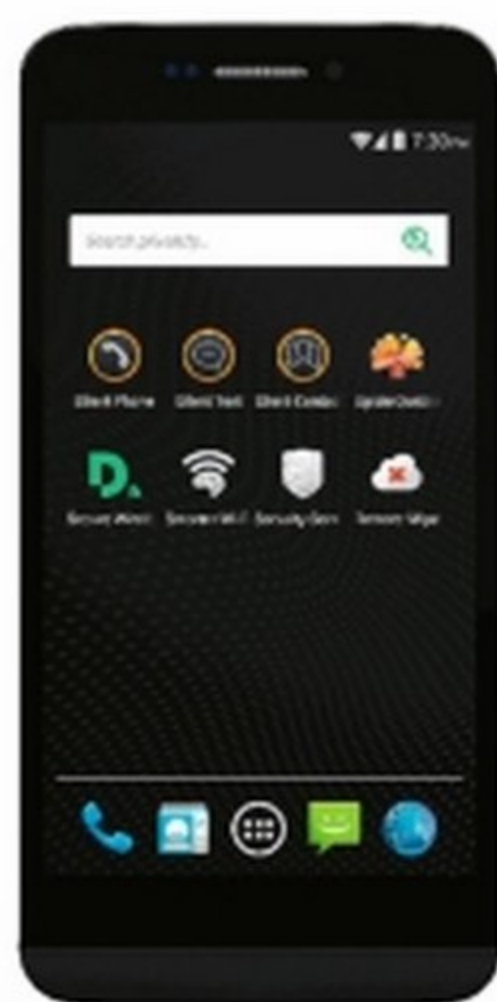
Le smartphone qui se joue des espions

Au premier coup d'œil, ce mobile, fabriqué par l'espagnol Geeksphone et l'américain Silent Circle, ne se démarque pas des autres smartphones. Pourtant, il permet notamment de téléphoner (en VoIP) et d'envoyer des SMS qui ne peuvent pas être "interceptés" par les agences de renseignement, les opérateurs télécom ou Google. Il permet aussi d'envoyer des données de façon anonyme grâce à une connexion sécurisée en mode "peer-to-peer". Son secret: une

technique de chiffrement des données conçue par Phil Zimmermann, célèbre pour son logiciel de cryptographie PGP (Pretty Good Privacy). Le Blackphone a un écran de 4,7 pouces offrant une définition de 1 280 x 720 pixels, une puce Nvidia Tegra 4i cadencée à 2.0 GHz. Il intègre 1 Go de mémoire vive et deux capteurs photo/vidéo de 8 et 5 millions de pixels.

P.R.

Prix : env. 460 €.
Rens. : www.blackphone.ch



Un couteau inusable affûté par la Nasa

Cette lame, de la société américaine VMatter, est constituée d'un alliage métallique amorphe, mis au point pour la Nasa. Dans un tel alliage, les atomes ne respectent aucune structure ordonnée, au contraire des structures cristallines. La lame est ainsi trois fois plus élastique que l'acier ordinaire, ce qui permet à son tranchant de se déformer sans s'altérer. Et ce, pendant des années. Les bactéries y adhèrent aussi quatre fois moins et elle est inoxydable.

S.F.

Prix : env. 100 €. Rens. : www.getperes.com



Un nez électronique pour savoir si un aliment est encore bon

Ce "nez", commercialisé par la société lituanienne Peres, mesure la fraîcheur des aliments. Il suffit d'approcher l'appareil d'une viande, d'un légume: il mesure l'air autour, et peut détecter une centaine de composés organiques volatils, notamment ceux (tels l'ammoniac) issus de la décomposition des produits alimentaires. Transmises à un smartphone, les données sont analysées afin de vérifier si l'aliment est consommable ou non...

S.F.

Prix : env. 100 €.
Rens. : www.getperes.com



19 septembre 1994

Andrew Wiles triomphe du "dernier théorème de Fermat"

"J'étais à mon bureau, le lundi matin du 19 septembre. J'essayais de voir où était exactement le problème. Quand soudain... j'ai eu cette illumination incroyable."

Cette journée d'automne 1994, le mathématicien Andrew Wiles la décrira plus tard comme le moment le plus fort de sa vie. *"Rien de ce que je ferai par la suite n'aura autant d'importance"*, eut-il même le pressentiment.

Et pour cause. Ce matin-là, il triomphe d'une des plus célèbres énigmes de l'histoire des mathématiques.

Un casse-tête qui a ré-

sisté plus de trois siècles aux assauts obstinés des plus grands: le dernier théorème de Fermat. Ou plutôt "conjecture", comme on appelle en mathématiques ces résultats importants qui ont toute l'apparence de la vérité, mais que personne n'a pu démontrer.

UN RÊVE D'ENFANCE

Celle de Fermat concerne le plus vieux domaine des mathématiques: l'arithmétique, c'est-à-dire la science des relations entre les nombres entiers. Sa conjecture s'énonce avec une simplicité désarmante: il est impossible de trouver trois

entiers x , y et z non nuls qui vérifient l'équation $x^n + y^n = z^n$ dès lors que n est plus grand que 2. Le célèbre mathématicien toulousain du XVII^e siècle prétendit, en marge de son manuscrit, qu'il en avait une "démonstration merveilleuse, mais que cette marge est trop étroite pour la contenir".

Forfanterie? Peut-être. Les historiens préfèrent y voir un commentaire un peu hâtif de sa part, que celui qu'on surnomme le "prince des amateurs" n'a pas pris la peine, ensuite, de rectifier. Car personne n'a retrouvé la moindre trace de cette fameuse preuve. Et depuis,

des génies tels que Gauss, Galois ou Euler s'y sont en vain cassé les neurones.

C'est par hasard, en furetant dans une bibliothèque municipale, qu'Andrew Wiles, âgé d'à peine 10 ans, découvre cette énigme en apparence si simple. L'enfant s'efforce de la résoudre. Ce défi ne le lâchera plus.

Vingt ans plus tard, devenu professeur à Princeton, aux États-Unis, il étudie les courbes elliptiques, des objets issus du domaine de l'algèbre – qui étudie la structure des relations entre les objets – définis par une équation du troisième degré. Deux Japonais, Taniya-

SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

1983 FERMAT A... PRESQUE RAISON

"Un élément supplémentaire tendant à prouver que le grand théorème de Fermat est vrai a été apporté [...] par un jeune mathématicien allemand, Gerd Faltings."

"Le 26 mai dernier, Faltings a réussi à démontrer un résultat fort important connu sous le nom de 'conjecture de Mordell'." Qui montre indirectement que "le théorème de Fermat, s'il est faux, ne peut l'être que de manière limitée." S&V n° 791



1993 ANDREW WILES DÉJÀ...

Le 23 juin, lors d'un séminaire à Cambridge, Andrew Wiles tente de démontrer la conjecture de Taniyama-Shimura énoncée en 1955. *"La nouvelle n'aurait pas dépassé le cercle des mathématiciens si cette conjecture n'impliquait aussi celle de Fermat :*

si la première est vraie, alors la seconde l'est aussi [...]. Le théorème de Fermat est donc tenu pour démontré, bien qu'il faille attendre plusieurs mois d'une relecture attentive." Mais quelques erreurs seront pointées... Il était trop tôt pour crier victoire. S&V n° 911

mathématiques

Fermat enfin vaincu

En moyenne, nous recevons chaque année une demi-douzaine de démonstrations du théorème de Fermat. Toutes fausses. La seule que nous n'ayons pas reçue, et qui a toutes les chances d'être la bonne, est celle que vient de présenter l'Anglais Andrew Wiles au séminaire de Cambridge. Elle marque la fin d'une énigme mathématique vieille de trois cent cinquante ans.

En 1637, le célèbre Pierre de Fermat, amateur de mathématiques, écrivait en marge d'un livre de Diophante (XVI^e siècle) : « Je trouve une proposition que je ne puis démontrer, mais à laquelle je pense que l'on peut ajouter une infinité de propositions semblables. » Cette proposition est le théorème de Fermat, qui stipule que si n est un entier supérieur à 2, il n'existe pas de trois entiers positifs x , y et z tels que $x^n + y^n = z^n$.

En 1955, le japonais Goro Shimura et le britannique Yutaka Taniyama ont conjecturé que les courbes elliptiques et les formes modulaires étaient liées. Cette conjecture, dite de Taniyama-Shimura, implique le théorème de Fermat. Si elle est vraie, le théorème de Fermat est prouvé.

Andrew Wiles a travaillé pendant sept ans sur ce problème. Il a découvert que la conjecture de Taniyama-Shimura était fautive, mais qu'une version modifiée était vraie. Cette version modifiée implique le théorème de Fermat.

Wiles a présenté sa démonstration au séminaire de Cambridge le 23 juin 1993. Elle a été accueillie avec enthousiasme, mais elle contenait quelques erreurs. Wiles a promis de corriger ces erreurs et de publier une version finale de sa démonstration.

Le 12 septembre 1994, Wiles a publié sa démonstration dans la revue *Annals of Mathematics*. Elle a été accueillie avec enthousiasme et a marqué la fin d'une énigme mathématique vieille de trois cent cinquante ans.





△ Trois siècles après que Fermat a énoncé son fameux théorème, l'Anglais Andrew Wiles (ici, à Princeton) entre dans l'histoire à 41 ans en étant le premier à en faire la démonstration.

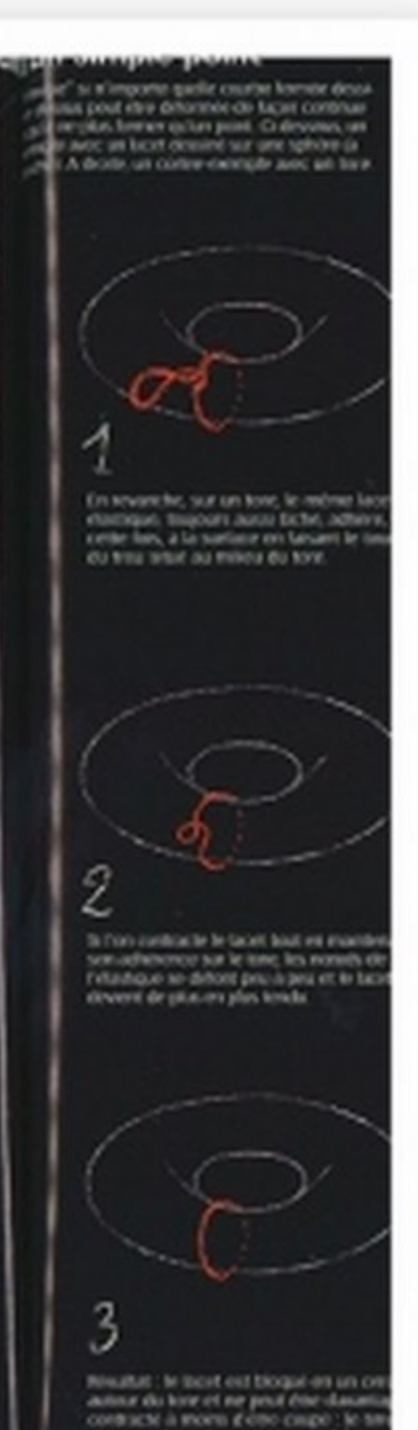
ma et Shimura, avaient postulé, en 1955, que ces objets algébriques étaient tous, en réalité, des "formes modulaires", c'est-à-dire des objets issus du troisième grand domaine des mathématiques: l'analyse, la

science des mesures. Mais comme ils n'arrivaient pas à le prouver, ce pont esquissé entre l'algèbre et l'analyse fut appelé "conjecture de Taniyama-Shimura". Et elle finit par prendre une grande importance en mathéma-

tiques, dont des pans entiers se sont construits en partant de l'hypothèse qu'elle était vraie.

Le lien avec la conjecture de Fermat n'apparaît qu'en 1984, lorsqu'un mathématicien allemand, Gerhard

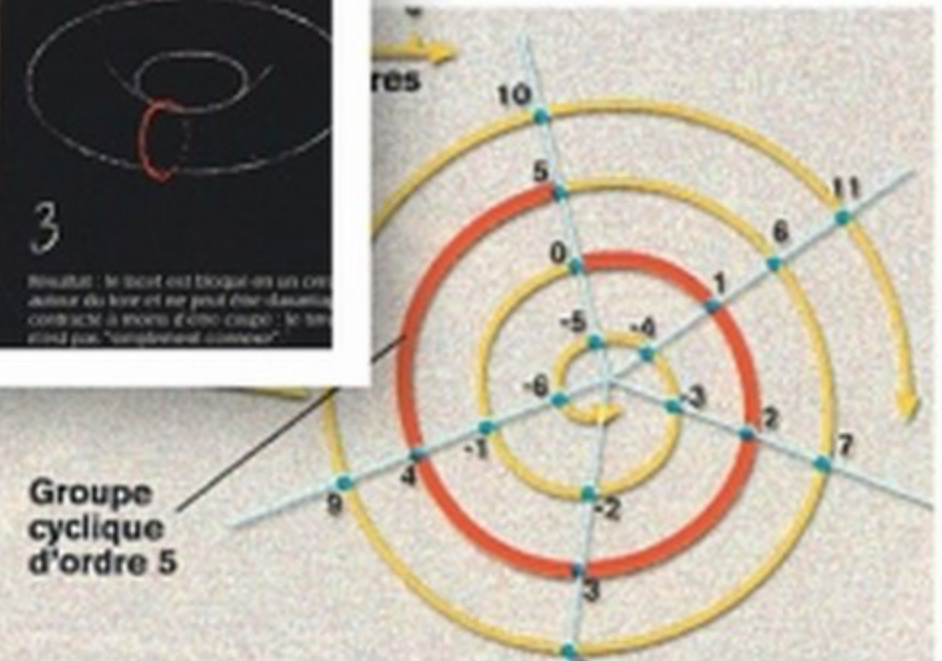
Frey, se demande ce qu'il se passerait si Fermat avait eu tort. Il montre que s'il existe trois nombres entiers vérifiant $x^n + y^n = z^n$ pour n plus grand que 2, alors on peut construire avec ces trois entiers une courbe



Groupe cyclique d'ordre 5

2000 LES MATHS ENTRENT DANS UNE NOUVELLE ÈRE

Avec avoir complété la démonstration de la conjecture de Taniyama-Shimura, Christophe Breuil (CNRS) jette la dernière "passerelle" qui manquait pour relier les trois "mondes" des mathématiques modernes (algèbre, géométrie et analyse). Le chercheur français relativise son travail par rapport à celui du vainqueur de Fermat: "Avant Wiles, personne ne savait comment amorcer la preuve de cette conjecture. Après lui, le chemin était tout tracé. Cela n'était plus qu'une question de temps." S&V n° 989



→ elliptique aux propriétés si tordues qu'elle ne peut pas être une forme modulaire. Donc, si Fermat a tort, Taniyama et Shimura aussi. Autrement dit: si les Japonais ont raison alors Fermat a lui aussi raison.

"D'UNE TELLE BEAUTÉ"

Dès 1986, Andrew Wiles comprend que le défi qu'il s'était lancé quand il était enfant est désormais accessible: démontrer cette conjecture de Taniyama-Shimura lui ouvrira automatiquement les portes de celle de Fermat.

Obsédé par cette quête, il s'isole, et pendant sept ans, mobilise les outils algébriques et analytiques les plus perfectionnés susceptibles de montrer que toute courbe elliptique est une forme modulaire. Jusqu'à ce mois de mai 1993, à l'heure du thé, où il annonce à sa femme qu'il pense avoir réussi. Et ce, en reliant des domaines mathématiques qui n'avaient jusque-là



^ 27 juin 1997: Andrew Wiles (à dr.) reçoit le prix Wolfskehl, un prix unique chargé de récompenser celui qui démontrera le théorème.

aucun rapport: grâce à lui, la géométrie algébrique des courbes elliptiques a fusionné avec l'analyse complexe des formes modulaires.

Une série de conférences programmées en juin 1993 à Cambridge, sa ville natale, est l'occasion rêvée pour présenter ses travaux. Mais malgré sa volonté de maintenir le suspense, les rumeurs enflent. L'ambiance est électrique lorsque le 23 juin, après de longs dé-

veloppements à la craie, Andrew Wiles conclut dans un tonnerre d'applaudissements.

Son manuscrit est envoyé à un jury pour qu'il examine ligne par ligne les 200 pages de sa démonstration et en certifie l'exactitude. Hélas, son confrère et ami Nick Katz repère une faille, subtile mais béante. Commence alors pour Wiles un an de calvaire: il doit colmater, sous le regard impatient de toute la communauté, cette

brèche qui menace de détruire tout l'édifice. Pendant des mois, il se démène sans succès. Le rêve d'enfance vire au cauchemar.

Jusqu'à ce 19 septembre où, reprenant une ultime fois le problème, il entrevoit enfin la solution. *"C'était d'une telle beauté; si simple, si élégant"*, répétera-t-il devant ce nouveau trait d'union (un outil baptisé "algèbres de Hecke") qu'il eut l'idée de tirer pour relier des objets mathématiques trop éloignés. C'est encore sa femme qui fut la première dans la confiance, soulagée de le voir enfin en paix.

Andrew Wiles avait réalisé son rêve d'enfant, vaincu une énigme vieille de trois cents ans, et construit pour cela des ponts inédits entre disciplines mathématiques. Des ponts que ses confrères allaient emprunter pour concevoir à leur tour de nouvelles conjectures et démontrer de nouveaux théorèmes. **E.M.**

SCIENCE & VIE en parlait encore

2000 DES ÉNIGMES MISES À PRIX

Un Américain, Landon Clay, offre 1 million de dollars à qui résoudra l'un des 7 problèmes capitaux. *"La pratique est courante en mathématiques: en 1908, l'industriel allemand Paul Wolfskehl avait promis 100 000 DM à qui démontrerait le dernier théorème de Fermat. Andrew Wiles empocha les 300 000 francs de récompense en 1997. Il aurait même reçu 12 millions si le mark n'avait pas été dévalué dans les années 1920..." S&V n° 995*



2003 C'EST AU TOUR DE POINCARÉ D'ÊTRE DÉPASSÉ

"La communauté des mathématiciens vibre d'un incroyable émoi": l'une des 7 énigmes mises en jeu a été résolue par "Grigori Perelman, chercheur rattaché à l'Institut Steklov de sciences mathématiques [à] Saint-Petersbourg". C'est la conjecture de Poincaré, énoncée en 1904 par le grand scientifique français. "En substance, elle suggère que toute forme fermée et non trouée peut être assimilée à une sphère, et cela pour toutes les dimensions", tout comme un ballon de rugby pourrait devenir un ballon de football en appuyant dessus. S&V n° 1030



En week-end,
n'emportez que
le nécessaire.



4 €
SEULEMENT

Disponible dès
le vendredi

LES FIGARO
week-end



Heineken[®]
open your world^{*}



Née à Amsterdam en 1873, Heineken est aujourd'hui exportée à travers le monde et vendue dans plus de 170 pays.
^{*}Ouvrir une Heineken, c'est consommer une bière vendue dans le monde entier.

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