

SCIENCE & VIE

NOUVEAU

+ ÉTONNANT
+ ILLUSTRÉ
+ PRATIQUE

MARS 2011 N° 1122 MONDADORI FRANCE

FUSION

*L'EAU POURRA-T-ELLE
REEMPLACER LE PÉTROLE?*



EXCLUSIF SCIENCE & VIE

**LES 13
MÉDICAMENTS
À BANNIR**



INSECTES
LEUR
CERVEAU
DÉFIE
LE NÔTRE

Les grandes décisions
se prennent souvent entre deux rendez-vous.



★ PETC EUR - RUCG - Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCT Paris

PEUGEOT RECOMMANDÉ TOTAL Consommation mixte (en l/100 km): de 4,4 à 7,1. Émissions de CO₂ (en g/km): de 115 à 164.

NOUVELLE PEUGEOT **508**



PEUGEOT
MOTION & EMOTION



MEDIATOR

Il n'y a vraiment rien de drôle dans cette affaire. Tout y est triste. D'abord les drames infligés aux victimes et à leur entourage. Les manœuvres de l'industrie pharmaceutique aussi. Tout comme le spectacle de l'impuissance publique. Notre système de pharmacovigilance n'a que trop démontré son incapacité à se réformer tant ses dysfonctionnements sont connus de tous (*) et depuis longtemps.

Que la question de l'industrie pharmaceutique et de l'administration qui l'encadre soit devenue un scandale national était peut-être nécessaire. Mais il ne faudrait pas qu'elle jette un discrédit sur la juste cause du médicament et du financement de sa recherche. Ce serait un comble...

Pour notre part, nous avons passé en revue les études scientifiques disponibles concernant les

300 médicaments les plus remboursés en France aujourd'hui, mutuelles et sécurité sociale confondues : au moins 13 d'entre eux nous paraissent ne rien avoir à faire dans nos étagères à pharmacie. Pas très rassurant. Décidément, peu a été fait. Bien trop peu.

(*) Y compris de nos lecteurs : les mécanismes de l'industrie pharmaceutique ont été décrits en détail dans un dossier spécial consacré aux médicaments publié en 2003. Le Mediator y figurait alors parmi les médicaments que nous jugions dangereux, compte tenu des informations qui étaient déjà disponibles à l'époque.

FUSION NUCLEAIRE

Si ça marche, ce sera dans très longtemps. Et ce n'est même pas sûr. Ce qui n'est pas une raison pour ne pas en parler (qu'il est dommage de manifester si peu d'intérêt pour le long terme !). Le chantier avance, à son rythme. Un chantier hors norme à bien des égards et autour duquel des pelleuses s'agitent à Cadarache, dans

le sud de la France. Le réacteur Iter qui y sortira de terre devra faire la démonstration qu'il est possible, en pratique (en théorie on le sait depuis quatre-vingt dix ans), de produire l'énergie par fusion. D'en produire plus qu'il ne faut en dépenser pour enclencher un processus de fusion entre atomes. Si tel était le cas, la perspective de disposer

d'une énergie potentiellement illimitée et quasi non polluante deviendrait raisonnablement accessible. Et le problème numéro un auquel l'humanité se trouve désormais confrontée pourrait être réglé. Quand ? Pas tout de suite. Mais, à bien y réfléchir, bientôt : nous serons fixés avant l'épuisement des ressources en énergies fossiles...

SCIENCE & VIE

Vous l'avez peut-être déjà remarqué dès sa couverture : votre journal a un peu changé, dans sa présentation et dans certaines de ses rubriques. Par avance, nous remercions tous ceux d'entre vous qui voudront bien se donner la peine de nous

dire ce qui leur a plu ou déplu, intéressé ou moins intéressé, dans ce numéro. Nous en ferons grand cas. Pour que notre journal continue à évoluer au rythme de son époque et de vos attentes.

(Voir notre questionnaire p. 140.)

P. CARRIL

SOMMAIRE > MARS 2011

36

Pourquoi la rougeole fait un inquiétant retour en force



POURQUOI LA ROUGEOLE FAIT UN INQUIÉTANT RETOUR EN FORCE

Une épidémie de rougeole, la maladie contagieuse, est en cours. Elle touche désormais, aux Antilles, en France, et dans toute l'Europe. Pourquoi ?

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.

La rougeole est une maladie contagieuse, causée par un virus. Elle se transmette facilement d'une personne à une autre. Elle est très contagieuse et peut entraîner de graves complications, voire la mort.



18

On sait enfin comment une abeille devient reine

ACTUS

10 LABOS

La couronne solaire livre ses premiers secrets; Voici un nouvel aïeul des dinosaures carnivores; etc.

14 IDÉE NEUVE

"On peut trouver une vie extraterrestre autrement"

22 TERRE

L'agriculture rejette plus de carbone sous les tropiques; En Australie, les eaux usées deviennent potables, etc.

28 FOCUS

Pollution lumineuse: elle empêche l'air de se purifier

32 ON EN REPARLE

Le Golf du Mexique respire...

34 MÉDECINE

Les antioxydants accélèrent le vieillissement; Une nouvelle technique contre les acouphènes, etc.

36 LES CLÉS POUR COMPRENDRE

Pourquoi la rougeole fait un inquiétant retour en force

44 TECHNOS

Un laser mieux que le laser; Le canon électromagnétique passe l'épreuve du feu; Devenir indétectable sous l'eau est possible, etc.

48 ON TENAIT À VOUS DIRE

La Chine n'a pas volé ses terres rares

FONDAMENTAL

À LA UNE

50 FUSION

L'EAU POURRA-T-ELLE REMPLACER LE PÉTROLE?

68 CASSE-TÊTE

L'INTELLIGENCE DES INSECTES DÉFIE LA NÔTRE

78 DÉBAT

LE TEMPS VA-T-IL S'ARRÊTER DANS 3,5 MILLARDS D'ANNÉES?



118

Au-delà du Mediator...
Les 13 médicaments à bannir
de son armoire à pharmacie



82

Volcans: ils ne
frapperont plus
par surprise



134

Un web-tensio-
mètre pilotable
par smartphone

EN PRATIQUE

82 AVANT-PREMIÈRE

VOLCANS: ILS NE FRAPPERONT PLUS PAR SURPRISE

90 EXPLOIT

ANGKOR: LE PLUS GRAND PUZZLE DU MONDE RECONSTITUÉ

98 TENDANCE

OBJECTIF: RÉCUPÉRER L'ÉNERGIE DU QUOTIDIEN

102 LE POINT SUR...

C'était il y a 15 ans LA CRISE DE LA VACHE FOLLE

En mars 1996, l'annonce de dix décès liés à l'encéphalopathie spongiforme bovine révélait les pratiques douteuses de l'industrie agro-alimentaire. Prion, farines animales... Retour sur une crise sans précédent.



116 BON À SAVOIR

118 ÇA CHANGE QUOI?

Au-delà du médiateur... Les 13 médicaments à bannir de son armoire à pharmacie

124 QUESTIONS RÉPONSES

130 TECHNOFOLIES

La première console 3D sans lunettes; Un web-tensionmètre pilotable par smartphone; etc.

136 À FAIRE

Prélevez vous-même votre ADN

138 LE CIEL DU MOIS

140 Enquête lecteur

Participez à l'amélioration de votre magazine en répondant à nos questions

Un encart "VPC montre-boussole" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France métropolitaine. Un DVD "Le Soleil sur Terre" est mis sous film sur une partie de la vente au numéro France, Belgique, Luxembourg et Suisse.



Carrosserie en design véritable.

Nouvelle Volkswagen Jetta. L'inattendue.

4,2 l/100 km⁽¹⁾ = 109 g de CO₂⁽¹⁾ = 400 € de bonus écologique⁽²⁾.

Sous ses lignes particulièrement soignées, cette berline spacieuse au design sportif est équipée de motorisations essence TSI et Diesel TDI à la pointe de la technologie, comme par exemple la version 1.6 TDI 105 ch BlueMotion Technology qui limite consommation et rejets de CO₂. Les motorisations Diesel sont par ailleurs disponibles en boîte séquentielle à double-embayage DSG. Jetta change la berline, changez vous aussi pour Jetta.



A partir de 15 990 €⁽³⁾

SOUS CONDITION DE REPRISE

Das Auto.

Volkswagen recommande Castrol

(1) Cycle mixte et rejets sur Nouvelle Jetta 1.6 TDI 105 BlueMotion Technology. (2) Selon Décrets 2007/1873 et 2010/1618. (3) Prix TTC conseillé au tarif du 13/01/11 de la Nouvelle Jetta "Trendline" 1.2 TSI 105 avec prime à la casse VW Think Blue de 1500 € TTC (sur Nouvelle Jetta neuve rejetant jusqu'à 150 g de CO₂) pour mise au rebut véhicule de plus de 10 ans et incluant reprise ArgusTM + 2500 € TTC. Reprise de votre ancien véhicule aux conditions générales de l'ArgusTM (en fonction du cours de l'ArgusTM du jour de reprise, du kilométrage, des éventuels frais de remise en l'état standard et abattement de 15 % pour frais et charges professionnels déduits). Pour véhicules hors cote ArgusTM, reprise 2500 € TTC. Offre réservée aux particuliers en France métrop. non cumulable avec toute autre offre en cours, valable pour toute commande du 17/01/11 au 28/02/11 dans le réseau participant (Cf.vw.fr). **Modèle présenté** : Nouvelle Jetta "Carat" 1.6 TDI 105, options peinture métallisée (500 € TTC), toit ouvrant (953 € TTC) et option gratuite Jantes "Joda 2 Argent", au prix TTC conseillé au 13/01/11 de **25 803 € TTC**, reprise Argus et prime à la casse VW Think Blue déduites. Cycle mixte (l/100 km) : 4,5. Rejets de CO₂ (g/km) : 119. Cycles mixtes de la gamme Nouvelle Jetta (l/100 km) : de 4,2 à 5,7. Rejets de CO₂ (g/km) : de 109 à 138. Think Blue : Pensez en Bleu. Das Auto : La Voiture.

Le Mediator, déjà en 2003...

Suite à la lecture d'un article concernant les médicaments inutiles ou dangereux dans un ancien numéro de votre magazine, j'ai arrêté de prendre le Mediator. Je souhaiterais savoir comment me procurer cet ancien numéro que je n'ai plus.

Marie-Noëlle Weber,
Saint-Dié-des-Vosges (88)

S&V Dans notre numéro d'avril 2003 qui passait 200 médicaments à la loupe (S&V n° 1027, p. 46), nous avons en effet classé le Mediator dans la catégorie des "produits suspects voire

dangereux". Dans le commentaire, nous indiquions que "ce produit, qui s'apparente plutôt à un coupe-faim, n'a jamais prouvé son efficacité [...]. Son évaluation clinique est de mauvaise qualité et il ne répond en aucun cas à ses indications".

A noter que son déremboursement par l'Assurance Maladie, déjà prévu à l'époque, n'a jamais été engagé jusqu'à son retrait du marché en novembre 2009. En 2003, nous pointions six autres produits à placer dans la même catégorie. Depuis, de nouveaux médicaments sont arrivés sur le marché



dont nous réactualisons ce mois-ci la liste des indésirables (voir p. 118). En réponse à une question de lecteur, nous expliquons aussi comment un médicament utilisé en coupe-faim comme le Mediator peut provoquer des troubles cardiaques (voir p. 124). En ce qui concerne notre "Guide des

médicaments" publié en 2003, le numéro est épuisé.

Il sera cependant possible de le retrouver dans nos archives, bientôt disponibles sur Internet, ainsi que l'intégralité des articles de nos anciens numéros. Nous vous en reparlerons très vite.

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

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

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF
Hervé Poirier

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS
Philippe Chambon, Grégoire Bouillier (édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE
Yvonne Diraison

CHEF DE SERVICE
Valérie Greffoz (actualités)

CHEFS DE RUBRIQUE
Cécile Bonneau (physique),
Caroline Tourbe (médecine)

RÉDACTEURS
Elsa Abdoun, Boris Bellanger, Germain
Chambost, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat,
Mathieu Nowak, Emilie Rauscher, Muriel Valin

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION
Jean-Luc Glock

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION
Anne Riera

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

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE
Anne Levy (chef de service photo),
Clémence Gérard, Emmanuel Jullien
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION
Marie-Anne Guffroy

CORRESPONDANTE AUX ETATS-UNIS
Sheila Kraft, 11655, Caracas Boulevard, Boynton
Beach, Florida 33437, Etats-Unis,
tél. : (00) 1 561 733 9207 ;
fax : (00) 1 561 733 7965

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

C. Baudel, L. Blancard, R. Brillaud, S. Brunier,
V. Buron, J.-P. Calimani, G. Cirade, M. Corniou,
A. Debroise, O. Donnars, S. Fay, L. Fery, P. Grisot,
M. Grousson, E. Haddock, E. Haentjens, E. Hamonou,
C. Hancock, F. Heimbürger, J. Jongwane, M. Kontente,
F. Lassagne, C. Maillot, D. Maume, M. Mayo, B. Rey,
J.-M. Sabatié, S. Tritz

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE
Jean-Luc Breyse

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ
Vincent Cousin

DIFFUSION
site : www.vendezplus.com

DIRECTEUR DIFFUSION
Jean-Charles Guérault

RESPONSABLE DIFFUSION MARCHÉ
Siham Daassa

MARKETING

DIRECTEUR MARKETING
Sébastien Petit

RESPONSABLE MARKETING
Claire Leprovost

CHARGÉE DE PROMOTION
Michèle Guillet

ABONNEMENTS
Nathalie Carrère

PUBLICITÉ

DIRECTRICE EXÉCUTIVE
Valérie Camy

DIRECTRICE COMMERCIALE
Francesca Colin

DIRECTRICE DE PUBLICITÉ
Valérie Leclère

COMMERCIAUX

Virginie Commun, Lionel Dufour

ASSISTANTE

Sylvie Angerville

PLANNING

Sylvia Apodaca

TRAFIC

Véronique Alex

OPÉRATIONS SPÉCIALES

Jean-Jacques Benezzech, Florence Bastid,
Anne-Sophie Chauvière

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-gestion.es
- 0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Isabel Delanoy, Alexandra Millet
(chefs de fabrication)

FINANCE MANAGER

Géraldine Pellerin-Faux

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon
Murielle Luche

EDITEUR : Mondadori Magazines France

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

PRÉSIDENT ET
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Jean-Luc Breyse

ACTIONNAIRE PRINCIPAL
Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : Mondadori Printing S.p.A.,
Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11
24034 Cusano Bergamasco (Bergamo)

N° ISSN : 0036-8369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :
1010 K 79977. Tarif d'abonnement légal :
1 an, 12 numéros : 42,80 € ;
1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.
DÉPÔT LÉGAL mars 2011

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par Internet : relations.clients@mondadori.fr
par téléphone : 01 46 48 49 00 (de 9 h à 12 h et
de 13 h à 17 h 30, mercredi et vendredi, 16 h 30).

par courrier : Science & Vie TSA 10 005
8, rue François-Ory, 92543 Montrouge Cedex.

Vous pouvez aussi vous abonner sur
http://www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,
8155, rue Larrey, Anjou (Québec),
H1J 2L5. Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais) ; fax : (514) 355-
3332. Suisse : Dynapresse, case postale 1211,
Genève 1.

Belgique : Excelsior Publications,
PB 23, Poste 6, 1050 Bruxelles.

Tél. : 02 62614 26.

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Dans ce cas, la communication sera limitée au service des abonnements. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits non insérés ne sont pas rendus. Sachez que la rédaction ne reçoit que sur rendez-vous. Copyright 1989 Science & Vie.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS
Par courrier :
8, rue François-Ory,
92543 Montrouge Cedex.
Par mail :
sev.lecteurs@mondadori.fr
COMMANDE D'ANCIENS
NUMÉROS ET DE RELIURES
Carole Zaragoza,
tél. : 01 46 48 47 18



LE POUVOIR DE RENAITRE*

TEL SON EMBLÈME LE PHÉNIX, L'ABBAYE DE GRIMBERGEN
A SU RENAITRE DE SES CENDRES SIÈCLE APRÈS SIÈCLE



— 1128 —

+ GRIMBERGEN +

ABDIJBIER - BIÈRE D'ABBAYE

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

FORUM



Climat : la suie versus le CO₂ ?

Dans votre article intitulé "Et si on commençait par la suie", daté de novembre 2010, vous faites vôtre l'analyse selon laquelle s'en prendre à la suie (et aux agents réchauffants à courte durée de vie, comme le méthane) permettrait de "s'acheter du temps" face au réchauffement climatique. C'est-à-dire de différer l'indispensable réduction des émissions de CO₂. Cette analyse me paraît aussi erronée que dangereuse. C'est justement parce que le temps de séjour atmosphérique du CO₂ est de plusieurs siècles que l'action sur ce gaz doit être une priorité absolue. Il a été calculé que pour garder le réchauffement en dessous du seuil de danger de 2°C généralement admis, l'humanité ne doit pas émettre un total cumulé de carbone supérieur à mille milliards de tonnes (1 000 Gt). Si nous ne nous occupons plus que de suie et de méthane, laissant les émissions de CO₂ continuer à croître au rythme actuel d'environ 3 %, nous aurons atteint 975 Gt de carbone en 2040. Avec des émissions alors de 22 Gt par an ! Certes, en cas de succès total sur le front de la suie et du méthane, le réchauffement ne serait alors

"que" de 1,4°C... mais du fait de la longévité du CO₂ dans l'atmosphère, le franchissement de la barre des 2°C, quoique différé, serait à peu près inévitable. Si, à l'inverse, oubliant le méthane et la suie, nous parvenons à faire passer dès aujourd'hui de 3 à 2 % la croissance de nos émissions de CO₂, le cumul de notre carbone émis en 2040 s'abaisse à 713 Gt, ce qui nous donne le même réchauffement (1,4°C), mais laisse encore un peu d'espace pour agir... sur la suie et le méthane. En réalité, la courte durée de séjour atmosphérique de ces agents permet d'obtenir à peu près la même baisse de température aujourd'hui que dans trente ans. Je suis évidemment favorable à la réduction des émissions de suie et de méthane, mais la priorité doit rester le dioxyde de carbone, faute de quoi, en croyant avoir "acheté du temps", nous en aurons tout simplement... perdu.

Raymond T. Pierrehumbert,
université de Chicago

SV Notre article visait à démontrer la possibilité d'obtenir des progrès climatiques rapides en s'occupant de la suie et d'autres agents à courte durée de vie. Il soulignait aussi les effets bénéfiques indirects de telles politiques, en particulier en matière sanitaire. Naturellement, nous n'avons à aucun moment plaidé pour le *statu quo* en matière de CO₂, soulignant au contraire dans notre conclusion l'urgence à agir sur ce terrain.



universcience présente

EXPO DÉCOUVERTE
**SCIENCE
(ET) FICTION**
AVENTURES CROISÉES
21 OCT > 3 JUILLET 2011
RÉSERVATION CONSEILLÉE SUR WWW.UNIVERSCIENCE.FR
① PORTE DE LA VILLETTE

Exposition réalisée avec le concours exceptionnel de :

{BnF

SCIENCE FICTION ARCHIVES

L'EXPRESS

SCIENCE VIE

le Parisien

OKAPI

Syfy

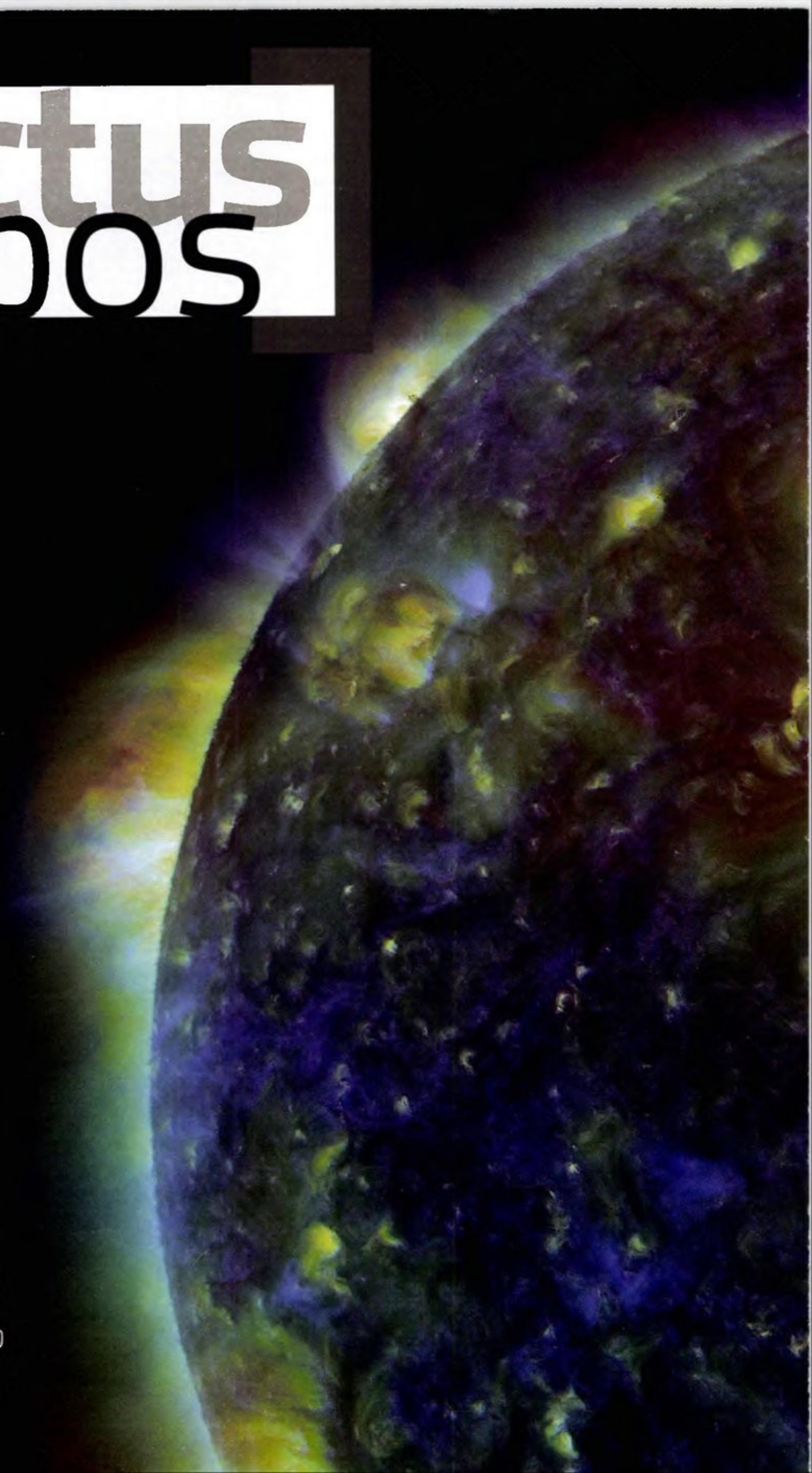
inter

UNIVERSAL

lactus labos

COURTESY OF BART DE PONTIEU

> La différence de température entre la couronne du Soleil ($2\,000\,000^{\circ}\text{C}$) et sa surface ($5\,500^{\circ}\text{C}$) serait due à des éruptions de plasma.





ASTRONOMIE

LA COURONNE SOLAIRE LIVRE SES PREMIERS SECRETS

Pourquoi la couronne solaire, ce halo de plasma qui entoure notre étoile, est-elle si chaude? La température y atteint 2 millions de degrés contre 5 500°C en moyenne à la surface du Soleil... Bart de Pontieu et son équipe d'astrophysiciens tiennent enfin un début d'explication. En combinant les

données du satellite japonais *Hinode* et de l'Observatoire spatial SDO de la Nasa, ils ont découvert que de grandes quantités de chaleur quittent le Soleil pour sa couronne via des jets de plasma brûlant: les spicules. On connaissait leur existence sans imaginer leur impact. "L'utilisation

simultanée d'*Hinode* et de SDO a permis de mesurer la température des spicules avec beaucoup plus de détails", précise Guillaume Aulanier, à l'Observatoire de Paris. Selon ces mesures, les spicules transporteraient du plasma à plus d'un million de degrés! De quoi irriter de chaleur une partie

de la couronne solaire. "Il est probable que le champ magnétique, qui contient la grande majorité de l'énergie de la couronne solaire, joue aussi un rôle", ajoute Guillaume Aulanier. Mais pour explorer cette piste, il faudra attendre le lancement de la prochaine mission solaire en 2012. M.F.

ANATOMIE ANIMALE

ON A RETROUVÉ LES RESTES DU DERNIER REPAS D'UNE AMMONITE

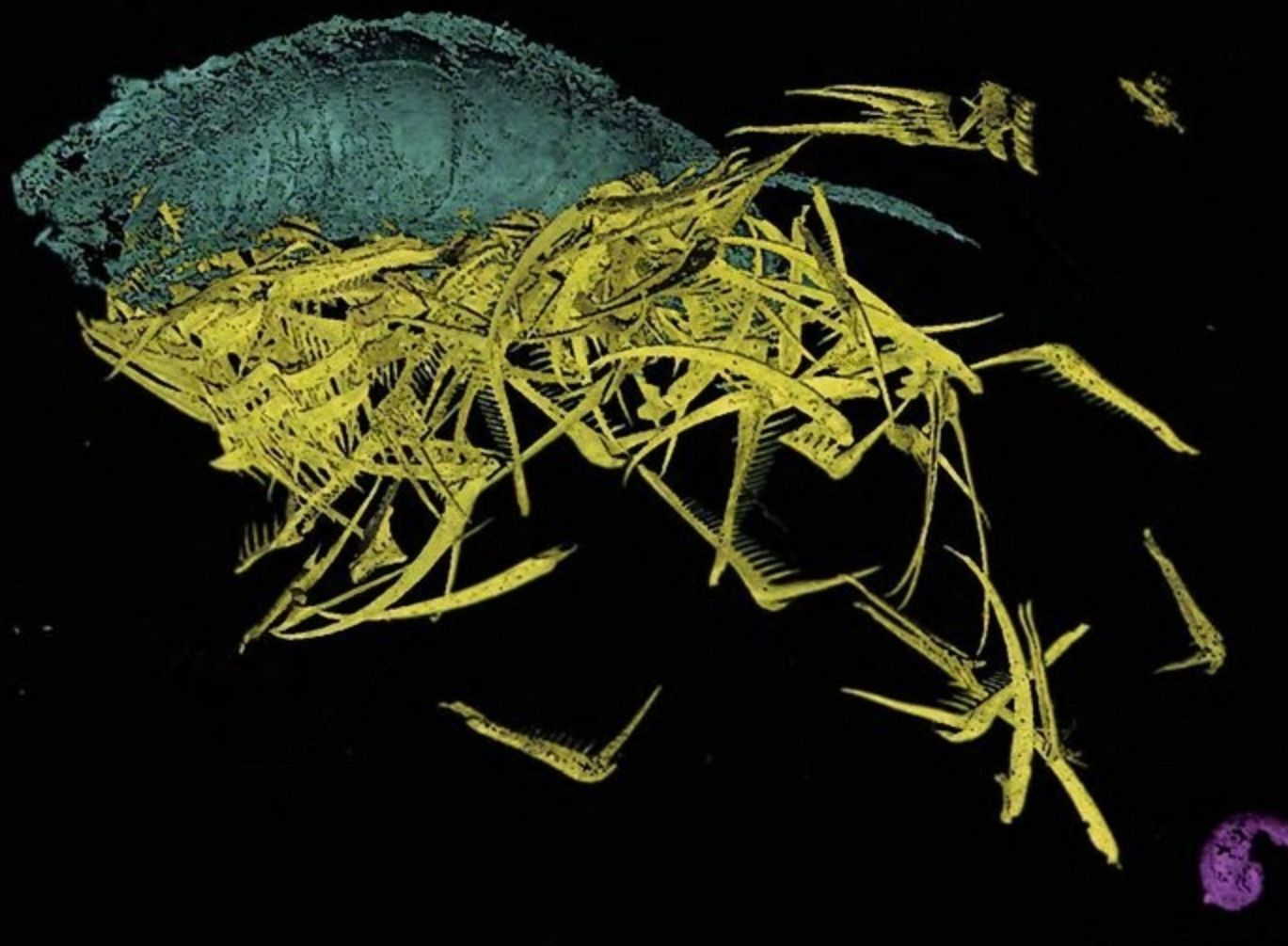
Ce sont certainement les fossiles les plus connus avec leur forme en coquille d'escargot... Les ammonites, qui ont vécu leurs plus riches heures voici quelque 200 millions d'années, sont si répandues et diversifiées que les paléontologues les utilisent même pour déterminer l'âge relatif des roches marines. Et pourtant, on connaissait mal jusqu'ici les mœurs de ces anciens animaux marins, ainsi que leur place dans la chaîne alimentaire, leur corps mou s'étant très mal conservé. Grâce à une équipe franco-américaine pilotée par Isabelle

Kruta, du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, on sait désormais que ces mollusques, proches parents du calmar, de la seiche et du poulpe, se nourrissaient de plancton. Et qu'ils le mangeaient grâce une "radula" remarquablement adaptée à ces petites proies, une sorte de langue couverte de plusieurs dizaines de dents d'une incroyable finesse. Les chercheurs ont étudié et reconstitué en 3D des fossiles de Baculites (elles ont une coquille allongée et non en spirale) grâce au rayonnement X synchrotron, à Grenoble. C'est actuellement la

meilleure technique pour sonder en détail l'intérieur des fossiles sans les détruire. Sur les images obtenues, on distingue, dans la bouche de l'un des spécimens, un gastéropode et un petit crustacé: le dernier repas de l'animal! Mais aussi d'innombrables peignes et sabres de 1 mm de longueur: les fameuses dents radulaires. Cette découverte pourrait permettre d'élucider le mystère de leur disparition, il y a 65,5 millions d'années: elles ont probablement été victimes du manque de plancton, disparu justement à la fin du Crétacé.

R.B.

> Cette amibe est capable de stocker des spores (masse blanche) pour aller les semer plus loin.



< En scannant un fossile d'ammonite, les chercheurs ont retrouvé ses dents radulaires (en jaune)... et son dernier menu: un gastéropode (en vert) et un crustacé (rose).

DES ORGANISMES PRIMITIFS PRATIQUENT L'AGRICULTURE !



On savait déjà que fourmis et termites en étaient capables... mais cela n'avait jamais été observé chez des organismes aussi primitifs que les amibes, ces êtres unicellulaires, ni végétaux ni animaux. Debra Brock et ses collègues de l'université Rice à Houston (Etats-Unis) ont montré que *Dictyostelium discoideum*, qui vit dans l'humus des forêts, peut stocker, transporter et semer sa nourriture. Au lieu de consommer toutes les bactéries à sa disposition, elle cesse de s'alimenter et emmagasine le reste de son repas avant de se déplacer. Elle s'agrège ensuite avec des congénères pour former une sorte de tige, surmontée d'une masse sphérique remplie de spores. Puis les spores se dispersent, emportant les bactéries et donnant naissance à une nouvelle culture, là où les amibes n'auraient pas forcément trouvé de quoi manger ! Reste à savoir pourquoi cette tactique, qui augmente leur espérance de vie, ne concerne qu'un tiers d'entre elles... R.B.

PALÉONTOLOGIE

Voici un nouvel aïeul des dinosaures carnivores

Les ossements fossilisés complets de deux spécimens d'un nouveau petit dinosaure ayant vécu il y a 230 millions d'années ont été découverts en Argentine : *Eodromaeus murphi*. Il mesure moins de 2 m, court sur deux pattes et ressemble un peu à l'*Eoraptor*, que l'on considère comme l'ancêtre des théropodes, les dinosaures prédateurs. Mais *Eodromaeus* partage un plus grand nombre de caractéristiques que l'*Eoraptor* avec les théropodes, lui ravissant le titre d'aïeul. L'*Eoraptor* serait, lui, l'ancêtre des sauropodes, des herbivores au long cou.



O.D.

^ *Eodromaeus murphi* vivait il y a 230 millions d'années et mesurait moins de 2 m.

ON PEUT TROUVER UNE VIE EXTRATERRESTRE AUTREMENT

EVAN DORN, informaticien, auteur d'une thèse au California Institute of Technology.

Science & Vie : Comment un informaticien se retrouve-t-il à chercher de la vie extraterrestre ?

Evan Dorn : En 2002, je travaillais au Jet Propulsion Laboratory, à la Nasa, sur des méthodes informatiques de détection des acides aminés. Sans ces composés chimiques, la vie ne peut exister... J'ai donc eu l'idée de comparer la composition de deux milieux : l'un qui abrite la vie, l'autre qui n'a jamais vu une bactérie. J'espérais que s'il y avait des différences, cela permettrait de distinguer un milieu habité d'une terre stérile.

S&V : Mais il existe déjà des méthodes chimiques pour détecter la vie extraterrestre...

E.D. : Oui, mais insatisfaisantes : on traque des molécules, l'oxygène et le méthane, dont la présence simultanée ne s'explique, selon les modèles des exobiologistes, que par l'existence de vie. Mais ces modèles se basent sur la vie telle qu'on la connaît, nous, Terriens ! Rien ne dit qu'ils sont valables pour des organismes exotiques. Pour être sûr de détecter la vie extraterrestre, il faudrait une signature universelle.

S&V : Et vous l'avez trouvée ?

E.D. : Oui ! Tout organisme vivant transforme la composition chimique de l'environnement dans lequel il évolue. Dans un monde sans vie, les molécules les plus nombreuses sont les plus petites, car elles se forment plus facilement. Quelques grosses molécules naissent bien au gré des réactions chimiques, mais elles sont rares. Dans un milieu habité, c'est presque l'inverse, car les êtres vivants favorisent la fabrication des molécules dont ils ont besoin. Ainsi, sur Terre, les organismes ont appris, au fil de l'évolution, à produire des composés chimiques complexes. En analysant des échantillons, des chercheurs ont remarqué cette sorte d'"anomalie moléculaire". Restait à tester cette idée sur des écosystèmes variés...

S&V : Comment cela ?

E.D. : Il fallait s'assurer que cette méthode était valable sur Terre ou, mettons, sur Mars ! Et comme les Martiens ne sont pas à portée d'éprouvette, je me suis tourné vers Avida, un environnement informatique conçu en 1995 par une équipe du California Institute



SON IDÉE

Qui dit vie, dit présence de molécules chimiques élaborées et donc présence... de grosses molécules. Partant de ce constat "universel", l'étude de la composition de l'atmosphère d'une planète lointaine permettrait de savoir à coup sûr si elle est habitée, ou non.

of Technology pour reproduire les rouages de l'évolution. Il s'agit d'un monde numérique dans lequel des programmes informatiques jouent le rôle d'organismes vivants : ils se répliquent, mutent... J'ai observé que les "Avidiens" sélectionnent certains codes complexes, de la même manière que les créatures terrestres choisissent des composés chimiques élaborés : la complexité est donc bel et bien une signature universelle de la vie !

S&V : Les astrophysiciens disposent-ils déjà des moyens de détecter cette biosignature ?

E.D. : Oui ! Les rovers, conçus pour se poser sur Mars, embarquent de vrais laboratoires permettant de tester notre méthode. Et grâce à la spectroscopie, on peut étudier la composition de l'atmosphère de certaines exoplanètes. Mon article donnera peut-être des idées aux astrophysiciens !

Propos recueillis par M.F.

G. ZUILY/VU

Avec sa ligne élégante.

Et son intérieur raffiné.

Il a l'art d'entrer en scène...

Le reste ne dépend que de vous.



DISCOVERY 4

Pourquoi se satisfaire d'une voiture quand on peut choisir un Land Rover ?



PHYSIQUE

LA PRÉVISION MÉTÉO SPATIALE PASSE UN CAP

Les vents solaires peuvent parer notre ciel de somptueuses aurores boréales... mais ces bourrasques de plasma envoyées par notre étoile ont des effets secondaires moins appréciés : elles perturbent les dispositifs électriques des satellites, brouillent les signaux radio et provoquent même de gigantesques pannes électriques. Heureusement, on va bientôt les anticiper. Jeffrey Hughes et son équipe de l'université de Boston (Etats-Unis) ont annoncé, le 26 janvier dernier, que leur modèle de météo spatiale, fruit de la collaboration d'une vingtaine de centres de recherches américains, allait être mis en service. Dès le mois d'octobre, il devrait

produire quatre bulletins météo par jour et prévoir la force des vents solaires qui balayeront la Terre quatre jours à l'avance. *"Enfin un modèle qui donne des résultats raisonnables ! se félicite Jeffrey Hughes. Il est plus précis que les précédents car il ne se base pas uniquement sur l'observation du vent solaire : il tient compte des propriétés des éjections de masses coronales",* ces énormes éruptions qui commandent le vent solaire. Le chercheur fait un parallèle avec la météo terrestre : *"Au lieu de se contenter de suivre la trajectoire d'un cyclone, nous l'observerons dès sa naissance !"* Une bonne nouvelle pour les opérateurs de satellites. **M.F.**

> On saura 4 jours à l'avance si des vents solaires, à l'origine des aurores boréales, causeront des perturbations.



ARCHÉOLOGIE

On buvait déjà du vin il y a 6 100 ans

Ce qui semble être la plus ancienne installation vinicole a été mise au jour dans le sud-est de l'Arménie. Des poteries ont révélé des traces de malvidine, un pigment naturel rouge. *"Le vin est l'hypothèse la plus probable car nous avons aussi trouvé des peaux et pépins de raisin, et l'installation ressemble à une cave antique",* explique Hans Barnard, à l'origine de cette découverte vieille de 6 100 ans. Sans doute foulé au pied, le jus fermentait dans des cuves en argile d'environ 50 litres. Les sites comparables (Grèce, Georgie) ne remontent qu'à 5 000 ans. **C.H.**





PLANÉTOLOGIE

NOTRE OR VIENT D'UN BOMBARDEMENT CÉLESTE

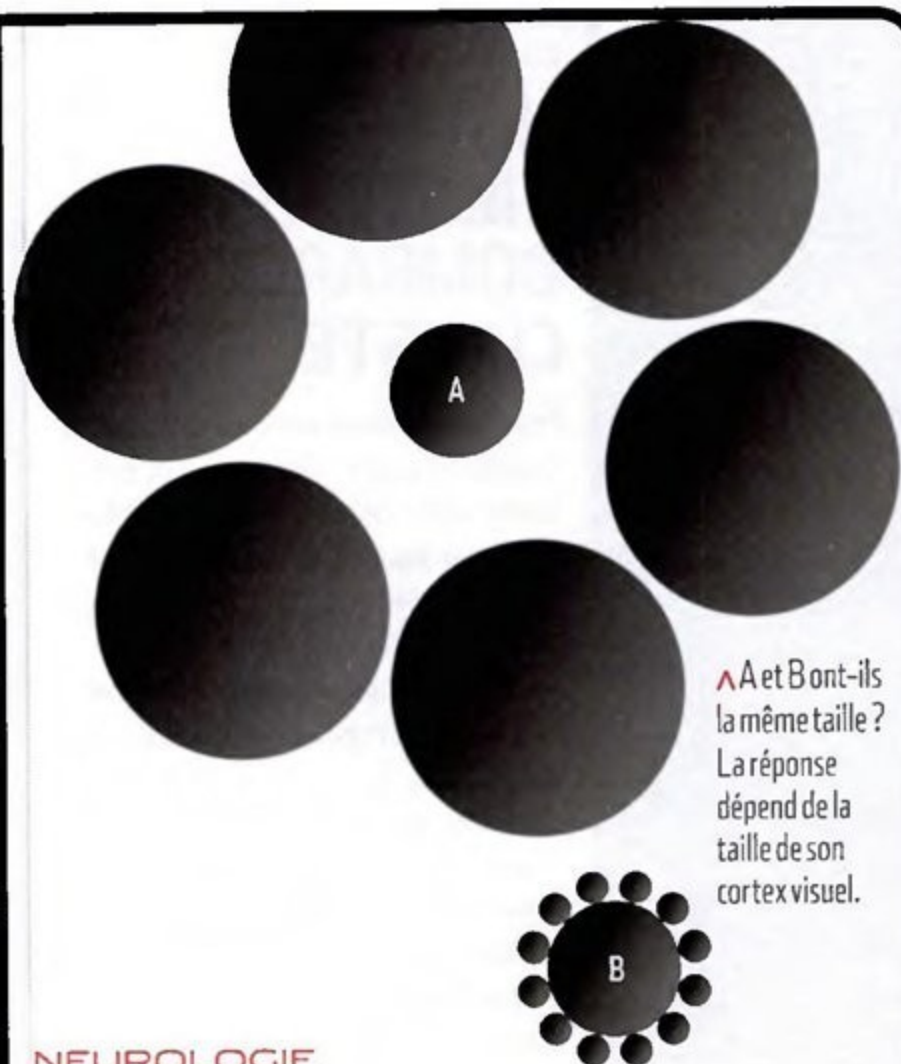
Pourquoi trouve-t-on de l'or dans la croûte terrestre, alors que cet élément sidérophile, c'est-à-dire attiré par le fer liquide, aurait dû tomber vers le noyau métallique de notre planète dès sa naissance ? Parce qu'il y serait arrivé juste après, *via* le bombardement de corps célestes qu'a subi la Terre, comme tout le système solaire, à la fin de sa formation. A l'aide de modèles numériques, l'équipe américaine de William Bottke a évalué que ces corps devaient être assez massifs pour enrichir le noyau terrestre, mais pas trop pour ne pas le briser. D'un diamètre de 2400 à 3200 km (proche de celui de Pluton), il s'agirait de planétoïdes, des astres qui n'avaient pas atteint une taille suffisante pour être de vraies planètes. Ils auraient également apporté de grandes quantités d'autres métaux précieux (platine, iridium) très utilisés dans l'industrie, et sans lesquels notre vie aurait été très différente... C.M.

G. ARESHIAN/NATIONAL GEOGRAPHIC - P. PARVIAINEN/SPL/COZMOS - D. MASON/CORBIS

170 000 ans

Ce serait la date d'apparition des premiers vêtements. Des chercheurs américains ont trouvé que l'ADN des poux de tête et celui des poux des vêtements d'*Homo sapiens* avaient divergé à cette période, marquant la migration des parasites de la tête vers les habits quand ceux-ci sont apparus. Vêtu, l'homme moderne a pu quitter l'Afrique pour des climats plus froids. C.M.





▲ A et B ont-ils la même taille ? La réponse dépend de la taille de son cortex visuel.

NEUROLOGIE

CHACUN VOIT LE MONDE SELON SON CORTEX

Les ronds situés au centre de ces deux "fleurs" sont de la même taille... mais si vous êtes persuadé que celui d'en bas est plus grand que celui d'en haut, c'est peut-être parce que votre cortex visuel est de petite taille. Ainsi, contrairement à ce que l'on pourrait croire, tous les individus ne verraient pas le monde exactement de la même façon. C'est en tout cas ce que suggèrent les travaux de Dietrich Samuel Schwarzkopf, chercheur à l'Institut des neurosciences cognitives de Londres. Après avoir soumis trente personnes à cette illusion d'optique, appelée illusion d'Ebbinghaus, le chercheur a en effet mis en évidence,

grâce à l'imagerie par résonance magnétique (IRM), une corrélation importante entre la taille de leur cortex visuel et leur propension à être "victimes" d'illusions d'optique. Cette propension pourrait varier en fonction des habitudes culturelles. En Namibie, par exemple, des chercheurs ont remarqué que les Himbas, qui ont appris à savoir distinguer chaque détail des membres de leurs troupeaux, y sont très peu sensibles. Mais que l'on se rassure, un cortex visuel plus petit n'est pas un désavantage, "cela signifie simplement que la taille des autres parties de notre cerveau est plus grande", précise le chercheur. C.H.

LES LARMES DES FEMMES REFROIDISSENT LES HOMMES

Selon des chercheurs israéliens, elles contiennent une substance chimique qui diminue le désir sexuel masculin. Le niveau de testostérone baisse et les régions cérébrales liées à l'excitation sexuelle sont moins sollicitées. V.B.

DES ÉTOILES EN FLAGRANT DÉLIT DE VALSE À TROIS

Des astrophysiciens pensaient avoir découvert une exoplanète autour de l'étoile KOI-126 A... Il s'agissait en fait de deux petites étoiles tournant autour d'une autre, six fois plus grosse ! Ce système triple est une rareté... qui permettra d'affiner leurs modèles stellaires. M.F.

L'ARGENT GÂCHE LE PLAISIR

Non, être rémunéré pour effectuer une tâche n'augmente pas la motivation. Le Japonais Kenji Matsumoto et son équipe ont montré, en payant des étudiants pour pratiquer un jeu, que les zones de leur cerveau impliquées dans le plaisir étaient moins activées que celles d'autres étudiants, bénévoles. C.H.

GÉNÉTIQUE

ON SAIT ENFIN COMMENT UNE ABEILLE DEVIENT REINE

Le mécanisme moléculaire qui permet à une abeille de devenir la reine de la ruche vient enfin d'être dévoilé ! En étudiant le génome dans le cerveau d'*Apis mellifera*, l'abeille à miel européenne, une équipe germano-australienne menée par Ryszard Maleszka, de l'université nationale australienne, a noté que la configuration de l'ADN est modifiée à certains endroits en fonction du statut de l'insecte, ce qui change l'expression des gènes. Plus de 550 d'entre eux sont ainsi méthylés différemment chez la reine, bien que toutes les abeilles soient dotées d'un génome identique. Ainsi, celles qui sont nourries avec de la gelée royale, dont on sait qu'elle inhibe la méthylation, deviennent des reines ; les autres, élevées au pollen et au miel, des ouvrières. R.B.



▲ Selon la configuration de son ADN, à génome identique, l'abeille pourra devenir une reine ou non.

Microsoft

 Microsoft® Office 2010
ETONNEZ-VOUS

Je voulais toucher du bois pour **RÉUSSIR.**

Je m'appelle Alex et mon boulot est de donner à tout le monde l'envie d'avoir des meubles de bureau en bois de noyer. Avec le nouveau PowerPoint® 2010, j'ai d'ailleurs réalisé une présentation qui a fait son petit effet dans la boîte. Surtout, avec Office Web Apps, je peux continuer de travailler à distance et rester ainsi toujours en contact avec mon patron. À mon avis, l'échelle qui m'emmènera jusqu'au sommet est en bois de noyer.

> Vous aussi, étonnez-vous avec le nouvel Office 2010 sur office.com/2010



NÉONATALOGIE

C'EST LA VOIX DE LA MÈRE QUI APPREND À BIEN PRONONCER

Pour le nouveau-né, la voix de la mère n'est pas seulement familière: elle stimule aussi l'apprentissage du langage et sa prononciation. Maryse Lassonde et ses collègues de l'université de Montréal, au Canada, ont posé des électrodes sur le crâne de nouveau-nés moins de vingt-quatre heures après leur naissance: une exploration cérébrale qui n'avait jamais été pratiquée chez des bébés aussi jeunes. Tandis qu'ils dormaient, leur maman et une autre femme, à la voix familière et au timbre proche, prononçaient la lettre "A". Résultat: la voix familière n'active que les zones de reconnaissance de la voix. En revanche, celle de la mère sollicite les zones

du langage et de la motricité, située dans l'hémisphère gauche, qui commande le bon placement de la bouche et de la langue. Ainsi, en parlant à son bébé, et cela alors même qu'il est encore dans son ventre, la mère l'entraîne à maîtriser sa langue "maternelle" – la bien nommée –, et prépare ses futures capacités motrices pour bien articuler cette langue. *"Au cours de la grossesse, le bébé est constamment exposé à la voix de sa maman. Ce qui l'incite à l'associer au langage, contrairement à la voix de l'étrangère qui, elle, est analysée en tant que voix"*, explique Maryse Lassonde. Quant à la voix du père, son impact sur l'acquisition du langage reste à définir. **V.B.**

PALÉOETHNOLOGIE

Chez Neandertal, on vivait dans le clan du père

La patrilocalité (le couple vit chez le mari), pratiquée dans 70 % des sociétés modernes, existait déjà chez Neandertal ! L'équipe de Carles Lalueza-Fox a étudié un groupe de six adultes (et leurs enfants) trouvés dans la grotte d'El Sidrón (Espagne). Leur ADN mitochondrial, témoin de la filiation maternelle, a révélé leur parenté: trois mâles et une femelle appartenaient à la même lignée, et les deux autres femmes à deux autres. Ce qui correspond au scénario de l'échange de femelles quand deux clans se croisent.

E.R.



BIOMÉCANIQUE

LES DENTS DE L'OURSIN SE RÉPARENT TOUTES SEULES

Bien qu'il les use à gratter les rochers pour se nourrir d'algues, l'oursin conserve des dents étonnamment pointues. Des chercheurs américains viennent de comprendre pourquoi. Chaque dent est en fait une véritable mosaïque de cristaux de calcaire disposés en croix et cimentés par un biominéral très dur, entre lesquels on trouve de la matière organique, plus molle. Quand la dent frotte contre un rocher, cette couche organique se rompt, à la manière d'une page que l'on détacherait d'un carnet, mettant à nu une nouvelle couche cristalline, intacte. A quand des couteaux, calqués sur ce principe, qui s'aiguiseraient seuls à mesure qu'on les utilise ? **O.D.**

KIA, LE SEUL CONSTRUCTEUR À GARANTIR TOUS SES MODÈLES 7 ANS



NOUVEAU KIA SPORTAGE

IL FAIT TOURNER LES TÊTES

DESIGN
QUALITÉ
GARANTIE
7 ANS



À PARTIR DE **18 390 €** ⁽¹⁾ Nouveau Sportage Style 1,6 L essence GDi
avec système Stop & Go (ISG) de série



Garanti 7 ans, le nouveau Kia Sportage allie design, qualité et dynamisme. C'est donc sans surprise que ce crossover fait se retourner toutes les têtes sur son passage. Non content de plaire aux yeux, il séduit les utilisateurs par ses équipements de haute technologie⁽²⁾ : toit panoramique, climatisation automatique bi-zone, démarrage sans clé, navigation couleur avec caméra de recul, système audio CD/MP3 avec connexion Bluetooth®. Et grâce à son système Stop & Go (ISG) le nouveau Kia Sportage 1,7 L CRDi réduit sa consommation à 5,2 L/100km et ses émissions de CO₂ à 135 g/km.

www.kia.fr



* Garantie 7 ans ou 150 000 km (1^{er} des deux termes échu) valable pour tous les modèles KIA en France métropolitaine et Corse (hors DOM-TOM) et dans tous les Etats membres de l'UE ainsi qu'en Norvège, Suisse, Islande et à Gibraltar. Hors véhicules utilitaires et véhicules à usage commercial. (1) Prix du nouveau Kia Sportage Style 1,6 L essence GDi, sous condition de reprise (20 890 € - 2 500 € de reprise). **Modèle présenté** : nouveau Kia Sportage Active 1,6 L essence GDi à **21 240 €**, sous condition de reprise (23 290 € - 2 500 € de reprise + 450 € de peinture métallisée). Le montant de l'offre de reprise est égal à 2 500 € venant s'ajouter à la valeur de reprise de votre ancien véhicule s'il a moins de 8 ans, d'une puissance réelle inférieure ou égale à celle du modèle neuf acheté, pour l'achat d'un nouveau Kia Sportage. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'ArgusTM du jour de reprise applicable à la version du véhicule repris ou, le cas échéant, à la moyenne des cours des versions les plus proches de celui-ci, ce cours ou ladite moyenne étant ajustés en fonction du kilométrage, des éventuels frais de remise en l'état standard et déduction faite d'un abattement de 15% pour frais et charges professionnels. (2) Equipements listés disponibles de série ou en option selon finition. Consommations mixtes du nouveau Kia Sportage : de 5,2 à 7,0 L/100 km. Émissions de CO₂ de 135 à 183 g/km. Offre valable jusqu'au 30/04/2011 dans la limite des stocks disponibles. **MOTUL**

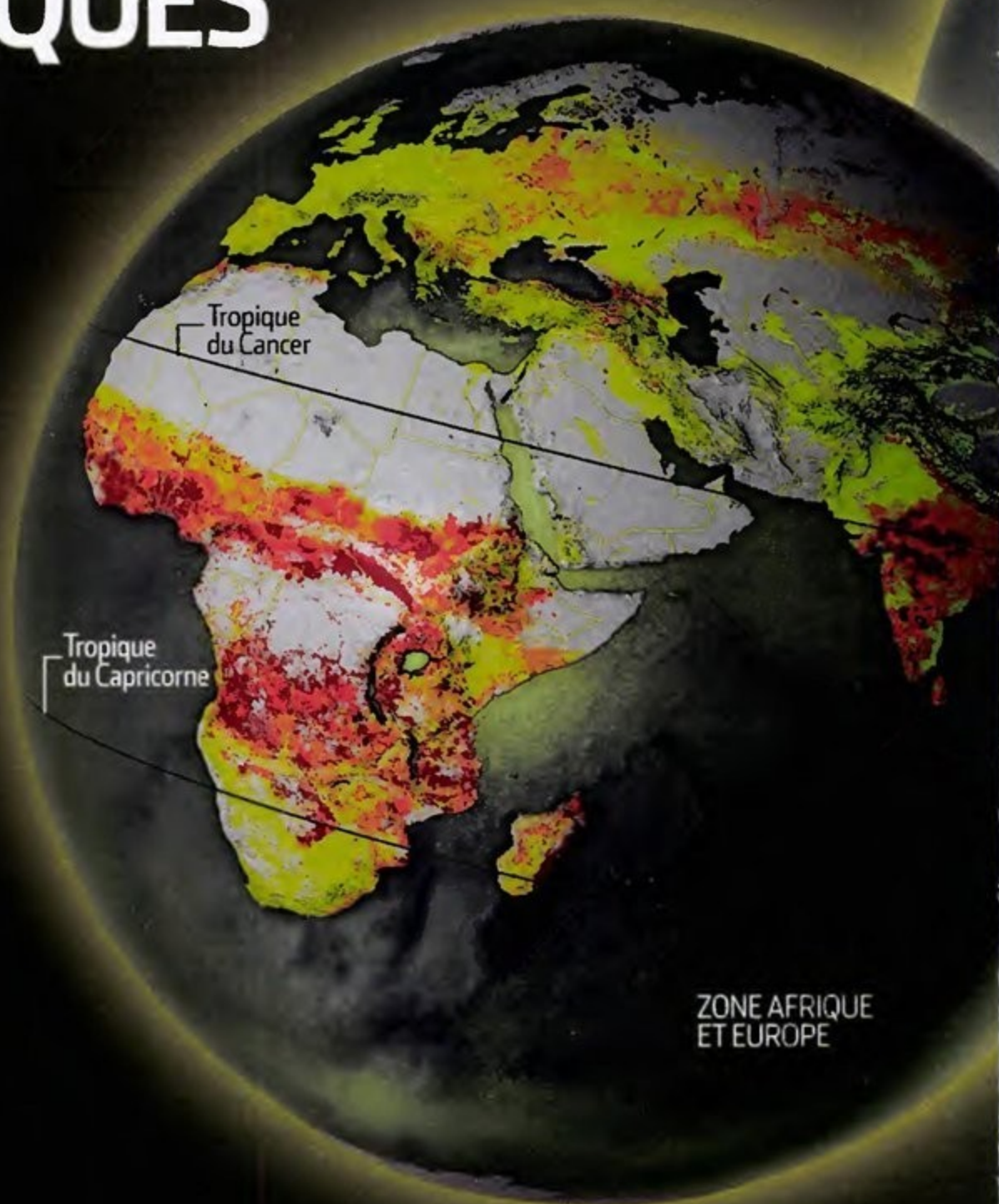
actus terre

GÉOCHIMIE

L'AGRICULTURE REJETTE PLUS DE CARBONE SOUS LES TROPIQUES

Convertir des écosystèmes naturels en terres agricoles réduit considérablement la quantité de carbone stockée sur les continents. Paul West et ses collègues de l'université du Wisconsin, aux Etats-Unis, viennent de démontrer que cet effet varie significativement d'une région à l'autre, et qu'il est ainsi beaucoup plus important dans les zones intertropicales. Ils ont en effet calculé que défricher un hectare correspond à émettre l'équivalent de 120,3 tonnes de carbone s'il est situé sous les tropiques, contre seulement 62,9 en zone tempérée. Mais ce n'est pas tout. Pour chaque tonne de culture produite sur ces terres défrichées, les émissions de CO₂ sont trois fois plus importantes en zone intertropicale qu'en zone tempérée. En cause, les cultures mises en place : elles ont un rendement deux fois plus faible et absorbent moins de carbone que leur équivalent en zone tempérée. Les auteurs préconisent donc d'améliorer d'abord les rendements, plutôt que de raser les forêts pour accéder à de nouvelles terres cultivables. L'enjeu est de taille : la déforestation est responsable d'environ 10 % des émissions de CO₂ mondiales.

C.H.



Quantités de carbone émises pour chaque hectare de terre transformé en cultures

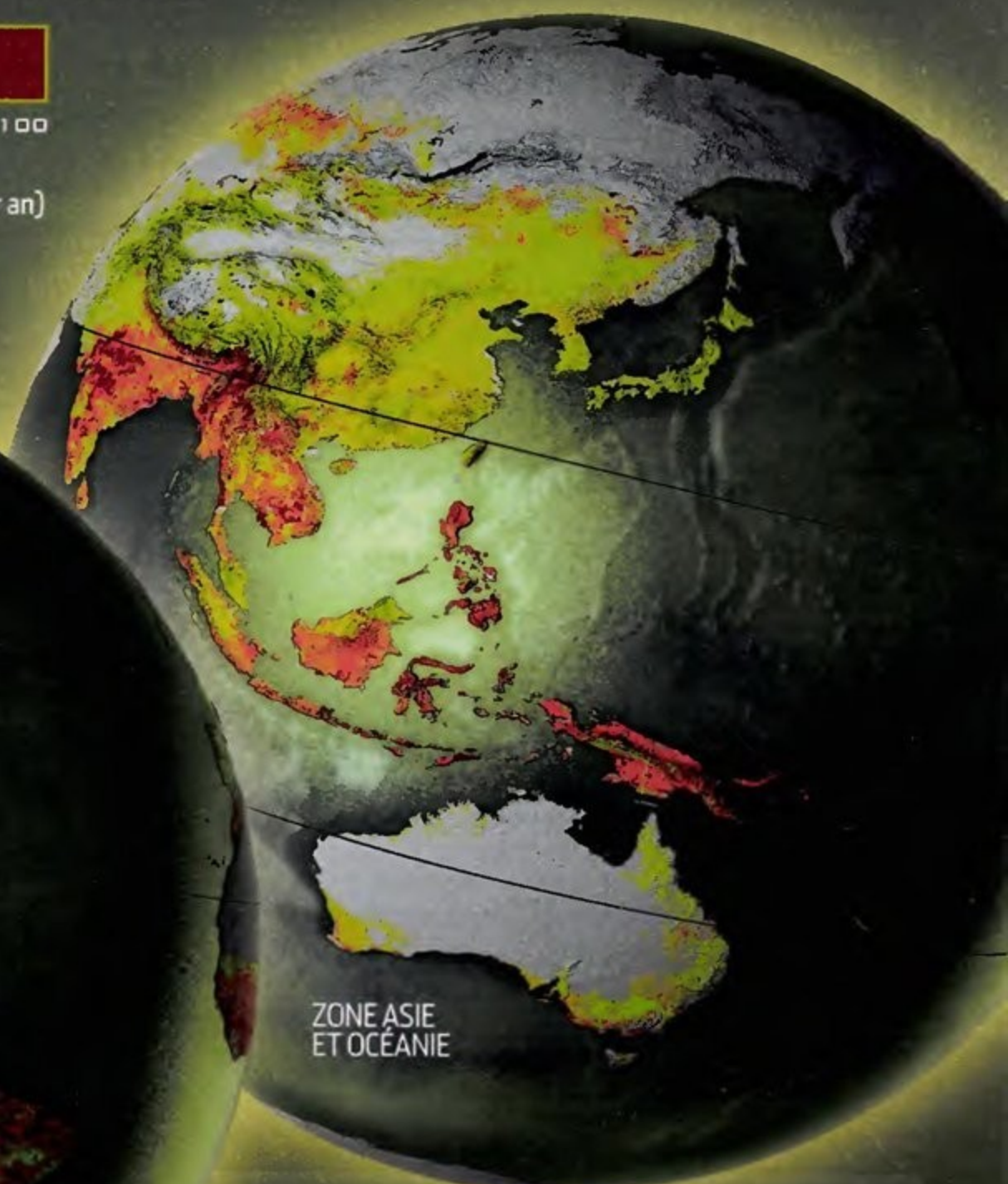


0 100

Emissions de carbone (en tonnes par hectare) rapportées au rendement (en tonnes par hectare et par an)

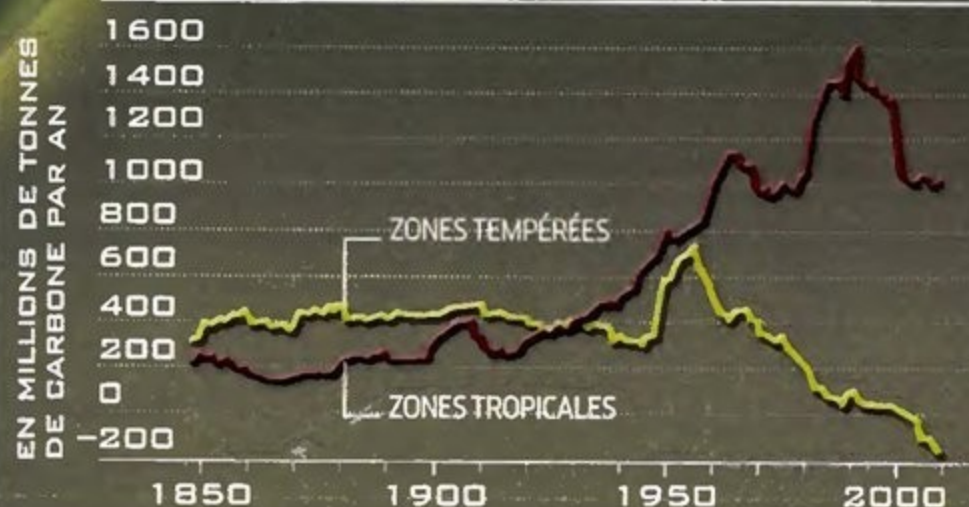


ZONE AMÉRIQUES



ZONE ASIE ET OCÉANIE

La part de la zone tropicale a explosé depuis 1930 Emissions de carbone liées au changement d'usage des sols



SOURCE: GLOBAL CARBON PROJECT

10 millions d'hectares ont été convertis en cultures chaque année entre 1980 et 2007.

30 à 40% des terres émergées abritent désormais cultures ou pâtures.

340 milliards de tonnes de carbone sont actuellement stockées par les forêts tropicales.

CLIMATOLOGIE

CERTAINS GLACIERS DE L'HIMALAYA AVANCENT

Le réchauffement climatique n'est pas toujours synonyme de fonte des glaces. Pour preuve, dans l'Himalaya, certains glaciers stagnent, voire avancent ! C'est ce qu'a découvert Dirk Scherler (université de Potsdam, Allemagne) en analysant l'évolution de 236 glaciers à partir d'images satellite prises entre 2000 et 2008. Cette observation concerne principalement le massif du Karakoram (nord-ouest de l'Himalaya), dans lequel plus de la moitié des glaciers sont stables ou progressent. Dans les autres massifs en revanche, 65 à 87 % des glaciers reculent. Pourquoi un tel contraste ? Cela tient surtout aux différences de topographie et de climat au sein de la chaîne

himalayenne, mais pas seulement. Un autre facteur, longtemps négligé, influencerait sur l'évolution des glaciers : la quantité de débris rocheux à leur surface. *"Ceux qui en sont en partie recouverts voient leur recul diminuer"*, explique Dirk Scherler. Contrairement à la suie ou aux poussières, ces fragments de roche, de plus grande taille, protègent la glace des rayons du soleil, limitant la fonte. Quant à ceux qui progressent, *"une surveillance sur le long terme est nécessaire pour expliquer ce comportement anormal"*. Les scientifiques devront désormais tenir compte de ces débris rocheux pour mieux prédire la fonte des glaces et son impact sur les réserves en eau. L.B.

Océanographie

L'itinéraire des tortues luth n'est plus un mystère

Le périple de ces géantes des mers dans l'Atlantique Sud vient pour la première fois d'être retracé. L'équipe de Matthew Witt (université d'Exeter, Royaume-Uni) a suivi 25 femelles pendant cinq ans à l'aide de petits émetteurs. A partir du Gabon, haut lieu de reproduction de cette espèce gravement menacée, trois parcours ont été mis en évidence, dont l'un fait plus de 7 500 km ! Si l'on ignore encore comment la tortue luth choisit son trajet lorsqu'elle part reconstituer ses réserves, cette étude devrait néanmoins permettre de mieux la protéger. R.B.

250 milliards

de microfragments de plastique flotteraient à la surface de la Méditerranée. C'est ce qu'indiquent les premières données de l'expédition Méditerranée en danger, menée par des scientifiques européens qui ont effectué des prélèvements au large des côtes françaises, italiennes et espagnoles en juillet dernier.



< Dans le massif du Karakoram (Himalaya), plus de la moitié des glaciers stagnent ou avancent.



INGÉNIERIE

EN AUSTRALIE, LES EAUX USÉES DEVIENNENT POTABLES

Les Australiens pourraient bientôt boire de l'eau de pluie. A Salisbury, dans le sud du pays, un projet pilote de récupération et de traitement des eaux de ruissellement vient de livrer ses premiers résultats : l'eau obtenue est presque potable ! Le principe de ce système de recyclage ? Il fait essentiellement appel aux capacités d'épuration de la nature. Les eaux d'écoulement issues des toits, rues et trottoirs de la ville sont récupérées et transférées dans un marais aménagé, où des roseaux agissent comme des filtres. Cette eau est ensuite injectée et stockée dans un aquifère, à 160 m de profondeur. Elle y est purifiée naturellement pendant plusieurs mois avant d'être pompée. D'après les analyses chimiques et bactériologiques, la qualité des eaux est considérablement améliorée au cours de ce recyclage. Des traitements supplémentaires doivent être effectués afin d'éliminer tout risque sanitaire, mais les résultats obtenus montrent l'énorme potentiel de cette méthode. Reste à lever le verrou psychologique. En 2006, les habitants de Toowoomba, dans le nord de l'Australie, avaient rejeté par référendum la proposition de boire des eaux usées.

Pa.G



★ Les eaux usées séjournent d'abord dans ce marais, où elles sont filtrées par des roseaux.

C. MONTEATH/HEDGEHOG HOUSE/MINDEN PICTURES/CETTY IMAGES - F. PENNANT/MAXPPP - CITY OF SALISBURY, AUSTRALIA/ASTR/CIRO



MÉTHODOLOGIE

BAGUER LES MANCHOTS FAUSSE LES OBSERVATIONS

Dans les Terres australes, les manchots royaux bagués à l'aileron sont pénalisés par rapport à leurs congénères : ils font 39 % de poussins en moins et leur taux de survie est inférieur de 16 % ! Tel est le bilan d'une étude franco-norvégienne pilotée par Yvon Le Maho, de l'université de Strasbourg. Pour des raisons anatomiques, les manchots sont bagués à l'aileron plutôt qu'à la patte. Il est ainsi possible de les

suivre à distance, en évitant le stress de la recapture. Mais cette solution peut les blesser ou les gêner quand ils nagent ou pêchent. Des études à court terme, d'un an maximum, avaient jusqu'à présent nié tout effet délétère. Pour leur opposer un démenti, l'équipe d'Yvon Le Maho a suivi pendant dix ans, grâce à des étiquettes électroniques implantées sous la peau, cent manchots, dont la moitié

seulement portaient aussi une bague à l'aileron, mettant en lumière l'important handicap lié à ces dernières. Si certains chercheurs, dont les Français, n'utilisent plus cette méthode depuis les années 1990, d'autres s'appuient encore sur les données acquises grâce au baguage pour évaluer l'impact du changement climatique sur la biodiversité. Des données à reconsidérer sérieusement... **R.B.**

ÉTHOLOGIE

CETTE MUSARAIGNE POLLINISE COMME UNE ABEILLE

La musaraigne à trompe du Cap (Afrique du Sud), que l'on croyait exclusivement friande d'insectes, se délecte parfois du nectar d'une fleur ! Ce drôle d'animal fait donc partie des rares mammifères non volants capables de pollinisation, avec certains rongeurs, primates et marsupiaux. C'est ce qu'a démontré Petra Wester, de l'université de Stellenbosch en Afrique du Sud, après avoir observé deux *Elephantulus edwardii* en captivité. Les deux spécimens ont lapé le nectar d'une plante grasse de la famille des jacinthes, *Whiteheadia bifolia*, à plus de 50 reprises en quatre jours ! Au passage, ils couvraient leur long nez de pollen et fécondaient les fleurs visitées. Selon Petra Wester, il est fort probable que d'autres espèces de musaraignes soient également pollinisatrices. **R.B.**

GÉOCHIMIE

La banquise arctique bloque les rejets de mercure dans l'air

La banquise ralentit la destruction par les rayons du soleil du méthyle-mercure, une neurotoxine présente dans l'océan Arctique. D'après les calculs de David Point (de l'université Paul-Sabatier, Toulouse), la fonte de la banquise dans les années à venir devrait exposer davantage cette toxine au soleil, et augmenter de 4 à 12 % sa photodégradation. Ce qui accroîtrait la libération de vapeurs de mercure dans l'atmosphère. **S.F.**

> En léchant le nectar, la musaraigne saupoudre son nez de pollen qui fécondera d'autres fleurs visitées.





Le plus tôt sera le mieux.

Pensez dès aujourd'hui à votre avenir pour mieux en profiter demain.

Selon votre âge, votre situation familiale ou professionnelle, vous n'avez pas les mêmes préoccupations. C'est pourquoi la Banque Populaire vous propose des solutions d'épargne, d'assurance et de crédit qui répondent à tous vos besoins.

Avec Banque Populaire, votre présent a de l'avenir.

Venez parler de vos projets avec un conseiller en agence ou bien rendez-vous sur www.banquepopulaire.fr



Banque et populaire à la fois.

www.banquepopulaire.fr

POLLUTION LUMINEUSE

ELLE EMPÊCHE L'AIR DE SE PURIFIER

L'éclairage artificiel des villes détruit les molécules qui purifient l'air, présentes la nuit dans l'atmosphère. Pis, il les transforme: elles deviendront, de jour, des agents polluants !

Pour lutter contre la pollution atmosphérique le jour, réduisons l'éclairage des villes la nuit. Ce pourrait être la leçon à tirer des travaux menés à Los Angeles par Harald Stark. Ce chimiste de la National Oceanic and Atmospheric Administration a découvert que la lumière des lampadaires détruisait des composés chimiques nécessaires au nettoyage naturel de l'atmosphère.

UN IMPACT SUR LE TAUX D'OZONE

Les victimes de notre phobie du noir ? Les radicaux nitrates. Ces oxydes d'azote neutralisent les composés organiques volatils (COV), vaste famille de polluants en grande partie issus de l'activité humaine. Par leur action épuratrice, les radicaux nitrates sont l'équivalent nocturne des radicaux hydroxyles, ces "détergents de l'atmosphère". "Les radicaux hydroxyles ne sont présents que le jour; la nuit ce sont les radicaux nitrates qui prennent le relais, explique Harald Stark. On savait que ces

radicaux étaient détruits par la lumière du soleil, mais pas que la lumière artificielle avait aussi un effet sur eux."

Pour le mesurer, Harald Stark a sillonné le ciel de Los Angeles en avion et estimé précisément l'intensité de l'éclairage nocturne. Résultat ? "Les lumières au-dessus de Los Angeles sont certes 10 000 fois plus faibles que la lumière du soleil, mais 25 fois plus fortes que celle de la pleine lune, détaille le chercheur. D'après nos calculs, elles détruisent jusqu'à 5 % des radicaux nitrates." Réduisant d'autant les performances de ce purificateur d'air. Surtout qu'elles le transforment en plus en dioxyde d'azote, un gaz précurseur de l'ozone, célèbre polluant urbain. "L'éclairage nocturne provoque une production un peu plus importante d'ozone", poursuit le chercheur. La quantification n'est pas aisée, mais cette contribution serait de l'ordre de 7 %. Un impact suffisant pour expliquer certains dépassements du seuil fixé de pollution à l'ozone. Une des

1



2

1 Observé depuis l'espace, l'éclairage nocturne dessine une carte de la pollution lumineuse...

2 ... dont il vient d'être démontré, à Los Angeles, qu'elle contribue à la pollution atmosphérique...

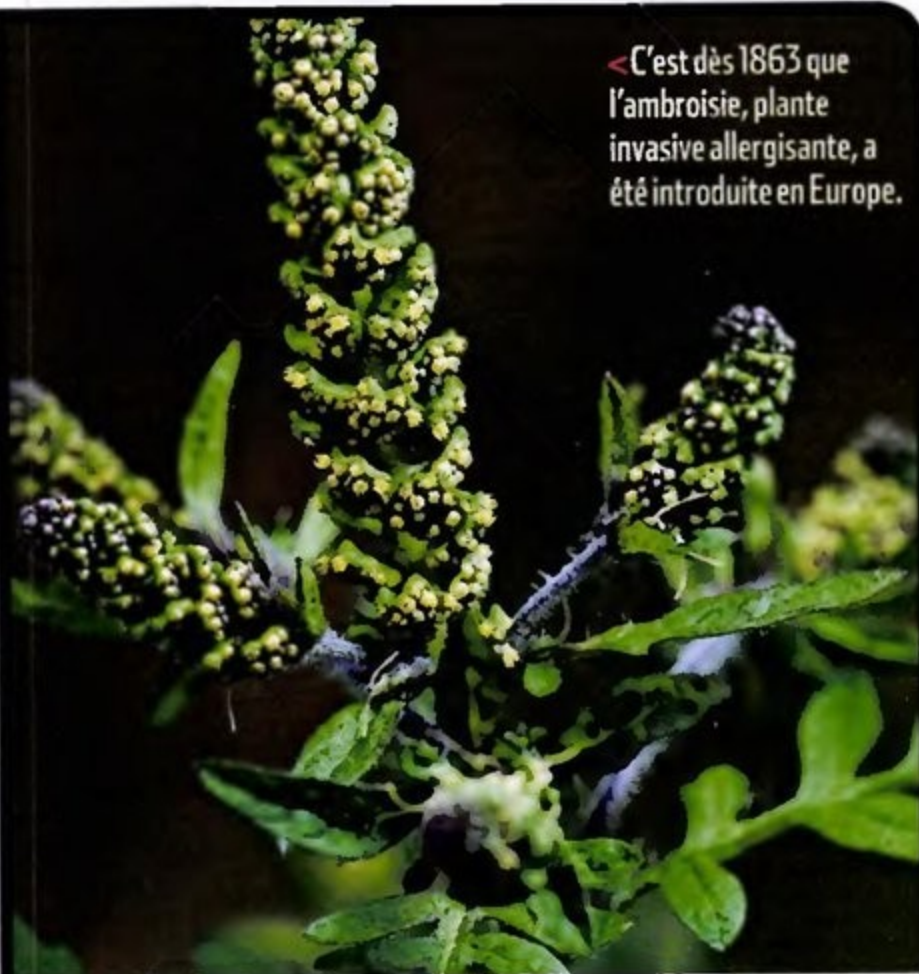
3 ... en augmentant la production d'ozone dans l'air d'environ 7 %.

solutions déjà prônées consiste à privilégier les lampadaires qui n'éclairent que vers le sol. Autre piste, mais plus difficile à appliquer : passer à un éclairage public... rouge. C'est la seule lumière qui ne possède pas assez d'énergie pour détruire les radicaux nitrates. On savait déjà que la pollution lumineuse gênait l'observation du ciel, perturbait flore et faune et représentait un gaspillage énergétique (voir S&V n°1098, p.76). Voilà qu'elle affecte aussi la capacité de l'air à s'auto-nettoyer. Un effet indésirable de plus... **B.B.**



ELLE FAVORISE ÉGALEMENT LE PALUDISME

La propagation du paludisme, de la leishmaniose et de la maladie de Chagas serait favorisée par l'électrification des campagnes dans les pays tropicaux. Selon Alessandro Barghini, de l'université de São Paulo (Brésil), les insectes vecteurs de ces maladies sont attirés par la lumière artificielle quand, dans le même temps, l'éclairage nocturne modifie les habitudes : les populations passent plus de temps dehors, notamment en début de soirée, lorsque ces insectes sont très actifs, ce qui multiplie les risques de contagion.



< C'est dès 1863 que l'ambrosie, plante invasive allergisante, a été introduite en Europe.

ÉCOLOGIE

BOUM DES ESPÈCES INVASIVES : ON N'A ENCORE RIEN VU

Une explosion des invasions biologiques se prépare ! C'est ce que semble indiquer une étude internationale sur la propagation des espèces animales et végétales exotiques en Europe. Celle-ci montre en effet que les espèces deviennent généralement envahissantes longtemps après leur introduction sur un nouveau territoire. Ainsi, en Europe, la plupart des espèces invasives seraient en fait apparues... il y a un siècle ! Pour arriver à cette conclusion, les chercheurs ont observé que le nombre d'espèces ayant colonisé des pays européens était le plus souvent corrélé à l'activité économique de ces pays dans les années 1900. L'économie compte en effet parmi les principaux

responsables de l'introduction d'espèces nouvelles, en particulier via les échanges marchands, le tourisme et le développement d'infrastructures routières. Les espèces invasives actuelles seraient donc apparues au début du siècle dernier, parallèlement à la croissance économique du continent, ne devenant véritablement envahissantes que des dizaines d'années plus tard. Pour les chercheurs, ce phénomène de développement à retardement est inquiétant : les très nombreuses introductions d'espèces que l'Europe a connues durant la seconde moitié du XX^e siècle n'auraient pas encore révélé toute l'ampleur de leurs conséquences... **E.A.**

L'ANNÉE 2010 LA PLUS CHAUDE DEPUIS 1880

C'est ce qu'a observé l'Organisation météorologique mondiale : 2010 arriverait *ex æquo* avec 2005 et 1998 en tête du classement des années les plus chaudes. L'Afrique, le sud et l'est de l'Asie, le Groenland et l'Arctique canadien ont en particulier enregistré des températures annuelles records. **R.B.**

PRÉVENIR À TEMPS LES TSUNAMIS

Telle est la mission d'un système d'alerte germano-indonésien, six ans après la catastrophe du 26 décembre 2004 : le Gitews est censé s'activer dans les cinq minutes suivant un tremblement de terre sous-marin, grâce à 300 stations mêlant sismographes, marégraphes, GPS et bouées. **R.B.**

600 ÉOLIENNES FACE AUX CÔTES FRANÇAISES

Elles devraient prendre l'air du large sur 5 sites maritimes, en face des côtes de l'Atlantique, de la Manche et de la mer du Nord, d'ici à 2015. Avec une puissance cumulée de 3 000 MW, ces éoliennes rempliront la moitié des engagements du Grenelle de l'environnement. **B.B.**

AGRICULTURE

UN POULET TRANSGENIQUE VA PIÉGER LE VIRUS H5N1

Des poulets génétiquement modifiés afin d'empêcher la transmission du virus de la grippe aviaire à leurs congénères : telle est la parade imaginée par Jon Lyall et ses collègues de l'université de Cambridge (Royaume-Uni). Ces biologistes ont introduit dans des embryons de poulet une molécule d'ARN similaire à celle qui déclenche la répllication du génome du virus H5N1. Chez les bêtes contaminées, ce transgène agit comme un leurre, accaparant les enzymes virales. Bien que les poulets transgéniques infectés décèdent, le virus ne se multiplie pas, évitant la propagation de la maladie. Un premier pas vers une alternative à la vaccination, qui ne protège pas assez les volailles. **E.H.**





PERFORMANCE

1.4 TB MultiAir.
Élu meilleur nouveau moteur
de l'année 2010.⁽¹⁾



CONFORT

Espace intérieur optimal.
Élue meilleure compacte
2011 par l'Argus.



SÉCURITÉ

La compacte la plus sûre.
87/100, meilleure note dans
sa catégorie.



JE SUIS GIULIETTA.



Alfa Giulietta Diesel 105 ch à partir de **269 €/mois⁽²⁾**

LOA sur 48 mois. Jusqu'au 31/03/11. 1^{er} loyer de 5 572 €. Montant total dû : 26 945 €

Gamme Alfa Giulietta à partir de **21 500 €⁽³⁾**

SANS CŒUR, NOUS NE SERIONS QUE DES MACHINES

Giulietta



RÉSERVEZ VOTRE ESSAI ALFA GIULIETTA SUR ALFAROMEO.FR

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

(1) International Engine of the Year Awards. (2) Exemple pour une Alfa Giulietta 1.6 JTDM 105 ch S/S Impulsive avec option peinture extra-série (400 €) au prix remis de : 22 971,38 €, soit une remise de 1 178,62 € sur prix catalogue du 01/01/2011. Option d'Achat final : 8 730 € ou reprise de votre véhicule suivant engagement sous conditions de votre Distributeur. Montants exprimés TTC, hors prestations facultatives. Assurances facultatives Dèces-Invalidité (A) 13,78 €/mois et Indemnité Complémentaire (A) 27,56 €/mois, ces montants s'ajoutent au loyer en cas de souscription. Dans le cadre de votre financement, vous disposez d'un délai de rétractation. Offre en location avec option d'achat sur 48 mois et 80 000 km réservée aux particuliers dans le réseau Alfa Romeo participant. Sous réserve d'acceptation du dossier par FL Auto, SNC au capital de 8 954 580,86 €, 342 499 126 RCS Versailles. Siège social : 6 rue Nicolas Copernic, 78190 Trappes. Consommation mixte : 4,4 l/100 km. Émissions de CO₂ : 114 g/km. Modèle présenté : Alfa Giulietta Impulsive 1.4 T-Jet 120 ch équipée en option de jantes 17" Design Sport, étriers de freins rouges, jupes latérales sport et peinture pastel extra série : tarif au 01/01/11 : 23 600 €. (3) Tarif au 01/01/11 pour une Alfa Giulietta Impulsive 1.4 T-Jet 120 ch. Consommation mixte : 6,4 l/100 km. Émissions de CO₂ : 149 g/km.



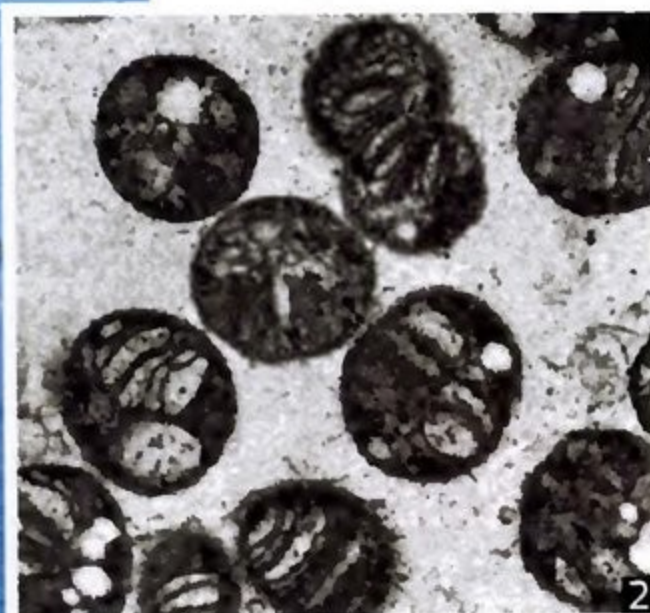
SCIENCE & VIE

N° 1114
JUILLET 2010

MARÉE NOIRE

LE GOLFE DU MEXIQUE RESPIRE...

Quatre mois : c'est tout ce qu'il aura fallu à des bactéries dévoreuses de méthane pour digérer les gigantesques quantités de gaz libérées par l'explosion, le 20 avril 2010, de la plateforme pétrolière Deepwater Horizon.



Science & Vie le titrait en "une" en juillet dernier : après une pollution massive, la chaîne du vivant finit toujours par se reconstituer. Mais la capacité d'adaptation des organismes microscopiques dépasse tout ce que les spécialistes avaient pu imaginer ! Des chercheurs américains ont ainsi découvert qu'une population de bactéries s'était développée en seulement cent vingt jours pour consommer les 200 000 millions de litres de méthane libérés dans les eaux du Golfe du Mexique, après la destruction de la plateforme Deepwater Horizon, le 20 avril 2010. "Début septembre, quand les premières mesures montrant un taux de méthane normal

nous sont parvenues, nous n'en avons pas cru nos yeux", se rappelle John Kessler, océanographe à l'université du Texas. Car ce gaz, mélangé au pétrole s'échappant du puits, représente à lui seul plus de 20 % de la quantité d'hydrocarbures déversés dans la mer. "En juin, nous mesurons encore des concentrations de méthane de l'ordre de 180 micromoles par litre d'eau, ajoute l'océanographe. Je n'en avais jamais vu de si élevées : des nappes de plusieurs milliers de kilomètres carrés de méthane dissous s'étaient déployées en profondeur." Elles auraient dû mettre des années à se diluer, puis à être éliminées par des bactéries mangeuses de

1 Entre le 20 avril et le 15 juillet 2010, 200 000 millions de litres de gaz se sont déversés dans le Golfe du Mexique.

2 Les *Methylococcaceae* tirent le carbone et l'énergie dont elles ont besoin du méthane, un carburant que la marée noire leur a fourni en quantités astronomiques.

méthane comme les *Methylococcaceae*. C'était sans compter leur appétit étonnant ! Profitant de ce banquet improvisé, elles se sont multipliées en quelques dizaines de jours. Et c'est tout l'écosystème local que la marée noire a déséquilibré, "mais de manière localisée et provisoire", précise John Kessler. Miraculeuse nature, venue à bout de l'un des polluants les plus agressifs... Mais pas du plus toxique. Car le pétrole, qui fait plus de ravages une fois sur terre, résiste aux bactéries. Si certains mécanismes comme l'évaporation ou la photo-oxydation parviennent à le dégrader, une seule espèce peut l'éliminer définitivement : l'homme, à coups de pelle. M.F.

HO NEW/REUTERS - A. FJELLBIRKELAND/PLOS



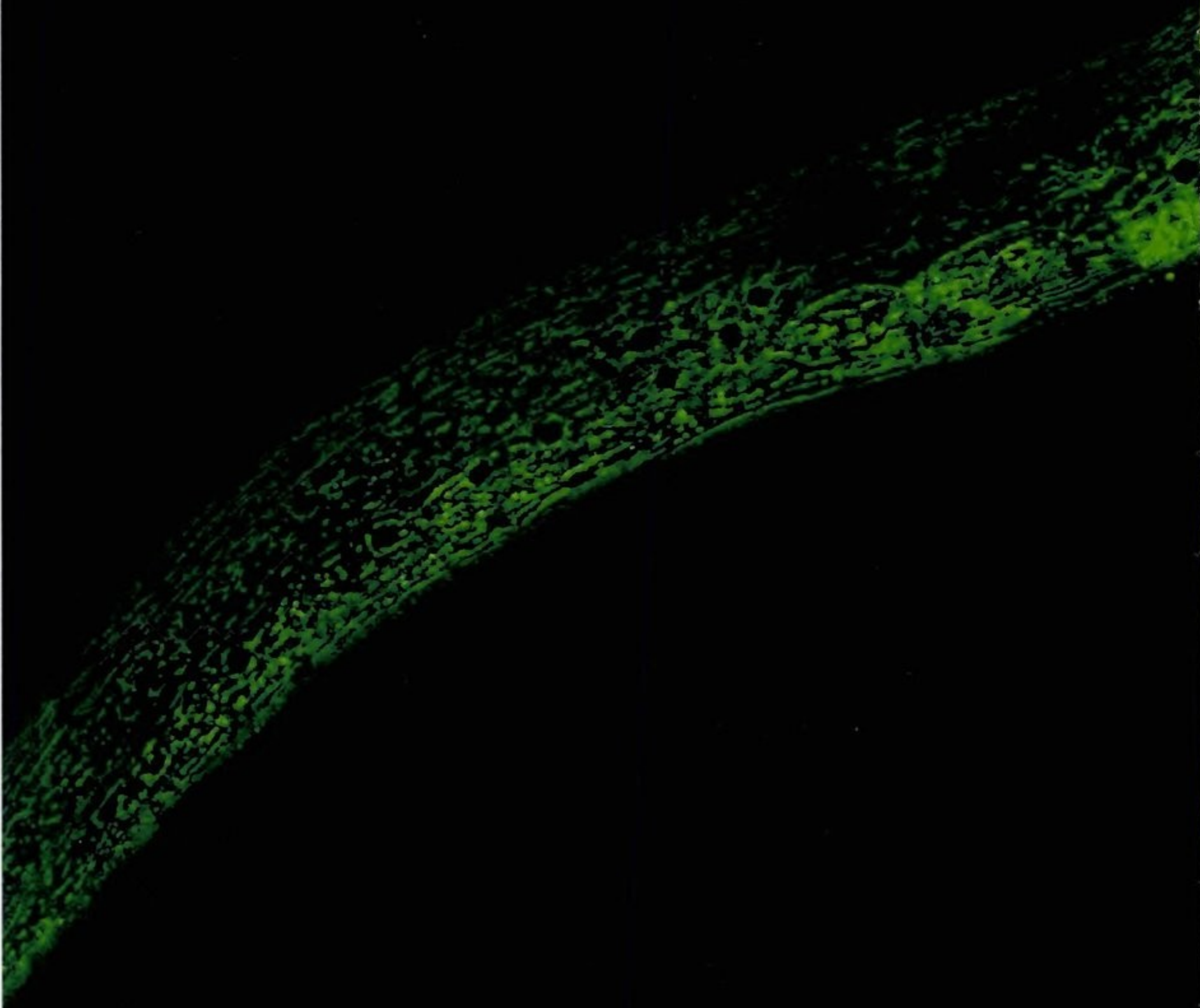
C'est encore meilleur
quand c'est rigolo !

Nouveau Ptit Kiwi : un kiwi, oui mais déjà pelé et sur un bâtonnet, prêt à être dégusté par vos enfants. Le kiwi devient rigolo et pratique à manger pour un plaisir fruité à tout instant. De plus, c'est un fruit de saison, alors c'est le moment de se régaler.

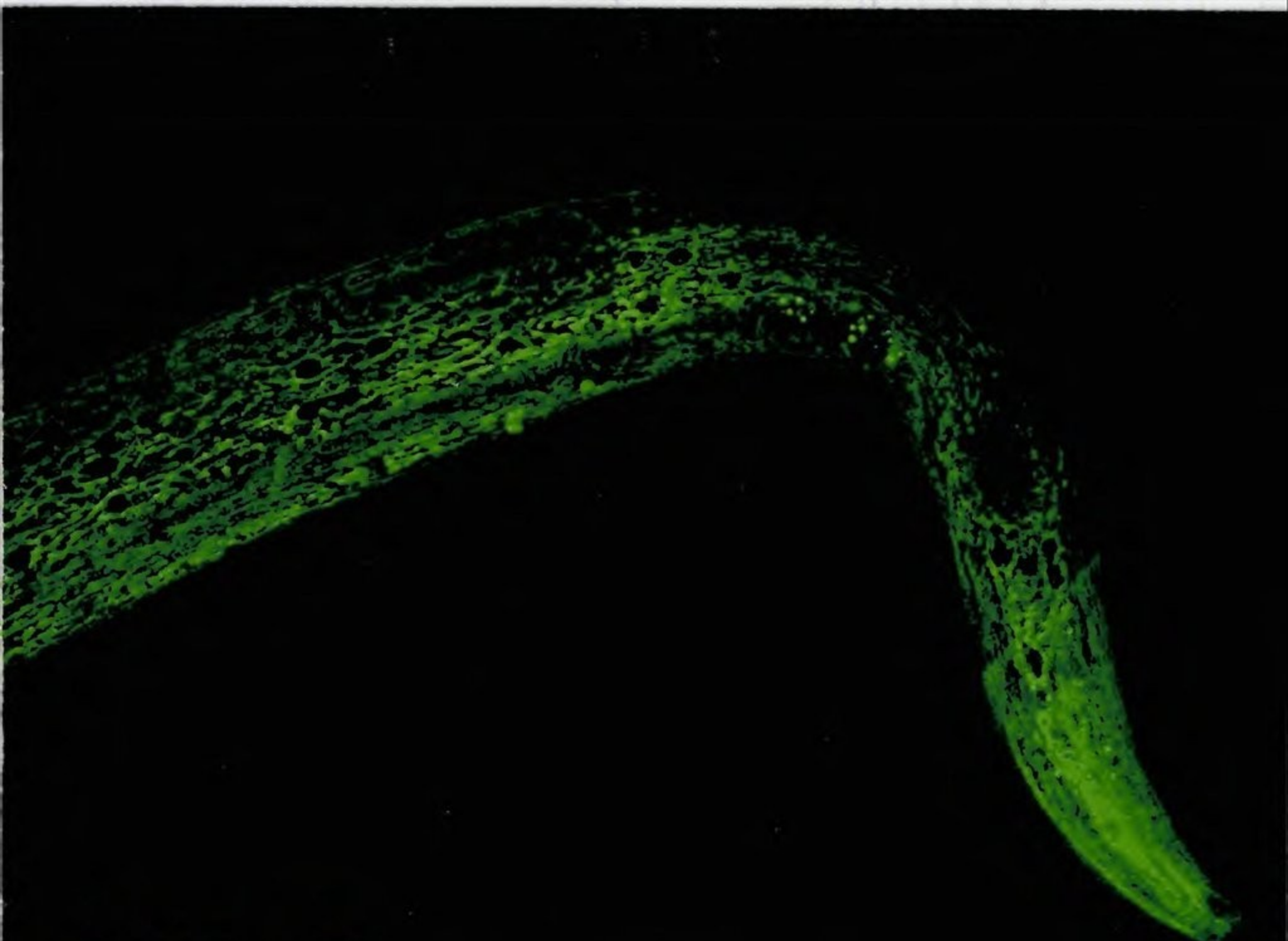
Durée limitée. A partir du 10 février 2011.



actus médecine



▲ Modifiés génétiquement pour produire un excès de radicaux libres, des vers *C. elegans* ont vu leur vieillissement freiner, et non s'accroître.



BIOLOGIE CELLULAIRE

LOIN DE RALENTIR LE VIEILLISSEMENT, LES ANTI-OXYDANTS L'ACCELERERAIENT

Au lieu de lutter contre les ravages du temps, une alimentation riche en antioxydants hâterait le vieillissement. L'un des dogmes de la médecine "anti-âge" pourrait ainsi être mis à mal par l'expérience que Siegfried Hekimi (université McGill, Montréal) a menée sur des petits vers de laboratoire, *C. elegans*. A l'origine, le chercheur a modifié

génétiquement ces vers pour leur faire produire un excès de radicaux libres, des composés "nocifs" accusés d'accélérer le vieillissement des cellules. Ils étaient donc normalement programmés pour mourir très jeunes. Or, c'est l'inverse qui s'est produit : les radicaux libres en excès ont ralenti le vieillissement. Plus surprenant encore, leur faire adopter un

régime riche en vitamine C, antioxydant connu pour neutraliser les radicaux, a écourté leur vie... Un non-sens absolu ? Pas vraiment, selon le chercheur : "Nos données nous forcent à réinterpréter les autres études : il y a une corrélation indéniable entre les radicaux libres et l'âge, mais nous pensons que la production de radicaux libres

est un signal protecteur, qui déclenche des mécanismes de lutte contre le vieillissement." Ainsi, les radicaux libres ne seraient pas une cause, mais juste un signe, du vieillissement... Et, selon Siegfried Hekimi, "il n'y a pas de raison justifiant l'usage des antioxydants pour prévenir les maladies associées à l'âge". De quoi tout reprendre à zéro. M.Co

POURQUOI LA ROUGEOLE

FAIT UN INQUIÉTANT RETOUR EN FORCE

Loin d'être éradiquée, la rougeole resurgit, notamment en France, où elle touche désormais... les adultes. Pourtant, il existe un vaccin efficace. Encore faut-il le prendre.

On la considère encore souvent comme une maladie infantile bénigne et éradiquée. Mais la rougeole perdure et entraîne de sévères complications (pneumonies et encéphalites notamment) chez des centaines d'adultes. Depuis le déclenchement de l'épidémie nationale, début 2008, on dénombre en France 6 500 cas déclarés, dont 1 000 environ sur les deux derniers mois de 2010 (clé n° 1). *"Une sous-estimation du nombre de cas réels"*, selon Isabelle Parent du Châtelet, médecin épidémiologiste à l'Institut de veille sanitaire. Plus d'une dizaine de milliers de personnes pourraient en réalité avoir été touchées. Et la France n'est pas un cas isolé, la maladie ayant resurgi dans plusieurs autres pays européens.

Rien de surprenant : cela fait des années que les autorités de santé s'inquiètent de l'insuffisance de la couverture

vaccinale contre la rougeole, qui stagne depuis vingt ans sous le seuil de 95 % d'enfants vaccinés (clé n° 2). Il faudrait impérativement dépasser ce seuil pour faire disparaître le risque épidémique de cette maladie très contagieuse. Pour François Freymuth, directeur du Centre national de référence de la rougeole, la progression de la vaccination a ralenti dans les années 1990, car *"des informations ont semé le doute dans la tête des médecins et des parents"*. Ainsi, l'évocation de liens – même s'ils n'étaient pas démontrés ou ont été réfutés par la suite – entre des vaccins et l'apparition de certaines maladies a contribué à persuader une partie d'entre eux de refuser l'injection. Résultats : l'insuffisance de la vaccination, en plus d'avoir permis à l'épidémie de réapparaître, a fortement fait augmenter la proportion d'adultes contaminés

REPÈRES

En 1983, le vaccin contre la rougeole est introduit dans le calendrier vaccinal français.

A partir des années 1990, la progression de la vaccination commence à ralentir.

En 2004, l'Institut de veille sanitaire alerte : la France pourrait voir réapparaître des épidémies de rougeole.

En 2008, une épidémie se déclare dans toute la France. **Au 1^{er} janvier 2011**, elle a déjà touché plus de 6 500 personnes.

(clé n° 3). Certes, la vaccination partielle ralentit la circulation du virus, permettant ainsi à des enfants non vaccinés d'échapper à la rougeole. Mais ces derniers deviennent alors des adultes non immunisés (c'est-à-dire qui n'ont été ni vaccinés ni en contact avec le virus), susceptibles de contracter la maladie.

Un phénomène préoccupant car, à l'instar de la plupart des maladies infantiles, les adultes atteints de la rougeole développent plus souvent que les enfants des complications (clé n° 4). Pour éviter qu'une telle épidémie – qui constitue aussi un danger pour les nourrissons, les personnes immunodéprimées et les femmes enceintes – ne ressurgisse régulièrement, les autorités de santé ont donc lancé une campagne de rattrapage vaccinal pour les enfants et les jeunes adultes. Espérons que cette fois, elle sera suivie. **E.A.**





CLÉ N° 1

L'épidémie court depuis 2008

Alors que la maladie ne touchait plus qu'un faible nombre de personnes depuis plusieurs années, des cas groupés de rougeole, dans des écoles par exemple, se succèdent au début de l'année 2008, marquant le début d'une nouvelle épidémie nationale qui s'intensifie en 2010. Le nombre de cas augmente généralement en hiver et au printemps.



CLÉ N° 2

La vaccination stagne depuis 20 ans



Le vaccin contre la rougeole est recommandé depuis 1983. Mais certains parents et médecins le refusent, ce qui freine la progression de la vaccination dès les années 1990. Le taux de vaccination des enfants de 2 ans stagne ainsi en dessous du seuil de 95 % nécessaire à l'interruption de la transmission du virus.

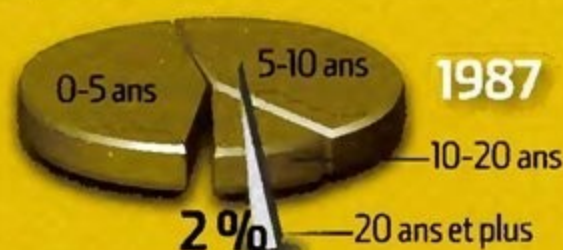
▲ Contre la rougeole, deux injections de vaccin sont recommandées : la première vers 1 an et la seconde entre 13 et 24 mois.

CLÉ N° 3

Une maladie infantile qui touche de plus en plus les adultes

La rougeole, maladie "classiquement" infantile, touche encore les enfants de moins de 2 ans non immunisés. Regroupés dans des crèches ou des écoles, ils se transmettent facilement cette maladie très contagieuse. Mais la vaccination d'une partie de la population, en limitant la circulation du virus au sein des groupes d'enfants, retarde cependant l'âge de la contamination. Ainsi, parmi les personnes touchées par la rougeole, la part des adolescents de 10 à 20 ans et celle des plus de 20 ans ont augmenté ces trente dernières années, tandis que celles des enfants de moins de 5 ans et de 5 à 10 ans ont diminué.

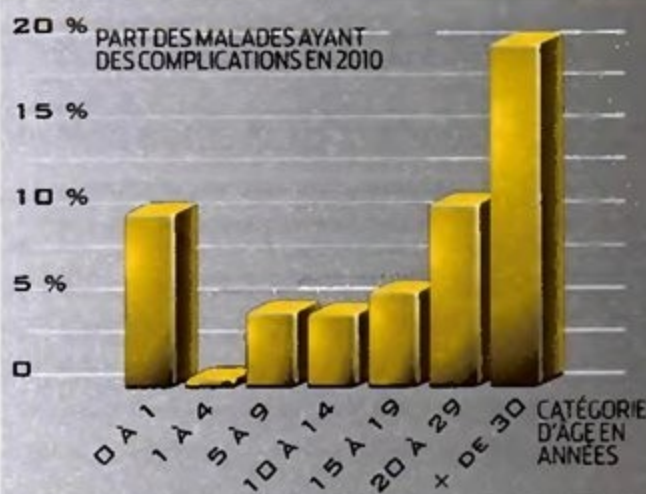
EN 1987, 2 % DES MALADES ÉTAIENT DES ADULTES



EN 2010, 35 % DES MALADES ÉTAIENT DES ADULTES



SOURCES: RÉSEAU SENTINELLES ET INVS



CLÉ N° 4

Les risques de complications augmentent avec l'âge

La rougeole est une maladie généralement bénigne, qui s'accompagne de symptômes tels que fièvre, écoulement nasal, toux, et éruption cutanée. Mais elle peut parfois entraîner des complications sévères, notamment pulmonaires, neurologiques et hépatiques. Le risque d'être touché par ces complications augmente avec l'âge, et les adultes sont en première ligne. Seule exception : les nourrissons, très fragiles face à la rougeole.

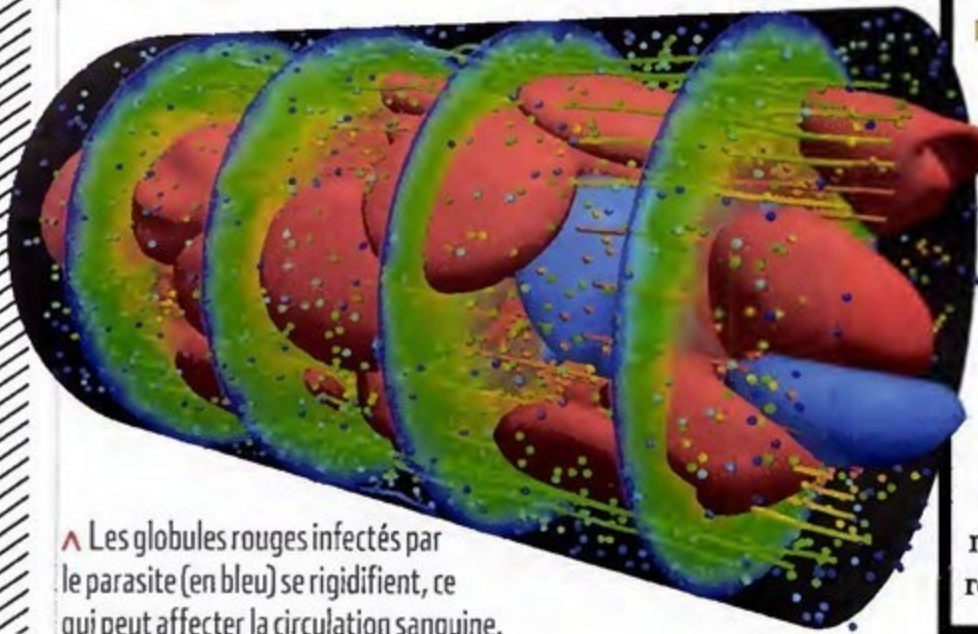
SOURCE: INVS

ORL

UNE "REPROGRAMMATION NEURONALE" A PERMIS DE SUPPRIMER DES ACOUPHÈNES

Pour la première fois, des chercheurs ont supprimé à leur source des acouphènes, ces sifflements d'oreille "fantômes" qui empoisonnent la vie de 150 000 Français. L'expérience a été menée chez le rat et l'approche est inédite. L'équipe de Michael Kilgard, de l'université du Texas, a stimulé électriquement le nerf vague – le plus grand des nerfs crâniens – tout en diffusant des bruits de différentes tonalités à l'oreille. D'abord pour "tromper" le cerveau en le rendant hypersensible à certaines fréquences sonores, puis pour le "reprogrammer" afin qu'il cesse d'interpréter les acouphènes comme des sons réels. *"Les acouphènes sont liés à un remodelage pathologique du cerveau, souvent déclenché par des lésions*

des cellules auditives", explique Michael Kilgard. Dé-régulé, le cerveau consacre trop de neurones au décodage d'une seule fréquence, celle des acouphènes. Avec, à la clé, l'impression d'entendre des bruits qui n'existent pas. *"En couplant la stimulation du nerf vague avec des sons de toutes les tonalités sauf celle des acouphènes, les neurones se reprogramment et réapprennent à analyser toute la gamme de fréquences"*, poursuit le chercheur. Un test chez l'homme est envisageable cette année, la stimulation du nerf vague étant pratiquée notamment contre l'épilepsie. Reste à adapter le protocole: les rats ont été soumis à 300 stimulations quotidiennes pendant vingt jours! **M.Co**



▲ Les globules rouges infectés par le parasite (en bleu) se rigidifient, ce qui peut affecter la circulation sanguine.

PARASITOLOGIE

SIMULER LES EFFETS DU PALUDISME SUR LE SANG ÉCLAIRE LA MALADIE

Des chercheurs de l'université Brown, à Providence (Rhode Island, États-Unis), ont simulé, en trois dimensions, le comportement individuel de globules rouges infectés par le parasite

responsable du paludisme. Les cellules sanguines infectées par le *Plasmodium* ont en effet tendance à se rigidifier, ce qui peut entraîner des occlusions des vaisseaux, et des complications. A

"ON NE PEUT QU'INCITER LES FEMMES ENCEIN- TES à la prudence avec l'aspartame, compte tenu des données scientifiques actuelles", Dr Laurent Chevalier, Réseau environnement et santé.

"S'IL Y A UN PRODUIT SUR LEQUEL NOUS NE SOMMES PAS INQUIETS, c'est bien l'aspartame car les études ont constaté son innocuité", Association nationale des industries alimentaires.

"UN JOUR (LES) OUTILS GÉNÉTI- QUES SERONT AU POINT. Mais pour l'heure, notre meilleur outil prédictif, ce sont les maladies qui touchent nos grands-parents, parents, frères et sœurs", Mulin Khoury, responsable des programmes publics de génomique aux Etats-Unis.

"EN NÉONATALOGIE OU RÉANIMATION, LES MÉDICAMENTS NON ÉVALUÉS COR- RECTEMENT chez les enfants peuvent représenter jusqu'à 90 % des prescriptions", Dr Behrouz Kassaï, praticien hospitalier en pharmacologie clinique pédiatrique.

NEUROLOGIE

LA MIGRAINE À RÉPÉTITION N'AFFECTE PAS LES FONCTIONS CÉRÉBRALES

Rassurante nouvelle : les migraines à répétition ne conduisent pas à un déclin cognitif. Et ce, malgré les microlésions qu'elles engendrent dans le cerveau et qui sont visibles à l'IRM. "Ce type de lésion est très fréquent chez les personnes âgées, explique Christophe Tzourio, directeur de l'unité de neuroépidémiologie de Paris à l'Inserm. Elles font partie du processus de vieillissement cérébral. Certaines études laissaient à penser que si elles deviennent nombreuses, elles peuvent accélérer ce vieillissement. Par conséquent, on redoutait que les personnes migraineuses ne souffrent d'un vieillissement prématuré. On sait désormais que n'est pas le cas." Pour arriver à ces conclusions rassurantes, les scientifiques ont analysé l'historique migraineux et les IRM de 780 patients, âgés de 69 ans en moyenne. "Ceux qui souffraient ou ont souffert de migraines présentaient effectivement plus de lésions cérébrales que les autres, mais après leur avoir fait passer des tests cognitifs, nous avons constaté qu'ils obtenaient les mêmes résultats que les patients non migraineux", conclut Christophe Tzourio.

C.H.

Les acouphènes proviennent d'un remodelage anormal du cerveau à la suite de lésions des cellules auditives (ici, cils vibratiles de l'oreille interne).

l'aide d'un superordinateur, l'équipe américaine a donc modélisé très précisément les effets de concentrations plus ou moins importantes du parasite sur la circulation du sang dans un réseau artériel. Cette méthode, dont les prédictions ont été validées par comparaison avec des observations réelles, devrait permettre de mieux comprendre, et prédire, l'évolution de la maladie. E.A.



▲ A partir d'une prise de sang maternel, le génome d'un fœtus de 12 semaines a pu être isolé.

GÉNÉTIQUE

UN DIAGNOSTIC PRÉNATAL NON INVASIF SE PROFILE

L'analyse d'un simple échantillon sanguin d'une femme enceinte permettrait de diagnostiquer de nombreuses maladies génétiques potentielles chez le fœtus. Des chercheurs de l'université de Hong Kong ont en effet réussi à isoler la quasi-totalité du génome d'un fœtus de 12 semaines à partir d'une prise de sang maternel ! On savait déjà que des fragments d'ADN

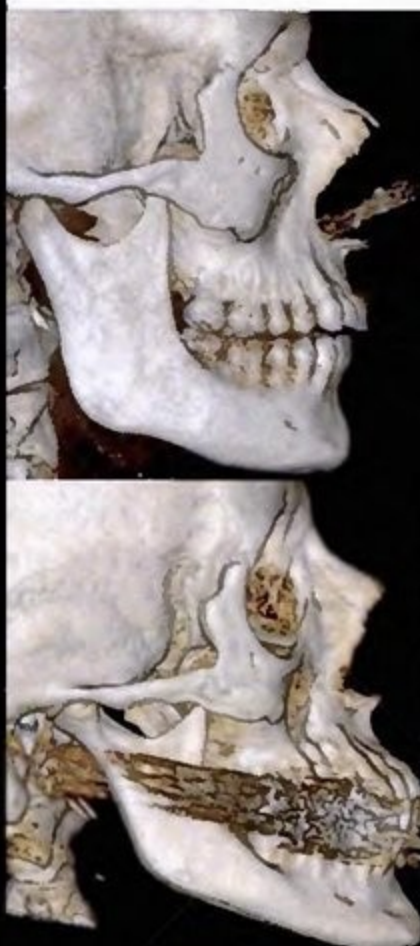
de l'enfant à venir circulaient dans le système sanguin de la mère. Mais, cette fois, les chercheurs chinois ont développé une méthode permettant de distinguer clairement l'ensemble de cet ADN fœtal de celui de la mère. Grâce à leur découverte, la prise de sang pourra donc remplacer les méthodes de prélèvement invasives, comme l'amniocentèse, pour rechercher

en une seule fois diverses maladies liées à des mutations dispersées à travers le génome (anémies, myopathies...). D'un coût encore très élevé, la technique ne devrait cependant pas se généraliser avant plusieurs années. D'ici là, les questions d'éthique qu'elle soulève, concernant la détection systématique et précoce de nombreuses maladies, devront être tranchées. **E.A.**

IMAGERIE

AVEC L'ÂGE, LES OS DU VISAGE SE MODIFIENT

Reconstituer le volume osseux pourrait être une nouvelle piste de chirurgie esthétique. Des chercheurs de l'université de Rochester (Etats-Unis) ont analysé par scanner la morphologie des os de 60 femmes et 60 hommes de 20 à 40 ans, de 41 ans à 64 ans et de 65 ans et plus. Au fil du temps, le squelette perd du volume ; les orbites s'agrandissent, la mâchoire se réduit, le menton se déforme. Ce qui provoque, en plus du relâchement de la peau, l'apparition de rides sur le front, l'affaissement des paupières... **F.H.**



S. ALLEN/GETTY IMAGES - AMERICAN SOCIETY OF PLASTIC SURGEONS

PHARMACOLOGIE

Savoir qu'on prend un placebo n'empêche pas son efficacité

L'effet placebo marche-t-il parce que l'on pense que la pilule contient une substance à même de nous soigner ? Pas forcément, comme l'a montré une équipe de Harvard chez des personnes souffrant de douleurs du colon (colopathie fonctionnelle). Après avoir informé ces patients que leurs pilules ne contenaient pas de substance active, les médecins leur ont affirmé qu'un effet bénéfique avait cependant été constaté précédemment avec ce faux traitement. Trois semaines plus tard, 59 % d'entre eux ont déclaré aller mieux contre 35 % dans le groupe n'ayant rien pris. **M.N.**

Samsung Wave II

Le meilleur des applications sur grand écran



Découvrez le nouveau mobile Samsung Wave II.

Derrière son grand écran 3.7" Super Clear LCD se cache le dernier né de la gamme Wave. Associé à Samsung Apps, il vous permet de télécharger toutes les meilleures applications qui en feront un téléphone unique. Le vôtre.

www.samsungmobile.fr/collectionwave

SAMSUNG

Applications à télécharger sur Samsung Apps. Coûts de connexion selon forfait opérateur. © Crédit photo : Samsung - Visuels non contractuels - Images d'écran simulées.
© 2011 - Samsung Electronics France, 270 avenue du Président Wilson, 93450 La Plaine Saint Denis Cedex - SAS au capital de 27 000 000 € - RCS Bobigny 6 334 367 497 - **CHILL** mobile



NEUROLOGIE

PRIS APRÈS UN AVC, LE PROZAC SE RÉVÈLE BÉNÉFIQUE

Un traitement quotidien de 20 mg de Prozac, commencé dans les dix jours suivant un accident vasculaire cérébral et poursuivi pendant trois mois, permet d'augmenter la récupération motrice. C'est ce qu'a montré une étude clinique menée sur 118 patients par l'équipe de François Chollet au CHU de Toulouse. "Sur une échelle mesurant la motricité de zéro à 100, les patients sous placebo ont gagné 20 points; ceux sous Prozac 34", affirme le médecin. Sans exclure un possible effet sur la motivation des patients à récupérer plus vite, le chercheur pense que la fluoxétine, la molécule

active de cet antidépresseur, a eu un impact direct sur la plasticité cérébrale. "Après un AVC, le cerveau se réorganise spontanément et il semblerait que la fluoxétine favorise cette réorganisation, explique François Chollet. Alors que le seul traitement consiste à dissoudre le caillot dans les heures qui suivent l'AVC, notre étude ouvre la voie à une autre approche thérapeutique, neuronale et non plus uniquement vasculaire." Reste à savoir si les effets du Prozac se feront sentir sur d'autres compétences affectées par l'AVC comme, par exemple, le langage. Et si les progrès s'avèrent pérennes. **C.H.**

CANCÉROLOGIE

Certaines tumeurs ont des stratégies explosives

Un cancer peut traverser des phases soudaines où le génome des cellules tumorales explose en centaines de fragments, ce qui renforce la tumeur. Selon l'équipe américano-britannique de Philip Stevens, cela se produit dans 2 à 3 % des cas, jusqu'à 25 % dans les cancers de l'os. Les chercheurs envisagent de surveiller les populations victimes de rayonnements ionisants (naturels, accidentels) pour savoir si ce processus les concerne plus particulièrement. **M.N.**

GÉNÉTIQUE

LA CALVITIE POURRAIT NE PAS ÊTRE IRREVERSIBLE

On pensait que la calvitie était due à une absence de cellules souches. Or, les chauves ne possèdent pas moins de ces cellules que les chevelus. La calvitie s'expliquerait par une inactivation des cellules souches dans les follicules pileux. C'est ce qu'a constaté l'équipe de George Cotsarelis de l'université de Pennsylvanie chez des hommes ayant reçu une greffe capillaire. Les chercheurs ont en effet observé une plus grande maturité des cellules dans les follicules des parties garnies. Reste à déterminer les causes de cette inactivité pour espérer la relancer. **V.B.**

> La calvitie n'est pas due à une absence de cellules souches, mais à leur inactivation.

NOUVELLE FORMULE

Depuis la
création de
Science & Vie

234

articles sur
les énergies
renouvelables




DÉCOUVRIR | COMPRENDRE | SAVOIR

SCIENCE & VIE
AU CŒUR DE LA VIE



actus technos

A man with dark hair and glasses, wearing a white lab coat over a dark shirt and tie, is looking intently at a piece of scientific equipment. The equipment is complex, with various lenses, mirrors, and mechanical components. The scene is dimly lit, with a strong blue light source on the left and a warmer, yellowish light source on the right, creating a dramatic effect. The background is dark and out of focus, suggesting a laboratory setting.

> C'est à l'université de Bonn que l'équipe de Martin Weitz (à dr.) a réussi à concentrer des particules de lumière, jusqu'à former un "super-photon".



OPTIQUE

ILS ONT MIS AU POINT UN "LASER... MIEUX QUE LE LASER"

Une nouvelle source de lumière sculptera peut-être les circuits électroniques du futur... Actuellement, ce sont des lasers qui taillent le silicium pour façonner les puces, leur finesse dépendant de la petitesse de la longueur d'onde du laser. Or, *"on ne sait pas fabriquer de lasers qui produisent de courtes longueurs d'onde, comme des ultraviolets par exemple*, explique Martin Weitz, chercheur à l'université de Bonn (Allemagne). *Notre dispositif pourrait en revanche émettre dans*

n'importe quel domaine et donc graver des circuits plus performants!" Martin Weitz et son équipe ont en effet carrément inventé une toute nouvelle source de lumière grâce à un "condensat de Bose-Einstein". Derrière ce nom pompeux se cache un état de la matière bien connu : lorsque des atomes sont refroidis et concentrés, ils se lient les uns aux autres jusqu'à se comporter comme un seul gros atome. Sauf qu'ici, pour la première fois, ce sont des particules de lumière que les

physiciens allemands ont réussi à concentrer. *"On pensait que c'était impossible, car les photons ont tendance à disparaître dès qu'on essaie de refroidir le milieu dans lequel ils sont plongés"*, précise Martin Weitz. Mais les chercheurs sont parvenus à les piéger dans une minuscule cavité remplie d'un liquide coloré dont ils ont abaissé peu à peu la température. Ils se sont alors condensés jusqu'à former un "superphoton". Un "laser, mais en mieux" est né. **M.F.**

ARMEMENT

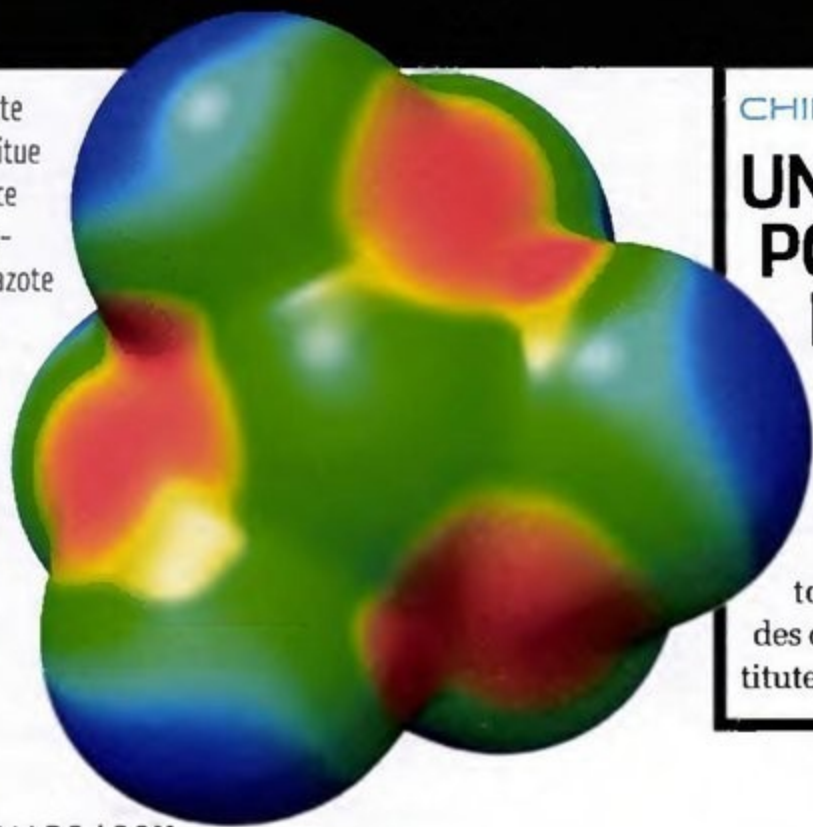
LE CANON ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE PASSE L'ÉPREUVE DU FEU

Une arme impressionnante a été expérimentée par les forces navales américaines au centre de recherches de la Navy à Dahlgren (Virginie, Etats-Unis), en décembre dernier. La particularité de ce canon long de 10 mètres, pesant 54 tonnes et destiné aux navires de guerre: il ne nécessite ni explosifs ni propergols pour envoyer des projectiles! "Railgun" – c'est son nom – est simplement constitué de deux rails parallèles et conducteurs, reliés à un générateur capable de délivrer 32 mégajoules d'électricité, soit trois fois plus que lors d'un précédent essai en janvier 2008! Une armature en aluminium placée entre

les rails ferme le circuit. Lorsque le générateur fonctionne, des forces créées par un puissant champ électromagnétique directionnel projettent violemment l'armature vers la gueule du canon. Un projectile d'une vingtaine de kilos est alors catapulté à une vitesse cinq fois supérieure à celle du son, à environ 160 km de distance. C'est quatre fois plus que la portée actuelle des meilleures pièces d'artillerie! L'énergie cinétique est si importante qu'il n'est plus nécessaire de recourir à des munitions à charges explosives. A terme, les ingénieurs de la Navy espèrent dépasser les 320 km de portée. **E.L.**



> Stabiliser cette molécule constitue une prouesse: ce n'est que le neuvième oxyde d'azote à avoir pu être synthétisé.



CHIMIE

UNE MOLÉCULE ARTIFICIELLE POURRAIT PROPULSER LES FUSÉES DE DEMAIN

Quatre atomes d'azote et six atomes d'oxygène: voici la trinitramide! Cette molécule, tout juste inventée par des chercheurs du Royal Institute of Technology (Suède),

pourrait propulser les fusées du futur dans l'espace en offrant plusieurs avantages: "Elle fournit 20 % d'énergie de plus que les carburants actuels et permettrait donc d'augmenter la masse de

UN PONT LONG DE 42,5 KM

Entièrement bâti sur l'eau, il est le plus long pont maritime du monde. Au bout de quatre ans de chantier, le Qingdao Hawai Bridge relie désormais les villes chinoises de Qingdao et de Huang Dao. Renforcée par 450 000 tonnes d'acier, sa structure en béton est soutenue par 5 200 colonnes. **D.M.**

DU VERRE AUSSI SOLIDE QUE DE L'ACIER

C'est le matériau tout juste conçu par le laboratoire du Caltech, aux Etats-Unis. Composé notamment de palladium et d'argent, ce nouvel alliage se déforme sous la contrainte au lieu de casser. Il pourrait servir à fabriquer des implants dentaires d'ici à cinq ans. **L.B.**

UNE PUCE A 1 000 CŒURS

Des chercheurs des universités de Glasgow et du Massachusetts viennent de concevoir un processeur capable de lire une vidéo au format MPEG vingt fois plus vite qu'un ordinateur classique. Il a été créé à partir de 1 000 mini-circuits, en utilisant des circuits logiques programmables (FPGA). **J.J.**

Le 10 décembre dernier, un tir a démontré que cette arme avait une portée quatre fois supérieure à celle d'un canon traditionnel.

charge embarquée de 50 %", précise Tore Brinck, l'un des auteurs de la découverte. Mieux: la trinitramide serait aussi plus écologique que le perchlorate d'ammonium, un carburant courant, car elle ne contient pas de chlore. Mais il faut d'abord réussir à produire la molécule à grande échelle. Car pour l'instant, les chercheurs en ont seulement synthétisé assez pour qu'elle soit détectable. **M.F.**

ACOUSTIQUE

DEVENIR INDÉTECTABLE SOUS L'EAU: C'EST DÉSORMAIS POSSIBLE

Des chercheurs de l'université de l'Illinois (Etats-Unis), menés par Nicholas Fang, ont réussi à prouver qu'on pouvait se cacher des sonars. Une première en acoustique, l'invisibilité aux ultrasons ayant jusqu'à présent été montrée uniquement de manière théorique... Leur expérience? Après avoir placé un objet au centre d'un disque, ils l'ont plongé dans une cuve remplie d'eau dans laquelle ils ont émis des ultrasons (de fréquence 52 à 64 kHz). Des récepteurs placés dans la cuve n'ont pas pu détecter les ondes réfléchies par l'objet, comme si celui-ci était devenu invisible! Pour réaliser cette prouesse, les chercheurs ont construit le disque "camoufleur" à partir de métamatériaux (des matériaux artificiels possédant des propriétés électromagnétiques introuvables dans la nature). A sa surface, 16 anneaux concentriques, avec un indice de réfraction différent pour chacun, modifient la vitesse des ondes qui l'atteignent. Quand des ultrasons s'approchent du disque, les ondes sont détournées par les parties les plus extérieures du cylindre et la surface interne devient complètement invisible. En dehors de probables applications militaires, les chercheurs imaginent que ces travaux pourraient aussi servir aux techniques d'imagerie médicale. **C.M.**



▲ Placé au centre de ce disque, un objet devient indétectable par les ultrasons.

LA CHINE N'A PAS VOLÉ SES TERRES RARES

Par Vincent Nouyrigat



Vous avez aimé le choc pétrolier de 1973, lorsque les principaux pays producteurs avaient brutalement fermé les robinets? Voici venu le "choc des terres rares"... du nom d'un groupe de 17 minerais métalliques (samarium, europium, néodyme...) remarquables pour leurs propriétés magnétiques, thermiques ou mécaniques. Des propriétés devenues si nécessaires que d'aucuns imaginent le monde trembler autant qu'en 1973 si la pénurie s'installait. La crise est donc sérieuse... mais elle était parfaitement prévisible et évitable!

Un comble. Car, comme pour le pétrole, le manque de terres rares peut ébranler notre société. Juste bonnes autrefois à fabriquer de la pierre à briquet, elles sont devenues indispensables à nos technologies. Mine de rien, sans elles, pas ou peu d'appareils électroniques, plus d'ampoules basse consommation ni de voitures hybrides ou d'éoliennes, on en passe. Alarmant, n'est-ce pas? Or, les terres rares ont une autre particularité: celle d'être produites à... 97 % par la Chine.

Et le pire est arrivé fin décembre: la Chine a annoncé une réduction de 35 % de ses exportations au cours du premier semestre 2011. L'indignation est générale. Etats-Unis, Japon, Europe dénoncent un abus de position dominante. Peut-être... Mais tous oublient qu'ils ont fait preuve d'une passivité coupable en laissant se développer, durant des décennies, cette dépendance édifiante! Car, au juste, les terres rares ne le sont pas, rares. De fabuleux gisements parfaitement identifiés dorment aux Etats-Unis, au Canada, en Australie et au Vietnam, sans parler de la Russie. Soyons clairs: le monde pourrait très bien se passer de la Chine! D'ailleurs, des années 1960

jusqu'au début des années 1990, la première source mondiale de terres rares se situait à moins de 100 km de Las Vegas, à Mountain Pass. Or, depuis dix ans, il ne sort plus rien de cette mine géante... qui est pourtant loin d'être tarie! Il a juste manqué ici un soupçon de vision stratégique à long terme, quand les dirigeants chinois, informés des perspectives offertes par ces métaux, multipliaient, eux, les programmes de recherche. On connaît la suite. La Chine contrôle toute la filière, de l'extraction à la fabrication des alliages high-tech, en passant par les journaux scientifiques qui leur sont dédiés.

Il y a plus atterrant: cette stratégie lisible a laissé le reste du monde sans réaction en dépit des courbes de consommation affolantes. D'accord, les coûts pratiqués en Chine sont imbattables... Sauf que cette approche financière est discutable: la performance de nos équipements militaires dépend aussi du samarium. Oui, c'est vrai, l'extraction des terres rares est particulièrement sale, elle se pratique à coups d'acides et laisse derrière elle des montagnes de minerai radioactif. Or, on sait limiter les dégâts, mais il faut y mettre le prix. Eh oui, produire des terres rares, c'est laborieux et onéreux... Seule la Chine a voulu mettre les mains dans le cambouis. Et maintenant? Le réveil s'annonce douloureux vu que la mise en production d'un gisement exige de sept à quinze ans. Mais, cela aussi, on le savait déjà...

**LE RESTE DU
MONDE N'A
PAS VOULU
SE SALIR
LES MAINS**

S. AQUINO

FUSION NUCLÉAIRE LE SOLEIL SUR TERRE

SCIENCE & VIE **NOUVEAU**

VOLCANS
ILS NE FRAPPERONT
PLUS PAR HASARD
ANGKOR
LE PUZZLE
RECONSTRUIT

FUSION

L'EAU POURRA-T-ELLE
REEMPLACER LE PÉTROLE

EXCLUSIF SCIENCE & VIE
LES 13
MÉDICAMENTS
À BANNIR

SCIENCE & VIE présente

FUSION NUCLÉAIRE

LE SOLEIL SUR TERRE

Un film de Jacques Reder
100 ans de médecine

Votre
Magazine

**+ LE DVD
LE SOLEIL
SUR TERRE**

Science&Vie 4,20€ + le DVD 2,75€ = **6,95€**

Un documentaire inédit en DVD
et tourné entièrement en HD

Ce film vous offre un accès privilégié
à d'incroyables laboratoires civils et militaires

Des images exclusives des trois grands
projets actuellement développés

Le projet **ITER** localisé dans le sud de la France qui développe le système tokamak confinant le plasma dans une enceinte magnétique à une température de 100 millions de degrés.

Le projet **Laser Mégajoule** de Bordeaux qui utilise le principe de la fusion inertielle : 240 lasers de haute intensité sont utilisés comme autant de marteaux pour comprimer une cible jusqu'à déclencher les réactions de fusion.

Le projet «**Z-Machine**» des laboratoires américains Sandia, qui développe le Z-pinch, capable d'allumer le feu nucléaire en comprimant une bille de gaz à l'aide de forts champs électromagnétiques.

SCIENCE & VIE

AU CŒUR DE LA VIE

**CE MOIS-CI
CHEZ VOTRE
MARCHAND
DE JOURNAUX**

FUSION

L'EAU POURRA-T-ELLE REEMPLACER LE PÉTROLE ?

Fusion nucléaire : l'expression circule depuis 90 ans. Et pour cause : propre, illimitée et tirant de 1 litre d'eau de mer l'équivalent de 300 litres de pétrole, cette source d'énergie changerait la face du monde si elle était mise au point. Justement : à Cadarache, le réacteur Iter est en cours de construction. Sa mission ? Confronter le rêve à la réalité. Une étape décisive.

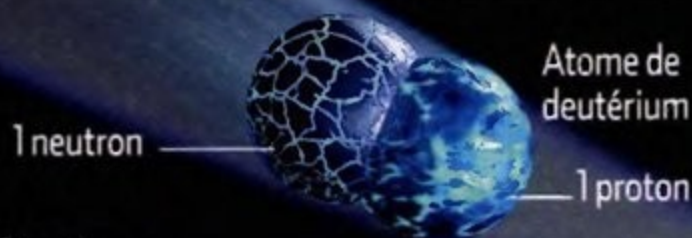


Voler dans les airs, marcher sur la Lune, cloner la vie... et maintenant reproduire l'énergie du Soleil sur Terre! Dans la liste des prodiges que l'homme, au fil des siècles, est parvenu à accomplir, la fusion nucléaire est assurée de figurer en bonne place... lorsqu'elle sera réalisée. Car il ne s'agit pas là d'un rêve comme les autres. Que l'humanité parvienne à maîtriser l'énergie de la fusion nucléaire, et son avenir s'illuminera d'une nouvelle lumière: une seule bouteille d'eau fournissant dès lors autant de carburant

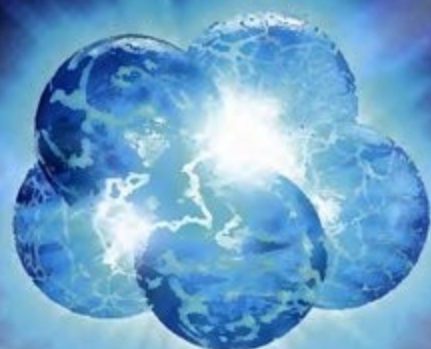
que 300 litres de pétrole, le monde ne connaîtra plus de problème d'approvisionnement en énergie! Une lumière dont les premières lueurs commencent à devenir visibles en France. Plus précisément à Cadarache, à côté d'Aix-en-Provence, là où un réacteur expérimental est en construction. Et avec lui le projet de maîtriser la fusion nucléaire dont l'histoire, les enjeux, l'ampleur et les difficultés techniques dépassent tout ce que la science a jamais connu.

Pour bien comprendre, il faut revenir à l'énergie nucléaire. Con- →

Pourquoi la fusion fait rêver

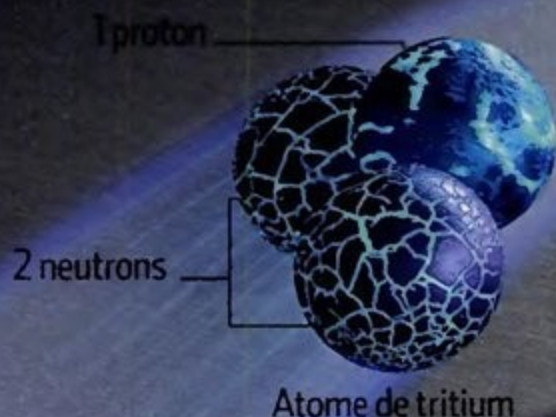


Réaction de fusion

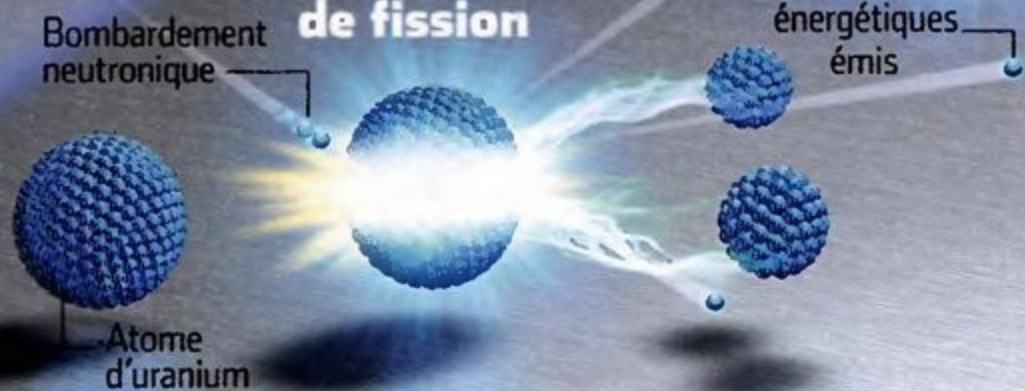


Une réaction simplissime...

Alors que la fission nucléaire consiste à "casser" de gros atomes d'uranium pour libérer des neutrons énergétiques, le principe de la fusion est tout le contraire : elle vise à forcer deux noyaux simples (le deutérium et le tritium) à s'amalgamer en un noyau plus gros (l'hélium), car cette réaction dégage, là aussi, des neutrons... mais ultra-énergétiques.



Réaction de fission



→ centrée au sein de la matière, dans le cœur de tous les atomes de l'Univers, elle se présente à nous sous deux formes opposées. Tout le monde connaît le côté sombre de la force : c'est la fission, à la base des centrales nucléaires actuelles, dont la puissance surgit des noyaux atomiques lourds qui se brisent en émettant des neutrons, sources de très grande chaleur, convertible en électricité.

Mais développée dans un cadre toujours national, la fission souffre d'être une énergie sale, dangereuse et limitée. De fait, les réacteurs qui la produisent ne sont pas à l'abri d'un emballement pouvant dégénérer, comme à Tchernobyl ; elle engendre des déchets radioactifs dont on ne sait toujours pas trop quoi faire ; et l'uranium et le plutonium qui lui servent de combustible, outre qu'ils ne sont pas illimités, entrent dans la fabrication des bombes A – d'où le risque de prolifération nucléaire.

Versant lumineux de la même force, la fusion est tout l'inverse : son énergie surgit lorsque des noyaux atomiques

légers s'assemblent en un atome plus lourd, libérant alors des particules ultra-énergétiques. Une réaction qui a tous les avantages. Elle implique des atomes légers, en particulier les isotopes de l'hydrogène comme le deutérium, qui se trouve naturellement présent dans l'eau, en quantité presque infinie. Elle n'engendre quasiment aucun déchet dangereux, ni de risque de prolifération. Elle est tellement fragile qu'il est physiquement impos-

PROPRE, SÛRE ET INFINIE : LA FUSION RÉVÈLE LE CÔTÉ LUMINEUX DU NUCLÉAIRE

sible qu'un réacteur à fusion s'emballe. Enfin, elle fait appel à une intense collaboration internationale.

En quatre mots – propre, sûre, pacifique et sans limite –, l'énergie de la fusion nucléaire offre la plus belle des promesses scientifiques jamais faite à l'humanité. Promesse qui tombe particulièrement à pic à l'heure où il

devient évident que la consommation d'énergie mondiale va doubler ou tripler, voire quintupler d'ici à 2100, tandis que les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) se feront de plus en plus rares et chères. De là à imaginer que la fusion serait la solution miracle...

Dès 1920, l'astrophysicien Arthur Eddington y songeait déjà. Avançant l'hypothèse que la faramineuse énergie du Soleil viendrait de réactions de fusion d'atomes d'hydrogène, il conclut, optimiste : "Il n'est pas interdit de rêver que l'homme, un jour, parvienne à l'utiliser à son profit." En 1934, éclairée par les lois de la mécanique quantique récem-

ment découvertes, l'équipe du physicien Ernest Rutherford décèle pour la première fois deux réactions de fusion, au sein d'une cible de deutérium bombardée de particules. Et un an plus tard, le pas est franchi : Ernest Rutherford, Werner Heisenberg et Niels Bohr évoquent sans fard l'idée d'exploiter sur Terre ce feu des étoiles.



Atome d'hélium



Neutron ultra-énergétique émis

... pour une énergie sans limite

Avec les 33 mg de deutérium contenus dans 1 litre d'eau de mer, la fusion promet de générer autant d'énergie que deux barils de pétrole, soit environ 300 litres d'or noir.

1 litre d'eau = 2 barils de pétrole



Plus facile à dire qu'à faire. Car la fusion de deux noyaux atomiques n'est possible qu'à la condition de vaincre la formidable barrière électrostatique qui les repousse l'un l'autre. Une barrière qui, dans le cas de fission, découverte en 1938, fut vaincue dans un réacteur en quatre ans seulement! Rien de tel avec la fusion: mettre le Soleil en boîte est une tout autre affaire.

AU-DELÀ DES INTÉRÊTS NATIONAUX

Et pour cause: en 1957, le Britannique John Lawson a calculé qu'une fusion stable ne s'enclenche que si le produit de la température, de la densité et du temps de conservation de ces deux paramètres excède une certaine valeur. Au cœur du Soleil, du fait des forces de gravités extrêmes qui compressent la matière, le critère de Lawson est aisément respecté. Mais, sur Terre, cela nécessite des développements aux limites des techniques humaines.

Voilà sans doute une des raisons pour lesquelles, en 1958, Américains, Britanniques et Soviétiques décident de partager leurs techniques de fusion

nucléaire jusqu'ici classées "secret défense". Avec un axe de recherche privilégié: celui du réacteur soviétique tokamak, conçu pour faire fusionner des noyaux de deutérium et de tritium en les faisant léviter entre 100 et 150 millions de degrés, soit dix fois la température au centre du Soleil! Face à un tel défi, la quête devient mondiale: en 1985, Mikhaïl Gorbatchev et Ronald Reagan jettent les bases du projet international Iter (International Thermonuclear Experimental Reactor), celui-là même qui est, depuis quelques mois, en construction à Cadarache.

Certes, la promesse paraît encore lointaine: les plus optimistes annoncent au moins quarante ans d'attente. Certes, le défi scientifique reste hors norme: nul ne sait si les difficultés techniques seront surmontées (voir p. 54). Certes, son avenir industriel est très loin d'être garanti (voir p. 64). Mais quels que soient les obstacles et les doutes (ainsi que les coûts...), une certitude apparaît néanmoins incontournable: le rêve est actuellement en train de prendre forme.

DATES CLÉS

1920

L'astrophysicien A. Eddington émet l'hypothèse que l'énergie du Soleil viendrait de la fusion d'atomes d'hydrogène.

1934

Des réactions de fusion sont initiées au sein d'un accélérateur de particules américain.



1952

Le 1^{er} novembre, dans l'océan Pacifique, essai de la première bombe H, dont la puissance est tirée d'une fusion brève et incontrôlée.

1958

Lors de la conférence Atoms for Peace, Américains, Britanniques et Soviétiques partagent leurs savoir-faire.

1968

Le réacteur soviétique tokamak T-3 obtient un plasma de 10 millions de degrés.



1985

Gorbatchev et Reagan jettent les bases du projet international Iter (International Thermonuclear Experimental Reactor).

LES DÉFIS FOUS DU RÉACTEUR À FUSION

Pour devenir réalité, la fusion doit surmonter d'incroyables obstacles que le réacteur Iter va être le premier à affronter. Un rôle décisif.

Hors norme: nul autre mot ne convient mieux au chantier qui a démarré à Cadarache, dans les Bouches-du-Rhône. Parce que c'est sur ce site que va se dresser la machine expérimentale Iter (International thermonuclear experimental reactor) destinée à reproduire sur Terre l'énergie du Soleil. Et parce que si les partenaires du projet se sont entendus en juillet dernier sur un calendrier et un financement, son coût s'est déjà envolé, passant de 5 à 15 milliards d'euros, ce qui repousse le démarrage de la machine en 2019, au lieu de 2016, et les toutes premières réactions de fusion nucléaire vers... 2027. Un délai sans équivalent.

Pour autant, ce nouveau scénario, dit "de référence", a enfin donné le feu vert aux grues et autres pelleuses

Sur le papier, le principe d'Iter est pourtant relativement simple, fruit de 50 années de recherche sur la fusion. En résumé, il s'agit d'engendrer de puissants champs magnétiques autour de quelques grammes d'atomes de deutérium et de tritium afin de les forcer à fusionner. A mesure que la pression et la température augmentent, le gaz formé de ces isotopes de l'hydrogène se transforme en un plasma, un état (très instable) de la matière comparable à celui qui règne au cœur du Soleil.

TOUS LES RECORDS BATTUS

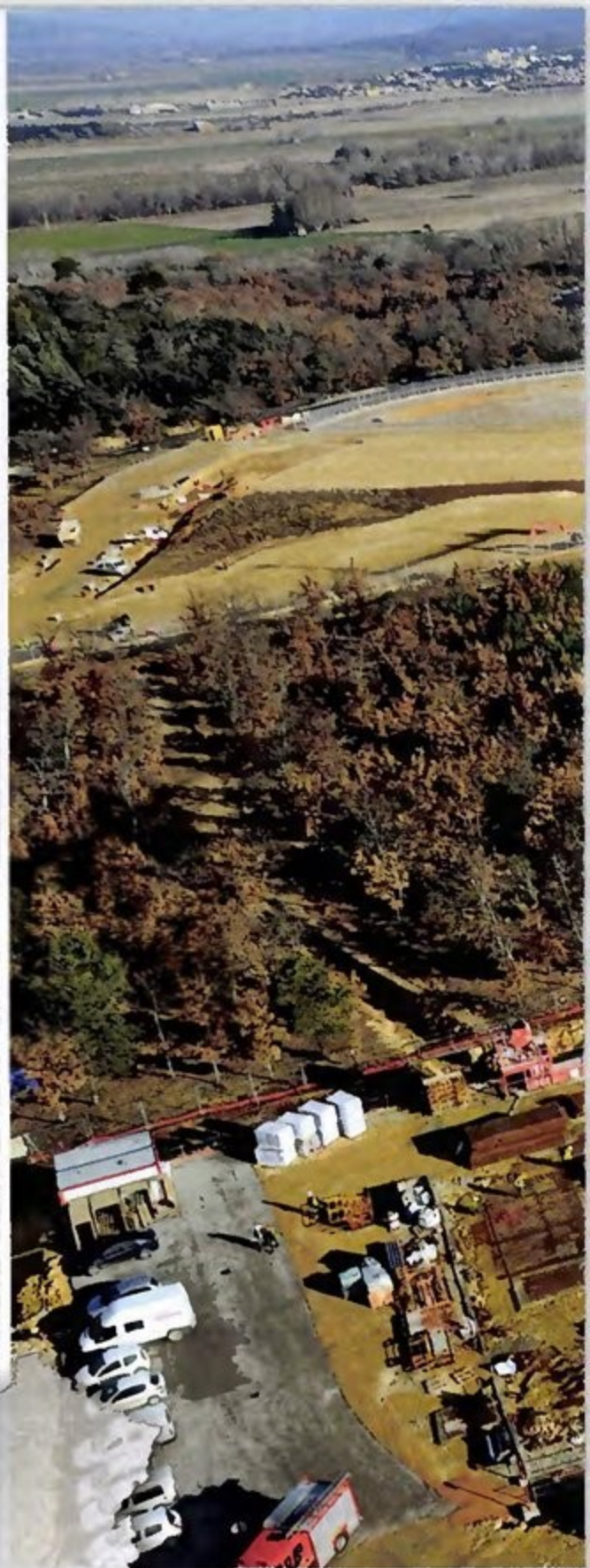
Au sein de ce plasma s'enclenchent alors les réactions nucléaires qui dégagent une énergie considérable sous la forme d'émission de neutrons, dont une partie est

exploitée pour alimenter la stabilité du plasma et l'autre récupérable sous forme de chaleur, puis d'électricité, via un circuit d'eau semblable à ceux des centrales élec-

triques actuelles. Sauf que les plans d'Iter ne prévoient aucun circuit d'eau. C'est que la machine n'est pas conçue pour produire dans la durée l'énergie de la fusion: il s'agit d'expérimenter les conditions dans lesquelles une telle exploitation industrielle pourrait un jour devenir possible. Ainsi le cahier des charges d'Iter prévoit-il de produire 500 mégawatts (MW) de

ITER EST LE PROGRAMME SCIENTIFIQUE LE PLUS AMBITIEUX JAMAIS CONÇU

qui, depuis, ont commencé de poser les fondations du programme scientifique le plus cher, le plus complexe, le plus ambitieux et le plus long jamais conçu dans l'histoire... mais également celui qui porte à lui seul les principaux espoirs que l'humanité puisse un jour prochain profiter des fantastiques promesses énergétiques de la fusion nucléaire (voir p. 50).



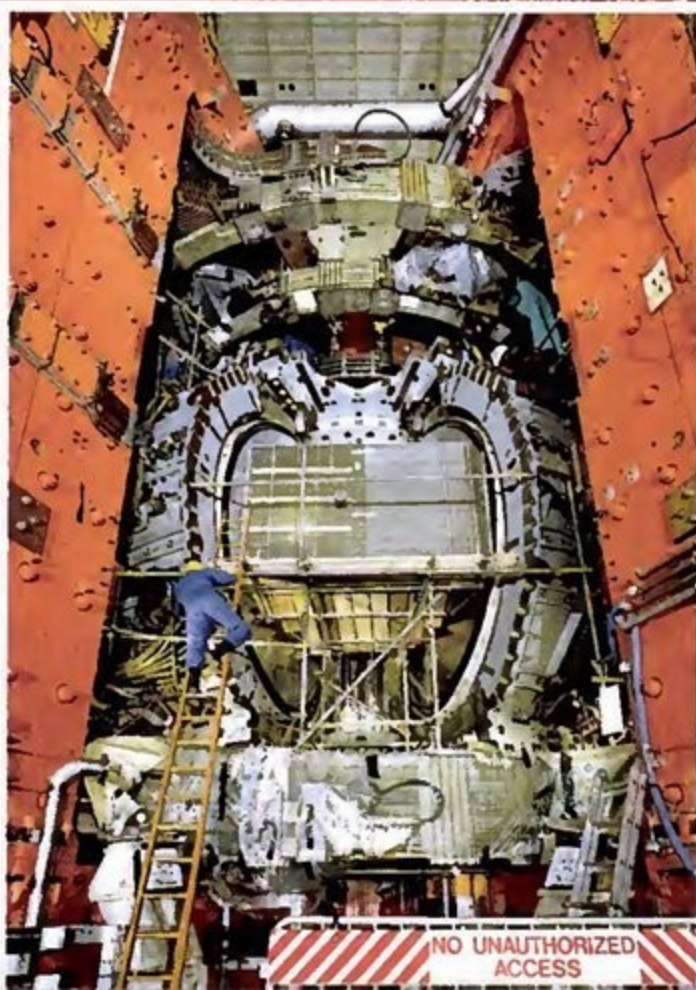
puissance de fusion pendant seulement 6 minutes 40 secondes, à partir de 50 MW de puissance fournie. Alors que les spécialistes estiment qu'une filière industrielle de fusion par confinement magnétique ne serait viable qu'avec un rendement au moins cinq fois supérieur, tenu 24 h/24 et cela durant des mois! On l'aura com- →



À Cadarache, les travaux du réacteur expérimental Iter avancent depuis que la première pierre des annexes de la machine a été posée en novembre 2010.

ILS ONT PRÉCÉDÉ ITER

Ag., le réacteur JET installé en Grande-Bretagne a produit, en 1997, une énergie de fusion substantielle durant quelques secondes. En France, le Tore Supra (à dr.) est parvenu à stabiliser pendant six minutes le milieu très particulier indispensable à la fusion, le plasma.



→ pris, la machine de Cadarache représente encore l'une des premières marches d'un escalier monumental.

Et quelle marche ! Il faut ici concevoir un mastodonte battant tous les records, depuis ses aimants pesant chacun autant qu'un Boeing 747 jusqu'aux 34 pays aux finances parfois fragiles présidant à sa destinée – soit plus que pour la Station spatiale internationale ! Tout cela, donc, pour obtenir... une ébauche de feu vert : *“Iter représente une expérience de physique sur la stabilité des plasmas, un outil de recherche qui doit permettre d'entrevoir la possible plage de fonctionnement d'un futur réacteur”*, énonce Gabriel Marbach, chef de l'Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique (CEA).

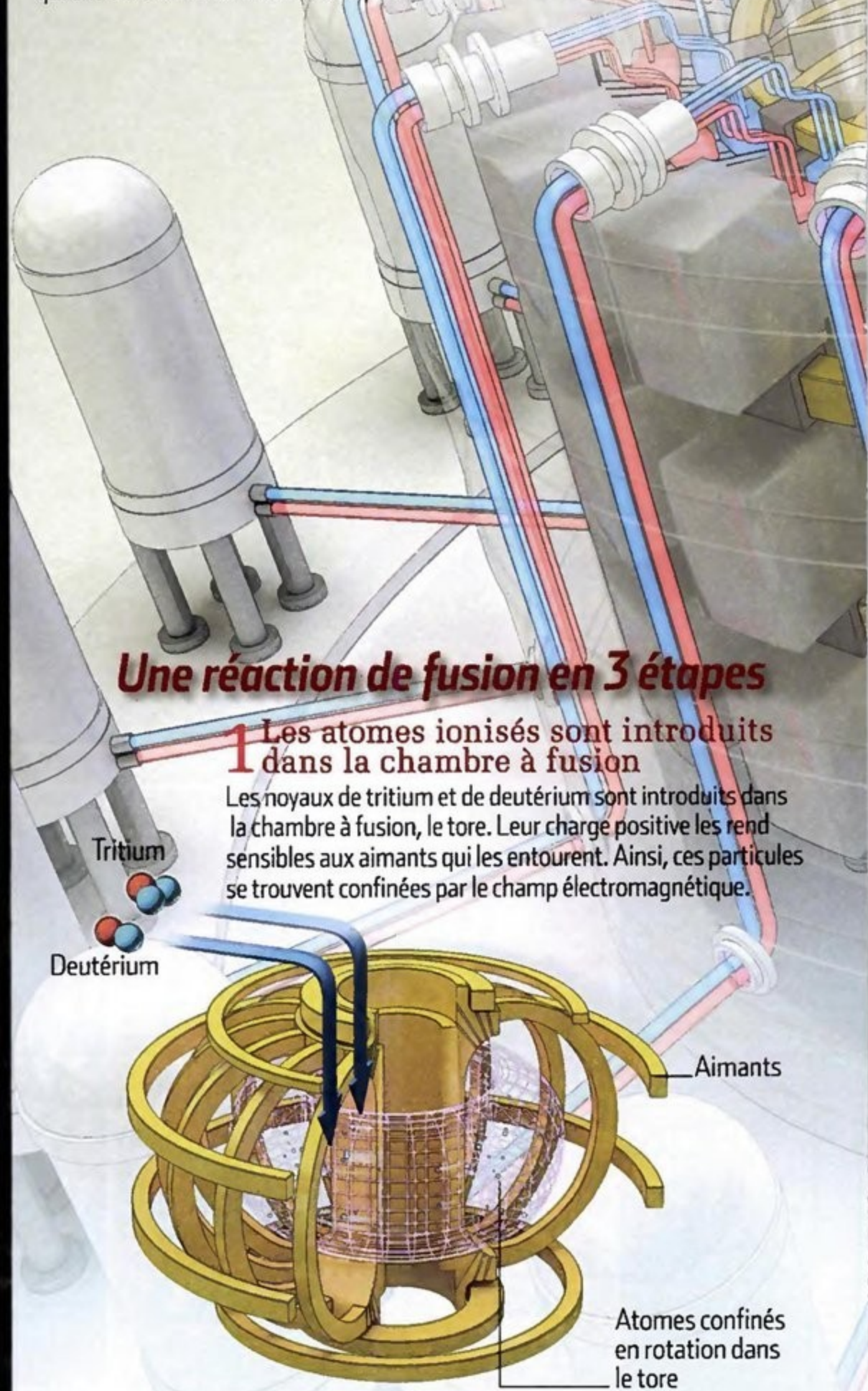
Sachant qu'à la suite d'Iter, il est prévu qu'un autre réacteur expérimental, baptisé DEMO, fonctionne à partir de 2033 au Japon. Avant qu'un prototype monstrueux, dit PROTO, ne prenne le relais... et, dans la foulée, trace la route aux premiers réacteurs à fusion industriels, ouvrant, si tout va bien, l'ère tant promise de l'énergie nucléaire propre et illimitée.

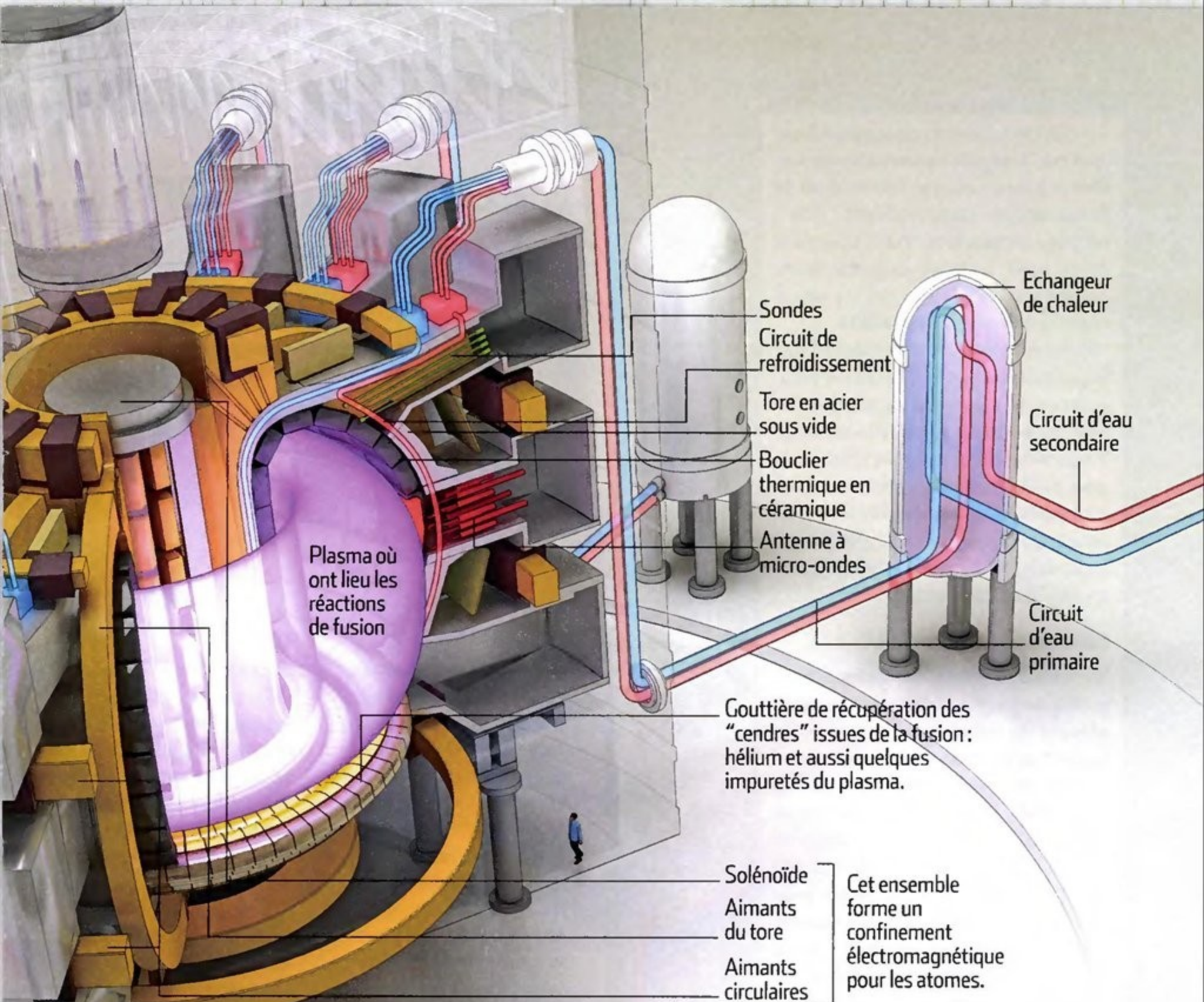
LE FRUIT DE 50 ANS D'EFFORTS

Historiquement, Iter vient de loin : la fusion par confinement magnétique a officiellement démarré en 1958, lorsque les trois puissances nucléaires que sont les Etats-Unis, l'URSS et la Grande-Bretagne décident de tenir une première conférence internationale sur le sujet, à Genève. Durant deux décennies, moult architectures sont proposées pour parvenir à confiner un plasma aussi turbulent que brûlant : des réacteurs en forme de cigare, de berlingot, de bretzel sont envisagés... Finalement, c'est le principe de machines circulaires qui va s'imposer. Avec deux concepts rivaux. D'un côté, le stellarateur, un réacteur dans lequel le confinement du plasma est réalisé par des champs magnétiques extérieurs, ce qui impose toutefois d'adopter des configurations hélicoïdales très complexes. De l'autre →

Comment les réacteurs tokamak parviennent à reproduire l'énergie du Soleil

Haut comme l'Arc de Triomphe, aussi massif qu'un porte-avions nucléaire, le réacteur à fusion de type tokamak – la technologie utilisée pour Iter – fonctionne comme un vaste four à micro-ondes chargé de porter les atomes à la température de 150 millions de degrés. Objectif : créer l'agitation nécessaire à la fusion des atomes de deutérium et de tritium. L'énergie engendrée par les réactions de fusion sert ensuite à produire de la vapeur qui entraînera des turbines électriques.



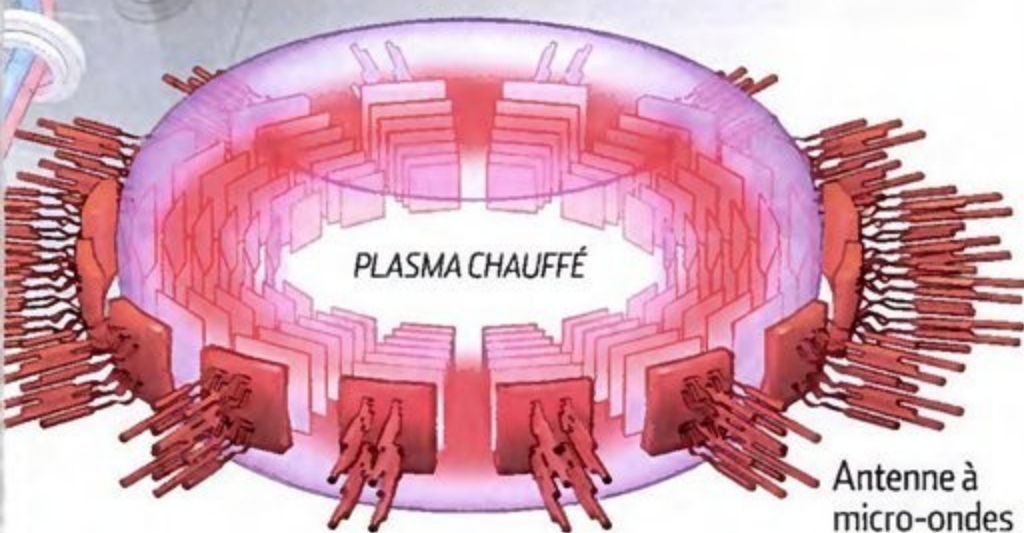


2 Les atomes sont chauffés par des micro-ondes

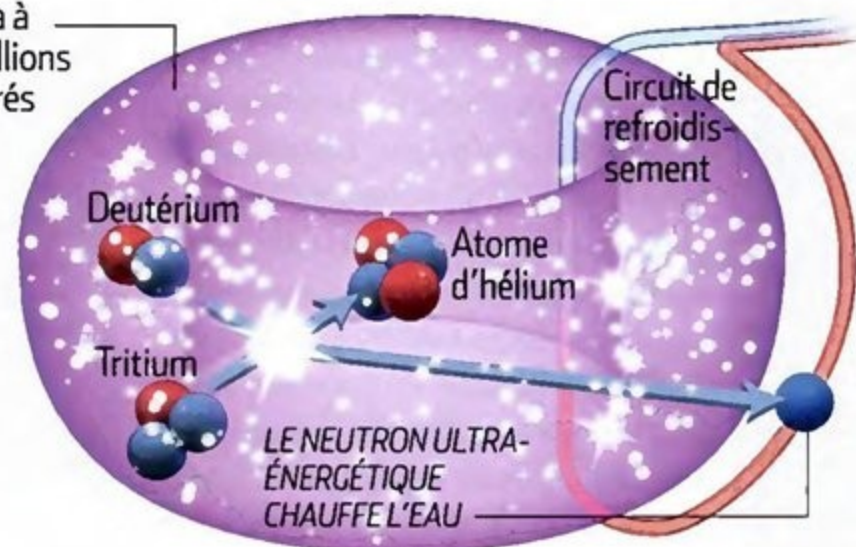
Le nuage de particules est chauffé à 150 millions de degrés par micro-ondes, mais aussi par injection de particules énergétiques.

3 Les atomes fusionnent et expulsent des neutrons

Dans la fournaise, les atomes fusionnent. Outre de l'hélium, cette réaction éjecte des neutrons à très haute énergie hors du plasma. Ces neutrons vont chauffer l'eau et ainsi produire de l'électricité.



Plasma à 150 millions de degrés



→ côté, le tokamak, un appareil imaginé par les physiciens soviétiques Andreï Sakharov et Igor Tamm, dont la forme torique – un gros anneau creux – est plus simple, mais l'équilibre plus fragile aussi: le champ magnétique engendré par le plasma est ici censé contribuer à sa propre stabilité.

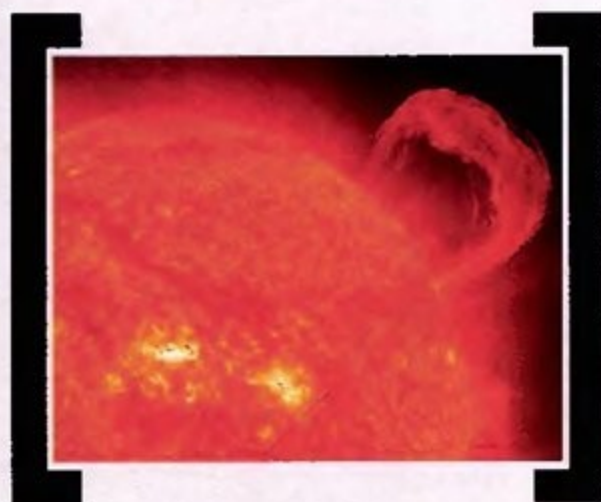
Si les stellarateurs sont aujourd'hui toujours développés, ce sont les tokamaks qui se sont imposés. Surtout depuis 1968, date à laquelle le tokamak T3 parvient à stabiliser pendant quelques millisecondes un plasma chauffé à 10 millions de degrés, soit la température qui règne au cœur du Soleil! Une performance extraordinaire, mais encore bien insuffisante.

CONDAMNÉ AU GIGANTISME

De fait, selon le critère de Lawson (voir p. 50), les réactions de fusion dans un plasma de deutérium et de tritium exigent de maintenir plusieurs secondes au moins une température de 100 à 150 millions de degrés! Pas si simple quand le record détenu à ce jour par un tokamak est la production de 16 MW de puissance de fusion pendant... 2 secondes! Une performance obtenue au JET, en Grande-Bretagne, en novembre 1997... et pour laquelle il a tout de même fallu fournir 25 MW de puissance pour chauffer le plasma... Actuellement, c'est un autre tokamak, le Tore Supra, à Cadarache, qui détient depuis décembre 2003 le record de maintien d'un plasma à haute température (sans fusion): 6 minutes 30 secondes. Un peu court. Il n'empêche! "En vingt ans, l'énergie produite dans un tokamak a été multipliée par 1 000 et notre capacité à confiner le plasma par 100!", s'enthousiasme Derek Stork, chercheur au Culham Centre for Fusion Energy. Encourageant, quand le chemin qui reste à accomplir semble interminable. D'abord parce que les progrès dans la maîtrise de la fusion sont liés à la taille croissante des machines; cette quête condamne donc les ingénieurs au gigantisme. Ensuite, parce que de nombreux obstacles théoriques et techniques, plus →

1 LE DÉFI DE...

... La stabilisation du plasma

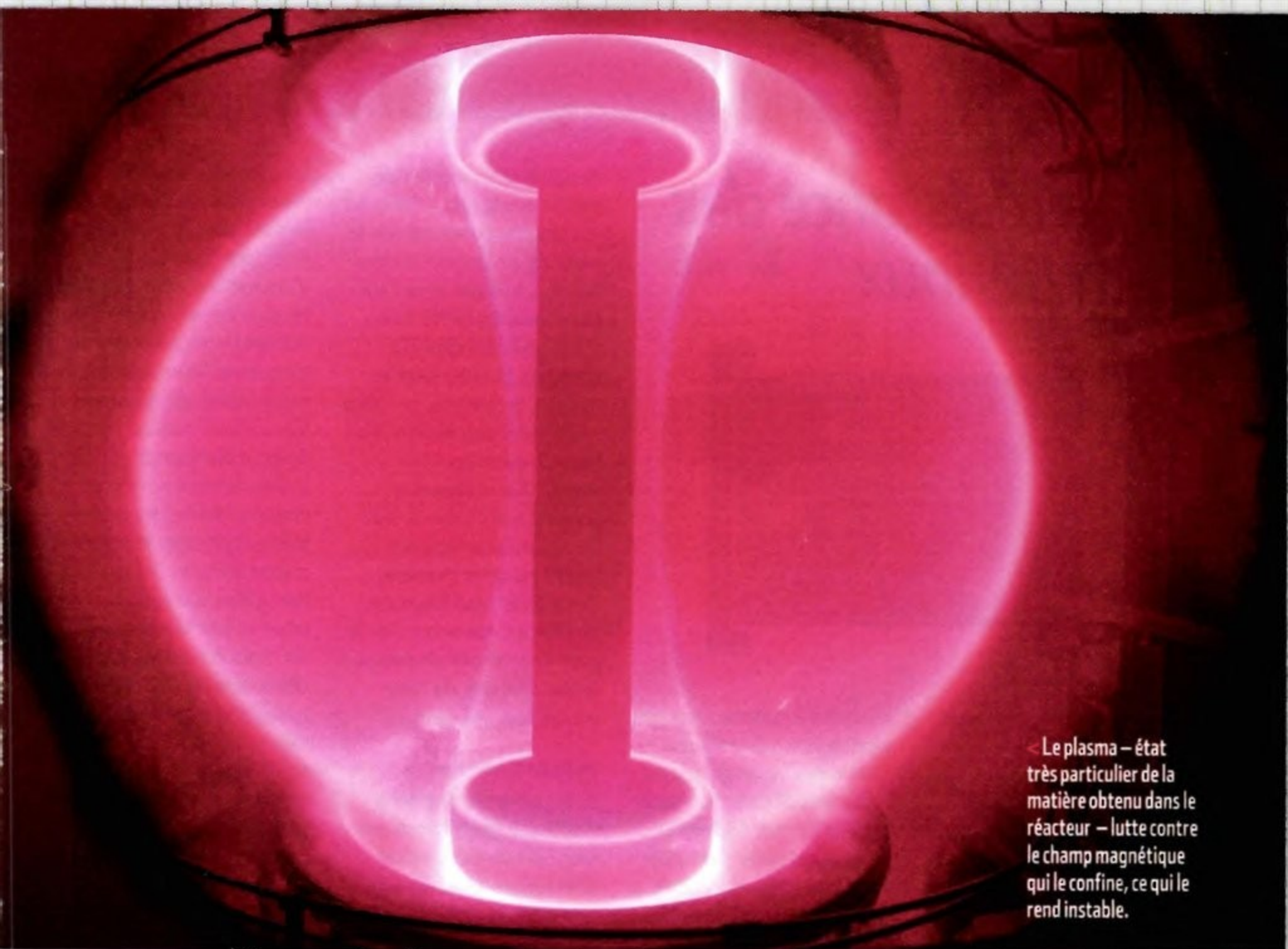


Sur la route de la fusion nucléaire contrôlée pour produire de l'électricité, la stabilité du plasma est le premier des défis, qui conditionne l'avenir de la filière. Le plasma? Il s'agit d'un état très particulier de la matière – ni solide, ni liquide, ni gaz – qui se manifeste à très hautes températures sous la forme d'une soupe d'électrons et de noyaux atomiques. Dans un réacteur à fusion, il s'agit de chauffer un gaz de deutérium et de tritium jusqu'à plus de 150 millions de degrés, soit 10 fois la température du cœur du Soleil! Il faut ensuite confiner ce plasma afin qu'il ne se dissipe pas, à l'aide d'un puissant champ magnétique, enceinte aussi hermétique qu'immatérielle. Seulement voilà: contrairement à un réacteur à fission, qui peut s'emballer, un plasma de fusion souffre du défaut inverse: à la moindre perturbation, il s'éteint! Et le réacteur de s'arrêter tout net. Pourquoi? Tout simplement parce qu'un plasma lutte

contre le champ magnétique qui le confine. Et ce conflit permanent le rend aussi instable qu'une bicyclette en équilibre sur un fil... Ainsi le défi est-il, non de créer (on sait le faire), mais de stabiliser dans la durée le plasma afin de pouvoir produire de l'électricité en continu. Sachant que "les instabilités susceptibles de déstabiliser un plasma sont légion et se produisent à toutes les échelles, depuis celle du plasma tout entier jusqu'à l'échelle des particules", détaille Gérard Bonhomme, de l'Institut Jean-Lamour, à Nancy.

Le problème des ELMS

Pascale Hennequin, du Laboratoire de physique des plasmas à l'Ecole polytechnique, à Palaiseau, complète: "Dans un plasma, on peut observer l'équivalent de toutes les instabilités qui se manifestent à la surface du Soleil: rouleaux, tourbillons, arches, éruptions..." Parmi les instabilités de grande échelle, les spécialistes redoutent tout



« Le plasma – état très particulier de la matière obtenu dans le réacteur – lutte contre le champ magnétique qui le confine, ce qui le rend instable.

particulièrement ce qu'ils appellent des "modes localisés de bord", ou ELMs. Soit des sortes de bouffées d'énergie qu'éjecte le plasma lorsqu'il est trop comprimé et qui sont susceptibles d'endommager les installations. Xavier Garbet, au CEA, à Cadarache, tempère: "Il existe plusieurs façons de maîtriser ces instabilités, par exemple en jouant sur la forme du champ magnétique de confinement. Dans le cas d'Iter, nous n'avons pas d'inquiétude majeure à leur sujet. Néanmoins, peut-être obligeront-elles à revoir à la baisse le rendement énergétique prévu." Une autre inconnue est susceptible de perturber le plasma aux petites échelles. Dans tous les réacteurs

à fusion actuellement en service, le plasma reçoit l'énergie nécessaire à son maintien de sources extérieures. A l'inverse, Iter se veut le premier réacteur dont le plasma s'auto-entretient. C'est-à-dire dont la température est maintenue grâce aux collisions qui se produisent en son sein entre, d'une part, les noyaux de deutérium et de tritium, et, d'autre part, les noyaux d'hélium (aussi appelés particules alpha) issus de la fusion des deux premiers. Quels seront les effets de ces échanges thermiques sur la stabilité du plasma? Les scientifiques s'interrogent. Ainsi, pour Gabriel Marbach, chef de l'Institut de recherche sur la fusion par confinement

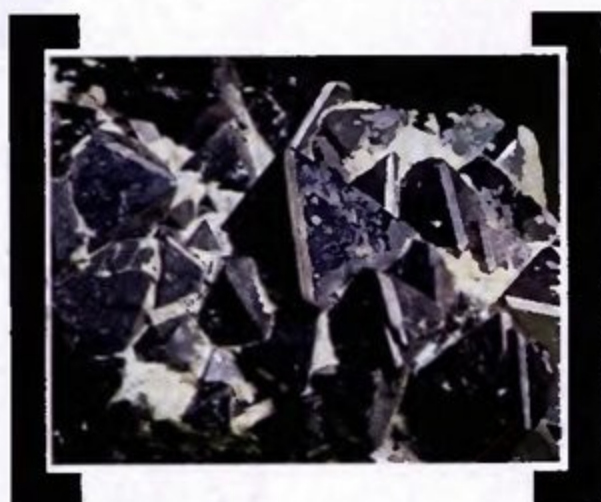
magnétique du CEA, à Cadarache, "les alphas sont aujourd'hui le point d'interrogation principal quant à la stabilité du plasma." Sans compter que ces particules alpha pourraient être rejetées sur les bords du plasma, perturbant leur participation à la stabilité de l'ensemble. "La question de la circulation des alphas dans le plasma est un gros sujet, admet Gérard Bonhomme. D'autant qu'à l'inverse, il s'agit également d'être capable de les extraire du plasma une fois leur énergie cédée, sous peine d'étouffer le milieu réactionnel." De fait, le maintien de l'équilibre précaire d'un plasma dépend du bon contrôle de sa température et de sa densité. "La question de

savoir comment cela se passera dans un plasma chauffé de l'intérieur est ouverte", reconnaît le physicien.

On parie sur un succès

Face à toutes ces incertitudes, Gabriel Marbach se veut optimiste: "Je pense que l'on trouvera une fenêtre de stabilité, mais elle pourrait être très étroite." Pour sa part, Pascale Hennequin rappelle que "la probabilité, c'est que cela marche, sinon on ne construirait pas Iter..." Et voilà bien l'enjeu de l'installation pilote de Cadarache (Iter): elle doit apporter les réponses permettant de définir dans quelles conditions la stabilité du plasma peut être contrôlée sur des temps industriels. L'avenir de la fusion en dépend. M.G.

...La résistance des matériaux



Température dix fois supérieure à celle du Soleil, bombardement de particules à des flux d'énergie records... Dans un réacteur à fusion, c'est peu dire que les matériaux sont soumis à rude épreuve. Et pour Paul-Henri Rebut, spécialiste mondial de ces réacteurs aujourd'hui à la retraite et artisan de la première version d'Iter, *"la question des matériaux est même l'une des clés de la fusion contrôlée"*. A commencer par celle des matériaux dits "face au plasma", qui tapissent la

chambre à plasma. Dans les réacteurs expérimentaux, ces "tuiles" sont généralement en carbone. Sauf que celui-ci s'érode facilement et des particules sont alors mises en suspension dans le plasma. Ainsi, comme l'indique sans détour Gabriel Marbach, chef de l'Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique du CEA, à Cadarache, *"cela ne peut être en aucun cas une solution industrielle"*. La chambre d'Iter sera ainsi tapissée de tuiles de béryllium, métal qui ne crée pas

de composés avec les éléments du plasma... mais qui est bien plus onéreux que le carbone. Et l'oxyde de béryllium est toxique, ce qui obligera à manipuler les tuiles d'Iter sous atmosphère confinée. Et puis, sous les assauts du plasma, ce métal alcalino-terreux souffre d'un léger phénomène d'érosion... *"Il sera donc à la source d'une chimie de surface avec l'ensemble des matériaux de la chambre, indique Bernard Pégourié, au CEA à Cadarache. Chimie dont il conviendra de s'assurer qu'elle n'est pas dommageable pour ces derniers."*

Hélium parasite

Autre pièce clé d'un futur réacteur à fusion: le diverteur. Soit un élément de 648 tonnes situé dans la partie basse de la chambre et dont le rôle est de recueillir les "cendres" du plasma, notamment les noyaux d'hélium une fois qu'ils ont cédé leur énergie. Cet élément recevra 10 mégawatts (MW) de puissance par mètre carré (contre 1 MW pour le reste de la chambre), soit trois

fois plus que le ventre de la navette spatiale lors de sa rentrée dans l'atmosphère. Ainsi, pas question d'équiper Iter d'un diverteur en carbone: les spécialistes ont opté pour une pièce en tungstène. Plus résistant, ce matériau nécessitera toutefois un bien meilleur contrôle du bord du plasma, afin de limiter au maximum son érosion. Et il faudra probablement changer le diverteur durant la durée de l'exploitation d'Iter, une opération qui pourrait prendre jusqu'à... six mois. Il y a donc peu de chances qu'un diverteur en tungstène représente, à terme, une solution industrielle viable. Au point que plusieurs concepts futuristes sont actuellement dans les cartons pour l'après-Iter. Comme, par exemple, un diverteur façonné dans un matériau poreux dans lequel circulerait du lithium liquide, une façon de contrer l'érosion en renouvelant le matériau en continu. En fait, la même inconnue plane sur les matériaux de structure d'un futur réacteur industriel. En effet, et c'est d'ailleurs son objectif, la

→ vertigineux les uns que les autres, doivent encore être franchis avant d'espérer voir sa salle de bain chauffée à l'hydrogène fusionné...

En premier lieu, il appartient à Iter de tester la stabilité du plasma. Une gageure: trouver le bon équilibre pour cet anneau de Soleil tourmenté par des phénomènes non linéaires à toutes les échelles mobilise actuellement des centaines de chercheurs à travers le monde (voir p. 64). Mais pour Jacques Treiner, physicien à Paris-VI et auteur

de plusieurs tribunes demandant l'arrêt d'Iter, *"la question la plus urgente n'est pas la stabilité du plasma, mais la résistance sur la durée des matériaux de l'enceinte! Et si l'on ne trouve pas de réponse, Iter n'aura servi strictement à rien..."* De là le projet d'un accélérateur à neutrons baptisé IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility): prévu pour être construit au Japon vers 2018, il sera spécifiquement conçu pour tester la résistance des matériaux tapissant l'intérieur des futurs

réacteurs nucléaires à fusion (voir p. 61). Et ce n'est pas tout! Car si les atomes de deutérium se trouvent en grande quantité dans l'eau de mer, les atomes de tritium n'existent quasiment pas à l'état naturel sur Terre. Pour les ingénieurs, il s'agit donc de trouver le moyen d'en produire directement au cœur des futurs réacteurs (voir p. 62).

Ces obstacles surmontés, restera un problème de taille: le pilotage et la maintenance des réacteurs à fusion s'annoncent autrement plus épi- →

réaction de fusion produit des neutrons d'une énergie considérable: de l'ordre de 14 mégaelectronvolts (MeV), contre 1 ou 2 MeV dans le cas d'une réaction de fission. Or, à ce niveau d'énergie inédit, les neutrons ne se contentent pas de provoquer des déplacements atomiques dans les matériaux de structure; ils sont également à la source de réactions de fission productrices d'hélium au sein de ces matériaux. Et cet hélium parasite se concentre sous la forme de microbulles susceptibles d'endommager le matériau.

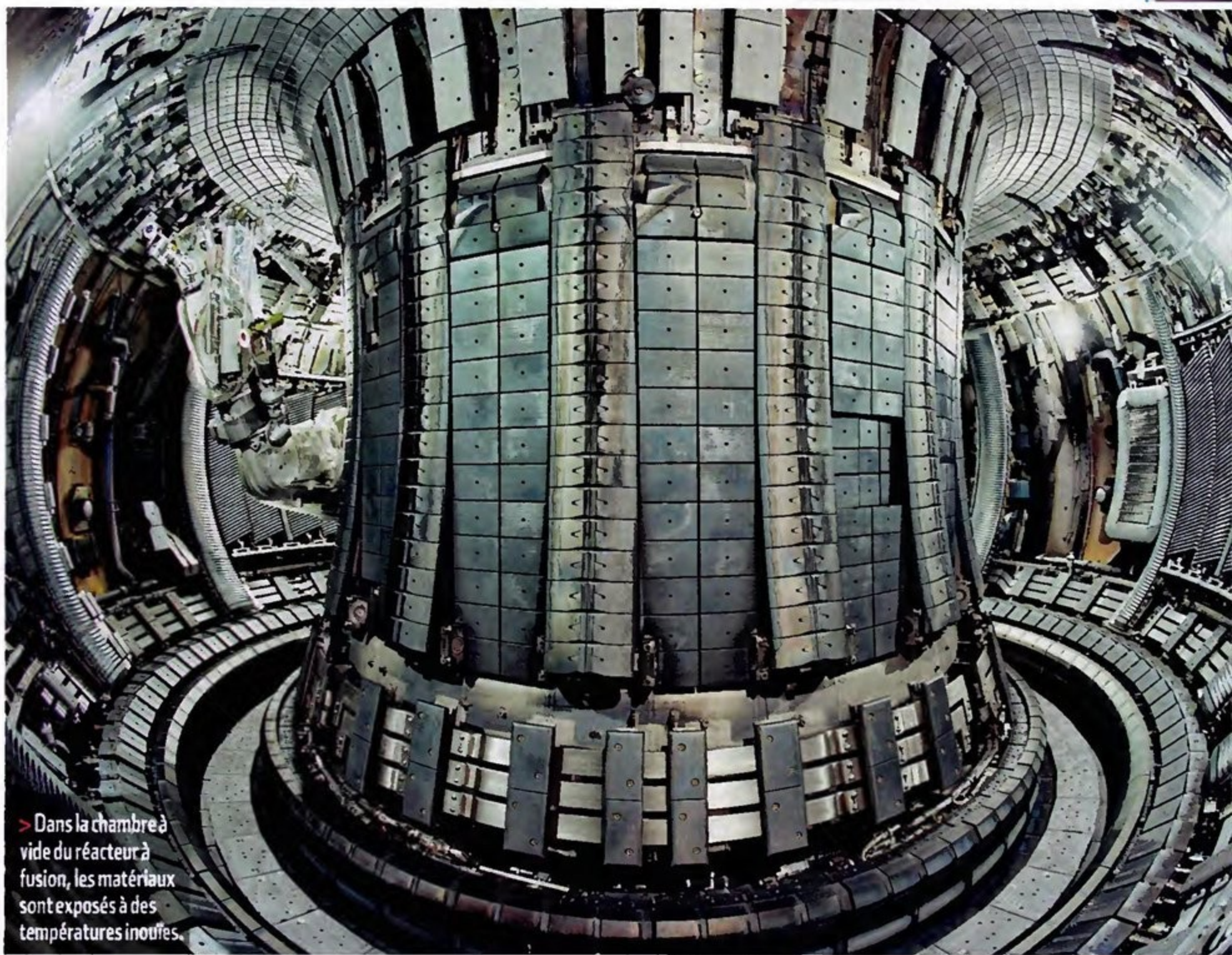
Dont les processus physico-chimiques n'ont encore jamais été étudiés grandeur nature, faute de source de neutrons suffisamment énergétiques.

Rien d'infranchissable

"Très concrètement, les conséquences de ce bombardement neutronique demeurent inconnues", résume Gabriel Marbach. D'où le lancement d'un programme baptisé IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility), qui prévoit la mise en place, d'ici à 2018, d'un accélérateur de particules délivrant des neutrons de

14 MeV, afin d'y tester divers matériaux. Dans le cas d'Iter, relativement peu de neutrons seront *in fine* produits. Et une structure en acier inoxydable a été retenue. Mais le développement et la sélection des matériaux pour ses successeurs restent un sujet aussi ouvert qu'épineux. *"Pour le futur DEMO, il apparaît que l'Eurofer, un alliage contenant du chrome et du tungstène, a donné de bons résultats lors de tests préliminaires, même si nous ignorons encore sa tenue à long terme face aux neutrons très énergétiques",* souligne Gabriel Marbach. Pour

Pascal Yvon, spécialiste des dommages neutroniques au CEA, *"la fragilisation causée par la croissance de bulles d'hélium dans ces proportions est une problématique nouvelle. Mais sur la base des simulations que nous réalisons, nous n'avons pas identifié de verrous infranchissables".* Et d'ajouter, optimiste: *"Nous ne sommes certes pas au bout de nos peines, mais nous avons des idées, des pistes et des résultats prometteurs."* Autrement dit, la recherche avance et le défi des matériaux semble avoir des chances réelles d'être relevé. M.G.



> Dans la chambre à vide du réacteur à fusion, les matériaux sont exposés à des températures inouïes.

... La production de combustible

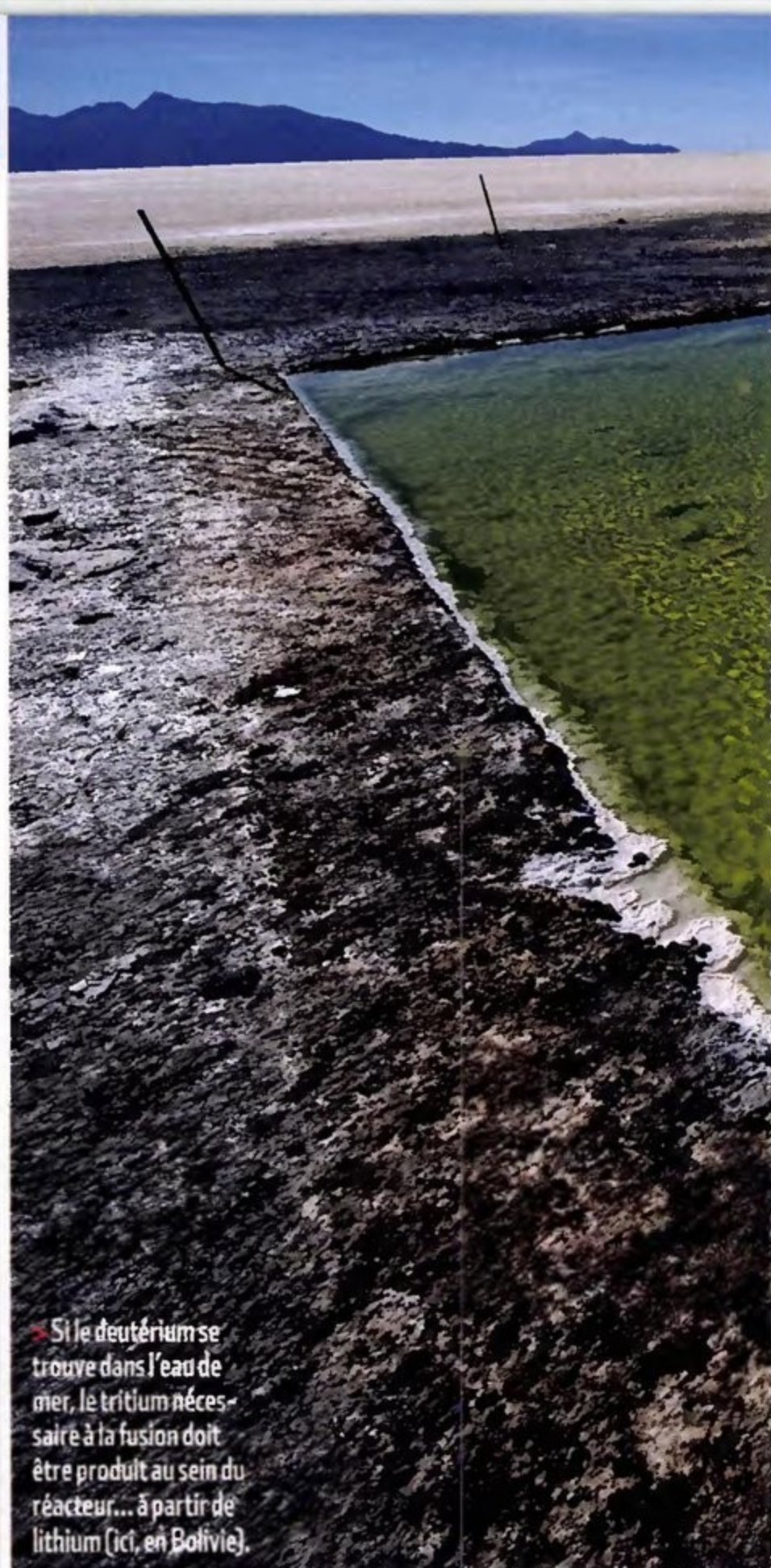


Grâce à la fusion, 1 litre d'eau promet de faire autant de miracles énergétiques que 1 tonne de charbon ! Une promesse nullement en l'air : la réaction de fusion implique un atome de deutérium (^2H) et cet isotope de l'hydrogène s'extrait aisément de l'eau de mer. D'où plusieurs millions d'années de réserve en perspective sur notre bonne vieille "planète bleue" ! Oui, mais le deutérium ne représente que la moitié de la réaction de fusion : celle-ci étant le fruit de la rencontre entre deux atomes, il s'agit donc de faire fusionner un atome de deutérium avec un autre atome. Quel atome ? L'idéal serait évidemment un autre atome de deutérium. Mais il se trouve que la réaction de fusion s'enclenche alors très difficilement, au point que les chercheurs n'imaginent pas pouvoir la mettre en œuvre avant très longtemps – s'ils y arrivent jamais... C'est ainsi que les physiciens ont finalement arrêté leur choix sur l'atome de tritium (^3H) : parce que cet autre

isotope de l'hydrogène (mais radioactif, lui) fusionne aisément avec l'atome de deutérium, ce qui soulage d'autant le travail, déjà très complexe, du réacteur à fusion. Mais... contrairement au deutérium, le tritium est rarissime.

150 kg de tritium par an

Qu'on en juge : sur Terre, la présence de tritium naturel est estimée à... 3 ou 4 kg seulement ! Qui plus est, cet élément se trouve dans la haute atmosphère, sous forme de gaz. Certes, un type très particulier de réacteurs nucléaires de technologie canadienne (CANDU) a la bonne idée de produire du tritium... comme déchet. Mais ce stock industriel n'excède pas, actuellement, 20 kg. Dès lors, comment espérer faire fonctionner ne serait-ce qu'un seul réacteur à fusion, sachant qu'il réclamerait chaque année quelque 150 kg de tritium ? Eh bien, il existerait une astuce. Comme l'explique Luciano Giancarli, chargé de la question sur le projet Iter,



Si le deutérium se trouve dans l'eau de mer, le tritium nécessaire à la fusion doit être produit au sein du réacteur... à partir de lithium (ici, en Bolivie).

"le réacteur du futur devrait pouvoir générer lui-même le tritium dont il a besoin. Car lorsqu'ils rencontrent du lithium, les neutrons ultra-énergétiques issus de la fusion produisent du tritium (et aussi de l'hélium) ! Lequel serait ensuite réinjecté..." Plusieurs options sont déjà à l'étude, comme celle d'insérer dans les murs du cœur du réacteur une tranche de 70 centimètres d'un alliage liquide lithium-plomb, qui doit être renou-

velé. Or, trouver 300 kg de lithium frais par an pour chaque réacteur ne semble pas du tout insurmontable. Le hic, s'inquiète Gabriel Marbach, "c'est que ce système devra cohabiter avec beaucoup d'autres dispositifs complexes déjà prévus dans l'enceinte, comme le réseau de fluide caloporteur convertissant la chaleur de la fusion en énergie". Sans oublier les nombreux appareils de rétention du tritium, car c'est un élément radioactif



dangereux, difficile à maîtriser et extraordinairement mobile. Or, l'ensemble devra fonctionner sans accroc dans un espace restreint, à la géométrie singulière, et dans des conditions thermiques et neutroniques dantesques.

Faisabilité à démontrer

Ce défi n'est pas mince: "Nous faisons face à une multitude d'objectifs contradictoires, sachant qu'il faudra produire un peu plus de

tritium que l'on n'en consommera afin d'être en mesure, ensuite, de démarrer les réacteurs suivants", relève Luciano Giancarli. A ce stade, les modélisations numériques se montrent plutôt rassurantes. Mais la faisabilité concrète reste encore à démontrer, et six maquettes de mur d'enceinte seront confrontées à la dure réalité sur Iter. Autant de résultats attendus avec anxiété dans les années 2030... V.N.

→ neux que dans les centrales nucléaires classiques. De fait, entre flux de neutrons empêchant d'utiliser des caméras dans la chambre à fusion et matériaux de l'enceinte radioactifs, sans oublier, prévient Laurent Gargiulo, spécialiste de la maintenance à Cadarache, "qu'il subsiste pour les besoins de la fusion un vide très poussé qu'on ne peut guère interrompre car il faut des semaines pour le reconstituer", tout apparaît problématique. Et ne laisse d'autre choix que de recourir à des robots. Ainsi, des prototypes d'automates ont été construits, dont, au CEA, un bras articulé long de 8 m susceptible de se faufiler dans le tore comme un serpent afin de localiser une fuite.

LA VOLONTÉ D'Y CROIRE

Ultime défi: celui du remplacement des composants. Ce qui semble inévitable tant les matériaux vont souffrir sous l'assaut des neutrons ou du plasma brûlant. Dans le cas d'Iter, il faudrait déjà remplacer le "cendrier" constitué de 54 éléments de 12 t chacun... A la clé, d'innombrables opérations à distance de découpe, de raccordements, de soudures précises... Pendant ce temps-là, on ne produit pas d'électricité. "L'objectif assigné aux roboticiens est d'achever ce renouvellement en 6 mois, une fois tous les 5 ans environ", annonce Yann Perrot, directeur du Laboratoire de robotique du CEA.

Face à ces défis herculéens, les experts sont partagés. Alors que les pelleteuses labourent une petite parcelle du sud de la France, certains physiciens, et non des moindres, doutent de la réussite et de la pertinence de ce chantier colossal. Le projet de la fusion débuté il y a plus de 50 ans et dont on ne voit toujours pas la fin n'est-il pas hors de notre portée? Ce réacteur révolutionnaire est-il seulement fabriquable? Et s'il l'est, sera-t-il exploitable? Le débat excite les passions. Mais le seul fait qu'Iter soit lancé affirme en tout cas la volonté de croire que la fusion nucléaire n'est pas seulement un rêve qui serait voué à le demeurer. ■

L'HISTOIRE NE FAIT QUE COMMENCER

Trop compliquée, trop incertaine : la fusion fait débat. Mais pas au point d'y renoncer. Surtout que de nouveaux projets émergent...

Dans les couloirs des labos de physique, cela fait longtemps que les plaisanteries fusent. *"La fusion est l'énergie du futur... et il en sera toujours ainsi!"* Ou encore: *"Le nombre d'années qui nous sépare de l'énergie de fusion représente une nouvelle constante de la physique"*. Guy Laval, de l'Académie des sciences, auteur d'*Une histoire de la fusion nucléaire*, en sourit: *"Il faut bien reconnaître une part de vérité dans ces sarcasmes."* De fait, voilà 50 ans que les physiciens des plasmas promettent à l'humanité l'arrivée de la fusion nucléaire, sans que sœur Anne ne voit jamais rien venir...

DES DÉLAIS FORCÉMENT LONGS

Mais voici qu'en 2011, la date de naissance de cette miraculeuse source d'électricité paraît plus crédible: l'agence internationale qui chapeaute Iter avance une mise en exploitation du réacteur vers 2060... Quand bien même *"les multiples et immenses murs techniques à franchir empêchent toute prévisibilité"*, prévient Vincent Bon-tem, philosophe des sciences au CEA. Avant d'ajouter: *"Il faudrait plutôt voir cela comme un horizon historique, lequel, comme tout horizon, semble se déplacer en même temps que nous."* Une si longue attente a pourtant de quoi étonner si l'on songe que la fission nucléaire fut domestiquée quatre ans seulement après la découverte du phénomène, en 1938. Or, alors que son principe a été proposé vingt ans avant la fission, la fusion, elle, résiste encore à tous les assauts. *"Au début,*

les physiciens étaient persuadés que l'affaire serait vite réglée", raconte Guy Laval. Pour les pionniers, *"la fusion serait même prête le jour où la société en aurait besoin"*. Autrement dit, il suffirait juste d'une mobilisation générale de la société pour y parvenir! Le doute est permis, selon Guy Laval: *"Même en y consacrant des sommes colossales, à la manière d'un programme Apollo qui serait dédié à la fusion, la construction d'un tokamak et la domestication d'un plasma demandent inmanquablement des décennies"*. Gageons cependant que la conquête lunaire ne devait pas sembler beaucoup plus évidente aux ingénieurs de la Nasa le 25 mai 1961, à l'heure du fameux discours de Kennedy...

Et puis, rien ne dit que le réacteur de fusion du futur devra passer l'épreuve du tokamak! Car d'autres solutions sortent aujourd'hui de l'ombre, à la faveur de la mise en place d'expériences spectaculaires issues de projets militaires, comme la fascinante Z Machine des laboratoires Sandia (Nouveau-Mexique), conçue pour éprouver la résistance des têtes nucléaires, ou la technique de fusion par laser, actuellement mise au point en Californie, et en France, près de Bordeaux, et développée au départ pour simuler des essais nucléaires (voir infographies).

Quel que soit le procédé, il faut cependant reconnaître que les défis à surmonter restent vertigineux. Certains signes ne trompent pas: le budget d'Iter a récemment triplé, passant de 5 à 15 milliards d'euros environ. Le phénomène est bien connu des →

Salles des lasers: 120 lasers y produisent des rayons infrarouges qui font 2 allers-retours pour atteindre par amplification la bonne puissance.

Salle de traitement: le rayon infrarouge est converti en ultraviolet et focalisé.

Condensateurs pour accumuler la charge électrique nécessaire.

Plasma créé par l'évaporation des filaments de tungstène soumis à un courant surpuissant.

2 autres projets de réacteur à fusion

Le réacteur à fusion du futur ne sera pas forcément à confinement magnétique (tokamak). Deux autres expériences sont menées actuellement : le laser surpuissant mégajoule et la Z Machine. Longtemps l'apanage des militaires, ces technologies s'ouvrent désormais à la recherche civile sur l'énergie. La compétition est lancée...

Sphère d'expérimentation : tous les rayons convergent en son centre où est disposée la cible de quelques millimètres.

Salle électrique : elle alimente les lasers en courant.

Mélange combustible deutérium-tritium prêt à fusionner.

Le laser mégajoule

Ici, un chapelet de 240 lasers ultrapuissants se focalise sur une bille de 2 mm contenant le mélange combustible deutérium-tritium. Ainsi martelée, cette sphère va se contracter violemment. Résultat : l'espace d'une dizaine de picosecondes (10^{-12} s), le mélange atteint la densité de 300 g/cm^3 (soit 300 000 fois plus que l'air ambiant), propice à la fusion.

La Z Machine

Un courant électrique de 20 millions d'ampères circule à travers un réseau de filaments métalliques. Ces fils fondent instantanément, créant ainsi un nuage de plasma qui est brutalement comprimé par le champ magnétique induit. Densité et température atteignent alors des niveaux extrêmes – jusqu'à... 2 milliards de degrés –, ce qui rend possible la fusion.

Tout comme nous avons rencontré des difficultés inattendues, de bonnes surprises peuvent surgir.

GUY LAVAL

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,
SPÉCIALISTE DE LA FUSION NUCLÉAIRE



→ spécialistes des "mégaprojets". Ils parlent d'ailleurs entre eux de "facteur Pi" (3,1415...) pour désigner le triplement du budget affiché initialement. Michel Trépanier, sociologue des sciences à l'Institut national de la recherche scientifique (Montréal), ne voit dans le cas d'Iter rien que du très classique: "Durant le très long processus planification/approbation/conception, le prix des matières premières a pu flamber, des développements s'avérer plus compliqués que prévu et de nouveaux problèmes surgir". Sans compter, remarque Michel Spiro, directeur du Cern, que "contrairement au Cern qui bénéficie de 40 ans de travail en commun entre chercheurs de différentes nationalités, l'amalgame reste à trouver sur Iter".

Au point que certains remettent en question le chantier et l'utilisation de si gros moyens pour un résultat si distant et incertain. Les défenseurs du projet ont beau faire valoir, tel Derek Stork, que "son coût total ne vaut que le budget annuel d'une compagnie pétrolière comme Exxon Mobil", nombre d'universitaires – y compris quelques prix Nobel comme les défunts Georges Charpak et Pierre-Gilles de Gennes – se sont publiquement inquiétés d'une menace sur les crédits d'autres secteurs de recherche qu'ils jugent plus urgents.

Pis: dans sa version actuelle, Iter ne trouve même pas grâce aux yeux de

l'un de ses premiers architectes, le Français Paul-Henri Rebut: "Le projet a dû être revu à la baisse, en 1998, pour des raisons d'économies. Or, chercher à faire plus petit est ici une erreur, car cela revient à s'approcher des limites de stabilité du système, et donc réduire ses chances de réussite". Aujourd'hui à la retraite, l'ingénieur ne cache pas son scepticisme sur l'avenir de la filière: "Il n'est pas certain que la fusion devienne un jour une source industrielle d'électricité. Et si c'est le cas, je ne crois pas que cela se fera au cours de ce siècle." Le propos, tenu par

la grande porte, la fusion reviendrait alors par la fenêtre...

A première vue, les atouts de la fusion paraissent pourtant imparables, elle qui promet d'être sûre (si le plasma est correctement contenu), propre (si l'on parvient à réduire la durée de radioactivité des matériaux de l'enceinte à moins de 100 ans), illimitée (si l'on réussit à produire assez de tritium). Dans le contexte énergétique extrêmement tendu qui se profile à l'horizon 2050, la fusion ne sera-t-elle pas finalement irrésistible? Pour le dire pompeusement, la fusion aurait

en fait une obligation de réussite afin de sauver le monde.

"Pas si sûr!", plaide Pierre Zaleski, concepteur du premier prototype de réacteur à neu-

trons rapides français, ancêtre de Super Phénix. Car la fusion devra compter avec la prochaine génération de réacteurs à fission, planifiée vers 2040, sur le modèle des surgénérateurs: lesquels seront plus sûrs, plus sobres et produiront très peu de déchets". De quoi contester les avantages de la fusion... Et inciter les industriels à y réfléchir

AU-DELÀ DE LA FUSION, C'EST LA CRISE DE L'ÉNERGIE QUI EST LE VÉRITABLE ENJEU

l'un des plus brillants concepteurs de tokamaks, détonne au regard du calendrier officiel et des espoirs annoncés... Pour lui, "il serait plus pertinent, dans l'immédiat, de travailler à une centrale hybride fusion-fission plus rapide à mettre en œuvre. Les Chinois m'ont d'ailleurs sollicité pour explorer cette solution" (voir encadré). Evincée par



Je ne crois pas que la fusion deviendra une source industrielle d'électricité au cours de ce siècle.

PAUL-HENRI REBUT

INGÉNIEUR, L'UN DES PREMIERS ARCHITECTES DU PROJET ITER

à deux fois avant d'opter pour elle. Quand bien même une flopée d'études de prospective économique – menées, toutefois, par des instituts impliqués dans la recherche sur la fusion... – prévoient des coûts d'électricité issue de la fusion très compétitifs.

Reste que dans ce genre de grande épopée technique, il y a un cap terrifiant à franchir: "On appelle cette phase 'la mort subite', expose Vincent Bontems. Alors qu'au prix de mille efforts, une tête de série a enfin pu être construite, il apparaît que cet objet n'est pas industrialisable! La raison peut être technique, sociale ou... politique, à l'image du Concorde qui n'eut pas accès à l'espace aérien américain".

Trop cher, trop hasardeux, trop lointain, mal fagoté, voire hors sujet... Les accusations sont violentes, mais, au vrai, la fusion apparaît un projet bien trop attractif pour l'abandonner. Michel Trépanier a remarqué que "depuis 50 ans, les chercheurs en fusion sont toujours parvenus à obtenir des financements substantiels". Et pour cause, continue le chercheur, "avec leur promesse de livrer une énergie définitive, ils ont su trouver des relais privilégiés chez plusieurs générations d'hommes

politiques". La poursuite des recherches ne fait donc guère de doute. Gabriel Marbach, du CEA, à Cadarache, ajoute un argument décisif: "L'intérêt de la fusion réside dans la disponibilité de son combustible, qui va bien au-delà des réserves d'uranium. Tout en étant mieux réparties sur Terre! Aussi, pour des raisons géostratégiques, il est important de ne pas fermer la porte à cette source potentielle d'énergie."

Et puis, comme l'espère Guy Laval, "tout comme nous avons rencontré des difficultés inattendues dans cette quête, de bonnes surprises peuvent surgir..." D'autant plus que pour Vincent Bontems, "malgré toutes les incertitudes, il n'y a aucun doute pour la communauté scientifique du nucléaire: la fusion doit faire partie de notre avenir. Non seulement au regard de l'enjeu énergétique, mais parce que la fusion – propre et sûre – est un véritable acte de rédemption par rapport aux technologies nucléaires antérieures à fission, dangereuse et productrice de déchets." Iter serait ainsi le début du prix à payer pour ce rachat. Une autre raison de croire que les recherches sur la fusion vont continuer... peut-être jusqu'à tenir leurs promesses. ■

LA FISSION À LA RESCOUSSE DE LA FUSION ?

Alors que la mise au point de la fusion s'éternise, la fission pourrait lui donner sa première chance. Evoquée dès 1951, l'idée d'un réacteur hybride fusion-fission connaît un fort regain d'intérêt en Russie, en Chine et, surtout, aux Etats-Unis où l'on planche sur un projet à court terme baptisé LIFE. L'intérêt? Mike Kotschen, spécialiste de ces hybrides à l'université du Texas explique que "dans ce nouveau cadre, on ne demandera pas à la fusion d'être une source d'énergie efficace, ce qui est très difficile, mais une simple source de neutrons dont elle est naturellement généreuse!"

Lesquels neutrons, très énergétiques, iront percuter et exciter du combustible nucléaire, "qui ne demande qu'à fissionner, démultipliant ainsi l'énergie produite d'un facteur 5 à 10", se félicite Wayne Meier, impliqué dans LIFE. Par conséquent, l'appareil à fusion (tokamak ou laser) utilisé ici pourra être d'une puissance très modeste, et donc plus facile et rapide à concevoir! Entre autres avantages. Reste à pouvoir associer ces techniques compliquées.



INTELL

EYE OF SCIENCE/SPL/COSMOS

I n s e c t e s

LEUR INGENIENCE DEFIE LA NOTRE

L'intelligence dépend-elle du nombre de neurones ? Une chose est sûre : malgré leur cerveau minuscule, les insectes réalisent des tâches d'une étonnante complexité... sur laquelle l'imagerie 3D lève aujourd'hui le voile. La preuve en images.

PAR FRANÇOIS LASSAGNE

Les progrès réalisés ces dernières années dans les procédés d'imagerie ont permis d'ouvrir les portes de mondes inexplorés: celles du minicerveau des insectes. Grâce aux bonds de géant accomplis dans l'investigation biologique, il est devenu possible d'admirer en trois dimensions et à l'échelle moléculaire, le fonctionnement de ces organes de quelques millimètres cubes. La technique de microscopie optique confocale à balayage laser, en particulier, permet d'accéder à leur organisation neurone par neurone et de dresser de véritables atlas 3D de ce qui se cache sous ces minuscules cuirasses. L'équipe d'Ann-Shyn Chiang (université de Taïwan) a ainsi mis en ligne en décembre dernier une première version de la représentation tridimensionnelle du cerveau "type" de la mouche drosophile, obtenue en répertoriant la nature, la position spatiale et les liens de 16 000 neurones sur les quelque 100 000 présents! De quoi espérer mieux comprendre les étonnantes facultés cognitives de ces organes lilliputiens.

Car les chiffres sont là: avec 0,3 mm³ pour la mouche, 0,5 pour la fourmi et 1 pour l'abeille, le volume du cerveau des insectes est environ un million de fois plus petit que le nôtre; or, quand nos neurones sont près de 100 milliards, ceux des insectes, semblables aux nôtres dans leur forme et leurs propriétés, dépassent rarement le million. Et pourtant, l'intelligence dont font preuve ces petites bêtes est impressionnante. Prenez le bourdon, par exemple: Mathieu Lihoreau (université de Londres) vient de montrer qu'il est capable de résoudre l'un des problèmes réputés parmi les plus ardues des mathématiques. A partir de fleurs artificielles dont il modifie la disposition dans l'espace, ce biologiste a pu constater que l'insecte choisit, la plupart du temps, le chemin le plus court pour butiner un maximum de fleurs. Cela n'a l'air de rien... sauf quand on sait que trouver la route la plus courte passant une seule fois par plusieurs étapes, c'est

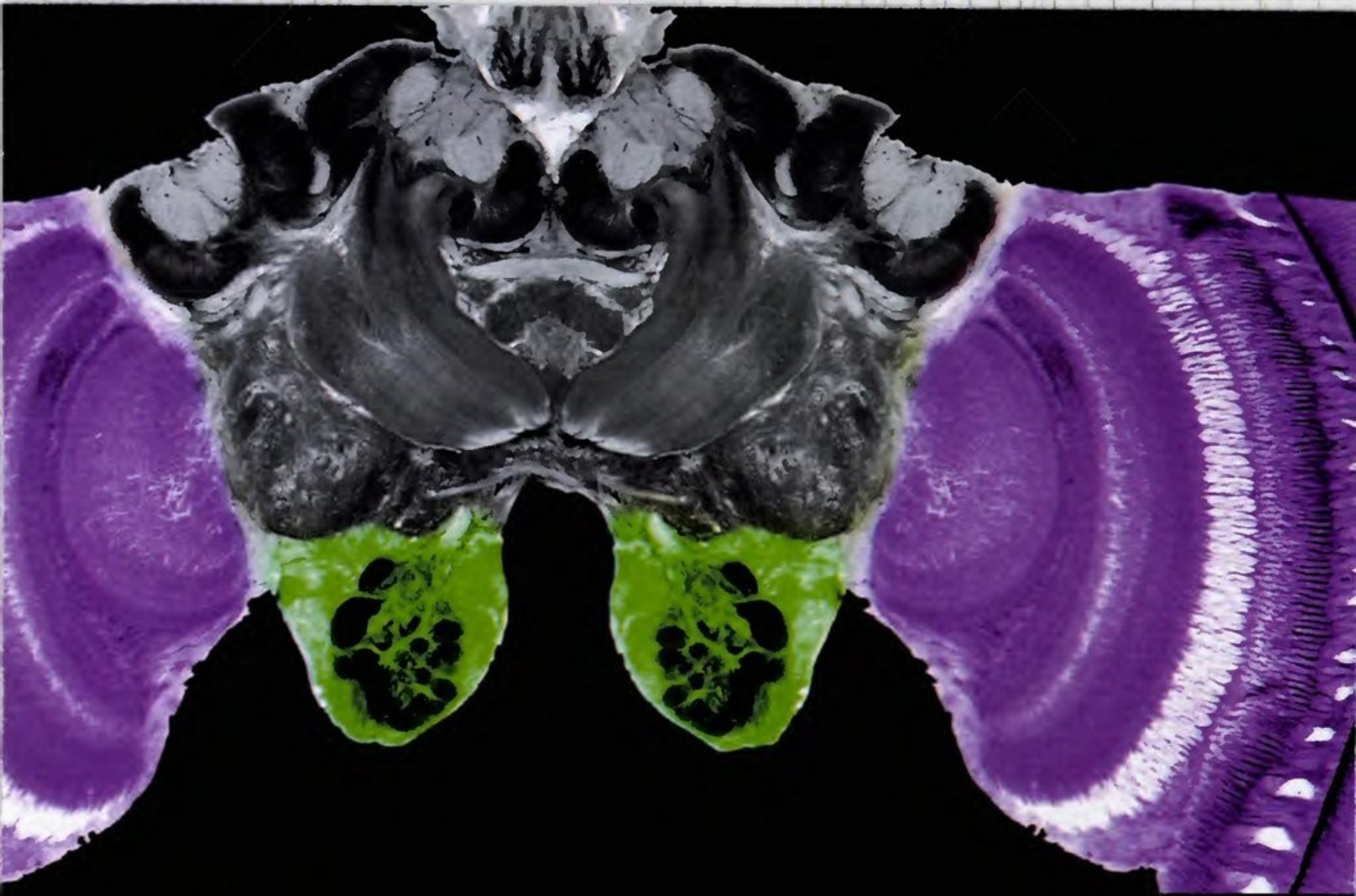
résoudre le fameux "problème du voyageur de commerce", une gageure que les meilleurs algorithmes ne résolvent que par des approximations et au prix de temps de calcul croissant exponentiellement avec le nombre d'étapes. Comment un cerveau si petit peut-il produire tant d'intelligence? Cette question, valable pour les mouches, les abeilles ou les fourmis, reste largement sans réponse.

"Durant ces vingt dernières années, on s'est souvent contenté de décrire ces prouesses et de nous étonner de cette apparente 'intelligence' autorisée par un faible nombre de neurones, observe Mathieu Lihoreau. Aujourd'hui, le challenge, c'est de comprendre la circuiterie minimale qui sous-tend une capacité cognitive donnée." Un défi dont la matière grise des insectes est une parfaite incarnation. En mettant en relation les nouvelles cartographies du cerveau des insectes avec leur comportement, en milieu naturel ou en laboratoire, puis en passant le tout au crible de la simulation informatique et robotique, les spécialistes de l'intelligence artificielle espèrent tester les capacités de traitement de réseaux de neurones virtuels – combien de neurones permettent de distinguer deux couleurs? – ou piloter des robots dotés des mêmes "circuits" que ceux observés chez les insectes.

UNE LEÇON D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

Bien sûr, il faut relativiser ces capacités: ce petit nombre de neurones reste un handicap quand il s'agit de mémoriser ou de traiter en parallèle de grandes quantités d'informations. Or, qui dit mémoire dit expérience, et qui dit traitement parallèle dit précision accrue, vitesse et enrichissement croisés des informations. Sans ces qualités, les capacités d'abstraction, le langage, la conscience sont limités... Mais les gros cerveaux ont un prix: le tissu cérébral consomme énormément d'énergie – le cerveau ne représente que 2 % du poids chez l'homme mais absorbe 20 % de son énergie au repos. Du coup, l'intelligence des insectes dévoile une inattendue leçon d'économie, donnée par l'évolution. Une leçon que nous commençons à assimiler, l'œil rivé aux merveilles que les microscopes découvrent sous les carapaces de l'abeille, du criquet ou de la mouche.

Les insectes ont-ils un cerveau? 200 clés pour comprendre les insectes, Vincent Albouy, Quae, 2010

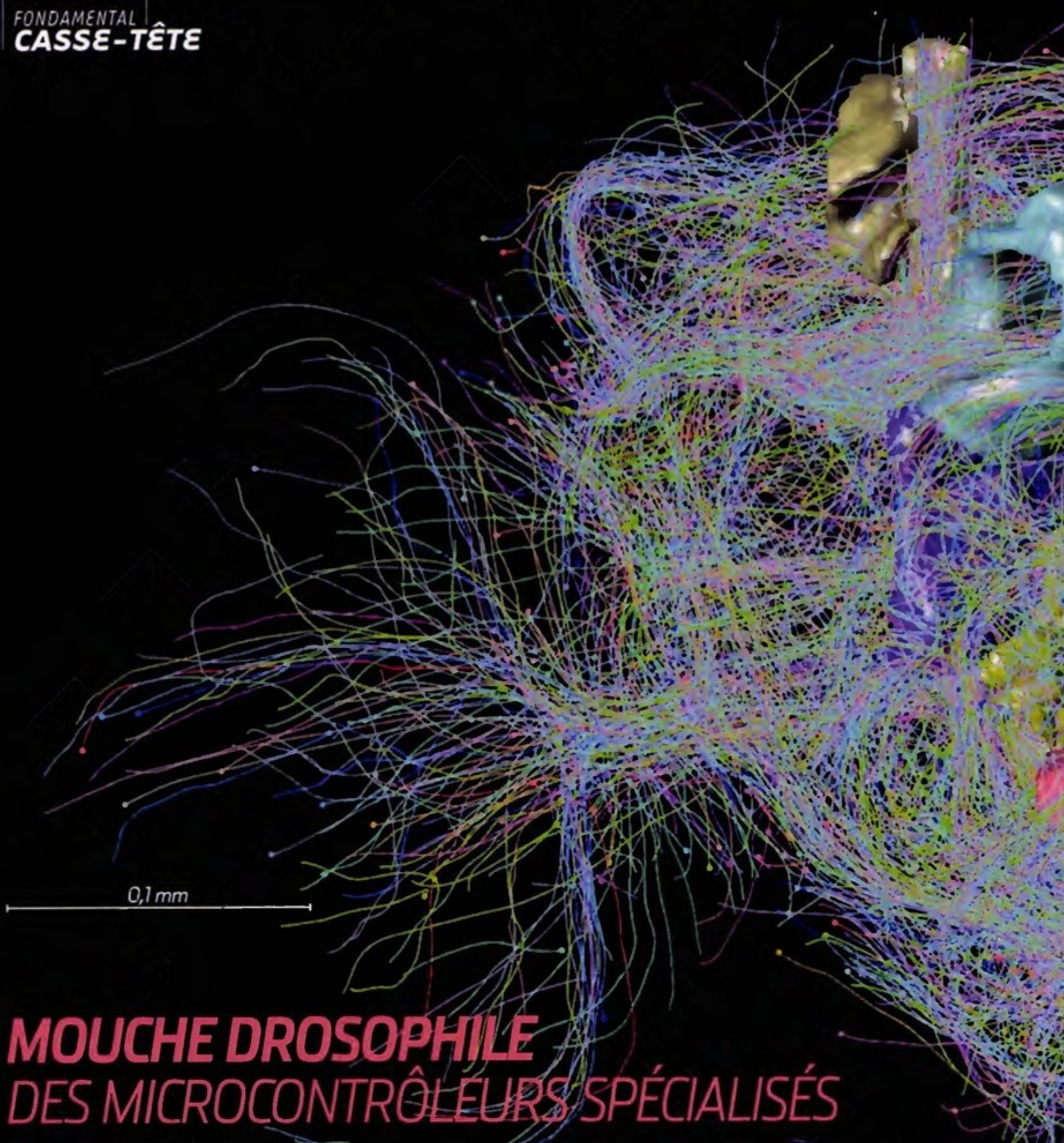


0,5 mm

ABEILLE UN CERVEAU MULTITÂCHE

Au cœur de son cerveau d'un millimètre cube constitué de quelques centaines de milliers de neurones, l'abeille abrite des structures en forme de champignons: les corps pédonculés (en gris sur cette micrographie d'une tranche de son cerveau vu de face). Ils sont impliqués dans l'apprentissage et la mémorisation; leur taille serait liée à la socialité des insectes et à la maîtrise d'un répertoire cognitif très étendu. Car l'abeille a plus d'un tour dans son sac. Les chercheurs lui en reconnaissent même 59! Elle fabrique des rayons de cire hexagonaux, danse pour signaler l'emplacement des fleurs à ses congénères, pique et manipule ses adversaires sans se faire piquer en retour, réchauffe les larves abritées dans la ruche... Autant de comportements différenciés allant des aptitudes motrices (comme le vol agressif) à la communication ("danse" ou "vol en huit" pour localiser la nourriture), en passant par la diplomatie (les ouvrières empêchent les reines rivales de s'entre-tuer).





0,1 mm

MOUCHE DROSOPHILE **DES MICROCONTRÔLEURS SPÉCIALISÉS**

Fin 2010, le cerveau de la mouche drosophile a été cartographié au neurone près pour former un atlas répertoriant faisceaux de neurones (les filaments représentés sur cette reconstruction en 3D), connexions principales, "unités locales" de traitement... Un exploit qui devrait permettre de comprendre les secrets de ce cerveau poids plume, trois fois plus petit que celui de l'abeille. Et qui sait, cet "atlas" pourrait servir à vérifier si les capacités de vol impressionnantes de l'insecte – les mouches sont promptes au décollage, capables de virer sec en un clin d'œil, et d'esquiver journaux et

tapettes – sont bien basées sur les principes qui ont été posés dès 2007. Des chercheurs avaient alors réussi à faire voler un hélicoptère robot miniature imitant le vol d'une mouche. Ils avaient montré qu'il suffit au robot, pour voler, de simples microcontrôleurs électroniques se fiant au flux lumineux défilant sous les pales pour ajuster vitesse, altitude, direction... Son intelligence sociale est l'autre mystère que l'on pourrait lever. On vient en effet de montrer que, de la seule observation de ses congénères, la mouche drosophile déduit quel partenaire fera le meilleur parti pour s'accoupler.





BEHMER/W.GROHNEBERG/SPL/COSMOS

0,1 mm



Comment déterminer dans les souterrains grouillants d'une fourmilière qui doit défendre l'entrée contre les intrus, aider à transporter de la nourriture trouvée aux alentours, déplacer le couvain nouvellement pondu ? Grâce aux phéromones. Ces molécules sont la clé de la division du travail chez les fourmis. Il n'est donc pas étonnant que soient particulièrement développés, dans le cerveau de ce peuple laborieux, les lobes antennaires où se concentrent, en paquets de tissus nerveux appelés "glomérules", les terminaisons des neurones récepteurs olfactifs présents dans les antennes (représentés en rose sur cette reproduction en 3D). Les fourmis ont plus de glomérules que la plupart des autres insectes : environ

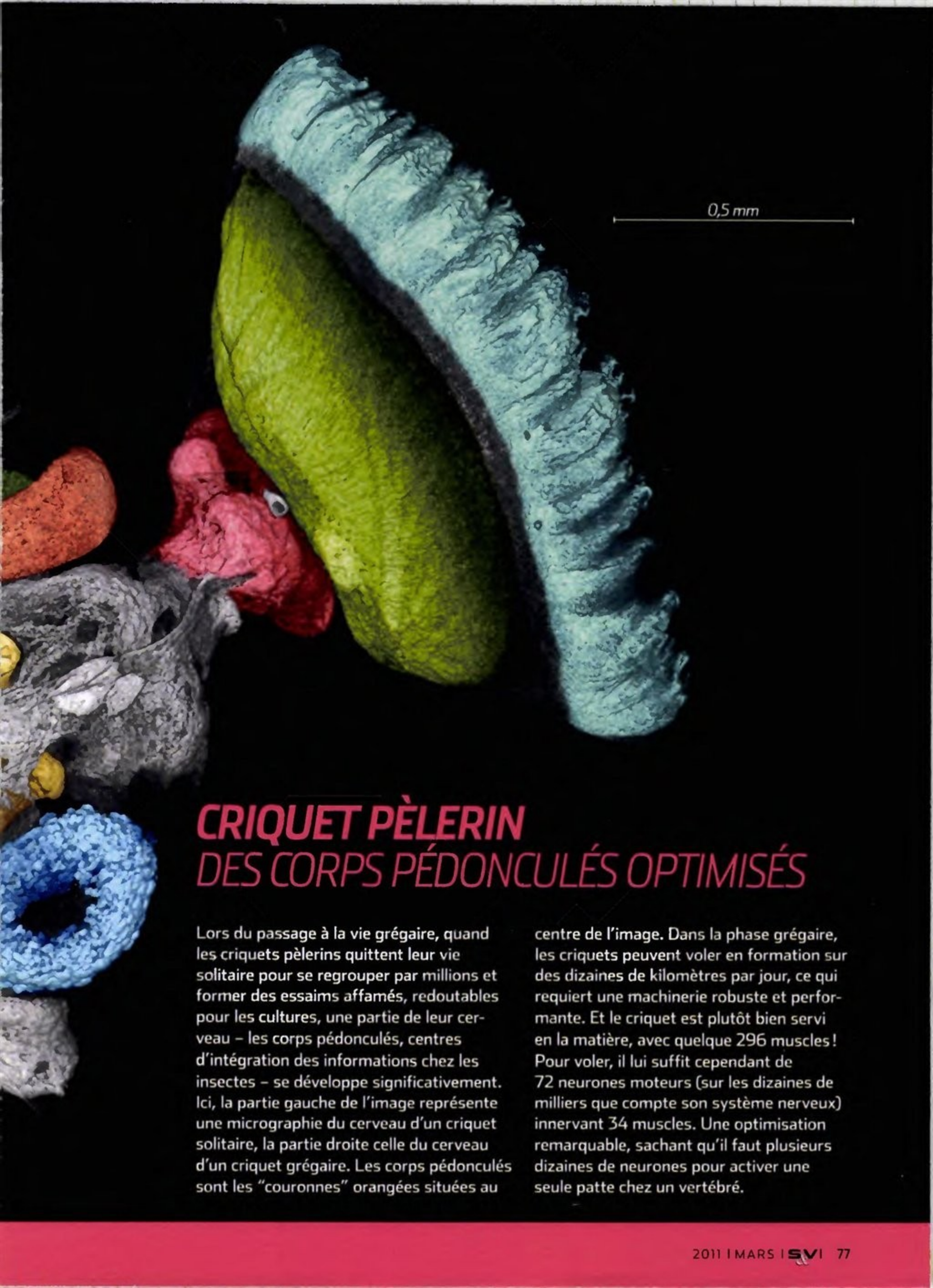
FOURMI LES GLOMÉRULES FONT LA DIFFÉRENCE

400, contre une cinquantaine chez les mouches, 200 chez les blattes... Un luxe de sensibilité aux odeurs qui leur permet d'entretenir une vie sociale complexe. Comme l'écrivait Darwin en 1871, *"les instincts admirablement diversifiés des fourmis sont remarquables [...] alors même que leurs ganglions cérébraux ne sont pas plus grands que le quart d'une tête d'épingle. [...] Le cerveau d'une fourmi est l'une des plus merveilleuses choses dans le monde, peut-être plus encore que le cerveau d'un homme"*.



A. ARMYAGOV/FOTOLIA - S.R. OTT/SPL/COSMOS





0,5 mm

CRIQUET PÈLERIN **DES CORPS PÉDONCULÉS OPTIMISÉS**

Lors du passage à la vie grégaire, quand les criquets pèlerins quittent leur vie solitaire pour se regrouper par millions et former des essaims affamés, redoutables pour les cultures, une partie de leur cerveau – les corps pédonculés, centres d'intégration des informations chez les insectes – se développe significativement. Ici, la partie gauche de l'image représente une micrographie du cerveau d'un criquet solitaire, la partie droite celle du cerveau d'un criquet grégaire. Les corps pédonculés sont les "couronnes" orangées situées au

centre de l'image. Dans la phase grégaire, les criquets peuvent voler en formation sur des dizaines de kilomètres par jour, ce qui requiert une machinerie robuste et performante. Et le criquet est plutôt bien servi en la matière, avec quelque 296 muscles ! Pour voler, il lui suffit cependant de 72 neurones moteurs (sur les dizaines de milliers que compte son système nerveux) innervant 34 muscles. Une optimisation remarquable, sachant qu'il faut plusieurs dizaines de neurones pour activer une seule patte chez un vertébré.



LE TEMPS

VA-T-IL S'ARRÊTER DANS 3,5

En poussant à l'extrême la logique des modèles cosmologiques, des théoriciens ont abouti à cette conclusion : le temps va s'arrêter et les calculs disent même quand. Imparable ? Dans la communauté des physiciens, cette prédiction ne laisse pas insensible. Tout au contraire...

PAR MATHIEU GROUSSON

Voilà une prédiction cosmologique pour le moins étrange : selon les calculs de Raphael Bousso et ses collègues de l'université de Californie, à Berkeley, d'ici environ 3,5 milliards d'années, le temps devrait s'arrêter. Attention, les équations mises au point par ces théoriciens ne décrivent pas une énième version de l'Armageddon impliquant un cataclysme qui ravagerait l'Univers mettant du même coup un terme au temps. Non, leur travail est plus subtil et plus... inquiétant. Leurs calculs montrent que le temps est condamné à se figer

pour l'éternité, comme un clic sur la touche pause arrête le cours d'un film. Ce sera la fin des temps, au sens propre du terme. Une pause sans fin. Une apocalypse de glace.

Voilà qui a de quoi surprendre. Les observations ne montrent-elles pas que l'Univers est actuellement dans une phase d'expansion qui va s'accéléralant ? Autrement dit, s'il continue sur cette lancée, ni l'espace ni le temps ne pourront avoir de fin. Exit donc, la prédiction. Sauf que les chercheurs qui la présentent sont des théoriciens respectés. Et ils sont formels : si on part des



MILLIARDS D'ANNÉES ?

modèles physiques et cosmologiques les plus pointus, et si on va au bout des calculs mathématiques, alors, un jour, tout doit s'arrêter. C'est le froid verdict d'un raisonnement conduit à son terme.

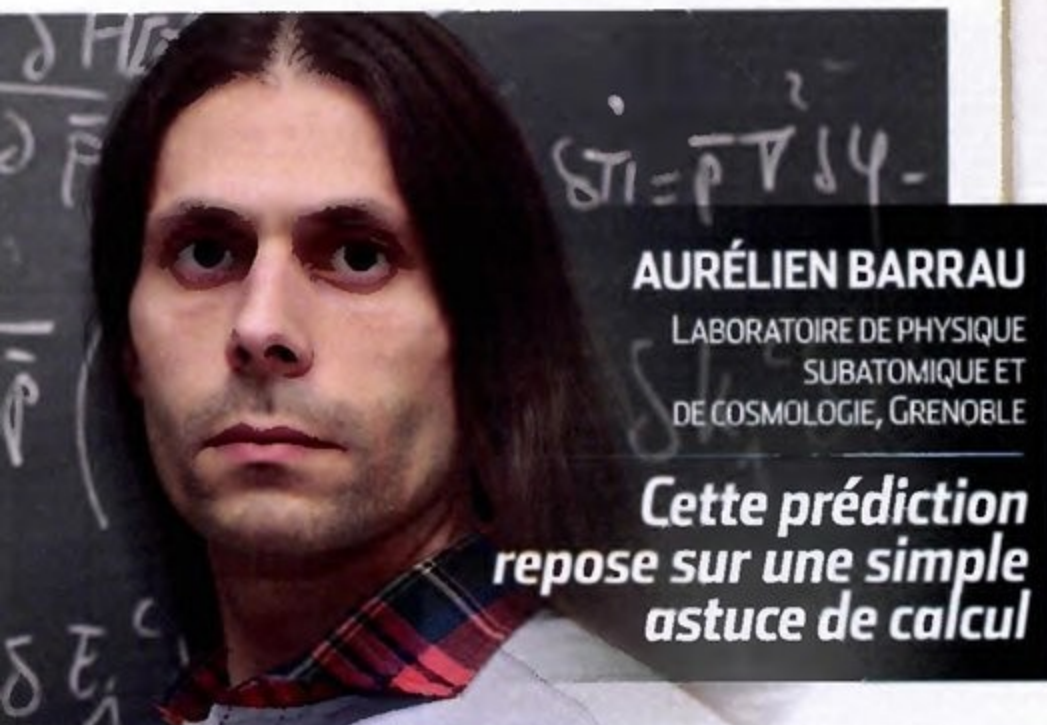
Leur point de départ est solide: ils se fondent sur la théorie des multivers, introduite par Leonard Susskind notamment, qui fait référence au sein d'une partie de la communauté scientifique. Que dit cette théorie? Que notre Univers ne serait qu'une petite bulle au sein d'un méta-Univers plus vaste contenant une infinité d'univers, chacun possédant ses lois

physiques. *"Cela paraît étrange, indique Aurélien Barrau, du Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie, à Grenoble. Mais les multivers sont une conséquence incontournable de la théorie des cordes et de l'inflation."*

PARFAITEMENT LOGIQUE

La première est la spéculation actuellement la plus aboutie pour unifier toutes les forces fondamentales (gravité, électromagnétisme...), et la seconde, qui prévoit que l'Univers a connu dans sa jeunesse une phase d'expansion ultrarapide, est un ingrédient sans lequel la

théorie du big bang s'écroule comme un château de cartes. L'architecture des multivers a beau être audacieuse, elle est parfaitement crédible une fois admis ces deux monuments de la physique moderne. Sur cette base solide, Raphael Bousso et ses collègues ont poussé jusqu'à son comble la logique des calculs de probabilités qu'il est possible de mener sur ces multivers. C'est que depuis que les cosmologistes ont découvert cette théorie, ils se sont demandé comment répondre à des questions telles: "Quelle est la probabilité qu'une partie du multivers possède exactement les lois physiques de notre Univers?" ou "Quelle est la probabilité qu'un univers soit propice à l'émergence de la vie?" Le souci est que le multivers contient une infinité d'univers potentiellement différents. Or, mathématiquement, il est impossible de calculer des probabilités dans un espace infini. En pratique, on n'y parvient qu'à condition de sélectionner une fraction représentative mais finie de cet espace, dans laquelle le calcul est possible, avant d'étendre le résultat à tout l'espace (une procédure appelée "cutoff"). →



AURÉLIEN BARRAU

LABORATOIRE DE PHYSIQUE
SUBATOMIQUE ET
DE COSMOLOGIE, GRENOBLE

**Cette prédiction
repose sur une simple
astuce de calcul**

→ C'est ce que font les spécialistes du multivers: plutôt que d'estimer les probabilités en considérant l'infinité des possibles, ils en sélectionnent une fraction dans laquelle ils savent faire parler leurs équations. Ce faisant – c'est là l'argument des théoriciens américains –, ils affublent le multivers d'une limite spatiale, mais aussi temporelle. Et justement: l'équipe de Berkeley propose de tirer toutes les conséquences physiques de cette exigence issue des calculs mathématiques.

UN CLIMAT DE DOUTE

Leur raisonnement peut se résumer ainsi: une théorie physique n'est valable que si elle donne la possibilité de calculer les probabilités d'événements futurs. Or, les spécialistes de la théorie du multivers ne peuvent faire ces calculs qu'à la condition de supposer que le temps ait une fin; donc, si la théorie des multivers est valable, alors, un jour, le temps doit s'arrêter. Raphael Bousso et ses collègues vont même plus loin. Il est en fait possible de considérer différents *cutoffs* pour mener des calculs dans le multivers, chacun conduisant à une date différente pour l'arrêt du temps. Mais seuls les

cutoffs respectant la causalité (c'est-à-dire comprenant l'intégralité du passé d'un point de l'espace-temps choisi comme point de référence) ont un sens physique. Et ce sont ces derniers qui conduisent à prédire l'arrêt du temps dans notre Univers dans, en moyenne, 3,5 milliards d'années. CQFD.

Déroutant, non? "Notre prédiction n'est pas très standard, admet Raphael Bousso. Ainsi, d'aucuns nous disent qu'elle n'est fondée que sur les mathématiques et aucunement sur un mécanisme physique. Pour autant, si elle pose un problème à quelqu'un, il n'a pas d'autre solution que de rejeter une des prémisses qui y conduisent. C'est-à-dire, soit la théorie des cordes, soit l'inflation, soit la façon dont il est admis que l'on calcule des probabilités dans un espace infini." L'enjeu prend ici une autre tournure... Après tout, si on refuse de croire à cette froide apocalypse, pourquoi, en effet, ne pas remettre en question la théorie des cordes. Loin de faire consensus, celle-ci est aujourd'hui un monstre théorique dont personne ne peut dire s'il en sortira un jour cette fameuse "théorie du tout" tant recherchée. De même, la théorie de l'inflation, si chère au



CARLO ROVELLI

CENTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE
DE LUMINY, MARSEILLE

**Pour moi, c'est
le signe d'une
science qui a
perdu son chemin**

modèle cosmologique standard, n'est en réalité assise sur aucun principe physique qui la rende indispensable. Sans parler du fait que la première n'a jamais reçu une once de confirmation expérimentale et que la seconde fait toujours débat!

Pour Aurélien Barrau, là n'est pas la question: "L'argument de Bousso est un peu faible. Sa prédiction de l'arrêt du temps repose sur une astuce de calcul qu'il utilise pour estimer les probabilités dans un espace infini. Or, pourquoi les limites de cette astuce renverraient-elles à une frontière physique? On peut arguer que lorsque les mathématiciens sauront précisément définir une probabilité dans un espace infini, ces artifices disparaîtront d'eux-mêmes. Les limites de notre esprit ne sont pas à confondre avec celles de la nature!" Carlo Rovelli, du Centre de physique théorique de Luminy, à Marseille, déplore lui aussi ce qu'il entrevoit comme une confusion entre les rôles de la physique et des

REPÈRES

Selon les modèles actuels, notre Univers, né il y a **13,7 milliards d'années**, ne connaîtrait pas de fin. Le Soleil, forgé il y a **4,6 milliards d'années**, devrait s'éteindre dans **12 milliards d'années**. La Terre, elle, serait "vaporisée" dans **6,6 milliards d'années** par l'emballement de notre étoile.



JEAN-PAUL DELAHAYE

LABORATOIRE D'INFORMATIQUE
FONDAMENTALE, LILLE

**Je ne crois pas que ce travail
soit différent de ce que l'on
fait d'ordinaire en physique**

mathématiques: "Cette prédiction ne repose que sur un 'truc' de calcul, par nature arbitraire! Aussi, on ne peut lui accorder aucun crédit. Sauf à conclure, comme le remarque Bousso lui-même, qu'elle exclut une de ses prémisses. Une véritable prédiction physique doit être déduite d'une connaissance supportée par l'expérience. Ou par extrapolation directe de ces connaissances. Ce type de spéculation est le signe d'une science qui a perdu son chemin."

PROVOCATION STIMULANTE

La charge est lourde, mais révélatrice du climat de doute qui s'est emparé de la physique théorique depuis une dizaine d'années. Un climat qui résulte de l'impossibilité de répondre à des questions pourtant posées depuis des décennies: "Comment décrire les interactions fondamentales au sein d'une théorie testable et cohérente?" "Comment dépasser la singularité mathématique associée au big bang?" Les spéculations vont tous azimuts sans que se dégage une direction claire. Dans cette communauté un peu déboussolée, la prédiction de Bousso trouve ainsi des défenseurs. Pour Jean-Paul Delahaye,

au Laboratoire d'informatique fondamentale, à Lille, "le lien entre le réel et les modèles théoriques proposés par la cosmologie est délicat. Peut-être est-il problématique de déduire une prédiction physique d'un 'truc' mathématique, mais c'est toujours ce que l'on fait en physique théorique." Rappelons que c'est en regardant une équation que Paul Dirac a prédit, dès 1928, quatre ans avant, l'existence de l'antimatière. "Je ne crois pas que l'attitude de ces auteurs soit ici différente."

Au point que cette théorie est même jugée par certains particulièrement stimulante. "Ce résultat est provocateur, mais je l'interprète comme le signe éventuel de quelque chose de plus profond qu'un simple problème de probabilités mal définies, explique Pierre Binétruy, directeur du Laboratoire astroparticules et cosmologie, à Paris. En physique des particules, il existe aussi une procédure qui consiste à couper arbitrairement l'échelle des énergies, sans quoi les résultats deviennent mathématiquement



PIERRE BINÉTRUY

LABORATOIRE ASTROPARTICULES
ET COSMOLOGIE, PARIS

**Ce résultat indique peut-être qu'une
autre cosmologie reste à inventer**

aberrants. Cette procédure, utilisée depuis des décennies sans que personne n'ait à y redire, indique que la théorie des particules doit être supplantée à haute énergie par une autre théorie. De la même façon, le résultat de Bousso pourrait indiquer qu'au-delà d'un certain temps, notre description de l'Univers n'est plus la bonne. Ce serait un indicateur qu'une autre cosmologie reste à inventer pour décrire l'Univers au-delà de 3,5 milliards d'années."

Le débat illustre bien la confusion qui règne dans la physique fondamentale. Cette prédiction nous parle-t-elle vraiment de l'avenir du monde? Doit-elle être interprétée comme une porte ouvrant sur une nouvelle physique de l'évolution du cosmos? Est-elle la conséquence absurde des théories contemporaines défaillantes? Dérive-t-elle d'une méprise entre physique et mathématiques? Ou n'est-elle qu'une facétie de théoriciens? Le débat n'a pas fini de stimuler les physiciens. Quelle que soit la réponse, il leur reste un peu de temps pour la trouver... ■



VOL

> Savoir prédire les éruptions : l'enjeu est de taille. Sur l'île de Java, le 26 octobre 2010, le Merapi a fait plus de 300 victimes.

CANIS

ILS NE FRAPPERONT PLUS PAR SURPRISE

Testée avec succès au Piton de la Fournaise, une méthode totalement inédite permet enfin de prédire les éruptions longtemps à l'avance. Son secret ? L'écoute du bruit... des vagues !

PAR EITAN HADDOK

Jeudi 23 septembre 2010, réunion de crise dans la salle de contrôle de l'Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise, sur l'île de la Réunion. Les sismologues viennent de voir s'afficher sur leur écran le signe précurseur qu'ils attendaient : l'avalanche de calculs effectués en temps réel grâce aux quinze capteurs sismiques installés autour du cratère indique que le volcan est en train de se réveiller. En clair, la petite île

de l'océan Indien peut s'attendre à une éruption dans les toutes prochaines semaines. Une précieuse information qui laisse le temps de se préparer...

Faut-il rappeler l'enjeu ? A la fin du mois d'octobre 2010, l'éruption du Merapi, en Indonésie, a causé plus de 300 morts. Une catastrophe qui rappelle que plus d'un demi-milliard d'êtres humains vivent aujourd'hui sous la menace directe de volcans →

A.WEDA/EPA/CORBIS

→ — et cette population ne cesse d'augmenter. D'où la question, lancinante, après chaque événement: pouvait-on le prédire? Et le prochain?

Malgré des progrès accomplis ces dernières années, les techniques traditionnelles basées sur la sismicité et la déformation du sol ne parviennent pas à anticiper suffisamment les éruptions. Mais c'était avant la nouvelle méthode testée sur l'île de la Réunion: elle permet enfin de détecter de façon fiable les éruptions avec une marge suffisante pour alerter et protéger les populations. Pour preuve: vingt et un jours après la réunion du 23 septembre, le 14 octobre 2010, le Piton s'est réveillé... comme prévu!

LES MURMURES DE LA TERRE

Le secret de cette méthode qui, radicalement, change la donne? L'écoute attentive des plus infimes murmures qui sourdent de la Terre. De fait, notre planète vibre d'un bruit permanent. Placez un sismomètre sur le sol, il enregistre un signal continu: le bruit de fond sismique, un bourdonnement *a priori* chaotique et incohérent qui trahit la présence de vibrations ténues provenant des profondeurs de la Terre. Ce bruit sismique est très discret: les vitesses de vibration sont de l'ordre du micromètre/seconde. Et son origine, bien que surprenante, est connue: il provient de l'agitation des océans. Si les théories des différentes interactions entre la houle, les vagues et la terre solide sont encore débattues, on sait, en effet, que l'interaction entre les vagues qui se rencontrent en pleine mer engendre une variation de pression sur toute la colonne d'eau, qui agit sur le sol océanique. →

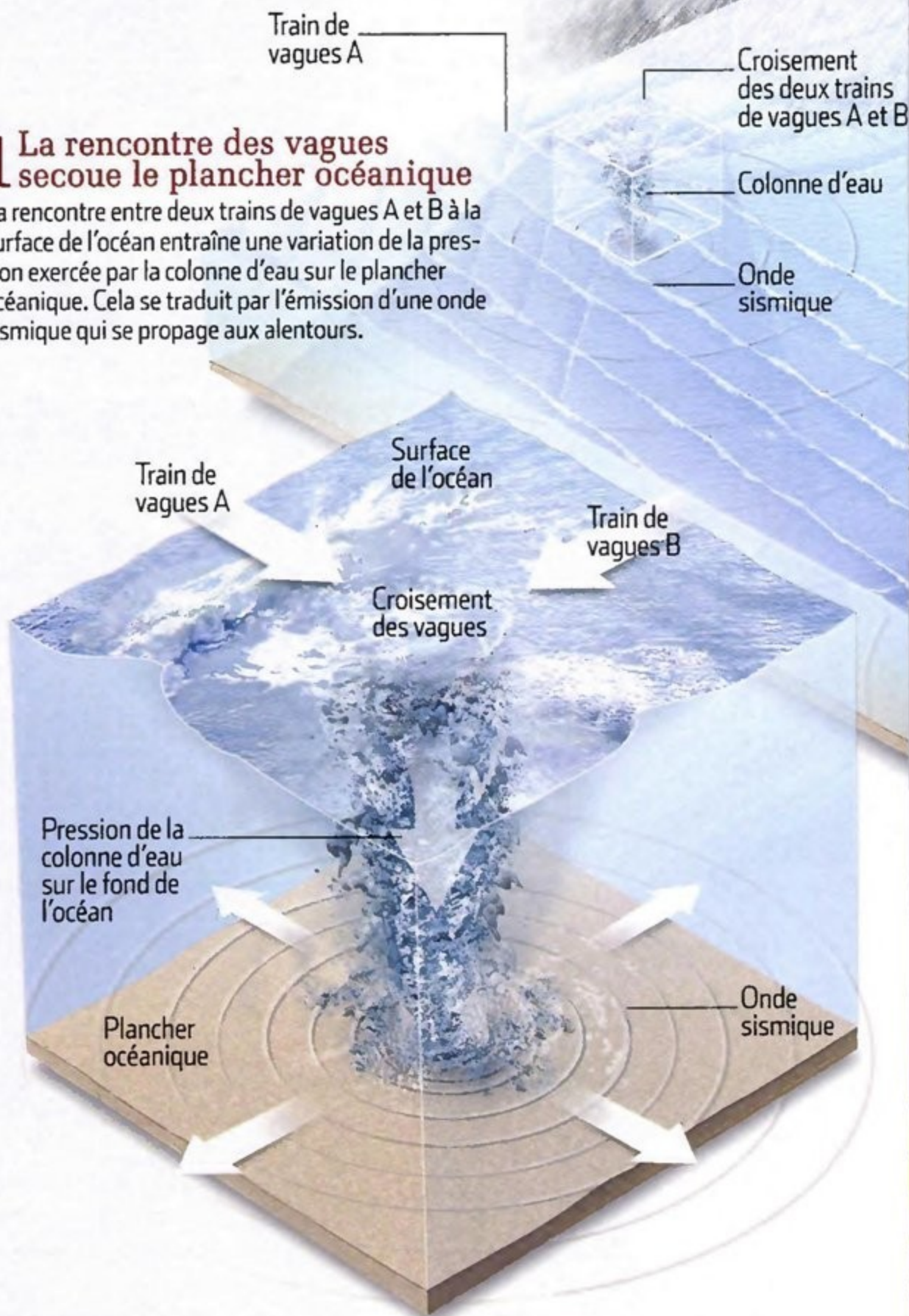
Une méthode révolutionnaire qui s'appuie sur l'écoute de l'océan

Tempête

Les méthodes traditionnelles ne permettent pas de suivre l'activité des volcans suffisamment en profondeur pour prévoir longtemps à l'avance une éruption. L'écoute du bruit de fond sismique produit par l'agitation des océans permet, lui, de repérer très en amont des activités géologiques dues à une remontée du magma.

1 La rencontre des vagues secoue le plancher océanique

La rencontre entre deux trains de vagues A et B à la surface de l'océan entraîne une variation de la pression exercée par la colonne d'eau sur le plancher océanique. Cela se traduit par l'émission d'une onde sismique qui se propage aux alentours.



2 Les ondes sismiques engendrées parcourent la croûte terrestre

Ces ondes sismiques, qui apparaissent en permanence un peu partout sous les océans, parcourent le sous-sol formant un bruit de fond continu et très discret. Leur vitesse de propagation varie en fonction de la nature du sous-sol traversé.

Train de
vagues B en
formation

3 Ce bruit de fond résonne dans les sismomètres autour d'un volcan

Autour du cratère, des sismomètres enregistrent en continu ce bruit de fond. Pour prédire une éruption, il faut choisir un sismomètre de référence (en jaune), puis rechercher son signal spécifique dans les enregistrements des autres sismomètres (en orange), une telle corrélation indiquant la vitesse de propagation des ondes entre les deux stations. De quoi tisser un véritable réseau d'ondes sous le socle du volcan, dont la vitesse de propagation est mesurable en permanence.

Volcan

Un sismomètre de
référence enregistre
le bruit de fond

Cratère

Les autres sismomètres
retrouvent dans leur
enregistrement la trace
du signal de référence

Montée
de magma

Centre
d'analyse

Ce sismomètre
détecte un décalage
du signal de référence
lié à la montée du
magma

Ce bruit de fond
traverse les couches
géologiques

Les ondes sismiques
génèrent le bruit
de fond océanique

4 Une variation dans ces résonances indique une éruption probable

Les calculs de la vitesse du bruit de fond entre les sismomètres sont effectués en temps réel. Si cette vitesse varie, cela signifie que les ondes traversent un milieu dont les propriétés sont en train de se modifier. C'est notamment le cas quand le magma remonte (sismomètre rouge) : une éruption est alors probable.

BAPTÊME DU FEU À LA RÉUNION : UN SIGNAL EST DÉTECTÉ...

La méthode de prédiction des éruptions à partir du bruit sismique a été testée pour la première fois au Piton de la Fournaise, à la Réunion. Durant l'été 2010, les données collectées par 15 sismomètres autour du cratère (ci-dessous) sont envoyées par radar (au centre) et analysées en temps réel... Le 23 septembre, réunion de crise (à droite). Le signal précurseur vient d'être repéré: le volcan se réveille.



DÉBUT DE L'ÉTÉ 2010

→ Ce choc se propage ensuite dans la croûte terrestre, l'onde étant diffractée et réfléchiée par les innombrables points d'hétérogénéité du sous-sol, pour finalement se transformer en un signal diffus et permanent que les capteurs des stations sismiques enregistrent partout (jusque sur les hauts plateaux du Tibet!). Mais, jusqu'ici, les spécialistes des secousses sismiques ne prêtaient guère l'oreille à ces murmures: ils n'écoutaient que les grands fracas.

CAPTER L'ÉCHO DES VAGUES

Pour les sismologues, en effet, chaque grande secousse (séisme, éruption volcanique...) s'apparente à un violent coup de projecteur à l'intérieur de la Terre en générant des ondes puissantes qui se propagent dans le sol. Or, lorsque l'onde est enregistrée dans un capteur dont la distance à la source est connue, cela permet de calculer sa vitesse de propagation. Et puisque celle-ci varie en fonction des

structures géologiques traversées, cela permet d'interpréter la nature du sous-sol. Le problème (si l'on ose dire...), c'est qu'entre chacun de ces événements violents, les ténèbres retombent sur les entrailles de la Terre. *"L'une des frustrations historiques de la sismologie est qu'il faut toujours attendre des tremblements de terre comme source d'énergie"*, confirme Michael Ritzwoller, de l'université du Colorado (Boulder, États-Unis). D'autant que lesdits séismes se répètent en général dans les mêmes régions, laissant le reste dans l'ombre. Autant de raisons qui mettent à mal l'usage systématique de ces grosses secousses pour repérer les éventuels mouvements géologiques profonds annonciateurs de catastrophes sismiques ou volcaniques. Ce qui n'est pas le cas si on écoute le murmure permanent de la houle...

L'idée a été proposée dès 1957 par Keiiti Aki. Pour connaître la nature d'un sous-sol entre deux



COURANT ÉTÉ 2010

FAITS & CHIFFRES

1500 volcans sont actifs aujourd'hui dans le monde.

60 éruptions environ surviennent tous les ans.

Plus de 200 000 victimes ont été recensées au cours de l'histoire documentée des éruptions.

2 milliards d'euros C'est le coût, pour l'Europe, de la dernière éruption de Eyjafjöll, le 20 mars 2010, en Islande.

points, ce très respecté géophysicien japonais proposait d'y placer deux capteurs sismiques et de comparer leur enregistrement du fameux bruit de fond. Témoins du choc des vagues en surface, les minuscules secousses enregistrées à la première station peuvent en effet être interprétées comme un microtremblement de terre produit à cet endroit, dont l'onde se propage, puis est enregistrée un peu plus tard à la seconde station. Il doit donc être possible de retrouver dans ce second signal le son caractéristique du premier, un peu comme un écho se propageant à travers le sous-sol. Or, en parvenant à repérer cet écho dans la cacophonie ambiante, il devient dès lors possible de connaître la vitesse avec laquelle le son se propage entre les deux stations, et donc la nature du sous-sol traversé.



Sur le papier, c'est la méthode idéale. D'abord, parce qu'il suffit de multiplier aux bons endroits les stations d'enregistrement du sous-sol pour en obtenir une cartographie précise. Ensuite, parce que ces vibrations sont permanentes : l'analyse du sous-sol peut être réalisée en continu et en temps réel. Et une fois la corrélation entre les enregistrements de deux stations précisément identifiée, la moindre variation dans la vitesse de propagation des ondes indique un changement des propriétés du milieu. Un changement qui, justement, peut être lié à la fissuration du sous-sol par un déplacement du magma... Le rêve pour les volcanologues : en répartissant les stations autour d'un cratère, ils allaient pouvoir détecter en direct des changements sous l'édifice volcanique. Et donc



prévoir l'éruption bien avant que la poussée magmatique n'atteigne la surface !

Durant des décennies, ce rêve sembla hors de portée. Tout le monde était convaincu que ces résonances entre les murmures de la Terre ne pouvaient être captées qu'à de très petites distances, de l'ordre de la centaine de mètres : au-delà, le signal devenait si brouillé par le bruit qu'il devait être impossible d'établir la moindre corrélation. Un peu comme une minuscule fausse note disparaît dans le tumulte d'un grand orchestre.

UN SIGNAL REPÉRÉ À 1000 KM

"Ce signal est si ténu que Keiiti Aki lui-même doutait qu'il serait possible de le retrouver", se souvient Michel Campillo, sismologue de l'université Jules-Fourrier de Grenoble. Lui était persuadé du contraire. Inspiré par les travaux sur du bruit thermique – plus diffus encore que le bruit sismique –, ce spécialiste du traitement du signal

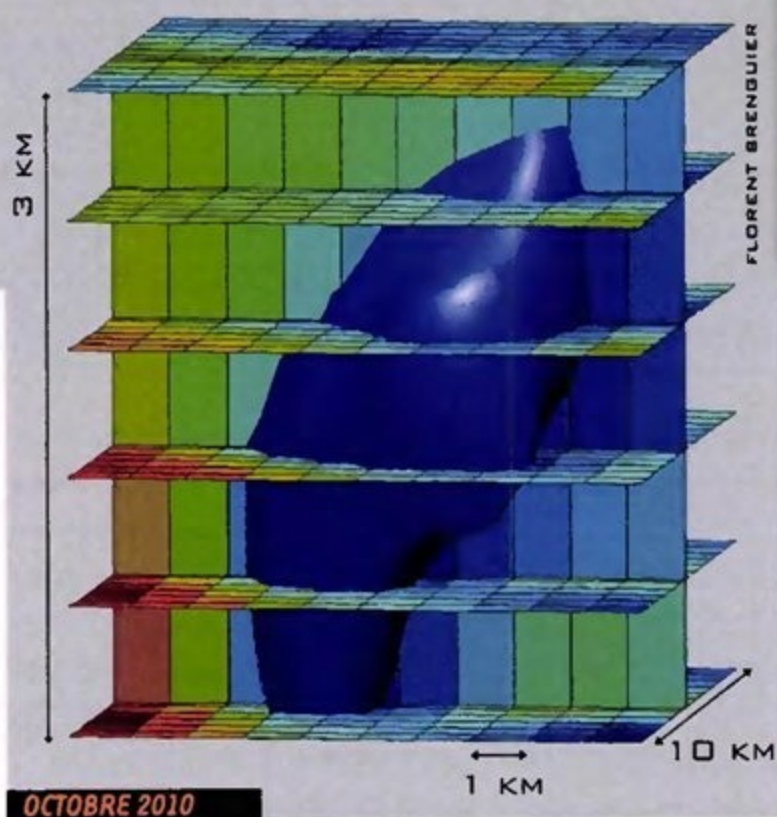
présentait qu'en écoutant les murmures de la Terre sur une période assez longue, et en mobilisant les traitements statistiques du bruit les plus performants, l'aiguille dans la botte de foin pouvait être retrouvée. La suite allait lui donner raison... Après avoir testé, en 2005, sa méthode statistique sur les craquements qui se produisent à la suite d'un séisme, c'est le succès dès l'année suivante : avec Nikolai Shapiro de l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP), il trouve la corrélation entre les bruits de fond enregistrés sur deux stations éloignées de 1000 km ! Un an après le décès accidentel de Keiiti Aki, son idée émise cinquante ans plus tôt est en passe d'être vérifiée. Pour la première fois, on a entendu résonner un soupir de la Terre parmi ses innombrables murmures qu'elle exhale.

Josselin Garnier, mathématicien à l'université Paris-VII, s'enthousiasme : *"Cette nouvelle technique d'imagerie →*

...CE SIGNAL ANNONÇAIT BIEN UNE ÉRUPTION : LA MÉTHODE MARCHÉ

L'analyse du signal repéré prédit une éruption... dans les semaines à venir. Dès lors, l'activité du volcan est suivie en temps réel grâce aux enregistrements des sismomètres (ci-contre). Mis en corrélation, leurs signaux permettent de représenter en 3D la cheminée (ci-dessous) et le suivi de son activité magmatique. Trois semaines plus tard, le 14 octobre, le Piton de la Fournaise entre en éruption. Confirmant avec éclat la prévision établie par cette nouvelle méthode.

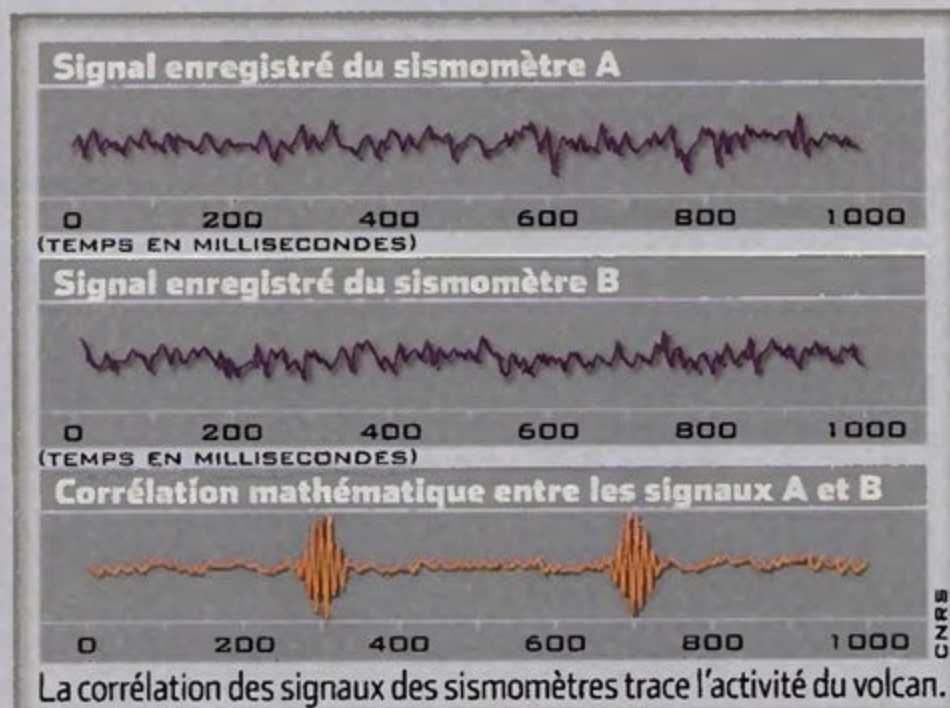
Reconstitution 3D de la cheminée du Piton



OCTOBRE 2010

→ repousse les limites entre les notions de bruit et de signal. Pour un mathématicien, c'est un peu comme transformer du plomb en or !"

En 2007, Michel Campillo, qui tâche de développer cette méthode pour la prédiction des séismes et pour la recherche et le suivi des gisements de pétrole, propose au géophysicien Florent Brenguier, en quête d'un sujet postdoctoral, d'appliquer sa technique aux volcans sur l'île de la Réunion : avec deux éruptions annuelles en moyenne et un observatoire parfaitement configuré, le Piton de la Fournaise apparaît en effet comme l'endroit idéal. Aussitôt



La corrélation des signaux des sismomètres trace l'activité du volcan.

dit, aussitôt fait. Dans un premier temps, Florent Brenguier se plonge dans les données sismiques. En remontant sur deux années d'enregistrements et en se penchant sur chaque couple de capteurs sismiques, il ne tarde pas à établir des corrélations dans les signaux du bruit de fond indiquant la vitesse à laquelle celui-ci s'est déplacé, et donc les structures géologiques qu'il a traversées.

Cette première représentation en poche, le jeune chercheur entreprend d'étudier comment cette vitesse du bruit de fond a évolué avec le temps... et il finit par trouver le signal précurseur qu'il recherche : une nette chute de la vitesse du bruit de fond quelques semaines avant chacune des quatre éruptions observées durant cette période.

LE PITON VALIDE LE MODÈLE

La découverte fait immédiatement grand bruit chez les sismologues. Un tel signe précurseur d'une éruption promet de pouvoir surveiller l'activité des volcans bien plus en profondeur

que ne le permettent les méthodes sismiques traditionnelles et les mesures géodésiques de déformations par GPS, inclinomètre ou extensomètre. Dès lors, les choses vont aller vite. Récompensé par le prestigieux prix Keiiti Aki, Florent Brenguier est nommé, en 2009, coordinateur scientifique de l'ambitieux programme Undervolc (Understanding Volcanoes) déployé à la Réunion, qui rassemble une trentaine de chercheurs du monde entier et dont l'un des objectifs est de valider la méthode du bruit sismique.

Les résultats ne tardent pas. Grâce à des capacités informatiques permettant d'étudier dix années de données, les sismologues confirment rapidement la validité du signe précurseur à quelques semaines. De plus, une nouvelle cartographie de l'intérieur du Piton permet de localiser la bouche d'injection de magma sous le volcan où est repéré un marqueur pré-éruptif supplémentaire... plusieurs mois avant chaque éruption. Enfin, un modèle de suivi spa-



14 OCTOBRE 2010

tio-temporel du magma durant les heures qui précèdent l'éruption est développé par Benoît Taisne, de l'IPGP, afin de suivre en temps réel le moment et le point de sortie de la lave. Restait à subir le baptême du feu.

L'éruption du mois d'octobre 2010, prédite trois semaines avant par la nette variation dans la vitesse du bruit sismique, en a offert l'occasion. Elle a aussi permis de valider le modèle de suivi du magma en temps réel au cours des heures précédant l'éruption. Le test a donc été un succès éclatant. *"Undervolc permet d'affiner considérablement notre modèle volcano-sismique, assure Florent Brennguier. Nous allumons des témoins à plusieurs échelles de temps, quelques mois, quelques semaines et quelques heures avant l'éruption. Et ce sont ces marqueurs pris dans leur ensemble qui améliorent la prédiction et la surveillance du volcan."* Yosuke Aoki, de l'uni-

versité de Tokyo, applaudit des deux mains: *"Avant l'ère du bruit sismique, il était impossible d'avoir une image fiable de l'évolution temporelle de la structure sismique, un élément clé de la prédictibilité volcanique. Même si nous ne connaissons pas la nature précise de ces changements, nous savons désormais quand ils ont lieu."*

ET LES VOLCANS EXPLOSIFS ?

Le travail n'est pourtant pas fini. L'objectif du programme Undervolc, à l'horizon 2012, est de développer un algorithme dédié à cette nouvelle méthode d'analyse du bruit sismique afin de l'appliquer à d'autres volcans. Car tous ne ressemblent pas au Piton de la Fournaise. *"La méthode du bruit est prometteuse mais n'a cependant pas encore été testée de manière approfondie sur des volcans explosifs, souligne Bernard Chouet, de l'USGS, l'organisme de surveillance géologique américain.*

Il est donc prématuré d'émettre un pronostic sur son potentiel prédictif pour ce type de volcan. Mais le Merapi, très actif, paraît être un excellent candidat pour le vérifier."

C'est du reste le dernier et précieux avantage de cette méthode: elle est facile à mettre en place. Les zones à risques possèdent en effet généralement déjà un réseau sismique aux données exploitables. Et si les calculs de corrélation sur des temps d'enregistrement très longs nécessitent des capacités de calcul et de stockage de données très importantes, l'investissement reste raisonnable (et délocalisable). Nous sommes donc peut-être à l'aube d'une nouvelle ère pour la surveillance de l'activité volcanique et la protection des populations menacées. Dans quelque temps, peut-être, les plus spectaculaires colères de la Terre seront prédites sans coup férir grâce à ses plus discrets murmures.

Le site de l'Institut de physique du globe de Paris: <http://www.ipgp.fr/>

EN
SAVOIR
PLUS**

Temple d'Angkor

LE PLUS GRAND PUZZLE AU MONDE RECONSTITUÉ

300 000 pierres éparpillées dans la jungle : voici ce qui restait en 1995 du temple du Baphûon, fleuron de la mythique cité khmère. Quinze ans plus tard, il a retrouvé toute sa splendeur ! Retour sur un chantier hors norme.

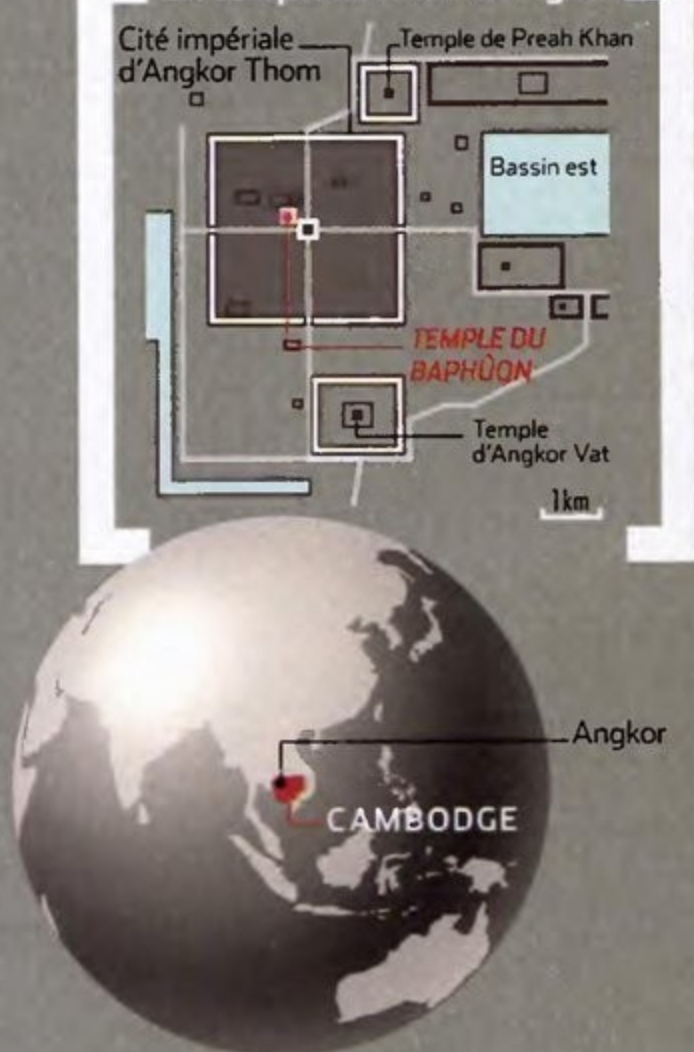
PAR EMILIE RAUSCHER



Si remaniements et effondrements ont altéré son apparence originelle (voir simulation 3D), le temple a pu être sauvé après avoir été entièrement démonté, consolidé puis reconstruit.

Qui n'a jamais fait de puzzle ? Peiné à trier ses 300 pièces, un œil sur le modèle ? Une fois l'œuvre accomplie, il ne reste plus qu'à la démolir et à la ranger dans sa boîte. Mais imaginez que vous ressortiez un jour ce puzzle... pour constater que la boîte est détruite, les pièces abîmées et le modèle perdu ! A peine vous souvenez-vous d'un château se découpant sur un ciel bleu... Imaginez maintenant qu'il n'y ait pas 300 pièces éparpillées sur la table, mais 300 000, disséminées sur 10 hectares de forêt vierge. Que chacune pèse entre 500 kg et 2 tonnes. Qu'il vous faille les assembler en trois dimensions. Enfin que vous soyez obligé de →

Un temple au cœur d'Angkor



→ réussir, le modèle à reconstituer n'étant plus l'image d'un château mais un temple tout entier, classé au patrimoine mondial de l'Unesco... Et dont les plans, pour ne rien arranger, ont été détruits ou perdus ! Eh bien cet indescriptible casse-tête, l'architecte Pascal Royère et l'Ecole française d'Extrême-Orient (EFEO) en sont venus à bout : à Angkor, en plein cœur de la mythique capitale khmère, ils ont passé quinze ans à ressusciter pierre après pierre le Baphuon, temple-montagne caractérisé par sa forme de pyramide à degrés.

L'histoire commence il y a dix siècles. D'emblée, l'édifice sort du lot. *"Il se distingue par ses dimensions spectaculaires : la pyramide centrale, d'1,5 ha d'emprise au sol, s'élève en trois gradins à 35 m de hauteur. Mais aussi par son style architectural : c'est le premier monument entièrement en grès et à galeries concentriques sur chaque étage. Enfin par son iconographie, les pavillons axiaux étant ornés de bas-reliefs,* décrit Pascal Royère, responsable de la restauration pour l'EFEO. Il ajoute, souriant :

"Il se distingue aussi par l'état de délabrement dans lequel on l'a retrouvé au XIX^e siècle..."

Dès sa construction, l'audacieux temple-montagne dédié à Shiva pose en effet souci. Derrière les hautes parois sculptées se cache un imposant remblai sablonneux qui se tasse sous les fortes pluies de la mousson et déforme les murs, ce qui nécessite rapidement des contre-

C'EST D'UN EFFONDREMENT CATASTROPHIQUE QU'EST NÉ CE PROJET DE SAUVETAGE DÉMESURÉ

forts, camouflés en escaliers factices aux angles de la pyramide. Puis, à partir du XV^e siècle, le pouvoir khmer délaisse Angkor au profit d'une autre capitale. Désertée, la cité royale devient peu à peu la proie de la jungle. Au XVI^e siècle, le Baphuon est dépouillé des pierres de son troisième gradin pour édifier un immense Bouddha long de 75 m, couché sur sa terrasse ouest.



1943

Ce lent déclin va durer quatre siècles. Il faut attendre 1908 pour que les archéologues français – Indochine française oblige – s'intéressent au vieux temple. Il est certes mal en point, mais le pire reste à venir... *"Jusque dans les années 1950, des travaux de consolidation ont lieu, retrace Pascal Royère. Mais ils n'empêchent pas d'autres effondrements: celui de 1943 emporte tout le quart nord-est de l'édifice, le menaçant d'une ruine complète."* D'autres éboulements suivront. Un mal pour un bien, finalement...

UN PUZZLE ÉPARPILLÉ DANS LA FORÊT

Car de cette catastrophe naît, en 1960, un projet de sauvetage quasi insensé. *"Initiée par Bernard Philippe Groslier, alors directeur des recherches archéologiques de l'EFEO, l'idée était de renforcer les maçonneries des soubassements des gradins et de mettre en place un réseau de drainage adapté pour diminuer les infiltrations d'eau de pluie. Une procédure qui impliquait la dépose préalable des structures encore en place... Et donc le démontage et le stockage →*

1 000 ANS D'ABANDON ET DE RUINE

IX^e siècle

Fondation d'Angkor, nouvelle capitale khmère.

XI^e siècle

Construction du temple-montagne du Baphûon, par Udayâdityavarman II, et premiers soucis de stabilité.

XVI^e siècle

Alors que la ville est quasi abandonnée, le temple est transformé et certaines de ses pierres utilisées pour bâtir un gigantesque Bouddha couché sur sa face ouest.

Début du XX^e siècle

Angkor et le Baphûon connaissent leurs premiers travaux de restauration.

1943

Un effondrement massif emporte tout le quart nord-est du temple. D'autres suivront encore (1949, 1952, etc.), imposant des mesures plus drastiques.

Années 1960

Lancement de l'ambitieux sauvetage du temple, qui implique son démontage et remontage complet.

1970-1971

Alors que le démontage est achevé et la phase de consolidation à peine entamée, la guerre civile contraint les archéologues à abandonner le chantier.

1995

Cinq ans après le retour des archéologues, les travaux reprennent: ils commencent par l'inventaire des pierres retrouvées dans la forêt.



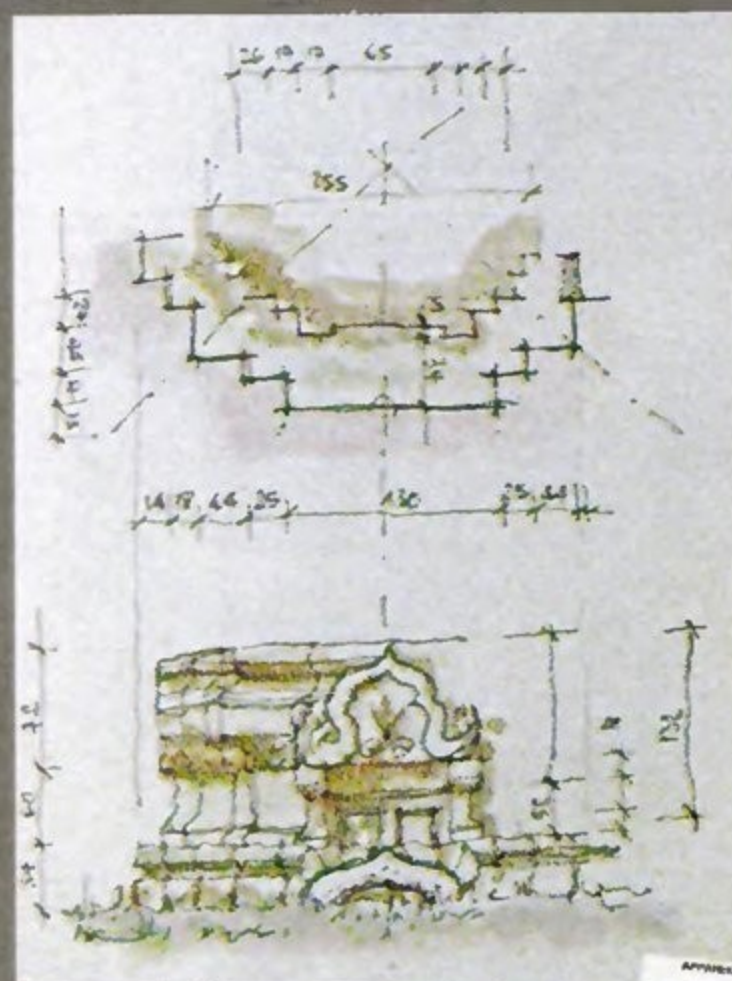
1949



1963



1995



15 ANS POUR TOUT TRIER ET REMONTER

Les travaux reprennent en 1995 sur le chantier du Baphuon. Les archéologues analysent les pressions sur les murs (en bas, à gauche) et mettent en place une base de données qui décrit l'ensemble des éléments du puzzle.

→ d'environ 300 000 blocs de grès sculptés", expose l'architecte. En clair, il s'agit de réduire le Baphuon à l'état d'un immense puzzle à ciel ouvert pour mieux le reconstituer ensuite. Une technique délicate, l'anastylose, jamais tentée jusque-là à si grande échelle.

Mais la guerre civile qui ravage le pays dans les années 1970 bouleverse le projet. Alors que le démontage est achevé et les premiers travaux de consolidation lancés, le chantier doit être abandonné en toute hâte, les combats gagnant Angkor. Et pendant vingt ans, "le Baphuon va rester en l'état: une pyramide aux parements démantelés, dont seul le squelette est maintenu en place tandis que des centaines de milliers de pierres gisent, entreposées sur 10 ha de forêt autour du temple... Voilà la situation dont nous avons hérité lorsque nous avons repris le chantier avec l'EFEO et les autorités cambodgiennes en 1995", décrit Pascal Royère. Pis: alors que le temple gît démembré, "les documents constitués au cours des années 1960-1970, dont les descriptifs de l'état des lieux et les relevés graphiques, sont





< Après un minutieux inventaire et une fois leur emplacement retrouvé, les blocs de grès sont rassemblés par familles : façade, gradins, etc.

> La multiplicité des éléments en relief complique le travail d'identification.



détruits en 1975 lors de la chute de Phnom Penh. Seuls subsistent alors un peu moins d'un millier de photos prises entre 1910 et 1975, et les journaux de fouilles tenus par les conservateurs d'Angkor..."

300 000 PIERRES À REMETTRE EN PLACE

Dans ces conditions, le projet de reconstituer le temple, relancé en 1990 sous l'égide de l'EFEO et en partenariat avec l'APSARA, l'autorité cambodgienne en charge du site, n'est plus seulement ambitieux et inédit : il devient hors norme. Car il implique de retrouver et classer les pierres éparpillées dans la forêt et, depuis le temps, recouvertes de mousse ; puis d'identifier leur emplacement sur l'édifice, mais sans l'aide d'aucun plan de montage...

Seul un long et fastidieux travail réalisé sur place permet d'inventorier chacune des quelque 300 000 pierres. Un travail de titan qui, démarré en 1995, durera quatre ans et mobilisera près de 70 % des deux à trois cents artisans recrutés pour le chantier. Ce n'est que lorsque ce travail est suffisamment avancé que débute la deuxième phase : tenter de remettre les →

▲ En parallèle, le remblai central qui fragilisait le temple est stabilisé et doté d'un système de drainage.

LES LOGICIELS AUSSI SE CASSENT LA TÊTE

Faire appel à l'intelligence artificielle pour résoudre des puzzles est un classique. Dans tous les cas, "le problème principal n'est pas la puissance de la machine, mais la combinatoire, le nombre de paramètres à gérer pour le logiciel", indique Radu Horaud, directeur de recherche à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique. Car le programme a besoin d'une base de données recensant les pièces, et doit aussi pouvoir les distinguer pour les assembler correctement. Pour un puzzle en 2D, des algorithmes de reconnaissance d'images peuvent suffire. En 3D, le logiciel doit en plus être capable de raisonnement géométrique, c'est-à-dire pouvoir indiquer quelles faces composent entre elles une seule et même pièce. Concevoir ce genre de logiciel est donc un défi intéressant, mais très coûteux en temps et en argent.



MARS 2011 : LE TEMPLE RENAÎT ENFIN

Cette vue en 3D réalisée en 2004 donnait déjà une idée précise du résultat vers lequel tendaient les architectes. Six ans plus tard, au moment des derniers travaux, l'édifice est prêt à réapparaître dans toute sa splendeur, conformément aux prévisions.

→ pierres à leur place d'origine. Les architectes espèrent alors pouvoir recourir à l'informatique: "Nous avons tenté de développer un logiciel avec l'espoir qu'il nous aide pour la reconnaissance des pierres. Notre idée était d'analyser de façon poussée les décors afin d'isoler des familles de blocs (façades, fenêtres, etc.) avec des motifs identifiants, que nous aurions ensuite subdivisés... Cela revient vraiment à faire un puzzle: on classe les pièces qui ont un bord, celles en angle, celles d'une même couleur, etc. Nous aurions ensuite modélisé les pierres et mis au point un système capable, pour un emplacement donné du temple, d'identifier quelques candidates parmi les 300 000 possibles", détaille Pascal Royère.

LA PATIENCE POUR SEUL OUTIL

Simple en apparence, l'idée s'est avérée dans les faits impossible à appliquer. "Beaucoup de paramètres, immédiatement interprétables pour nous sur le terrain, ne le sont pas pour un programme: par exemple, les types d'usure due aux intempéries et aux frottements entre pierres, ou une altération des couleurs à cause d'une gouttière. Le logiciel s'est donc avéré trop lourd et compliqué à écrire." Au final, l'informatique n'a fait qu'une brève et tardive

FAITS & CHIFFRES

Pour assembler **300 000** pierres, pesant entre **500 kg** et **2 tonnes**, réparties sur **10 ha**, il a fallu mobiliser en moyenne **230** personnes par jour pendant **15 ans** (charpentiers, tailleurs de pierre, dessinateurs, etc.), pour un coût de **9,5 millions d'euros**, financé aux **2/3** par le ministère des Affaires étrangères français et à **1/3** par l'EFCO.

incursion sur le chantier, à travers une représentation 3D globale du temple.

C'est l'un des paradoxes de ce projet unique: un logiciel devait trier les pierres et retrouver leur place dans le temple disparu, puis les experts humains valider l'ensemble... Mais c'est l'inverse qui s'est produit! Et, pour réussir là où la technologie s'est révélée impuissante, les équipes franco-cambodgiennes n'ont pas eu d'autre choix que de s'armer de patience, en revenant aux fondamentaux du puzzle, à savoir le recensement, le tri et l'emboîtement des pièces. En définitive, ce chantier fut un prodigieux jeu d'enfant qui aura duré quinze ans. Avec, comme guide, le travail préparatoire effectué pour le logiciel inachevé classant les blocs de pierre par familles, d'anciens clichés du temple, quelques rares documents d'époque et, surtout, la façade ouest – la seule qui soit restée intacte. Il a fallu aussi étudier les jeux de symétrie entre façades utilisés ailleurs par les





constructeurs khmers; traquer les répétitions de certaines formes et les combinaisons des moulures, les traces de taille sur les pierres, etc.

DES DÉCORS D'ORIGINE RETROUVÉS

Un travail finalement payant ! Car, petit à petit, motifs et bas-reliefs ont été reconstitués sur le papier pour chaque portion du temple. En parallèle, le regroupement par familles des pierres était lancé afin de rassembler les blocs par tronçons dans la forêt. *“Evidemment, note Pascal Royère, cela nous a demandé de nombreux essais et démontages pour chaque motif – parfois jusqu’à une quinzaine de tentatives.”* Pendant ce temps, les ouvriers achevaient de stabiliser le remblai central et d’installer son système de drainage pour qu’il soit prêt à recevoir son précieux parement.

Le remontage *in situ* des tronçons recomposés a constitué la dernière étape. Celle qui, après quinze ans d’un chantier incomparable, va

s’achever en ce début 2011. Au fil des années et des éléments remplacés, les belles formes du temple-montagne sont réapparues, émergeant du chaos de la jungle. Et nous, témoins privilégiés, pourrons bientôt le voir comme personne ne l’a jamais vu ! Car la méthodologie rigoureuse des spécialistes franco-cambodgiens leur a permis de retrouver des décors oubliés depuis des siècles. En redonnant forme au grand Bouddha allongé sur la terrasse ouest, ils ont ainsi récupéré les pierres de parement qui avaient été arrachées au XVI^e siècle à la troisième terrasse pour les remettre autant que possible à leur emplacement d’origine – sans que cela n’altère en rien la majestueuse et paisible silhouette sacrée.

Ainsi paré, dans le respect de ses avatars passés des XI^e et XVI^e siècles, le Baphuon est assuré de renaître dans toute sa splendeur. Une splendeur qui, à jamais, portera aussi la trace des hommes d’aujourd’hui.

EN
SAVOIR
PLUS**

Angkor, coll. Beaux
Arts, éd. Hazan,
octobre 2010,
réédition enrichie.
<http://www.efeo.fr> : le
site de l’Ecole française
d’Extrême-Orient

OBJECTIF

RÉCUPÉRER L'ÉNERGIE DU QUOTIDIEN

Marcher, parler... La moindre de nos activités dégage une énergie... qui ne sera plus perdue! Car d'ingénieux dispositifs visent à l'exploiter à des fins utiles. En voici déjà 5.

PAR MURIEL VALIN

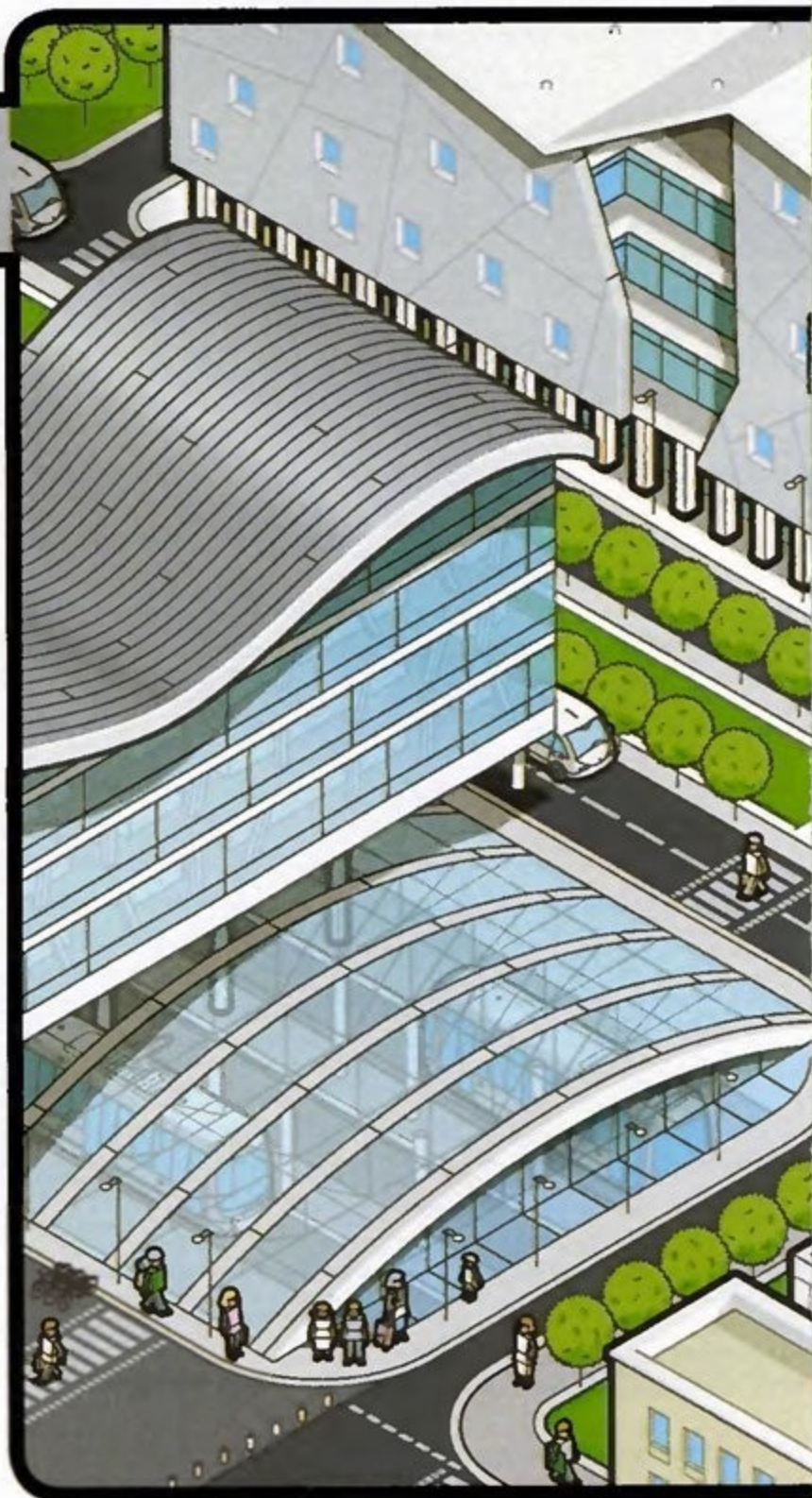
Quel point commun entre un trottoir, une conduite d'eau, un portable ou une gare? Ce sont des sources d'énergie. Vous avez bien lu: un trottoir ou une tuyauterie d'immeuble peuvent... produire de l'électricité! C'est que la recherche de nouvelles sources d'énergie ne connaît plus de limites, quitte à prendre des voies aussi insolites qu'ingénieuses. Ainsi, l'idée a-t-elle germé d'exploiter ici et là l'énergie qui se dégage du quotidien. Par exemple, la marche produit à elle seule entre 50 et 100 watts, soit autant que certaines ampoules électriques. Alors, pourquoi perdre ces watts quand ils pourraient être récupérés? Des travaux tentent d'exploiter aujourd'hui l'énergie quotidiennement dissipée dans notre environne-

ment. Et ça marche: véhiculée sous forme de chaleur, d'ondes, de vibrations ou de mouvements, cette énergie peut alimenter d'autres applications, via d'étonnants dispositifs déjà opérationnels.

LA COURSE À LA RENTABILITÉ

A la pointe de ce "courant", un projet baptisé "*energy harvesting*" (littéralement "récupération d'énergie"), né il y a une dizaine d'années dans plusieurs laboratoires de recherche aux quatre coins du globe. Au départ, l'idée visait à récupérer cette énergie du quotidien pour alimenter des capteurs autonomes, destinés à l'habitat ou à l'industrie. Sur le papier, l'idée était belle. Problème: des coûts trop élevés pour des rendements trop faibles ont eu raison de ces

premiers essais. Il faut dire qu'ils s'appuyaient essentiellement sur deux principes physiques: la thermoélectricité (ou propriété qu'ont certains matériaux de transformer la chaleur en électricité) et la piézoélectricité (soit la capacité de certains matériaux à créer une charge électrique dès qu'ils subissent une action mécanique.) Or, "*à cette époque, ces technologies étaient peu mûres et non rentables*", se souvient Frédéric Gaillard, chercheur au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). C'était avant que de nouveaux





ILS RÉCUPÈRENT L'ÉNERGIE ...

... DE LA MARCHÉ À PIED



Marcher, c'est appliquer un poids sur le sol. Partant de ce constat physique, une dalle ne pourrait-elle alors récupérer cette énergie cinétique et la convertir en électricité ? En 2000, cette idée a pris forme dans la tête de plusieurs chercheurs à travers le monde et, huit ans plus tard, est née à Rotterdam... une discothèque. Conçu par les universités techniques d'Eindhoven et de Delft (Pays-Bas), le Sustainable Dance Club repose sur un ensemble de 64 dalles posées sur des ressorts qui entraînent un générateur capable de transformer le

mouvement du sol en électricité. Le système produit 20 watts par dalles (1 pas = 6 watts), ce qui permet d'éclairer pour partie l'intérieur du bâtiment.

Un trottoir qui produit du courant

En 2010, la mairie de Toulouse reprend l'idée avec un chercheur de l'Ecole nationale supérieure d'électrotechnique et une start-up, Viha Concept. Un trottoir composé de 20 dalles qui s'enfoncent de 5 mm sous chaque pas permet d'utiliser l'énergie cinétique des passants pour déplacer un aimant situé sous la dalle et produire du courant : de quoi alimenter un lampadaire à LED consommant 50 watts. Un prototype est en cours d'installation dans la rue.

matériaux (composés intermétalliques, skutterudite...) changent, il y a deux ans, la donne en permettant à des applications thermoélectriques de résister à de plus hautes températures et d'avoir un meilleur rendement de conversion énergétique. Quant à la piézoélectricité, son développement dans le secteur industriel a contribué à sa meilleure maîtrise, ce qui a dopé ses performances et abaissé son coût. De quoi donner un coup de fouet à l'*energy harvesting*.

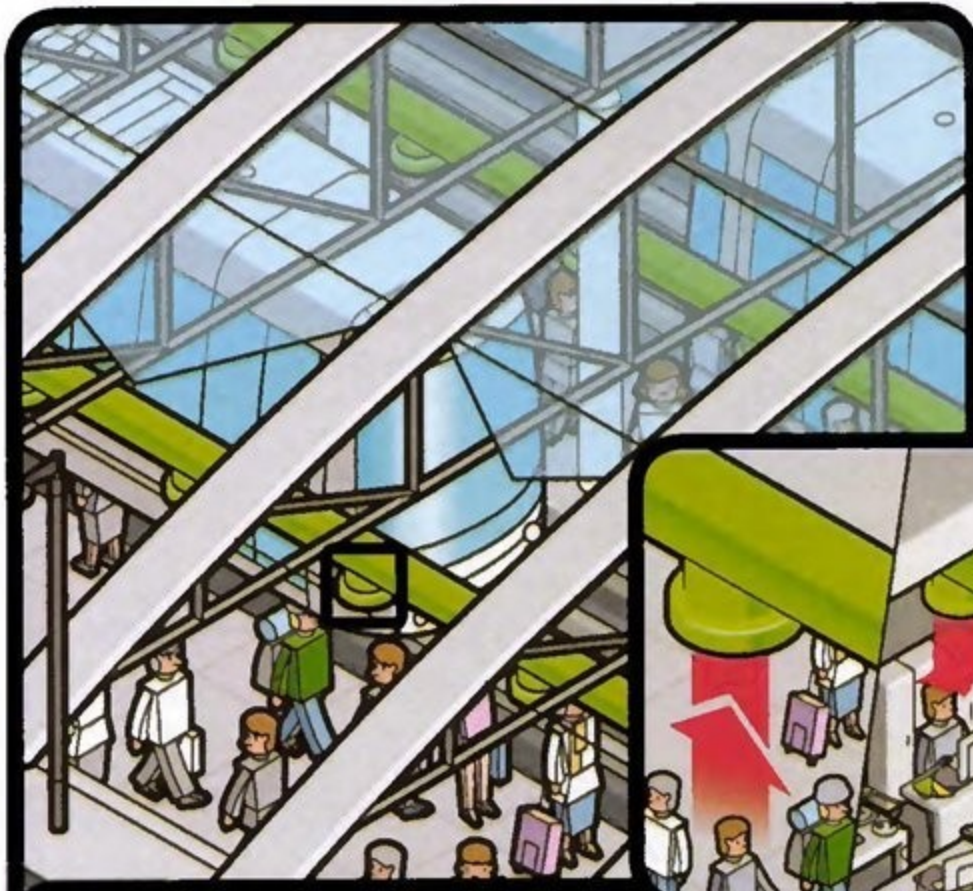
Bien sûr, ces dispositifs de récupération d'énergie ne pré-

tendent pas concurrencer les grandes sources traditionnelles ou alternatives. "Il faut avoir en tête qu'un élément thermoélectrique ne peut produire que 5 à 10 W/m² quand un panneau photovoltaïque fournit 130 W/m²", résume Frédéric Gaillard. Mais tel n'est pas le but. "L'une des motivations de ces recherches, c'est de pouvoir un jour alimenter des petits composants électroniques ne nécessitant pas de grosses puissances, comme les appareils nomades ou les capteurs médicaux", explique Alper Erturk, du département d'ingénierie

LE CHIFFRE CLEF

Plus de **50 %** de l'énergie produite par la plupart de nos installations industrielles (centrales nucléaires, moteurs, chaudières...) est aujourd'hui de l'énergie "perdue".

mécanique de l'université de Virginie. Cela pourrait aussi alimenter "des petits systèmes électriques décentralisés, dans des lieux isolés où le réseau traditionnel coûte cher à développer : dans des vallées ou dans des pays en voie de développement. Cela pourra même servir comme énergie d'appoint lors de pics de puissance électrique", poursuit Frédéric Gaillard. Conclusion : il n'y a pas de petites économies... y compris pour l'énergie ! ■



ILS RÉCUPÈRENT L'ÉNERGIE ...

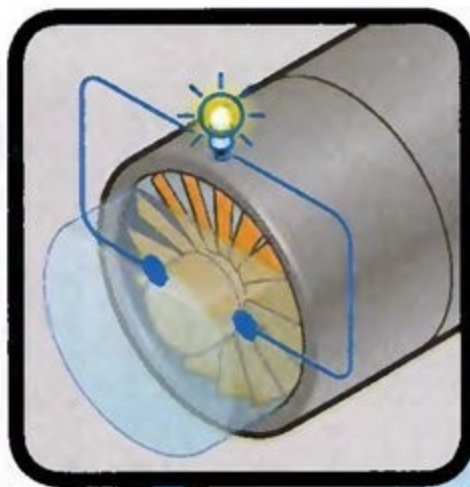
... DE LA CHALEUR HUMAINE

37,5 °C. Le corps humain est un miniradiateur ambulante qui chauffe tout autour de lui... A lui seul, il fournit l'équivalent d'une puissance de 50 à 100 watts en permanence. A partir de cette idée, Jernhusen, une entreprise suédoise, s'est mis en tête, en 2007, de récupérer cette source thermique inédite pour chauffer un immeuble de 13 étages.

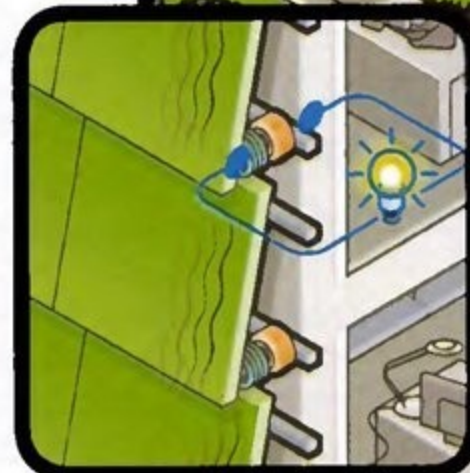
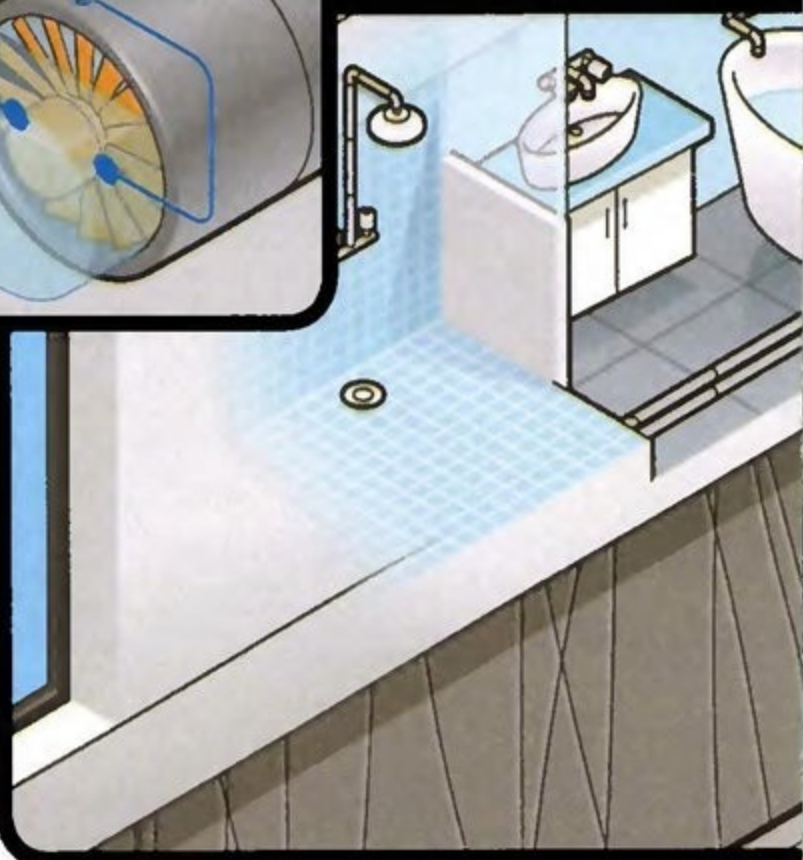
200 000 personnes chauffent l'immeuble

Pour disposer d'une quantité d'énergie suffisante, un seul individu ne suffit évidemment pas. Mais à 200 m du lieu de construction dudit immeuble, un "radiateur" semble tout trouvé: la gare de Stockholm, où plus de 200 000 visiteurs circulent tous les jours! Reste à trouver le moyen de transporter la chaleur corporelle

collective produite dans cette gare jusqu'à l'immeuble à chauffer. Pour y parvenir, l'astuce fut d'installer un système de ventilation qui récupère la chaleur humaine pour chauffer un circuit d'eau via un échangeur thermique. Cette eau est ensuite acheminée par des tuyaux souterrains jusqu'à l'immeuble voisin. A l'arrivée, un dispositif symétrique permet de libérer la chaleur en quantité éloquentes: "Ce dispositif va permettre de couvrir environ 30 % des besoins en chauffage de l'immeuble", annonce Karl Sundholm, responsable de l'installation qui vient d'être achevée. En s'inspirant de cette idée, Paris Habitat et la RATP sont en train d'étudier la faisabilité technique de chauffer un immeuble parisien grâce à la chaleur puisée dans les couloirs de la ligne 11 du métro.



ILS RÉCUPÈRENT L'ÉNERGIE ...

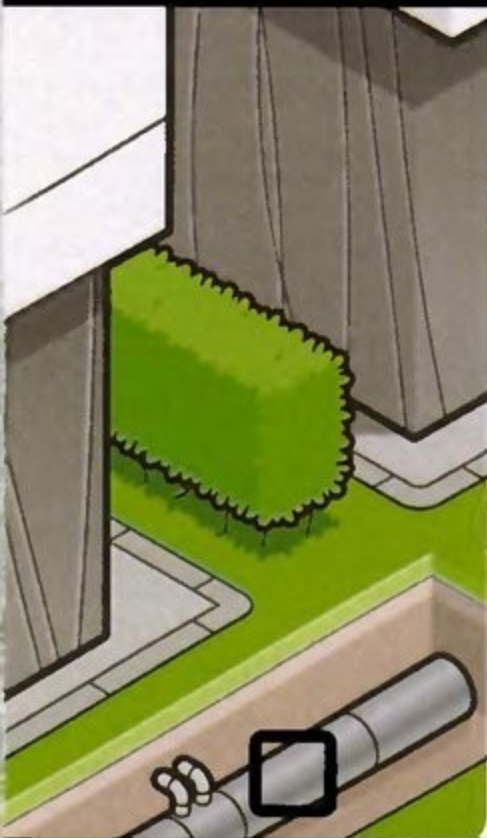


ILS RÉCUPÈRENT L'ÉNERGIE ...

... DES BRUITS

Créer du courant à partir des bruits quotidiens? Ce projet insolite est en train de voir le jour grâce à la piézoélectricité. En 2010, deux scientifiques coréens ont eu l'idée d'utiliser la vibration engendrée par un son pour faire bouger un matériau piézoélectrique et produire de l'électricité. Un vrai défi car cette vibration est si faible qu'elle ne fait pas réagir les matériaux piézoélectriques classiques (quartz). Ils ont pourtant

...DES CONDUITES D'EAU



Profiter de l'eau qui coule autour de nous pour produire de l'électricité, l'idée a déjà fait son chemin avec les barrages. Mais redéployer ce système à petite échelle, au niveau des conduites d'eau elles-mêmes, il fallait y penser... et pouvoir le réaliser. C'est le défi qu'a relevé un ingénieur français, Joseph-Antoine Paoli, en construisant sa machine baptisée Hydro-force. Son principe: insérer une mini-roue à aubes au sein d'une conduite grâce à laquelle on

adapte la pression et le débit en fonction des besoins. Quand l'eau circule, elle entraîne la roue. La force mécanique qui en résulte entraîne, à son tour, un moteur électrique.

7 kWh pour une conduite de 100 mm

Résultat, à la sortie de la machine, un courant peut être récupéré, puis envoyé sur le réseau électrique.

"Avec ma machine, on va pouvoir réguler l'eau, quel que soit son sens d'écoulement,

tout en récupérant en moyenne 7 kilowattheures dans une conduite de 100 mm de diamètre", commente l'ingénieur, primé au dernier concours Lépine pour cette invention. Un premier prototype fonctionne déjà à Nîmes. Seul bémol: le dispositif entier mesure 1,30 m sur 1 m autour de la conduite. Son inventeur cherche donc à le réduire au maximum afin de pouvoir l'installer dans n'importe quel réseau hydraulique.



DU QUOTIDIEN

réussi à fabriquer une plaque ultrasensible, à base de palladium, sur laquelle ils ont accroché des nanofils d'oxyde de zinc. Quand une onde sonore de 100 dB (l'équivalent d'un concert de rock) vient la frapper, elle vibre et ses nanofils bougent, produisant 5 nanowatts. Certes, la puissance reste très limitée, mais les chercheurs espèrent un jour alimenter des portables grâce aux conversations des utilisateurs... ou réutiliser le bruit du trafic routier.



ILS RÉCUPÈRENT L'ÉNERGIE...

...DE LA CHALEUR DES MOTEURS

Transformer la chaleur d'installations industrielles en courant, c'est le tour de force réalisé par plusieurs entreprises en s'appuyant sur le principe de la thermoélectricité. Dès 2008, le constructeur BMW a mis au point des matériaux à base de tellure de bismuth capables de supporter et convertir en énergie électrique les 300 à 900°C des gaz issus des pots d'échappement. Résultat: une

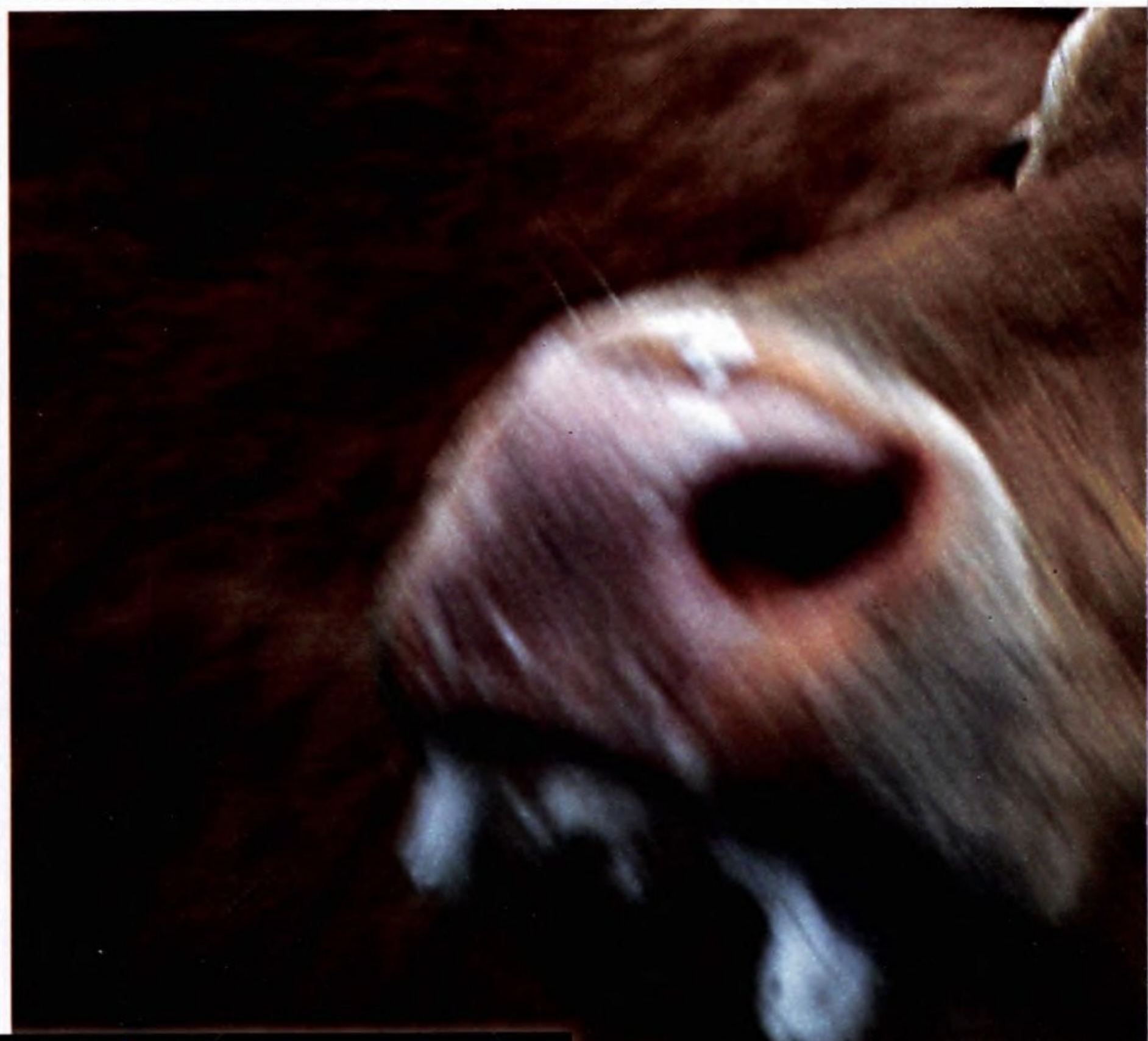
voiture roulant à 130 km/h délivre une puissance de 200 watts.

Consommer 10% de carburant en moins

Fin 2010, des chercheurs de l'université Purdue (Etats-Unis) sont allés plus loin: ils ont exploité les 1000°C provenant directement d'un moteur pour alimenter l'électronique de bord de leur véhicule. Leur secret? Des minipuces thermoélectriques fabriquées en skutterudite, un savant composé réalisé à

partir de nickel et de fer. Grâce à ces composants, les chercheurs imaginent pouvoir réduire la consommation de carburant des voitures de 5% aujourd'hui à 10% demain. Devant ces perspectives, des entreprises, comme l'américain Alphabet Energy, développent déjà des matériaux qui convertiront la chaleur de n'importe quelle installation industrielle en électricité (hauts-fourneaux, torchères...). A la clé, jusqu'à 20 mégawatts...

LE POINT SUR...



C'ÉTAIT IL Y A 15 ANS...

LA CRISE DE LA VACHE FOLLE

PAR ANNE DEBROISE



20 MARS 1996
LONDRES RÉVÈLE
LES PREMIERS
MORTS

P. 104

PRION
UN COUPABLE
TOTALEMENT
INATTENDU

P. 106

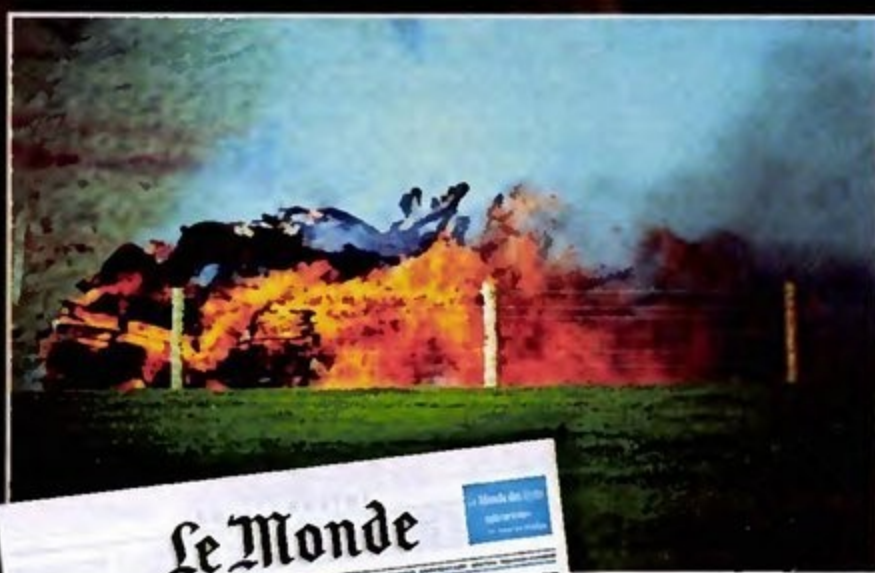
ÉPIDÉMIE
LE PIRE AURA
FINALEMENT
ÉTÉ ÉVITÉ

P. 108

AUJOURD'HUI
LE RETOUR
DES FARINES
ANIMALES ?

P. 110

Troupeaux entiers brûlés, farines animales, mystérieux prion... En 1996, l'épidémie d'encéphalopathie spongiforme bovine débouche sur une crise sans précédent qui révélera les failles de l'industrie agroalimentaire. Et imposera le principe de précaution... qui aujourd'hui fait débat.



L'épizootie sévit depuis déjà dix ans, justifiant l'abattage de troupeaux entiers lorsque, en mars 1996, des victimes humaines sont enfin reconnues.

JOUR J
MÉCANISME
FAITS & CHIFFRES
DÉBAT

20 MARS 1996 LONDRES RÉVÈLE LES PREMIERS MORTS

Ce jour-là, après des années de démentis, l'annonce fait l'effet d'une bombe : dix personnes sont mortes de la maladie de la vache folle.

Jusque-là, le gouvernement britannique le répétait avec vigueur : la maladie de la vache folle ne présentait aucun danger pour l'homme. Certes, l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) ravage les troupeaux britanniques depuis une dizaine d'années et 4 millions de bêtes ont dû être abattues ; mais le discours reste clair : le consommateur de viande ne risque rien.

Le 20 mars 1996, spectaculaire volte-face : devant la Chambre des communes, à Londres, le secrétaire d'Etat à la Santé Stephen Dorrell annonce qu'un lien vraisemblable est établi entre la maladie de la vache folle et un "variant" de la maladie humaine de Creutzfeldt-Jakob (MCJ). Il anticipe ainsi la publication dans *The Lancet*, le 6 avril suivant, d'une étude épidémiologique qui recense au Royaume-Uni dix cas de MCJ mortelle peu ordinaires : des victimes jeunes (en moyenne 29 ans, contre 65 pour la MCJ classique), ayant présenté des manifestations psychiatriques et dont les lésions cérébrales ressemblent à celles observées dans les cas d'encéphalopathie spongiforme. La "crise de la vache folle" vient de

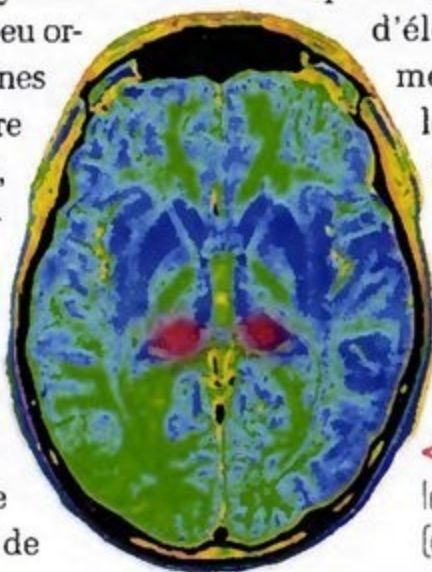
débuter. Elle durera presque dix ans. Ce même 20 mars 1996, se tient à Paris un congrès international sur les prions, ces mystérieux agents infectieux à l'origine de l'ESB. Alors qu'il devait rassembler les spécialistes mondiaux de la question, les Britanniques s'éclipsent brutalement. "On a su plus tard qu'ils avaient été rappelés pour être briefés avant que la tornade médiatique ne se déchaîne", se souvient un chercheur présent, l'Américain Bruce Chesebro.

L'OPINION PUBLIQUE STUPÉFAITE

Dès le lendemain, un vent de panique se déclenche chez les consommateurs, après des années d'angoisse croissante. Avec l'épidémie qui gagne les troupeaux pays après pays depuis dix ans, l'opinion publique a découvert, stupéfaite, les pratiques modernes d'élevage destinées à augmenter les rendements : les vaches, rendues cannibales, sont en partie nourries de farines fabriquées à partir des restes d'abattoirs ! Les premières recherches

ayant montré que la maladie provient de l'alimentation, ces farines sont rapidement incriminées. Depuis 1981, par souci d'économie, elles subissent en effet un traitement allégé : la température de stérilisation a été réduite de 120 à 90 °C et une étape de délipidation par un solvant (l'hexane) éliminée, préservant à l'insu de tous l'agent infectieux. La maladie trouve alors un déplaisant écho dans le passé : dans les années 1950, un médecin avait décrit une épidémie de démence fatale dans une tribu de Papouasie-Nouvelle-Guinée. Baptisée "kuru" ("frissons"), la maladie, une encéphalopathie humaine, touchait 300 à 400 personnes par an sur une population de 30 000 indigènes. Elle se transmettait lors de rites mortuaires consistant à manger la chair, les entrailles et le cerveau du défunt. L'interdiction du cannibalisme mit fin à l'épidémie en 1955.

Le 20 mars 1996, avec l'annonce des contaminations humaines, il flotte donc dans l'air comme un parfum de malédiction... Et les pires scénarios se mettent en place. Fini les tentatives pour étouffer le scandale, comme ce refus de tester les bovins pour éviter de connaître l'étendue réelle de l'épidémie. Dès le 22 mars, plusieurs pays, dont la France, décrètent l'embargo sur la viande de bœuf britannique. Et le gouvernement de John Major, puis l'Europe, lancent des programmes de recherche sur le prion. Deux mesures qui s'avéreront salutaires.



« Chez les personnes décédées, le cerveau montre des lésions (en rouge) typiques de l'ESB. »



C'est le secrétaire d'Etat à la Santé britannique, Stephen Dorrell (à g.), qui révèle le lien entre la maladie de la vache folle et un variant de Creutzfeldt-Jakob (MCJ) ayant fait dix victimes. Une annonce qui anticipe les résultats d'une étude sur des cas suspects de MCJ.



Articles

A new variant of Creutzfeldt-Jakob disease in the UK

R G Will, J W Ironside, M Zeldner, S N Cousens, K Estibeiro, A Alperovitch, S Poser, M Pocchian, A Hofman, P G Smith

Summary

Background Epidemiological surveillance of Creutzfeldt-Jakob disease (CJD) was reinstituted in the UK in 1990 to identify any changes in the occurrence of this disease after the epidemic of bovine spongiform encephalopathy (BSE) in cattle. Case ascertainment of CJD was mostly by direct referral from neurologists and neuropathologists. Details of clinical details were mentioned in the literature and in the media.

Introduction

Because of the epidemic of bovine spongiform encephalopathy (BSE) in cattle, surveillance of Creutzfeldt-Jakob disease (CJD) in the UK was reinstituted in May, 1990. The purpose of the surveillance is to identify changes in the occurrence of this disease after the epidemic of BSE in cattle. The purpose of the surveillance is to identify changes in the occurrence of this disease after the epidemic of BSE in cattle.

PRION UN COUPABLE TOTALEMENT INATTENDU

Prion pour "protéine infectieuse": tel est le vecteur de la maladie de la vache folle. Le problème, c'est qu'il ne ressemble à rien de connu.

S'il a autant fait trembler l'Europe, c'est parce que l'agent infectieux des encéphalopathies spongiformes, comme la maladie de la vache folle ou celle de Creutzfeldt-Jakob, ne ressemble à rien de connu ! Ni à un virus ni à une bactérie ni à un parasite. Il ne possède même pas un génome pour se multiplier dans le corps de son hôte... Et pourtant, il est capable d'infecter à lui seul un organisme entier et, en quelques mois, de détruire un cerveau.

Les biologistes qui, dès les années 1960, cherchent à cerner les causes de la tremblante du mouton, une encéphalopathie connue depuis le XVIII^e siècle, sont désarmés. L'objet semble plus petit que les agents infectieux connus et il n'est pas détruit par des radiations. En 1982, Stanley Prusiner (université de Californie), parvient cependant à l'isoler. Il le baptise "prion", pour "protéine infectieuse". Son idée, qui lui vaudra le Nobel en 1997, c'est qu'il s'agit d'une simple protéine, dont la manière de se replier sur elle-même, sa "conformation", la protège des attaques défensives du système immunitaire. Il va montrer qu'elle est capable de "contaminer" des protéines saines en leur dictant sa propre conformation. Cette hypothèse, qui renverse le paradigme "virus-bactérie-

parasite" en vigueur à l'époque, peine à s'imposer quand la crise de la vache folle la propulse sur le devant de la scène. Car avant de comprendre comment la maladie peut se transmettre d'une espèce à l'autre – et surtout des bovins, malades de l'encéphalopathie spongiforme, à l'homme, souffrant de ce qu'on a appelé le "variant de la maladie de Creutzfeldt-Jakob" –, il faut d'abord cerner le responsable.

AUCUN TRAITEMENT N'EXISTE

Moutons, vaches, humains possèdent des millions de protéines du type prion à la surface de leurs cellules. Elles peuvent apparaître sous deux formes: normale (PrPC), ou anormale (PrPSc), c'est-à-dire "mal repliées". Celles-ci sont capables de s'agréger dans des vacuoles ce qui est fatal aux neurones. D'où l'aspect spongiforme des cerveaux touchés, faits d'agréats de vacuoles et de trous laissés par les neurones morts. Le processus est de mieux en mieux décrit, mais soulève encore des questions, comme l'indique le neurologue Stéphane Haïk, du Centre de recherche de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière de la Salpêtrière et directeur de recherche à l'Inserm. "Chez l'homme, après contamination par voie orale, l'agent

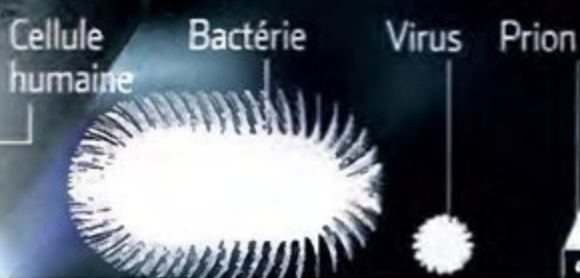
pathogène arrive dans l'estomac où il résiste au pH acide. Il franchit la barrière intestinale par une voie cellulaire encore inconnue. Puis il se réplique dans les organes lymphoïdes comme la rate ou les ganglions lymphatiques et, de là, gagne la moelle épinière par les fibres nerveuses sympathiques puis remonte dans le cerveau." C'est là qu'il rencontre les protéines normales. "In vitro, en présence d'une plaque de prions anormaux agrégés, on observe que la protéine normale se lie et change de conformation. Puis la plaque se casse et libère d'autres sites de fixation où d'autres prions normaux sont déformés", résume Jean-Pierre Liautard, de l'Institut de biologie de Montpellier. Reste à savoir comment cette accumulation de plaques provoque la maladie. Car on ne connaît toujours pas la fonction de la protéine prion normale dans l'organisme! "Elle semble ubiquitaire", note le biochimiste. Elle joue ainsi un rôle dans la protection du circuit neuronal, dans la mémorisation spatiale, et dans... l'odorat.

Cette protéine reste très mystérieuse. D'autant qu'aucun traitement n'existe contre les maladies qu'elle génère par ailleurs, dont les 130 cas de maladie de Creutzfeldt-Jakob classiques détectés tous les ans en France. Elle intéresse aussi les spécialistes des maladies où interviennent des agrégations protéiques comme Alzheimer, Parkinson ou le diabète de type 2. Dans leur cas aussi des protéines agissant comme les prions pourraient être en cause.

UNE PROTÉINE INFECTIEUSE QUI DETRUIT LES NEURONES

1 Un prion infectieux est une protéine mal conformée

Environ 10 fois plus petit qu'un virus, le prion est une protéine. A l'état normal, PrPC, le corps humain en compte des millions à la surface des cellules. Dans sa version déformée, cette protéine, alors baptisée PrP^{Sc}, résiste aux attaques du système immunitaire et contamine les prions sains.



PRION

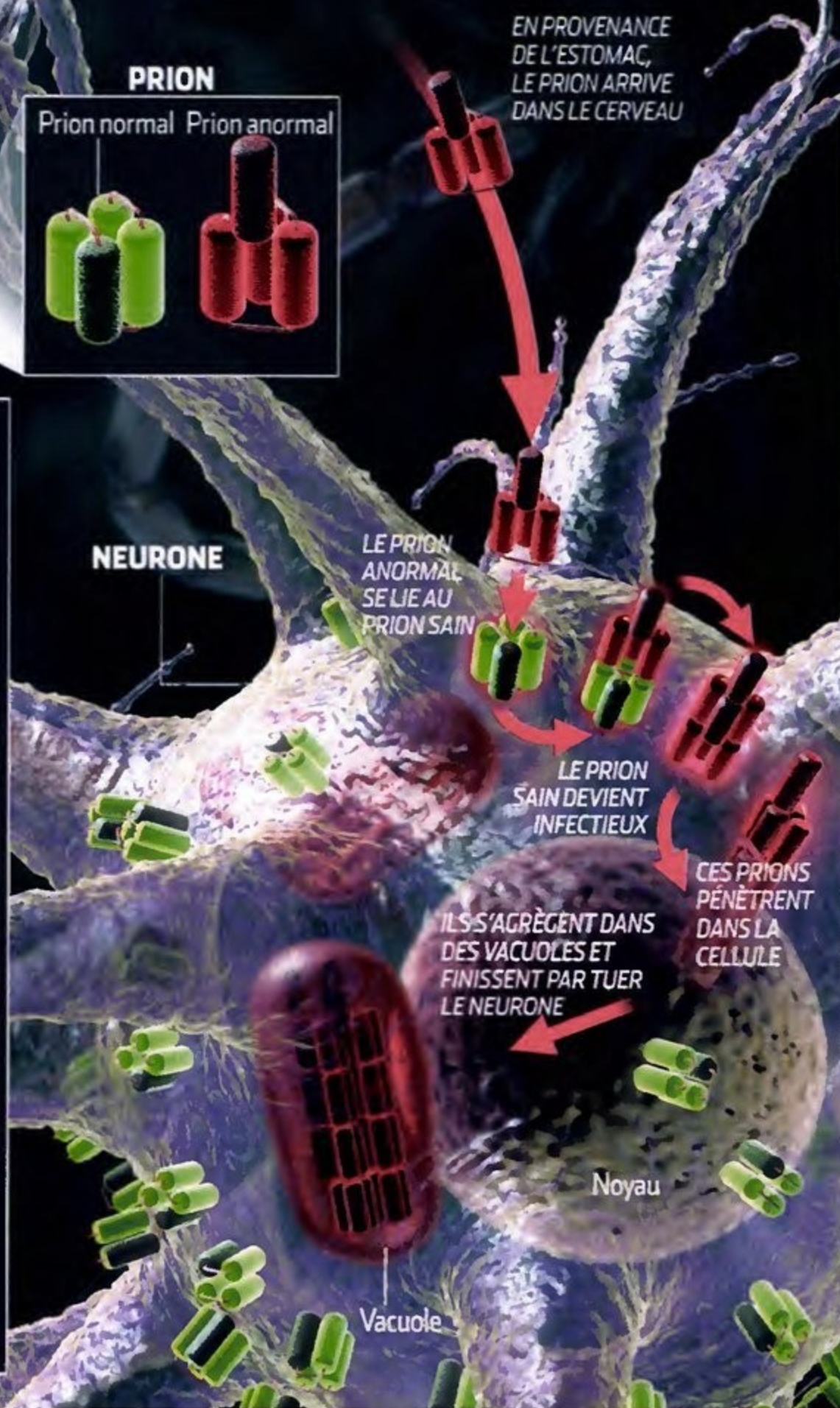


3 Les prions infectieux attaquent les neurones

Pour ce qu'en savent les chercheurs, les prions anormaux se fixent sur les prions sains situés à la surface des neurones, les déformant à leur tour. Ils pénètrent ensuite dans les neurones et s'accumulent dans des vacuoles qui fusionnent, conduisant à la destruction des cellules.

2 Le prion infectieux monte jusqu'au cerveau

Ingéré, le prion anormal résiste au pH acide de l'estomac. Il passe ensuite de l'intestin à la rate, au thymus, remonte le long de la moelle épinière par les fibres nerveuses et, enfin, gagne le cerveau.



ÉPIDÉMIE LE PIRE AURA FINALEMENT ÉTÉ ÉVITÉ

Le lien avec l'alimentation établi, il a fallu l'admettre : le prion passe la barrière des espèces. Mais pas si facilement, sait-on aujourd'hui.

Il y a quinze ans, la question agita tous les esprits : combien la protéine tueuse, qui venait de frapper 10 personnes, allait-elle faire de victimes ? Cent ? Des millions ? Les chiffres les plus fous circulèrent dans l'affolement général. *"Pour faire des prévisions en épidémiologie, nous avons besoin de certains paramètres, explique Pierre-Yves Boëlle, du Laboratoire épidémiologie, systèmes d'information, modélisations (Inserm). Or, nous ne savions rien. Il était ainsi difficile d'estimer la part de la population exposée. Dans les années 1980, on trouvait de l'extrait bovin à risques partout : dans les gélatines, les médicaments, les bonbons..."* L'industrie alimentaire utilisait abondamment le collagène extrait des os et de la peau. Quinze ans plus tard, les épidémiologistes y voient plus clair. Le bilan s'est stabilisé avec 300 000 vaches infectées et 181 victimes humaines dans le monde, dont 4 encore vivantes. L'épidémie fut stoppée grâce à des mesures sanitaires : abattage des troupeaux infectés, interdiction des farines de viandes et d'os. Un soulagement, car il n'existe ni vaccin ni traitement.

Si le bilan humain est finalement aussi clément, c'est que le prion PrP^{Sc} (voir p. 106) passe difficilement d'une espèce à l'autre... Mais il passe ! La

voie de contamination la plus efficace, c'est l'injection intracérébrale, pratiquée expérimentalement dès le début de l'épidémie par les chercheurs. La transfusion sanguine est également dangereuse, mais la voie la plus courante c'est, bien sûr, l'alimentation.

UNE RÉSISTANCE CHEZ L'HOMME

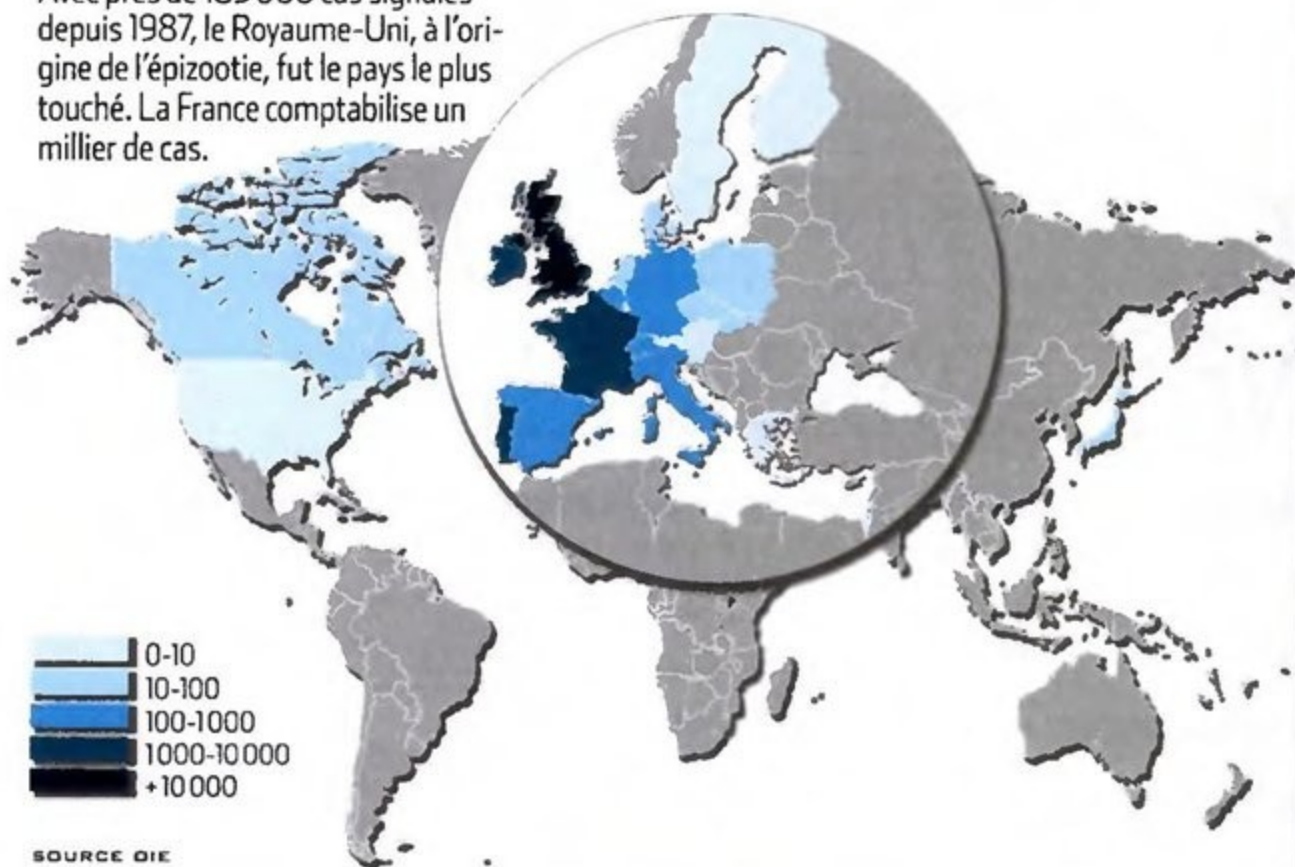
Les hommes ont ainsi contracté la maladie en consommant du bœuf malade : surtout des abats, le muscle n'ayant jamais été incriminé. Quant à la transmission mère-enfant, elle n'a pas été démontrée chez toutes les espèces. Pour Jeanne Brugère-Picoux, de l'Ecole nationale vétérinaire d'Alfort qui a prouvé que la tremblante du mouton pouvait être transmise de la brebis à son petit, *"ce mode de transmission n'a jamais été observé chez les bovins du fait d'une répartition beaucoup plus limitée du prion dans leur organisme"*. Chez l'humain non plus. De quoi rassurer un peu les épidémiologistes... qui dans les premiers temps ont remarqué que le prion semblait se jouer de la barrière des espèces : connue chez le mouton, la chèvre, le vison, l'encéphalopathie spongiforme passe aussi, *via* l'alimentation, chez le chat (premier cas avéré en 1990), et les animaux de zoo nourris à ces farines.

Dernière mauvaise surprise en date : une étude a montré en janvier 2011 que le prion peut se propager dans l'air ! Des souris exposées à des aérosols contenant des tissus cervicaux infectés ont développé la maladie. Quelques jours plus tard, une autre étude a révélé qu'un agneau peut être contaminé par le lait de sa mère si elle présente une infection des glandes mammaires. Pourtant, *"chez l'homme et de nombreux animaux, il semble qu'il y ait une grande résistance à cette infection, tempère Bruce Chesebro, à l'Institut national de la santé américain. Les prions normaux sont très proches d'une espèce à l'autre mais il suffit qu'un acide aminé sur les 230 diffère pour que la protéine anormale n'agisse plus..."* Inversement, 20 acides aminés peuvent différer et une infection sera malgré tout possible. Cela dépend d'où se situent ces différences."

De plus, les individus d'une même espèce ne sont pas égaux devant l'infection : les personnes touchées présentent une particularité génétique quant au gène codant la protéine prion normale. Une particularité présente chez 40 % de la population. Mais les autres pourraient très bien être aussi sensibles... avec un temps d'incubation plus long ! Un cas de variant de la maladie chez une personne au profil génétique différent a fait craindre le pire en 2009. Mais aucun autre cas n'est survenu. Et chaque jour qui passe éloigne ce spectre. L'épidémie semble bien avoir été stoppée.

Les cas de vaches folles dans le monde entre 1987 et 2010

Avec près de 185 000 cas signalés depuis 1987, le Royaume-Uni, à l'origine de l'épizootie, fut le pays le plus touché. La France comptabilise un millier de cas.



10 ANS DE NON-DITS

Novembre 1986

1^{er} cas de vache folle en Angleterre.

Mai 1990

1^{er} cas d'encéphalopathie sur un chat en Grande-Bretagne. La barrière des espèces peut donc être franchie.

2 mars 1991

1^{er} cas de vache folle en France.

1992

Point culminant de l'épizootie en Grande-Bretagne.

1995

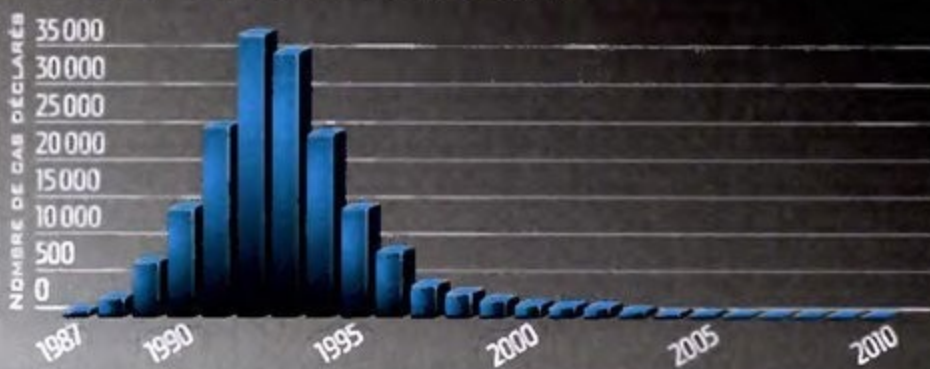
1^{er} cas de variant de Creutzfeldt-Jakob en Grande-Bretagne chez l'homme.

Mars 1996

Les décès sont annoncés.

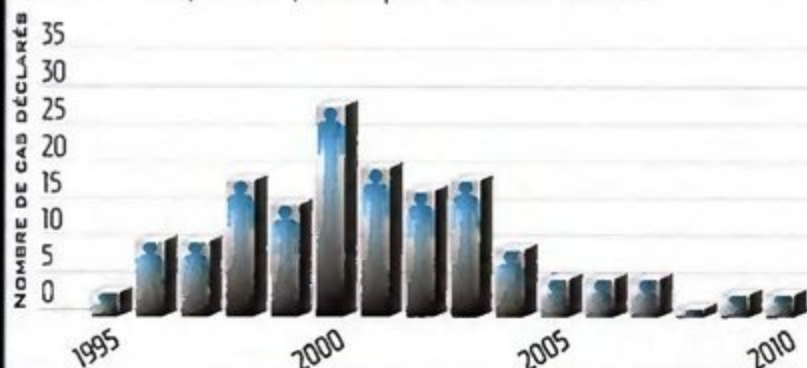
Evolution de l'épizootie au Royaume-Uni

L'épizootie connaît un pic en 1992 avec près de 37 000 cas déclarés. Elle s'effondre dès 1996, quand le gouvernement britannique reconnaissant l'ampleur de la crise prend des mesures sanitaires d'urgence. En 2010, 7 cas seulement ont été certifiés.



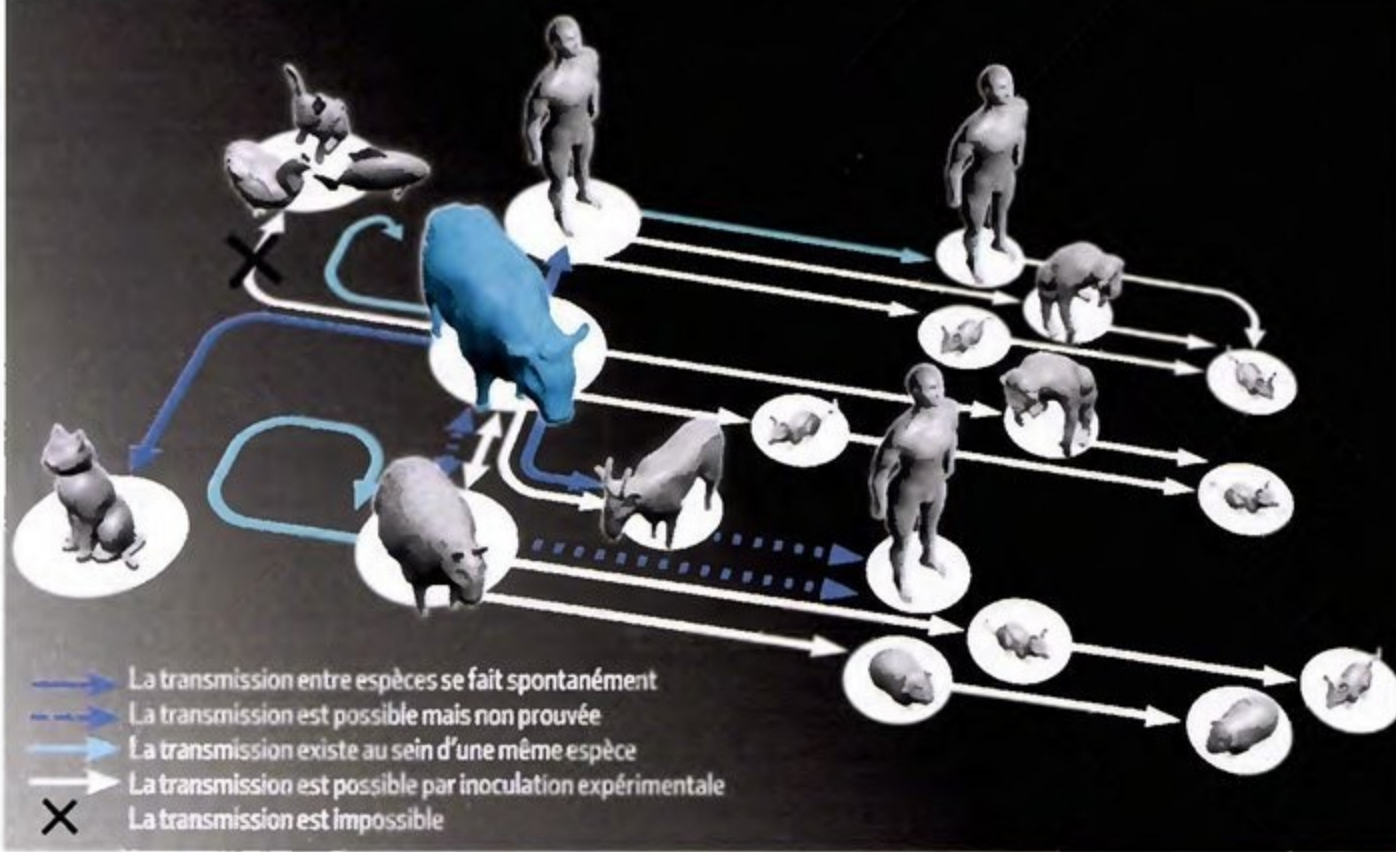
Nombre de victimes humaines du variant de Creutzfeldt-Jakob au Royaume-Uni

Les premières victimes humaines apparaissent dès 1995. Au plus fort de l'épidémie, en 2000, le Royaume-Uni a connu 28 décès. 181 décès ont, en tout, été déplorés dans le monde.



Les modes de transmission des encéphalopathies spongiformes

On sait aujourd'hui que l'alimentation en farines animales a permis à l'encéphalopathie spongiforme de passer d'une espèce à une autre (de la vache au chat par exemple). Elle se transmet également au sein d'une même espèce. La voie expérimentale, qui consiste à inoculer des prions, a permis, elle, de démontrer la transmission, ou son impossibilité (cas de la poule).



AUJOURD'HUI LE RETOUR DES FARINES ANIMALES ?

Si l'épidémie fut stoppée, c'est grâce au principe de précaution, qui a imposé des règles à la filière bovine. Règles désormais remises en question.

Aujourd'hui, le principe de précaution a plutôt mauvaise presse : qu'on le néglige, et c'est un scandale. Qu'on l'impose trop vite, et c'est une gabegie. Que des biologistes étudient un virus de la vigne en cultivant des plants OGM, et ils sont saccagés au nom du principe de précaution. Que le ministère de la Santé commande 94 millions de doses de vaccin contre une grippe qui très vite s'essoufflera, et son emploi abusif est dénoncé. Mais qui se souvient que cet omniprésent principe de précaution est entré dans les mœurs à l'occasion de la crise de la vache folle ? Et surtout... que c'est lui qui est venu à bout de l'épidémie !

Dès le début de la crise, la Cour de justice européenne l'a évoqué pour justifier l'embargo sur la viande bovine britannique : *"Lorsque des incertitudes subsistent quant à l'existence ou à la portée des risques pour la santé des personnes, les institutions doivent prendre des mesures de protection sans avoir à attendre que la réalité et la gravité des risques soient pleinement démontrées."* L'interdiction faite en son nom des importations de viande de bœuf, de la commercialisation des morceaux à risques et de l'emploi de farines animales – même si elle est intervenue quelques mois trop tard

selon les lanceurs d'alertes – a limité les dégâts et permis de juguler l'épidémie. En 2005, le président Jacques Chirac va d'ailleurs jusqu'à inscrire le principe dans la Constitution française. Une manière de prendre acte de l'impact psychologique de cette crise qui révéla au grand public des pratiques insoupçonnées.

GRAND MÉNAGE DANS L'INDUSTRIE

A l'époque, le principe de précaution n'a pas seulement permis de contenir l'épidémie : il a dépassé ce cadre pour initier un grand ménage dans l'industrie agroalimentaire. Dès 1996, la commercialisation des cervelles des bœufs de plus de 6 mois est interdite, comme l'incorporation de tissus à risques d'origine bovine dans les aliments pour bébés et les compléments alimentaires. La liste des *"matériels à risques spécifiés"* compte aujourd'hui encore la cervelle, les yeux, la moelle épinière, les amygdales et une partie de l'intestin des vaches. *"Tout le système agroalimentaire a dû faire un effort pour ne plus mettre n'importe quel abat dans la viande hachée ou les raviolis"*, résume Jeanne Brugère-Picoux, de l'Ecole nationale vétérinaire d'Alfort. Et l'agroalimentaire n'est pas seule concernée : industries pharmaceutique et cosmétique

ont aussi dû revoir leurs préparations. Et le milieu médical ses pratiques. Les conditions de stérilisation du matériel ont été redéfinies en 2001, et les opérations chirurgicales sur le système nerveux ou les intestins font l'objet d'un suivi rigoureux. Pour Stéphane Haïk, neurologue à la Salpêtrière : *"La crise a permis une amélioration globale de la gestion du risque infectieux. On a amélioré la décontamination, la traçabilité... Le nombre d'infections nosocomiales a baissé."* Les transfusions font également l'objet de règles renforcées : aucun test sanguin n'étant assez fiable pour détecter la présence de prions anormaux, tout donneur potentiel à risques est écarté.

Mais qu'en est-il de toutes ces précautions maintenant que le risque est retombé ? Quelques-unes des →



▲ Des mesures sanitaires sont mises en place : avec le dépistage systématique...



^ Interdite en Europe le 1^{er} janvier 2001, l'utilisation des farines animales à des fins alimentaires est aujourd'hui remise en question.



^ ...et la traçabilité des animaux, c'est toute la filière bovine qui est placée sous surveillance en vertu d'un nouveau principe de précaution...



^ ... que le président Jacques Chirac fera inscrire dans la Constitution française en 2005.

→ règles édictées il y a dix ans, très contraignantes, ont été assouplies sur la base de rapports scientifiques montrant qu'elles étaient devenues superflues. Depuis 2009, l'âge à partir duquel un bovin sortant de l'abattoir doit subir un dépistage est ainsi passé de 30 à 48 mois. Et les troupeaux touchés ne sont plus détruits en totalité: n'est concernée que la "cohorte" de l'animal malade, c'est-à-dire les animaux du troupeau nés dans les douze mois précédant ou suivant sa naissance et ayant consommé les mêmes aliments.

Peut-on aujourd'hui alléger davantage ces mesures sans risquer un retour de la maladie? Le législateur l'envisage sérieusement comme en témoigne la "Feuille de route n°2 pour les EST" (encéphalopathies spongiformes transmissibles) émise par la Commission européenne l'été dernier. Parmi les "futurs choix stratégiques" envisagés, on autoriserait à la consommation les animaux d'une cohorte touchée, pourvu que leurs tests de dépistage soient négatifs. Mais la plus emblématique, et la plus sensible, des mesures qui pourraient être remises en cause concerne les farines animales.

Dans l'Union européenne, depuis le 1^{er} janvier 2001, leur utilisation à des fins alimentaires est interdite, à quelques exceptions, comme la consommation de farines de poisson par les non-ruminants. Les énormes quantités de

déchets d'équarrissage produites par l'élevage servent donc désormais de combustible... pour la cimenterie. Un gâchis, selon les éleveurs, mais aussi de plus en plus de scientifiques. Car les protéines animales présentes dans ces farines ont dû être remplacées par des protéines végétales, dont la production consomme eau et pesticides. "Je suis pour le retour des farines de viandes et d'os, martèle Jeanne Brugère-Picoux, qui fut une des premières à réclamer leur interdiction chez les ruminants. Elles représentent un bon apport protéique, notamment pour le porc qui est omnivore. Mais il faut faire des farines propres."

LES DÉRIVES D'UN PRINCIPE DIFFICILE À MANIER

La Commission européenne envisage donc de lever l'interdiction, mais uniquement pour les non-ruminants, et en évitant le recyclage intraspécifique. Il s'agirait par exemple de nourrir les porcs avec des farines issues de volailles et *vice versa*. Les bovins resteraient exclus de ce recyclage et une traçabilité exemplaire serait requise. Mais la population acceptera-t-elle ces concessions au principe de précaution... qui reste un outil difficile à manier. "Dans la crise de la vache folle, on a aussi vu les dérives du principe. Le risque semble avoir été surestimé. Or cela a un coût",

préviennent Nicolas Treich, économiste à l'Inra. "L'interprétation du principe de précaution pose deux problèmes: soit on attend trop et on s'expose à ce que la situation s'aggrave, soit on agit trop tôt et trop fort. Il faut chiffrer le coût de la réaction et comparer ce chiffre à la gravité du risque. L'argent dépensé dans la prévention d'un risque ne sera pas mis dans la prévention d'un autre. Surestimer un risque peut aussi être criminel." La feuille de route de la Commission ne dit pas autre chose: "Il importe que, dans l'élaboration de notre future stratégie, nous ne perdions pas de vue les autres menaces pour la santé animale et publique apparues ces dernières années, telles que les salmonelles et la résistance aux antimicrobiens [...] Au vu de l'évolution encourageante de la situation de l'ESB, il vaut la peine d'examiner attentivement les possibilités qui nous permettront de nous concentrer sur ces autres menaces."

Principe de réalité contre principe de précaution, l'arbitrage se fait plus délicat quand le risque paraît s'éloigner. Décideurs et scientifiques devront mettre en place des garde-fous suffisants pour que les leçons tirées de ces quinze dernières années ne se perdent pas. Pour que la fin de la crise ne signifie pas la fin des précautions, et que les vaches folles ne restent qu'un douloureux souvenir.

DANS SCIENCE & VIE

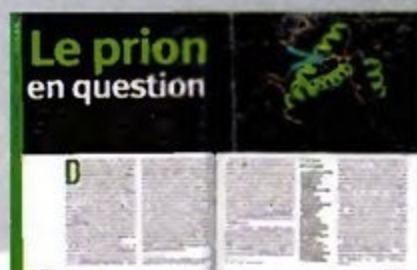
Le 20 mars 1996, Marie-Laure Moinet, reporter pour *Science & Vie*, assistait au colloque international sur les encéphalopathies à Paris et au départ inopiné des scientifiques britanniques

rappelés par leur gouvernement (voir p. 104). Dans son numéro suivant (n° 944), le journal dénonçait "l'intox" dont la population fut victime et l'irresponsabilité des industriels qui firent manger du mouton à des bœufs sans chauffer suffisamment les farines. *Science & Vie* n'en était pas à son coup d'essai: en 1989 (n° 864), il s'inter-



rogeait déjà sur la transmissibilité à l'homme. Par la suite, plusieurs dossiers d'envergure firent le point sur l'étrange agent patho-

gène de la maladie de la vache folle telle l'enquête "Le pire est à venir", en septembre 2000 (n° 996) qui s'inquiétait de la progression de l'épizootie en France, quand le nombre de cas chutait en Grande-Bretagne. "Le prion en question" fit ensuite, au mois de décembre 2000, le point sur les connaissances scientifiques de l'époque.



Ouvrir

Ouvrir dans une nouvelle fenêtre

Partager avec ▶

Désactiver le son

Analyser

Options avancées ▶

Inclure dans la bibliothèque ▶

Sauvegarder ▶

Envoyer vers

Couper

Copier

Coller

Créer un raccourci

Supprimer

Renommer

Propriétés

Si tout pouvait être aussi simple que la micro

Retrouvez le meilleur de l'actualité high-tech, des tests, des comparatifs ainsi que de nombreux conseils pratiques. Dès le 16 décembre, découvrez la nouvelle formule de Micro hebdo, chaque jeudi chez votre marchand de journaux.

Micro
hebdo

EN PRATIQUE

116 BON À SAVOIR

En direct des publications scientifiques et autres rapports et études...

118 ▶ ÇA CHANGE QUOI?

Au-delà du Mediator : les 13 médicaments à bannir de son armoire à pharmacie

124 QUESTIONS/ RÉPONSES

Envoyez-nous vos questions et gagnez un abonnement d'un an à Science & Vie.

130 ▶ TECHNOFOLIES

La première console 3D sans lunettes... et les dernières innovations technologiques.

136 ▶ À FAIRE

Une expérience scientifique à réaliser chez soi. Ce mois-ci : **Prélever son propre ADN**

138 LE CIEL DU MOIS





EN PRATIQUE

BON À SAVOIR



LES GESTES DE PREMIERS SECOURS PEUVENT MAINTENANT S'APPRENDRE SUR IPHONE

L'application gratuite de la Croix-Rouge propose de nombreux conseils, un système de géolocalisation, l'appel direct vers les numéros d'urgence... "Croix-Rouge: l'Appli qui sauve"



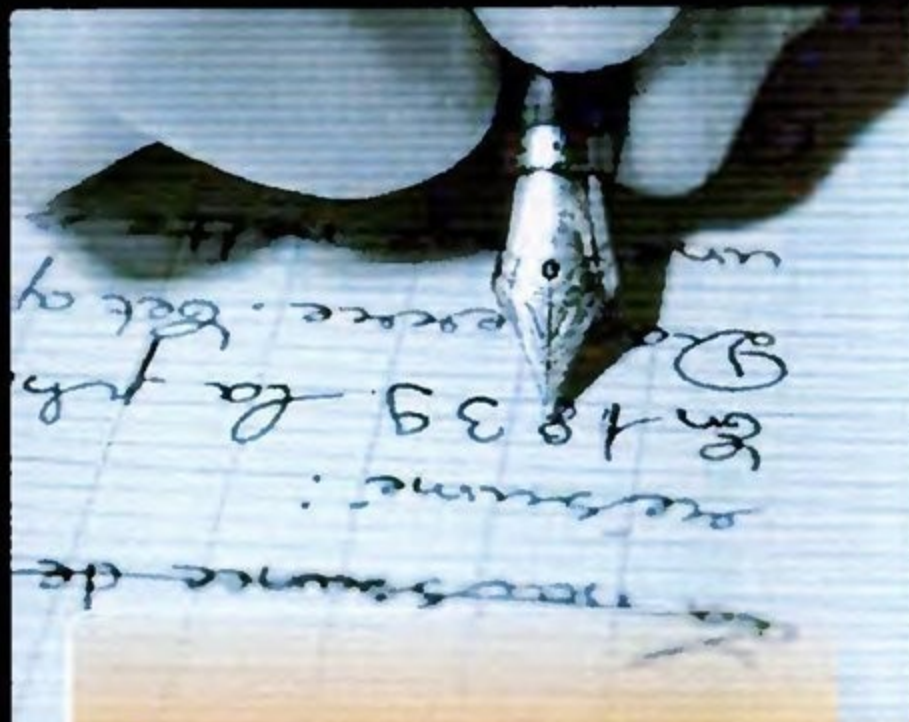
LES PRODUITS LAITIERS NE PRÉVIENNENT PAS LE RISQUE DE FRACTURE DE LA HANCHE

Une étude révèle que l'apport en vitamine D conseillé aux plus de 60 ans est sans effet sur les fractures de la hanche. "European Journal of Clinical Nutrition", janvier 2011



MANGER DES CAROTTES DONNE UN MEILLEUR BRONZAGE QUE LES UV DU SOLEIL

Cela a été montré par un psychologue britannique. Le bronzage dû aux caroténoïdes des fruits et légumes est plus sèyant que celui du soleil. "Evolution and Human Behaviour", janvier 2011



ÉCRIRE SES PEURS AIDE À RÉUSSIR

Stressés par les examens, les étudiants se crispent et font moins bien que ce dont ils sont capables. Pourtant, selon deux psychologues de l'université de Chicago, il suffit de prendre 10 min pour soi avant l'examen pour éviter ce phénomène. Il faut affronter ses peurs en les couchant noir sur blanc, plutôt que de penser à autre chose. L'hypothèse a été validée avec des lycéens lors d'épreuves. "L'écriture permet de prendre du recul et de se recentrer sur soi, selon Hélène Bah (université Paris-Est). On détourne le stress de l'examen vers celui lié à l'écriture." "Science", janvier 2011



DÉBRANCHER SES APPAREILS FAIT ÉCONOMISER EN MOYENNE 11 % DE LA FACTURE D'ÉLECTRICITÉ

31 % des ordinateurs, machines à laver et frigos dépassent en veille les normes européennes de consommation électrique. La solution: les débrancher. "Rapport Selina", novembre 2010

DES DÉTECTEURS DE FUMÉE EVITERAIENT 400 MORTS PAR AN EN FRANCE

Les détecteurs de fumée permettent de réduire de moitié le nombre de décès selon des expériences réalisées aux Etats-Unis ou en Norvège, où le taux d'équipement dépasse 90 %. En France, ce taux est de 2 % seulement et le bilan annuel est lourd: 250 000 incendies d'habitations, 800 décès et 10 000 blessés. Une nouvelle loi prévoit que les maisons devront être équipées d'au moins un détecteur avant le 8 mars 2015. "Journal Officiel", janvier 2011



LES TRACTEURS ET LES BATEAUX ONT DÉSORMAIS LEUR GAZOLE MOINS POLLUANT

Depuis le 1^{er} janvier 2011 (ce sera obligatoire au 1^{er} novembre), les engins non routiers doivent rouler au GNR (gazole non routier), moins polluant. "Directive européenne 2009/30/CE"



CHACUN PEUT CALCULER SON BILAN CARBONE GRATUITEMENT SUR INTERNET

Logement, transport, alimentation équipement: un site gratuit permet de calculer votre bilan carbone. Des conseils sont également proposés. "www.coachcarbone.org"



QUI DIT COPIEUX PETIT-DÉJEUNER NE DIT PAS MANGER MOINS LE MIDI ET LE SOIR

Une équipe allemande vient de le démontrer: quelle que soit la taille du petit-déjeuner, le déjeuner et le dîner gardent la même importance. "Nutrition Journal", janvier 2011



ON RETIENT MIEUX CE QUI EST MAL ÉCRIT

Sur papier ou sur ordinateur, le texte se veut toujours très lisible. Or, des psychologues américains ont observé que l'on retient mieux et plus longtemps les textes imprimés avec des polices inhabituelles. "Cognition", décembre 2010



EN PRATIQUE

ÇA CHANGE QUOI

13 Au-delà du Mediator médicaments à bannir

L'affaire du Mediator n'est pas une surprise: en 2003, nous pointions déjà ce médicament, parmi bien d'autres. Depuis, d'autres produits sont apparus. Au final, lesquels faut-il proscrire de son armoire à pharmacie? Notre verdict.

La crise du Mediator a remis les frasques de l'industrie pharmaceutique sur le devant de la scène. Comme si ce scandale était nouveau: déjà, en avril 2003, nous publions un dossier sur les 200 médicaments les plus prescrits, parmi lesquels figuraient ceux "qui tuent" (dont le Mediator) ou "ne servent à rien". Certains font toujours partie des plus populaires

(Art 50 et Stablon, notamment). Leur rapport bénéfices/risques ne s'est pourtant pas amélioré. Il s'est même parfois détérioré au fil des études: c'est le cas du Nexen. Certes, quelques-uns sont sortis du palmarès depuis qu'ils ne sont plus remboursés, et d'autres ont été retirés du marché (Vioxx, Cholstat, Mediator, Fonzyane, etc.). Mais depuis, de nouvelles

spécialités ont été commercialisées. Il était donc temps de repasser en revue les médicaments les plus prescrits aujourd'hui (voir encadré ci-dessous). Résultat: treize d'entre eux au moins présentent plus de désagréments que d'intérêt thérapeutique. Là réside toute la difficulté: si un produit ne fait pas de bien, le risque qu'il fasse du mal n'est pas écarté pour autant. Et plus il est récent, moins ses effets sont connus: l'évaluation ultime d'un médicament n'est possible que lorsque suffisamment de patients l'ont utilisé. C'est

l'enjeu de la pharmacovigilance. Or, le rapport de l'Inspection générale des affaires sanitaires et sociales sur le Mediator souligne les manquements de quasi toutes les instances chargées de veiller à la protection des patients.

RENFORCER LA VIGILANCE

Pourtant, depuis 2005, toute demande de commercialisation d'un médicament doit être assortie d'un "plan de gestion des risques", mené par les laboratoires, que les autorités peuvent étendre à des produits plus anciens (ce qui n'avait pas été fait pour le Mediator ou le Fonzyane). Début février, 77 produits et 12 classes de médicaments faisaient l'objet de ce plan, d'un suivi renforcé ou d'une enquête de pharmacovigilance. Espérons que ce programme sera conduit avec rigueur. Et notons que seuls huit produits, sur les treize signalés dans ce dossier, sont inclus dans ce nouveau plan de surveillance... C.T. ET P.C.

294 MÉDICAMENTS PASSÉS AU CRIBLE

Les fiches de ce dossier ont été établies avec le concours des pharmaciens et médecins de la revue *Prescrire*, dont les analyses font appel aux meilleurs spécialistes internationaux et s'appuient sur la quasi-totalité des études disponibles. Ont aussi participé les spécialistes de la Mutualité Française. Les 13 médicaments relevés font partie des 200 les plus remboursés par l'Assurance

Maladie (CNAM), et des 200 les plus remboursés par les mutuelles (Observatoire du médicament Mutualité/IMS Health). Ces derniers sont très populaires, mais ont un faible taux de remboursement, tandis que figurent dans la liste de la CNAM les plus vendus et les plus chers. Ces deux listes ayant des produits en commun, 294 médicaments ont donc été expertisés à la loupe.



^ Tous vos médicaments ne sont pas sans risques : apprenez à faire le tri.

ACTOS

Indication : **antidiabétique oral**

PRINCIPE ACTIF : pioglitazone

LABORATOIRE : Takeda

AUTORISÉ DEPUIS : octobre 2000

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : S'il ne réduit ni la morbidité ni la mortalité du diabète, les patients lui doivent quelques œdèmes (très fréquents) et accès d'hypoglycémie (fréquents), un risque accru d'œdème maculaire et des insuffisances cardiaques (plus rares). Un risque d'augmentation du cancer de la vessie est évoqué. Sombre profil pour un produit qui, certes, abaisse (un peu) la glycémie et diminue la résistance à l'insuline... Les effets indésirables à long terme des glitazones sont mal connus.

ART 50

Indication : **symptômes de l'arthrose de la hanche et du genou**

PRINCIPE ACTIF : diacéréine

LABORATOIRE : Negma

AUTORISÉ DEPUIS : août 1992

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : Il ne fait pas mieux qu'un placebo, les effets secondaires en plus. Pour la Haute Autorité de santé, ce médicament ne présente "pas d'intérêt de santé publique" et son service médical rendu (SMR) est jugé insuffisant. Les effets indésirables de la diacéréine sur le système digestif (diarrhées chez environ 40 % des patients, hémorragies digestives) et sur le foie (hépatites) auraient dû logiquement inciter à retirer ce produit du marché.



EN PRATIQUE ÇA CHANGE QUOI ?

CHONDROSULF

Indication : symptômes de l'arthrose de la hanche et du genou

PRINCIPE ACTIF : chondroïtine

LABORATOIRE : Genévrier SA

AUTORISÉ DEPUIS : janvier 1993

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : Tout comme les autres antiarthrosiques "symptomatiques d'action lente", par exemple Art 50 (voir page précédente), Piasclédine ou Structum (voir plus bas), ce produit a une efficacité inférieure à celle des médicaments couramment indiqués contre la douleur (AINS). Il ne fait pas vraiment mieux qu'un placebo, mais il présente le risque d'effets indésirables, notamment des troubles digestifs et des vertiges, qui devraient conduire à son retrait.



CYMBALTA

Indication : épisodes dépressifs majeurs, anxiété généralisée et neuropathies liées au diabète

PRINCIPE ACTIF : duloxétine

LABORATOIRE : Lilly France

AUTORISÉ DEPUIS : décembre 2004

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : Quelle que soit l'indication considérée, le rapport entre les bénéfices potentiels de ce psychotrope et les risques qui lui sont associés est défavorable. Au vu des études, l'efficacité de cet inhibiteur de la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline reste incertaine. De plus, comparé aux inhibiteurs de la recapture de la sérotonine seule, ce médicament expose à un surcroît d'effets indésirables. Il fait l'objet d'un plan de gestion des risques.



IXPRIM

Indication : douleur

PRINCIPES ACTIFS : paracétamol et tramadol

LABORATOIRE : Sanofi-Aventis France

AUTORISÉ DEPUIS : février 2002

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : L'association du paracétamol et du tramadol, un antalgique opioïde, ne présente pas d'avantage sur d'autres antalgiques classiques (selon les cas, ibuprofène ou paracétamol associé à la codéine). Pourtant, en plus des dangers communs à tous les opioïdes faibles, tels la dépendance ou les troubles neurologiques, le tramadol semble associé à des risques de convulsions et d'hypoglycémie. Enfin, les possibilités d'interactions avec le tramadol sont plus importantes qu'avec la codéine. Or, Ixprim pourrait voir ses prescriptions grimper en flèche car il est pris pour une alternative au dextropropoxyphène (Di-antalvic) dont la commercialisation est progressivement suspendue dans tous les pays européens à la suite de la multiplication des overdoses mortelles.



JANUVIA ET XELEVIA

Indication : contrôle de la glycémie des patients diabétiques de type 2

PRINCIPE ACTIF : sitagliptine

LABORATOIRES : MSD-Chibret et Pierre Fabre Médicament

AUTORISÉ DEPUIS : mars 2007

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : Mise sous le regard d'un plan de gestion des risques de l'Afssaps dès sa commercialisation, la sitagliptine cumule un service médical rendu faible (rien n'indique une amélioration de la santé ou une réduction de la mortalité) et des accès d'hypoglycémie. En plus d'un risque de réaction d'hypersensibilité grave (anaphylaxie, angio-œdème, syndrome de Stevens-Johnson - nécrose de la peau et des muqueuses), la sitagliptine pourrait aussi augmenter les risques d'infection, ce qui est toujours malvenu chez les diabétiques. Les effets indésirables à long terme sont mal connus, mais des rapports européens évoquent un risque de pancréatite aiguë.



NEXEN

Indication: douleurs aiguës, symptômes de l'arthrose douloureuse et des règles douloureuses

PRINCIPE ACTIF: nimésulide

LABORATOIRE: Thérabel Lucien Pharma

AUTORISÉ DEPUIS: juillet 1995

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR: Cet anti-inflammatoire non stéroïdien (AINS) expose à de rares mais très graves hépatites. Les atteintes du foie ont été suspectées dès la mise sur le marché, alors même que le Nexen n'apporte aucun progrès thérapeutique par rapport aux autres AINS. En 2010, un rapport de la commission européenne de mise sur le marché dénombrait plus de 500 attaques graves du foie, dont certaines ont nécessité une greffe. La Finlande et l'Espagne l'ont retiré du marché dès 2002. L'Irlande, notamment, a suivi en 2007. Le dossier de ce produit est en cours de réexamen en France. Le verdict devrait être connu prochainement.

PROTELOS

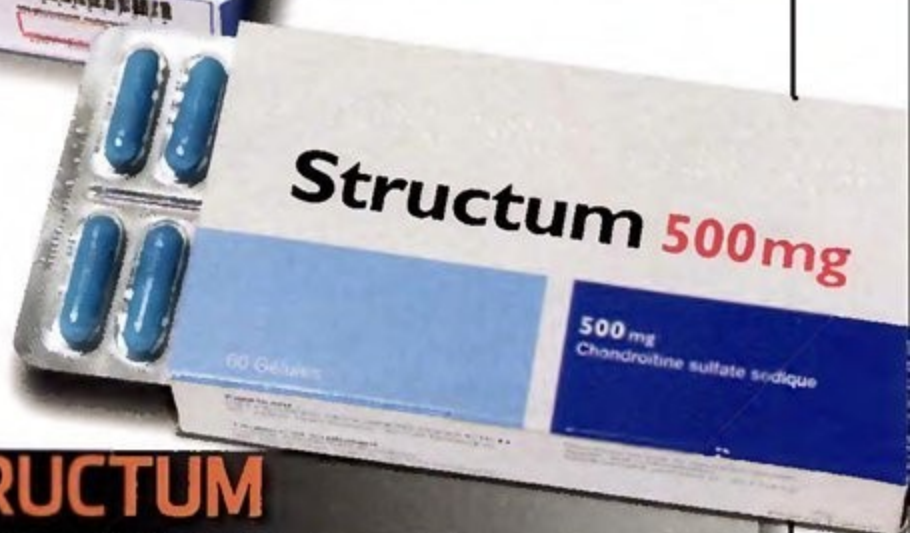
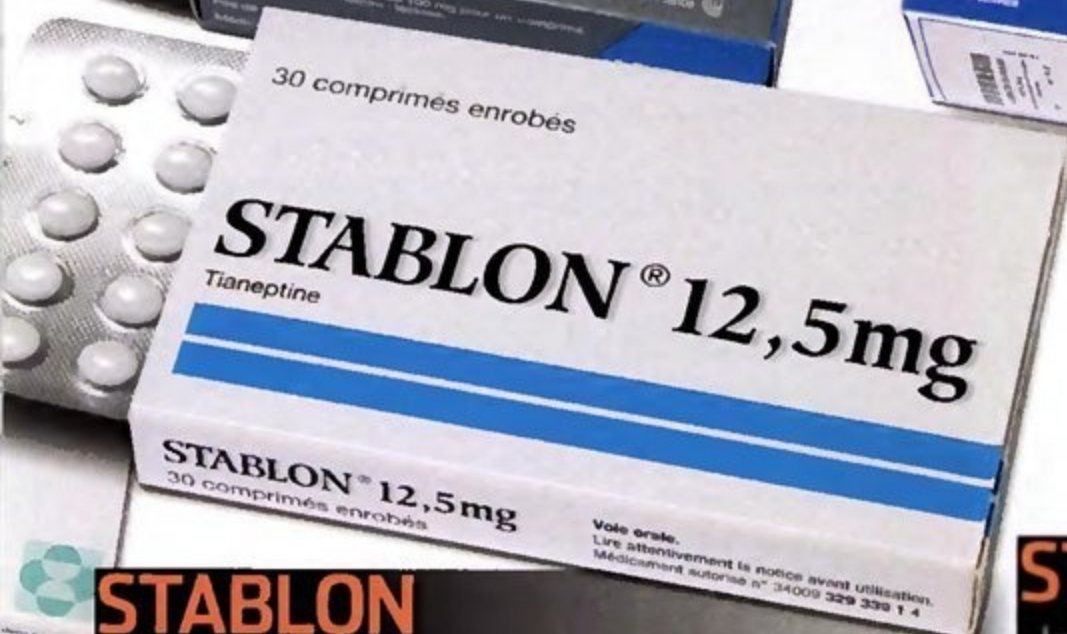
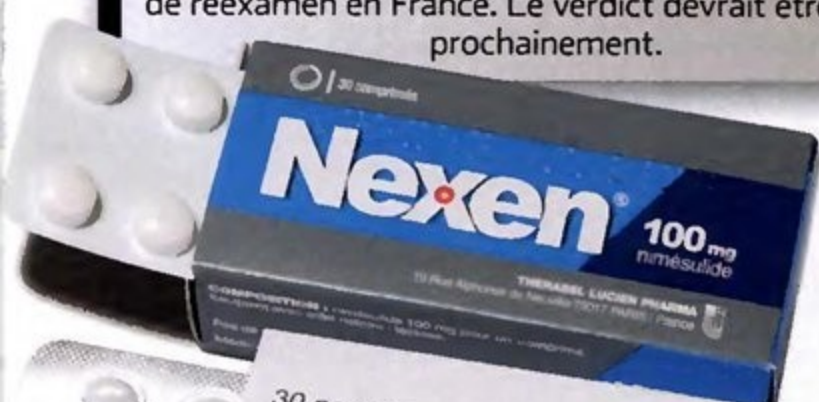
Indication: ostéoporose post-ménopausique en plus d'un apport en vitamine D et en calcium

PRINCIPE ACTIF: ranélate de strontium

LABORATOIRE: Servier

AUTORISÉ DEPUIS: septembre 2004

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR: Alors que l'efficacité du strontium reste mal connue, la liste des risques associés au Protelos s'est encore allongée en 2009. Des lésions de la peau (nécrolyses épidermiques toxiques) et des atteintes respiratoires (hyperactivité bronchique) se sont ajoutées à la longue liste des effets secondaires déjà identifiés (troubles digestifs, psychiques, risques d'embolies pulmonaires ou de thromboses veineuses). Fin 2009, les autorités sanitaires européennes ont donc décidé de soumettre le médicament à une nouvelle procédure d'autorisation de commercialisation... d'ici cinq ans. En attendant, autant s'en passer.



STABLON

Indication: épisodes dépressifs majeurs

PRINCIPE ACTIF: tianeptine

LABORATOIRE: Servier

AUTORISÉ DEPUIS: février 1987

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR: Cet antidépresseur ne fait guère mieux que d'autres en termes d'efficacité, mais il provoque une dépendance et entraîne une véritable toxicomanie dans 1 à 3 cas sur 1000. Ce phénomène, connu depuis 1993, n'a été inscrit dans la notice qu'en 2007. La tianeptine s'apparente à l'amineptine, retirée du marché en 1999 et classée comme stupéfiant depuis 2005. À éviter, surtout en cas d'antécédent de toxicomanie.

STRUCTUM

Indication: traitement d'appoint des douleurs liées à l'arthrose

PRINCIPE ACTIF: chondroïtine

LABORATOIRE: Pierre Fabre Médicament

AUTORISÉ DEPUIS: août 1993

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR: Bien qu'identique au Chondrosulf (voir plus haut), Structum n'affiche pas exactement les mêmes effets indésirables (rares œdèmes de Quincke, notamment). Une différence due au fait que les fabricants soumettent des études disparates aux autorités. Avec un service médical rendu insuffisant, auquel s'ajoutent des effets secondaires peu souhaitables, Structum n'a pas sa place dans nos armoires à pharmacie.



VASTAREL

Indication : traitement prophylactique de l'angine de poitrine, symptômes des vertiges et des acouphènes, troubles du champ visuel

PRINCIPE ACTIF : trimétazidine

LABORATOIRE : Servier

AUTORISÉ DEPUIS : mars 1963

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : Avec une efficacité considérée comme allant de modérée à faible, voire insuffisante selon l'indication, cette vieille spécialité présente un rapport bénéfices/risques tout à fait défavorable quand on sait qu'elle peut provoquer un syndrome parkinsonien (tremblements incontrôlés), généralement réversible à l'arrêt du traitement. Quelques autres effets indésirables (purpura, abaissement du taux des plaquettes, etc.) sont signalés. Trop pour continuer à prendre ce produit en vente libre, qui fait enfin l'objet d'une vigilance renforcée. Attention, il en existe de nombreux génériques.



ZYPREXA

Indication : schizophrénie et troubles bipolaires; il semble souvent prescrit aux personnes âgées atteintes de démence

PRINCIPE ACTIF : olanzapine

LABORATOIRE : Lilly France

AUTORISÉ DEPUIS : février 2000

POURQUOI IL FAUT LE BANNIR : Les risques d'hyperglycémie (un symptôme du diabète) et d'obésité sévère, supérieurs à ceux des autres médicaments de la même classe des antipsychotiques atypiques, sont reconnus par le laboratoire qui le commercialise. Cependant, le Zyprexa s'est vu poursuivi en justice aux Etats-Unis par 28 000 plaignants, que la firme a indemnisés. Les autres médicaments de la même classe lui sont préférables. L'olanzapine est désormais sous surveillance renforcée.

Et ceux-là ne servent à rien...

Alors qu'ils sont parmi les plus prescrits, voici 9 médicaments qui ne se montrent pas plus performants qu'un placebo dans certaines des indications pour lesquelles ils sont vendus. Du coup, mieux vaut s'assurer qu'ils ne sont pas contre-indiqués (en cas d'allergie par exemple).

► **BIPERYDIS** (dompéridone). Contre les sensations de gêne abdominale et les régurgitations gastriques. D'effet "modéré" contre les nausées et les vomissements, ce médicament n'a pas d'efficacité démontrée par ailleurs.

► **DEXERYL** (glycérol, vaseline, paraffine). Contre la sécheresse cutanée du psoriasis et les petites brûlures superficielles. Serait modérément à faiblement utile pour d'autres lésions cutanées.

► **ELUDRIL ET ALODONT** (digluconate de chlorhexidine, chlorobutanol hémihydraté). Contre les infections de la cavité buccale et après un soin de stomatologie. Les petites plaies buccales se soignent toutes seules avec une hygiène classique. En cas d'infection, les antibiotiques s'imposent.

► **MAGNE B6** (magnésium, vitamine B6). Contre les carences en magnésium. Souvent prescrit à pure perte contre les malaises, la fatigue et l'anxiété. L'association du magnésium et de la vitamine B6 ne soigne pas la carence en magnésium.

► **RHINOTROPHYL** (ténate d'éthanolamine). Contre les affections de la muqueuse rhinopharyngée. Au pire, il peut provoquer une irritation nasale.

► **SMECTA** (diosmectite). Contre les diarrhées chroniques. Le premier traitement reste la réhydratation. Le service médical rendu (SMR) reste faible dans les douleurs de coliques et modéré dans les diarrhées aiguës de l'enfant.

► **SPASFON** (phloroglucinol, triméthylphloroglucinol). Contre les douleurs des voies biliaires. Son SMR dans toutes ses autres indications (règles douloureuses, coliques néphrétiques...) est au mieux modéré et sinon faible.

► **TANAKAN ET VITALOGINK** (ginkgo biloba). Contre les troubles cognitifs du sujet âgé (sauf démences): claudication, troubles du champ visuel, de l'audition, vertiges, acouphènes, rétrécissement des artères des extrémités (phénomène de Raynaud). Rares vasodilatateurs à se maintenir parmi les plus prescrits, ils n'ont pas beaucoup plus d'effets thérapeutiques que d'effets indésirables.

► **TRIMEBUTINE MYLAN** (trimébutine). Contre les troubles fonctionnels des voies biliaires. Il n'entre pas dans la stratégie de prise en charge de ces affections, selon la Haute Autorité de santé.

Le Salon de la Consommation Durable

du **31 mars**
au **3 avril**

Paris-Porte de Versailles

PLANETE
DURABLE

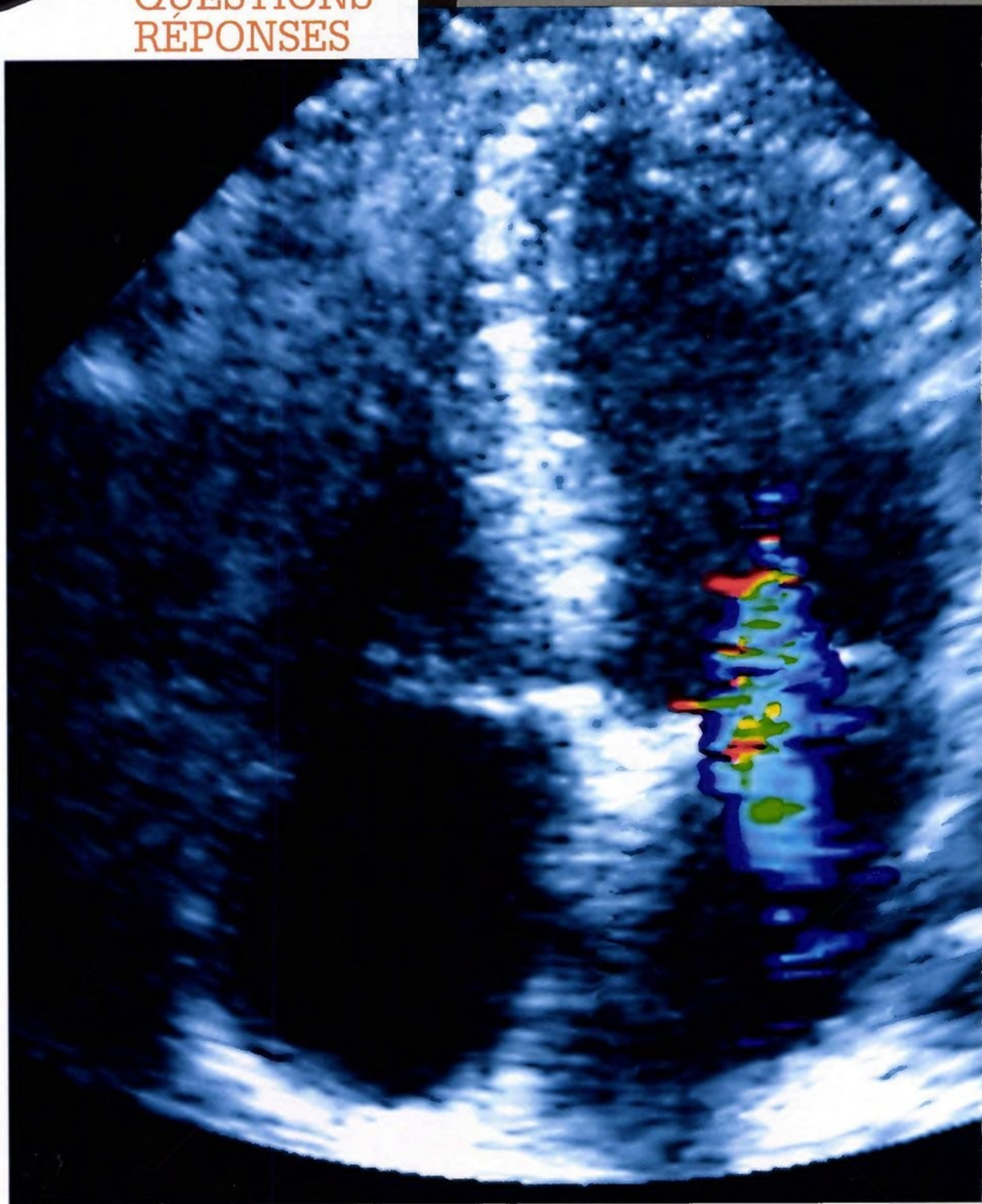


www.planete-durable.com



EN PRATIQUE

QUESTIONS RÉPONSES



Comment un "coupe-faim" comme le Mediator peut-il dérégler le cœur?

Cette question, nous sommes nombreux à nous l'être posée depuis que l'affaire du Mediator défraie la chronique. Ce médicament des laboratoires Servier, antidiabétique largement utilisé comme coupe-faim, a été retiré de la vente en novembre 2009. Il augmente en effet le risque de valvulopathie, c'est-à-dire de lésions des valves cardiaques, ces quatre "clapets" de structure élastique qui séparent les cavités cardiaques et empêchent normalement le reflux sanguin. Selon l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (Afssaps), 500 décès

Question de Martial Pourteau, Paris 17^e

seraient imputables au Mediator depuis sa commercialisation en 1976.

Petite précision: bien qu'abusivement prescrit à des patients souhaitant maigrir, le Mediator n'est pas à proprement parler un coupe-faim. Il s'agit en réalité d'un "adjuvant au régime adapté chez les diabétiques avec surcharge pondérale".

DÉRIVÉ DE L'AMPHÉTAMINE

Jusqu'en 2007, il était aussi indiqué en cas d'excès de triglycérides dans le sang. Son principe actif, le benfluorex, permet de diminuer le taux de glucose sanguin en améliorant la sensibilité des cellules à l'insuline, hormone stimulant sa captation. Il agirait également en favorisant la synthèse par le foie de glycogène, forme de mise en réserve du sucre. Or, ce dernier mécanisme constitue un signal de satiété envoyé au cerveau: il permet donc de modérer la faim.

Mais voilà: une partie de la structure chimique du benfluorex est commune à celle des fenfluramines, des dérivés de l'amphétamine entrant dans la composition

de deux autres coupe-faim, l'Isoméride et le Pondéral... qui ont été retirés du commerce dès 1997 en raison de leurs effets indésirables – en particulier leur toxicité cardiaque. A l'origine, les propriétés anorexigènes des fenfluramines sont plus puissantes que celles du benfluorex car elles agissent directement sur le système nerveux central, via les récepteurs de la sérotonine, un neuromédiateur qui intervient dans la régulation de l'appétit. Oui, mais comme tout médicament, les fenfluramines subissent dans l'organisme des transformations par les enzymes du métabolisme humain, notamment en norfenfluramine: ce métabolite représente 30 % des concentrations de fenfluramines retrouvées dans le sang. Or, en 2000, des scientifiques ont montré que ce métabolite provoque un épaississement et une rétraction des valves du cœur. Fait troublant qui semble avoir échappé aux autorités de santé jusqu'en 2009, le benfluorex (Mediator) est lui aussi partiellement métabolisé en →



⚠ Le Mediator agit sur les valves du cœur, au risque d'irrégularités du flux sanguin (en couleurs sur cette échographie).



→ norfenfluramine, avec des niveaux d'exposition comparables à ceux observés en cas de prise d'Isoméride ou de Pondéral...

Qui plus est, la structure chimique de la norfenfluramine est proche de celle de la fenfluramine et, comme cette dernière, elle possède une affinité pour les récepteurs de la sérotonine. A une différence près: alors que la fenfluramine se fixe essentiellement sur certains récepteurs présents dans le cerveau, la norfenfluramine affectionne divers autres récepteurs que l'on retrouve... au niveau du cœur.

DÉFAUT D'ÉTANCHÉITÉ DES VALVES DU CŒUR

Il faut savoir en effet que la sérotonine est distribuée dans l'organisme par la circulation sanguine et possède des actions physiologiques nombreuses et complexes lorsqu'elle se couple à différents types et sous-types de récepteurs. Il se trouve que certains de ces récepteurs, baptisés 5-HT_{2B}, impliqués notamment dans la prolifération et la survie

des cellules du cœur, sont très nombreux au niveau des valves cardiaques. En les activant, la norfenfluramine induit une multiplication de cellules appelées myofibroblastes, qui sécrètent un dépôt de molécules de sucre. Ces substances forment, sur les cordages tendineux rattachant les valves à la paroi musculaire, une gangue fibreuse blanchâtre très caractéristique. Avec, à la clé, un défaut d'étanchéité des valves durant les phases de remplissage des cavités cardiaques. Les symptômes sont d'abord discrets, mais un essoufflement à l'effort, puis au repos, ainsi qu'un œdème des membres inférieurs peuvent s'installer.

A terme, le mauvais fonctionnement de la pompe cardiaque peut engendrer une insuffisance cardiaque, avec des conséquences allant jusqu'au décès. Un risque qui pèse bien lourd dans la balance, quand les bénéfices du Mediator restent mineurs, son efficacité dans le contrôle du diabète étant modeste selon les experts... M.M.

LES POUMONS AUSSI PEUVENT ÊTRE TOUCHÉS

Les méfaits des dérivés fenfluraminiques ne s'arrêtent pas aux valvulopathies. Ils peuvent aussi induire des hypertension artérielles pulmonaires (HTAP) selon un mécanisme encore mal connu mais qui diffère probablement de celui observé au niveau du cœur. Ces pathologies redoutables, qui se traduisent par une élévation anormale de la pression sanguine dans les artères pulmonaires, diminuent fortement la tolérance à l'effort et peuvent provoquer une insuffisance cardiaque. L'apparition d'une HTAP serait le fruit d'une interaction complexe des fenfluraminiques avec les actions locales de la sérotonine, modifiant notamment son transport à l'intérieur des cellules (via un transporteur transmembranaire) et sa fixation sur les récepteurs à la surface des cellules musculaires lisses des poumons.

Manger moins de viande est-il vraiment bon pour la planète ?

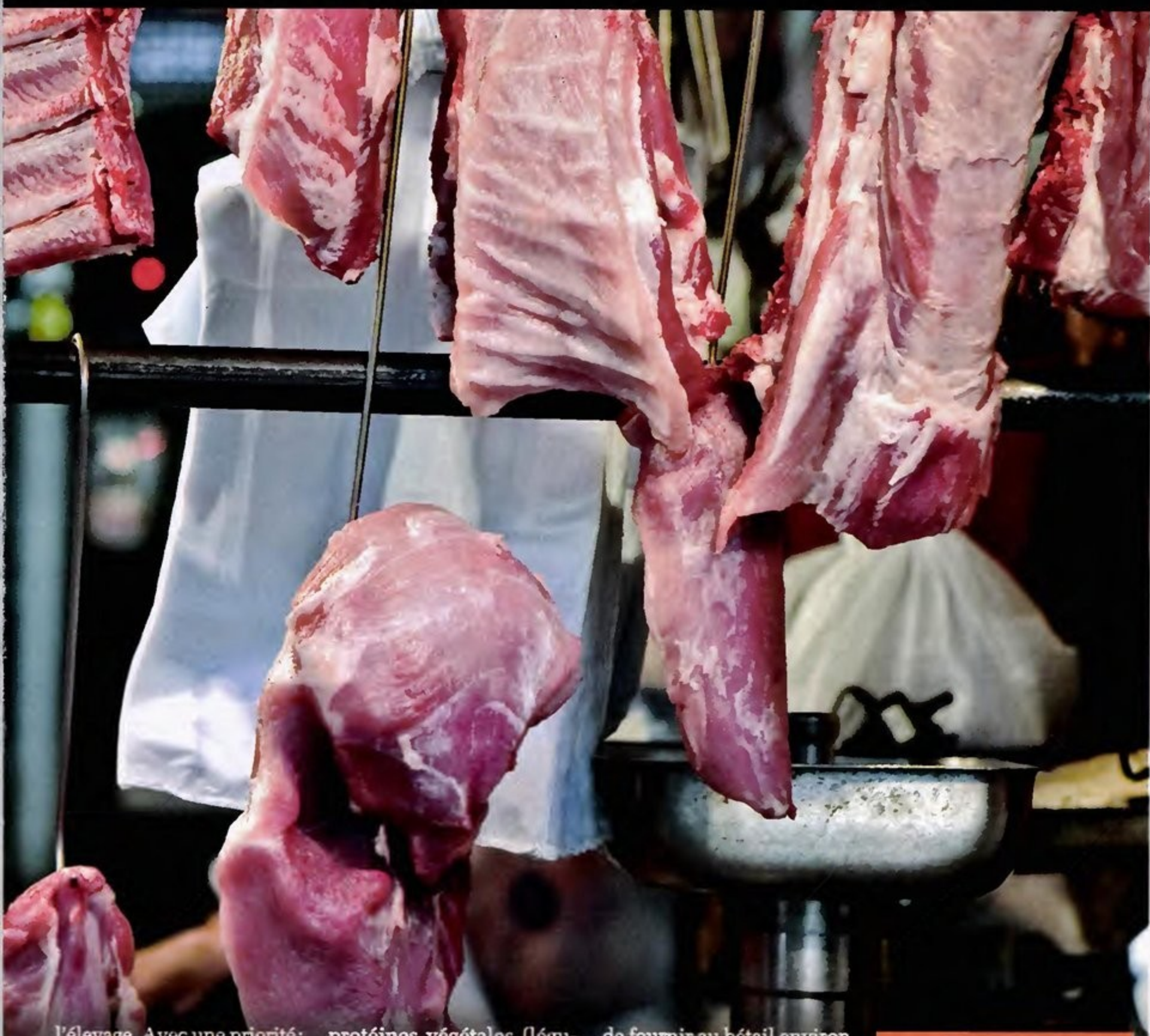
Question de Raphaël Louveau, Paris 9^e

Hélas pour les amateurs, la réponse est oui. Non seulement l'industrie de l'élevage est extrêmement gourmande en eau et en ressources agricoles, mais en plus elle pollue. Et cette réalité est de mieux en mieux évaluée. "En 2006, un rapport de la FAO a fait l'effet d'une bombe", relate Hayo van der Werf, à l'Inra. Pour la première fois, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture décrit, chiffres à l'appui, en quoi "l'élevage contribue aux problèmes environnementaux les plus pressants, notamment le réchauffement climatique, la dégradation des terres, la pollution de l'air et de l'eau, et la perte de biodiversité". En clair, le bétail joue un rôle essentiel dans le changement climatique. Et même un double rôle: le premier concerne la déforestation qui prive la planète d'un régulateur climatique important. En Amazonie par exemple, les pâturages sont à l'origine de 70 % des déboisements. Deuxièmement: les ruminants émettent, en digérant, de grandes quantités

de méthane, un gaz à effet de serre plus puissant que le dioxyde de carbone. Ils sont ainsi responsables de 18 % des émissions de gaz à effet de serre (en comptant le transport) de la planète: plus que les transports eux-mêmes. Le bétail contribue également à la pollution des eaux par ses déjections riches en nitrates, en hormones perturbatrices des systèmes endocriniens, en antibiotiques utilisés massivement dans l'élevage et en pesticides issus des céréales alimentaires. Pour ne citer que la France, 6^e producteur de viande de bœuf et de porc, elle produit chaque année quelque 280 millions de tonnes de déjections.

LES PROTÉINES VÉGÉTALES

Et la situation ne s'améliore pas puisque la consommation mondiale de viande ne cesse d'augmenter. Elle n'est encore que de 100 g par jour en moyenne dans le monde, mais plafonne à 200 g dans les pays développés. Dans ces conditions, les spécialistes s'accordent sur la nécessité de réduire les impacts environnementaux de



l'élevage. Avec une priorité: *"Se mettre dans la perspective de 2050, quand il y aura 9 milliards de personnes sur Terre"*, souligne Hayo van der Werf.

Une première approche consisterait à changer les pratiques d'élevage, par exemple, en alimentant le bétail avec l'herbe locale plutôt qu'avec du soja importé d'Amérique du Sud. Mais aussi en remplaçant, dans nos assiettes, les protéines animales (viande, œufs, laitages) par des

protéines végétales (légumineuses, notamment). Selon la FAO, une alimentation à base de produits animaux exige 4,5 fois plus de surfaces agricoles qu'une alimentation à base de végétaux: la production d'un kilo de protéines animales consomme 13 fois plus d'eau que celle d'un kilo de protéines végétales. Selon l'Américain David Pimentel, de l'université Cornell (Ithaca, Etat de New York), chaque kilo de protéine animale nécessite

de fournir au bétail environ 6 kg de protéines végétales. Un kilo de bœuf exige 100 000 litres d'eau, alors que les pommes de terre se contentent de 500 litres par kilogramme. Les calculs de Elke Stehfest, de l'agence environnementale des Pays-Bas, montrent que si la population mondiale passait à un régime pauvre en viande (70 g de bœuf et 325 g de poulet et d'œufs par semaine), les émissions de gaz à effet de serre chuteraient de 10 %. A.D.

**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
pour une personne de leur choix).

La question doit
impérativement être rédigée
sur une carte postale.

**SCIENCE & VIE,
QUESTIONS/RÉPONSES**

8, rue François-Ory
92543 MONTROUGE CEDEX.



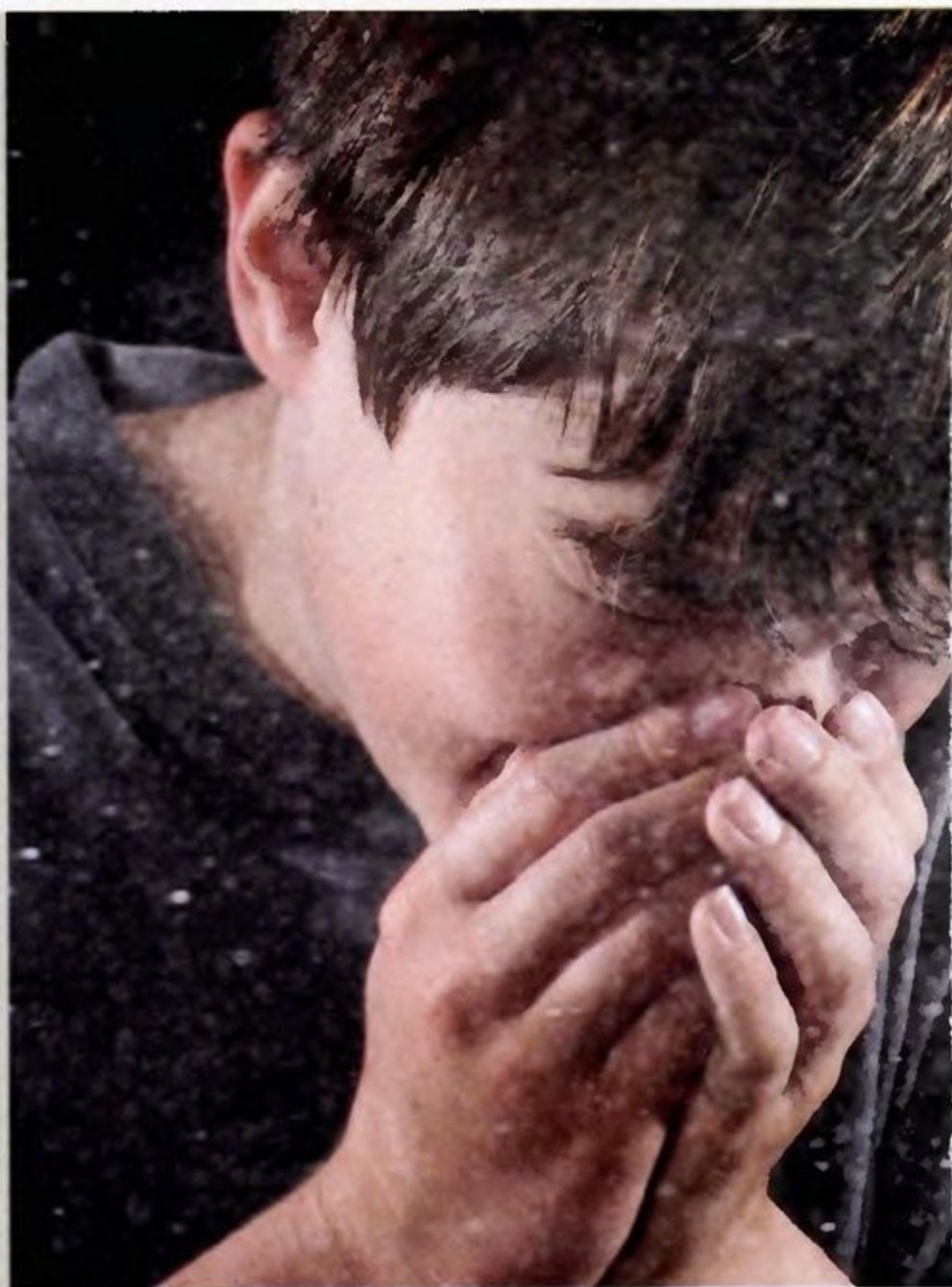
Pourquoi ferme-t-on les yeux quand on éternue ?

Question de Matthieu Bailly, Torcy (77)

Nous fermons tous les yeux quand nous éternuons. Ce phénomène peut s'expliquer de deux façons. Il est d'abord lié à l'existence d'un canal lacrymal par lequel s'écoule vers le nez l'excès de larmes qui humidifient l'œil. Deuxième élément de réponse : l'éternuement est un réflexe qui implique le corps entier. De fait, en cas de contact d'un corps étranger avec la muqueuse nasale ou en cas d'irritation, les muscles expirateurs (diaphragme, muscles intercostaux) contractent brutalement la cage

thoracique pour expulser l'air des poumons. Cette violente remontée d'air jusqu'au nez provoque un soudain reflux aérien à très haute pression dans le canal lacrymal, ce qui déclenche l'excitation réflexe des muscles de la paupière, qui se ferment aussitôt.

La violence nécessaire à l'expulsion du corps étranger entraîne ainsi un mouvement musculaire général – au point parfois de provoquer une douleur dans le dos –, un mouvement auquel participent donc également les paupières. P.G.



Connaissons-nous l'ancêtre commun des insectes ?

Question de A. Le Maout, Mont-de-Marsan (40)

La réponse à cette question est simple : à ce jour, l'ancêtre des insectes reste inconnu. Il existe pourtant une piste : *"Les insectes pourraient être des crustacés adaptés à la vie terrestre"*, explique Thierry Deuve, chercheur au département de systématique et évolution du Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Une hypothèse radicalement différente de

celle qui prévalait encore il y a vingt ans. En effet, selon la classification conçue au XVIII^e siècle par le naturaliste suédois Carl von Linné, qui était fondée sur des critères morphologiques, les insectes appartenaient à l'embranchement des arthropodes, c'est-à-dire les invertébrés à squelette externe et appendices segmentés. Les insectes y étaient placés, avec les

myriapodes (mille-pattes), dans le groupe des atélocérates apparus il y a environ 400 millions d'années, au milieu de l'ère primaire.

ET SI LEUR ANCÊTRE ÉTAIT UN CRUSTACÉ ?

Or, la nouvelle hypothèse défendue par Thierry Deuve, qui fut émise pour la première fois en 1995 par plusieurs chercheurs, dont Jeffrey L. Boore, alors au département de biologie de l'université du Michigan (Etats-Unis), est confortée

par des études de biologie moléculaire italienne et britannique publiées en 2007. Les chercheurs ont en effet découvert de grandes similitudes entre crustacés et insectes en analysant l'ADN contenu dans leurs mitochondries, ces petites structures intracellulaires distinctes du noyau et productrices d'énergie. Une analyse qui leur permet de penser que c'est en s'adaptant au milieu terrestre que les insectes se seraient différenciés des crustacés.

Un satellite peut-il avoir un satellite ?

Question de Siméon Cappy, Rouffach (68)

Personne n'a encore jamais observé un tel objet dans le système solaire. Pourtant, au mois de décembre 2010, des chercheurs américains ont émis l'idée que, par le passé, un satellite de Saturne, baptisé Japet, aurait pu lui-même posséder une petite lune. Laquelle n'aurait pas perduré très longtemps. Car pour rester sagement sur son orbite, un satellite secondaire doit évoluer entre deux marges très étroites.

Trop bas, il passe sous la "limite de Roche" : l'action des forces de marée causées

par le corps céleste autour duquel il orbite le déchiquette alors littéralement. C'est ce qui serait advenu à la lune de Japet, réduite en pluie de météorites. Tombée sur la ceinture équatoriale de Japet, celle-ci expliquerait la présence de cette montagne de 20 km de hauteur qui donne au satellite de Saturne son étonnante forme de coquille de noix.

UNE ORBITE PRÉCAIRE

Inversement, s'il est trop haut, le satellite sort cette fois de la "sphère de Hill", qui délimite la zone

d'influence gravitationnelle d'un corps en présence d'un autre plus massif. Dès lors, c'est la planète qui l'emporte : le satellite secondaire repasse progressivement sur une orbite plus stable autour de la planète elle-même. Or, les 168 lunes du système solaire, très proches de leur planète respective, possèdent une sphère de Hill très réduite. La plus grande passe à seulement 51 000 km au-dessus de la surface de Titan, autre lune de Saturne.

En conclusion, il y a donc très peu de chances pour qu'un satellite de satellite existe dans le système solaire. Mais cela ne veut pas dire que c'est impossible. Sait-on jamais, un jour, peut-être découvrirons-nous une telle curiosité céleste... dans un autre système stellaire. B.R.

(lesquels existaient 150 millions d'années auparavant). La classification moderne propose donc que les insectes soient alors intégrés à la classe des hexapodes (des organismes à six pattes), eux-mêmes appartenant à un sous-embranchement appelé pancrustacés qui comprend les crustacés *stricto sensu*.

Leur ancêtre commun serait donc plutôt à chercher de ce côté-là. Pour certains chercheurs, il se trouverait dans la lignée de *Canadaparis perfecta*, une sorte de crustacé primitif doté d'une carapace et de nombreuses pattes, dont des fossiles vieux d'environ 505 millions d'années ont été retrouvés dans les schistes de Burgess, au Canada. J.-P.C.



◀ Japet, une des lunes de Saturne, a peut-être possédé son propre satellite secondaire.



EN PRATIQUE

TECHNOFOLIES

La première console qui affiche la 3D sans lunettes

Décors tout en profondeur, personnages se détachant au premier plan... la 3DS est la première console de jeux en relief... sans lunettes! Son secret: l'autostéréoscopie. Visite guidée.

C'est une première mondiale dans le monde des jeux vidéo: la console 3DS de Nintendo affiche personnages et décors en trois dimensions! Et ce, sans qu'il

soit nécessaire de porter de lunettes spéciales.

Le secret de son fonctionnement est un écran "autostéréoscopique" développé par Sharp. Il affiche une image composite, constituée de deux images entremêlées, l'une destinée à l'œil gauche, l'autre à l'œil droit. Chaque œil ne voit que les pixels qui lui sont destinés grâce à un filtre qui dédouble l'image, donnant à chacune un angle de vue différent. Un procédé qui fait appel à la notion de "barrière de parallaxe". Lorsqu'il reçoit ces deux images, le cerveau les "additionne" et reconstitue ainsi une impression de relief (voir infographie).

Le principe de l'autostéréoscopie à barrière de parallaxe est appliqué pour la première fois à la photographie en 1896. Ce n'est qu'à la fin des années 1980 que des chercheurs tentent de l'adapter à la vidéo. Au milieu des années 1990 apparaissent les

premiers prototypes, mais il faudra attendre l'avènement des écrans plats à haute définition, puis la baisse des coûts, pour envisager une production à grande échelle. Nous y sommes.

DES CONTRAINTES...

Ce progrès induit toutefois certaines contraintes. La première est minime: l'angle de vision pour percevoir la 3D est restreint. Le joueur doit donc être parfaitement en face de l'écran et s'en éloigner d'environ 35 cm...

Plus gênante: la fatigue oculaire engendrée par la 3D,

qui se ressent assez vite avec certains jeux où l'effet de relief est très prononcé. Après une demi-heure d'utilisation, les yeux piquent un peu et on ressent le besoin de faire une pause. Bien que pour l'Association américaine d'optométrie, cela ne présente aucun danger, Nintendo déconseille son utilisation aux enfants de moins de 7 ans et a prévu une utilisation en 2D traditionnelle. "Il n'y a a priori aucun risque, mais nous préférons informer et responsabiliser les parents",

3 DATES CLÉS

1896

L'ingénieur suisse Auguste Berthier invente la photographie en relief par le réseau ligné (alternance de zones opaques et transparentes), qui crée d'elle-même un effet de relief visible sans accessoire.

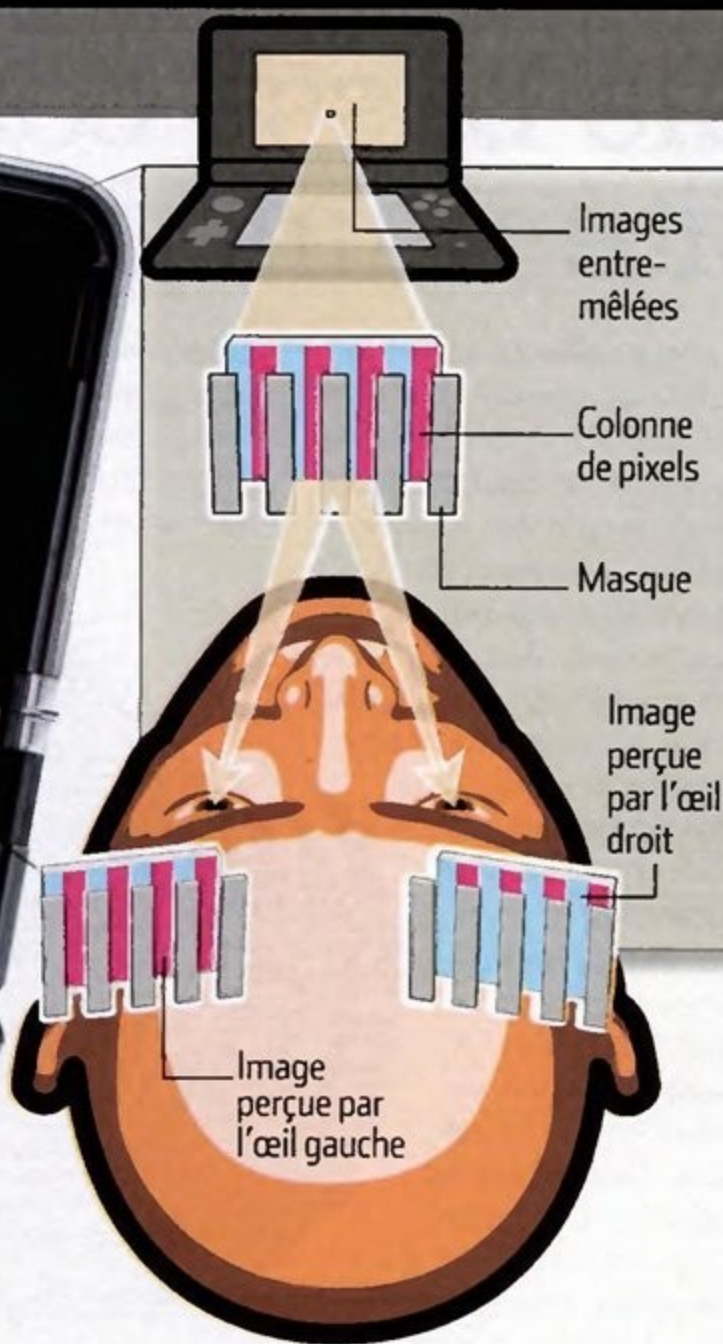
1903

Ce procédé d'autostéréoscopie est redécouvert par l'Américain F. Ives qui dépose un brevet sur le "Parallax Stereogram".

2004

L'Actius RD3D de Sharp, 1^{er} ordinateur portable avec écran autostéréoscopique à barrière de parallaxe, fait un flop. Trop cher.





Comment ça marche

L'écran de la console affiche deux images entremêlées : l'une, pour l'œil gauche, est constituée de colonnes de pixels spécifiques (ici, en rouge), l'autre, destinée à l'œil droit, utilise d'autres colonnes (en bleu). Un masque placé devant la source lumineuse de l'écran autostéréoscopique empêche l'œil gauche de voir les colonnes bleues, et l'œil droit de voir les rouges.

< La 3DS relance l'ancien procédé de l'autostéréoscopie.

✓ La console permet aussi de prendre des photos en 3D, et de créer des avatars pour, notamment, personnaliser le profil de chaque joueur.



▲ L'effet 3D s'active et s'accroît en glissant ce petit curseur vers le haut.

justifie Mathieu Minel, directeur marketing de Nintendo France. Dernier inconvénient : l'écran consomme beaucoup d'énergie. Ainsi, l'autonomie de la 3DS serait d'environ quatre heures en mode 3D contre six heures trente en 2D. C'est peu,

comparé aux quatorze heures des DS actuelles...

Le fabricant va essentiellement miser sur les jeux 3D. En France, seuls une douzaine de titres seront disponibles au lancement, mais la console est compatible avec les jeux de la DS. A noter que la 3DS permet également de prendre et de visualiser des photos en 3D, la console étant équipée d'un double capteur en façade.

Nintendo espère vendre 4 millions de 3DS dans le monde d'ici à la fin mars. Sa console devrait ainsi populariser l'autostéréoscopie auprès d'un large public. La télévision aimerait évidemment bénéficier du procédé et les industriels y travaillent activement. L'industriel japonais Toshiba a présenté début janvier à Las Vegas plusieurs prototypes grand format. Leur commercialisation en Europe n'est cependant pas prévue avant 2012. **David Maume**

Prix : env. 250 €.

Rens. : www.nintendo.fr





L'ampoule basse conso à intensité immédiate

Deux ampoules en une, c'est l'idée lumineuse des chercheurs américains de General Electric. Jusqu'à présent, deux produits existaient sur le marché: les lampes fluorescentes compactes (LFC), dont les ampoules à basse consommation d'énergie atteignent leur pleine puissance progressivement; et les ampoules halogènes qui consomment davantage mais se mettent en route rapidement. Pour faciliter le choix, General Electric a trouvé la solution: prendre le meilleur des deux! Ainsi, son ampoule hybride devrait satisfaire les indécis. Nichée à l'intérieur de l'ampoule fluocompacte en forme de spirale, une petite capsule halogène s'allume en moins d'une demi-seconde et s'éteint pour passer le relais à la lampe fluorescente

dès que celle-ci a atteint son intensité maximale. Autre particularité: cet hybride contient 1 milligramme seulement de mercure quand les ampoules LFC en contiennent entre 1,5 et 3,5. Sa durée de vie est d'environ huit mille heures, soit 8 fois plus que celle d'une lampe à incandescence classique. Les premiers modèles, des ampoules de 15 et 20 watts (équivalents respectifs des ampoules à incandescence de 60 et 75 watts), seront disponibles au Canada et aux États-Unis dans le courant du deuxième trimestre 2011. Pour l'Europe, il faudra encore patienter un peu... J.J.

Prix: non communiqué
Rens.: www.ge.com

> Cette ampoule hybride s'allume instantanément comme un halogène, puis utilise la technologie basse consommation LFC.



La tente qui se plie en un tournemain

Facile à déplier, la fameuse tente 2 Seconds. Mais beaucoup moins à replier... Pour y remédier, la société Quechua vient de sortir, au terme de dix-huit mois de développement, une nouvelle version baptisée Easy. A l'intérieur de sa structure se cache un câble: lorsqu'on tire dessus, tout en maintenant la tente au sol à l'aide du cale-pied intégré,

les arceaux flexibles sont automatiquement ramenés les uns contre les autres. L'opération prend moins d'une minute. Seul bémol: une fois repliée, la tente tient dans une housse de 92 cm de diamètre (version 2 places), soit presque 30 cm de plus que la version précédente... pour un poids légèrement supérieur (3,2 kg). L.B.

Prix: env. 55 € (2 places) et 65 € (3 places).
Rens.: www.quechua.com

▲ Jusqu'à présent, la tente 2 Seconds de Quechua se déplaçait très facilement. Le dernier modèle, baptisé Easy, se replie également avec une grande facilité.



UN GILET AIRBAG SANS FIL POUR LES MOTARDS

Sous l'effet d'un choc, le gilet airbag pour deux-roues (moto et scooter) du fabricant français Bering se gonfle en 80 millisecondes et protège les zones vitales du pilote peu avant l'impact. Son principe: des capteurs installés sur la

fourche et le cadre détectent les collisions ou les pertes de contrôle du véhicule et commandent par liaison radio le gonflage du gilet. Comparé aux airbags filaires qui se gonflent à l'éjection du conducteur, celui-ci a donc l'avantage de se déclencher plus rapidement, tout en offrant davantage de liberté de mouvement. L.F.

Prix: environ 500 € (gilet, capteurs et pose compris).

Rens.: www.bering.fr



LE COIN DES PROTOTYPES

LE TANDEM ÉLECTRIQUE À QUATRE ROUES

A mi-chemin entre une Smart et un scooter à trois roues, le Twizy est un quadricycle électrique étudié par le constructeur français Renault. Ce véhicule urbain ultra-compact mesure 2,30 m de longueur et dispose d'un rayon de braquage record de 3,40 m. Ses portes latérales s'ouvrent comme des élytres et il peut accueillir deux passagers assis en tandem. Renault compte le décliner en deux versions: le Twizy 45 (5 ch), accessible sans permis et ne dépassant pas 45 km/h; et le Twizy 75, de 20 ch, qui atteindra 75 km/h et nécessitera un permis B. Une batterie lithium-ion d'une centaine de kilos leur donnera une autonomie de 100 km. La recharge complète devrait se faire en trois heures trente sur une prise 220 V standard. D.M.

Rens.: <http://tinyurl.com/2exgo9k>

> Le Twizy est un urbain ultracompact décliné en deux versions, dont l'une se conduira sans permis.



UN LECTEUR MP3 À COLLER SUR LA PEAU

Pour faire du sport en musique, des chercheurs de l'université de technologie de Taipei (Taiwan) ont imaginé un mini-lecteur MP3 à coller directement sur la peau, un peu comme un pansement. L'intérêt: les mains sont véritablement libres et la batterie se recharge en utilisant simplement la chaleur corporelle. Doté de deux haut-parleurs flexibles et d'un bouton unique lecture/stop, ce lecteur de 3 millimètres d'épaisseur est prévu pour contenir un album préchargé. Ce n'est pour le moment qu'un concept. L.B.

Rens.: www.red-dot.sg





Le robot qui joue les vigiles même la nuit

Yeux ronds et lumineux, taille d'enfant (1 mètre): Jazz Security, dernier-né du spécialiste français de la robotique de service Gostai, a une tête articulée bien sympathique. Mais ne vous y trompez pas, ce robot de télésurveillance n'a rien d'un jouet! Sa caméra infrarouge à 170° lui permet de patrouiller le jour... mais aussi la nuit. Grâce à cette fonction inédite, Jazz Security est capable de détecter à tout moment un mouvement dans l'espace où il se déplace.

Bénéficiant de cinq heures d'autonomie, il

< Sous son aspect ludique, ce robot est un redoutable patrouilleur.

peut suivre un trajet préenregistré ou se déplacer de manière aléatoire et fonctionner à des heures programmées. Lorsqu'il détecte une activité "suspecte", le vigile robotisé alerte l'utilisateur par e-mail ou SMS grâce à son système wi-fi.

L'homme peut alors prendre le contrôle du robot à distance via un navigateur web. Une interface lui permet de voir en direct ce qu'enregistre la caméra frontale. Jazz Security mémorise l'historique des vidéos et commentaires associés aux divers événements détectés. Il peut ainsi être un bon complément au travail d'un gardien ou à un système d'alarme conventionnel installé dans des grandes surfaces ou des bâtiments industriels. E.A.

Prix: à partir de 8 400 € env.
Rens.: www.gostai.com/security



UN WEB-TENSIONMÈTRE PILOTABLE PAR SMARTPHONE

Après la balance qui envoie votre poids sur Internet via une connexion wi-fi, la société française Withings vient de concevoir un tensiomètre connecté. Il s'agit d'un appareil de mesure de la pression artérielle qui se pilote avec un iPhone ou un iPad: le smartphone ou la tablette lance la mesure, l'enregistre et l'affiche dans un graphique. Les données sont ensuite stockées sur le site de Withings de manière sécurisée et éventuellement consultables par votre médecin. Une solution bientôt disponible pour le dossier médical personnel? M.N.

Prix: env. 130 €.
Rens.: www.withings.com/fr/tensiometre

Un Caméscope de poche 3D haute définition inédit

La 3D franchit maintenant le seuil des Caméscopes de poche et permet aux possesseurs de téléviseur 3D de lui trouver un nouvel usage. C'est le japonais Sony qui est le premier à s'aventurer sur ce terrain: sur son nouveau modèle Bloggie 3D, le constructeur a doublé l'optique, avec deux objectifs et deux capteurs. Ainsi, la

capture d'images se fait en stéréoscopie comme sur les Caméscopes 3D professionnels. Pratique, ce petit appareil dispose d'une clé USB intégrée pour transférer ses séquences sur un ordinateur, ainsi que d'une sortie HDMI pour les regarder directement sur son téléviseur. Qui peut le plus peut le moins: le Bloggie 3D sait aussi filmer

en 2D, voire filmer en 2D et prendre une photo en même temps. Dans tous les cas, il le fait en haute définition. Arrivée prévue en avril. M.N.

Prix: env. 270 €.
Rens.: www.sony.fr/hub/produits-2011

> Cette minicaméra de 120 g capture les images en stéréoscopie grâce à deux objectifs et deux capteurs.



TARIF EXCEPTIONNEL

ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE

BÉNÉFICIEZ D'UNE
RÉDUCTION DE

30%

SOIT 3 NUMÉROS GRATUITS

35€

seulement

1 an d'abonnement
12 numéros



BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:
SCIENCE & VIE - TSA 10005 - 8 RUE FRANÇOIS ORY 92543 MONTRouGE CEDEX

☒ **Oui, je m'abonne**
à Science & Vie pour 1 an
1 an - 12 numéros pour seulement 35€
au lieu de 50,40€

☐ **je m'abonne à**
Science & Vie
12 n° + les 4 hors-séries
pour 49€ au lieu de 70€



Voici mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

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

Code Postal : [][][][][] Ville : _____

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

E-mail : _____

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori) ☐

Mode de paiement : ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

☐ [][][][][][][][][][]

Date et signature obligatoires

Expire à fin [][][] Code Crypto [][][]

Les 3 chiffres au dos de votre CB

*Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement lué en France métropolitaine jusqu'au 30/04/2011. Après enregistrement de votre demande, vous recevrez sous 3 semaines votre premier numéro. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que votre droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-après. Vous êtes susceptible de recevoir des propositions commerciales de notre société pour des produits et services analogues à ceux objet de l'opération. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher la case ci-contre ☐ Science & Vie - Service Abonnements - 8 rue François Ory 92543 MONTRouGE CEDEX - Mondadori Magazines France SAS RCS 472 791 262 NANTERRE.

SCIENCE & VIE

AU CŒUR DE LA VIE

PLUS D'OFFRES ET
D'AVANTAGES SUR
www.kiosquemag.com



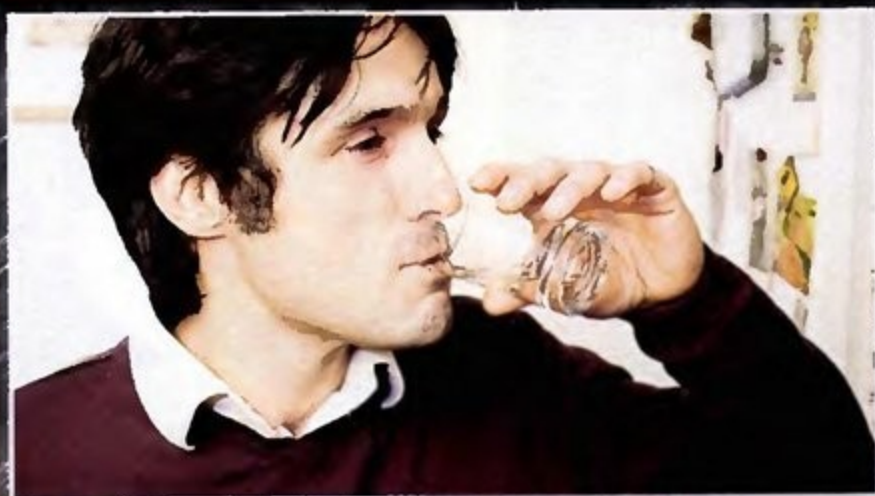
EN PRATIQUE

À FAIRE

Prélevez vous-même votre ADN

La double hélice d'ADN a été découverte en 1953 par les Américains Watson et Crick. Mais l'ADN lui-même fut mis en évidence dès 1869 par le biologiste suisse Johann Friedrich Miescher. A l'époque, la "mère de toutes les molécules" se révéla sous l'apparence d'une gelée blanche... et c'est ainsi qu'elle vous apparaîtra en dix minutes, lorsque vous l'aurez extraite de vos propres cellules. Car aussi incroyable que cela puisse paraître, prélever et rendre visible et tangible son propre ADN est plus simple et plus

rapide que de réaliser... une bonne vinaigrette! L'information génétique encodée au cœur du noyau de toutes vos cellules est à portée de main. La technique d'extraction que nous allons vous révéler est une version simplifiée de ce que réalisent les grands labos de génétique ou la police scientifique. Il y manque seulement les étapes de purification qui débarrassent ensuite la solution de tout ce qui n'est pas l'ADN. Ainsi, il n'est pas possible de faire décrypter votre ADN, mais vous pourrez le conserver (dans de l'éthanol). Er.H.



1 Faites un bain de bouche de 30 secondes avec une demi-gorgée d'eau. Frottez l'intérieur de vos joues, de vos lèvres et le dessus de votre langue contre vos dents.



4 Mélangez délicatement à l'aide d'une paille jusqu'à dissolution complète de tous les cristaux de sel, puis ajouter 1 millilitre de liquide vaisselle.

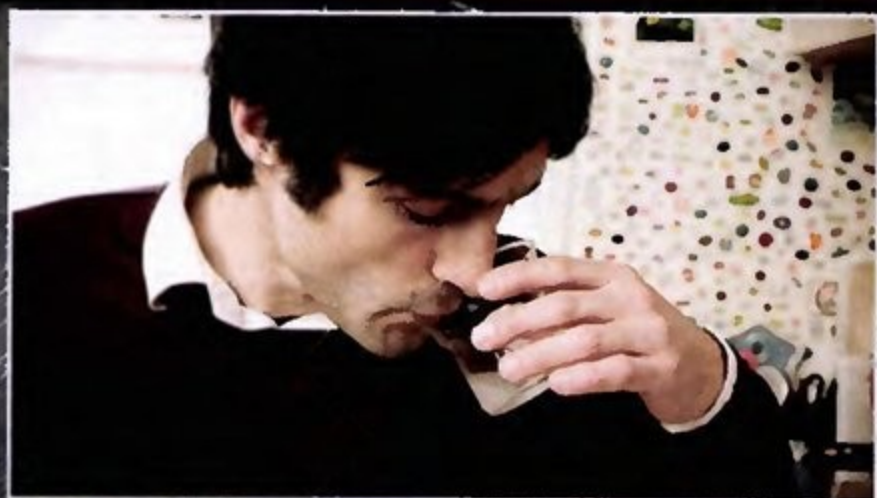
LE MATÉRIEL

- # Une paille, ou un bâtonnet en verre ou en plastique
- # Une coupe de champagne, ou un verre à thé
- # Une seringue (sans aiguille)
- # De l'alcool à brûler
- # Du sel
- # Un verre d'eau
- # Du liquide vaisselle
- # Une loupe



NOS CONSEILS

Il est très important de remuer très délicatement la solution pour ne pas incorporer d'air au mélange. Surtout, lorsqu'on crache dans le verre (étape 2), il faut retenir la mousse et ne laisser s'écouler que la partie liquide. Plus on met d'alcool (étape 5), plus la couche au-dessus du mélange sera épaisse et mieux l'on verra l'ADN. Pour augmenter le contraste entre le liquide et l'ADN (étape 6), il est préférable de se placer devant un fond sombre.



2 Le but est de récolter le plus de cellules d'épiderme possible. Recrachez la partie liquide de votre bain de bouche dans un verre propre aux parois lisses.



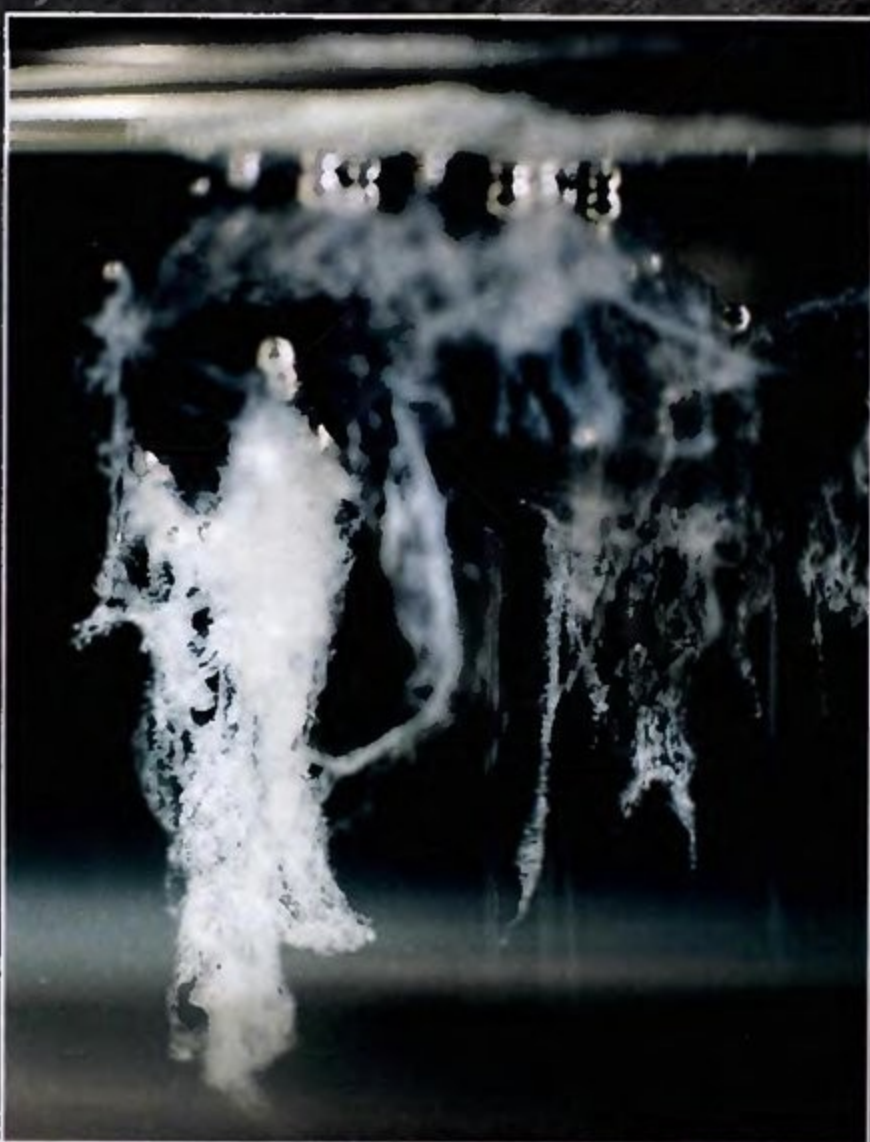
3 Ajoutez dans ce liquide trois pincées de sel fin de cuisine.



5 Ajoutez 10 ml d'alcool à brûler. Attention, il doit flotter à la surface de la solution. Une astuce : inclinez le verre et versez très lentement l'alcool à l'aide d'une seringue.

POURQUOI ÇA MARCHE

Lors du bain de bouche, des cellules de la muqueuse buccale sont arrachées. L'ADN se trouve à l'intérieur de leur noyau. Le sel de cuisine (NaCl) produit des ions Na^+ et Cl^- , empêchant que l'ADN, une fois extrait des cellules, ne s'entoure de molécules d'eau et reste invisible. L'ion sodium (Na^+) chasse les molécules d'eau en se fixant là où l'eau aurait dû se greffer du fait de sa polarisation. L'ADN porte en effet une charge négative et attire les atomes électropositifs de l'hydrogène de l'eau. L'extraction intervient lorsqu'on ajoute un détergent qui dissout les membranes lipidiques des cellules et des noyaux. Enfin, l'éthanol favorise l'action du sel car, beaucoup moins polarisé que l'eau, il ne gêne pas la migration des ions sodium jusqu'aux molécules d'ADN.



6 Au bout de 5 minutes, un voile blanc se détache, formant des filaments : c'est votre ADN entouré d'ions sodium, visible à l'œil nu ou, mieux, avec une loupe.



Retrouver la vidéo du making-of de cet article sur www.science-et-vie.com (réalisé en coproduction avec universciences.tv)



EN PRATIQUE

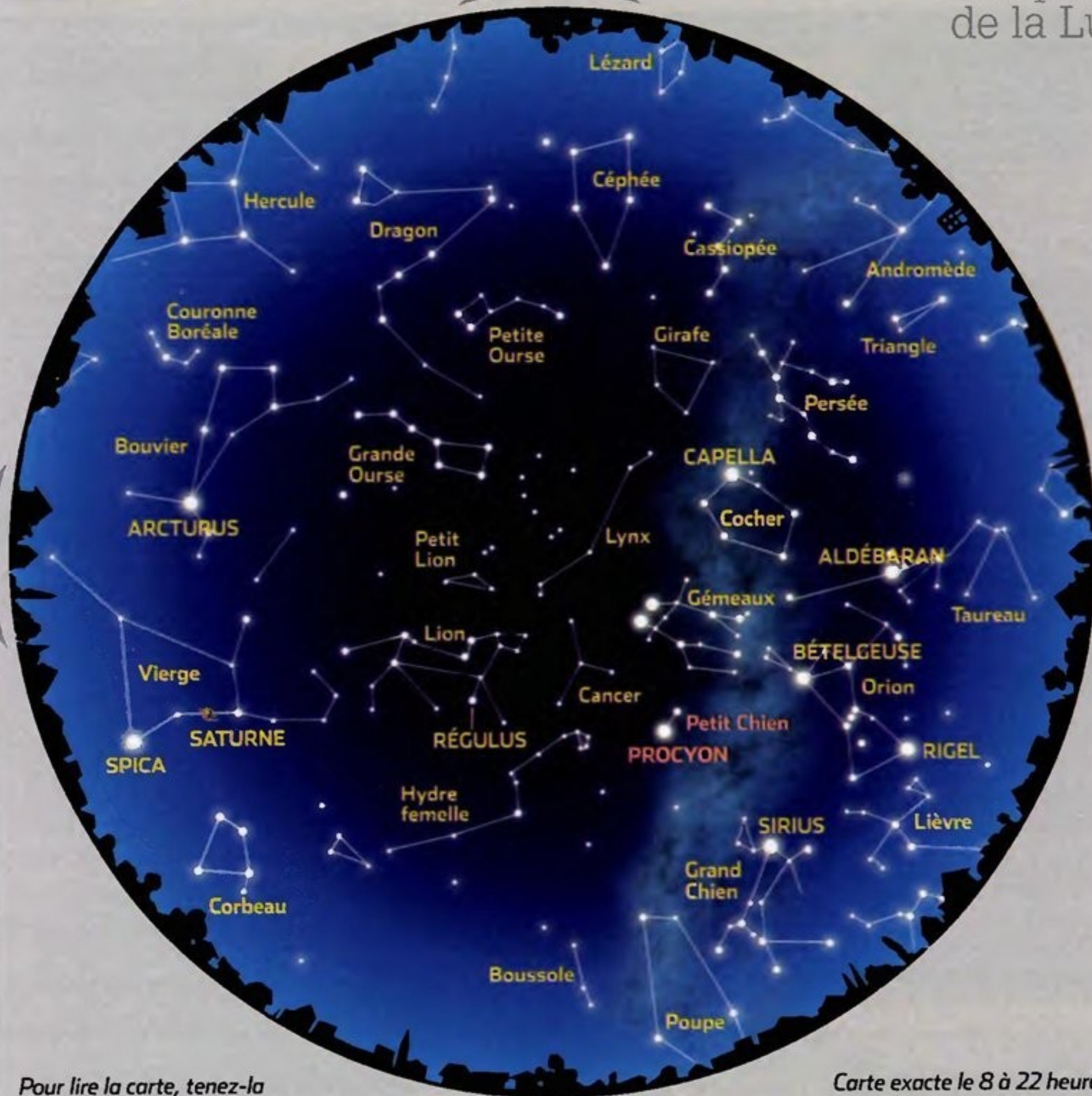
CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

Les phases de la Lune

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31



Pour lire la carte, tenez-la au-dessus de votre tête et orientez le nord avec le nord réel: les quatre points cardinaux seront ainsi bien orientés.

Carte exacte le 8 à 22 heures

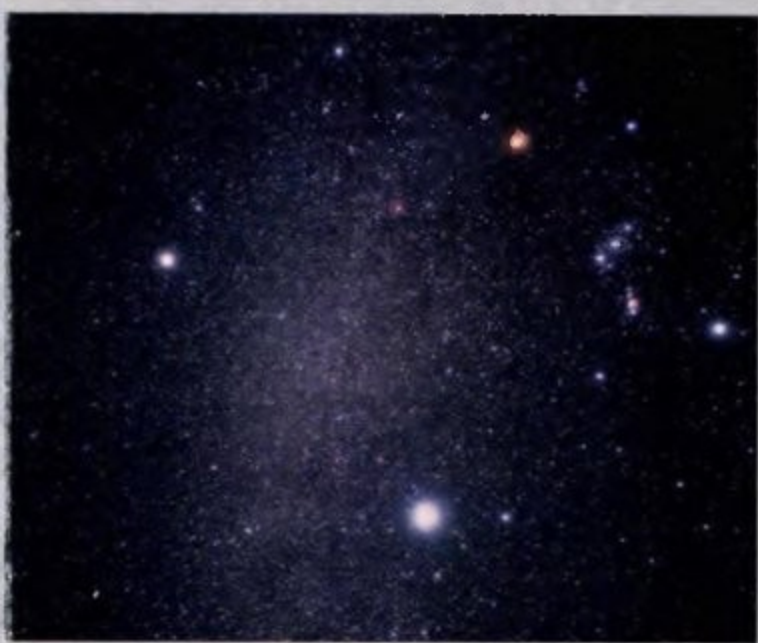
SUD

À NE PAS MANQUER... LE 19

Le 19 mars, la Lune se lève à l'est, le Soleil se couche à l'ouest, équinoxe de printemps oblige. En phase pleine, éclairée de face par notre étoile, elle brillera toute la nuit avec un éclat particulier car pratiquement à sa distance minimale de la Terre (moins de 357 000 km)... Eblouissante et très grande, la Lune montrera ses mers – immenses étendues de lave solidifiée – dessinant un visage de Pierrot surpris, ou un lapin en plein bond... Aux jumelles, les éblouissantes traînées s'étendant sur toute la face lunaire, vestiges de l'impact ayant creusé le cratère Tycho, seront particulièrement impressionnantes.

Très proche, la Lune exhibe au sud le cratère Tycho et ses éblouissantes traînées.





^ A gauche, Procyon. A droite, les étoiles de l'hiver : Sirius, en bas, Bételgeuse, en haut à dr.

LE POINT DE VUE DE PROCYON

Etoile principale de la constellation du Petit Chien, Procyon brille entre les ciels d'hiver et de printemps; elle passe au-dessus de l'horizon sud entre 21 h et minuit durant le mois de mars. Cette très lumineuse étoile, parfaitement visible à l'œil nu, même en pleine ville, est l'une des plus proches de la Terre: Procyon se situe à 11,4 années-lumière, soit 108 000 milliards de kilomètres "seulement". Procyon est deux fois plus grande et huit fois plus lumineuse que le Soleil, elle possède une minuscule compagne, la naine blanche Procyon B, à peu près grande comme la Terre et près de mille fois plus pâle que son éblouissante voisine.



Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info

tous les samedis et sur www.france-info.com

APPLICATION iPhone / iPad

BIENTÔT DISPONIBLE

skypix[®]

SCIENCE&VIE

LE CIEL À PORTÉE DE MAIN

« Avec Skypix, nous avons développé la plus puissante et la plus complète application sur le ciel du marché, fruit de toute l'expertise et du savoir-faire de Science&Vie ».

La rédaction de Science&Vie



Avec Skypix, visualisez la carte du ciel de l'endroit où vous vous trouvez



La seule application intégrant une véritable photo du ciel d'une qualité exceptionnelle



Plus de 250 objets célestes commentés par Serge Brunier, à lire mais aussi à écouter



Des vidéos exclusives pour acquérir une vraie connaissance du ciel



Un agenda personnalisé pour programmer vos alertes et visualiser les événements à venir

Plus d'informations sur www.science-et-vie.com/skypix



iPhone



iPad

Bientôt Disponible sur App Store



SCIENCE&VIE AU CŒUR DE LA VIE

ENQUÊTE LECTEURS

RÉPONDEZ À CETTE ENQUÊTE ET PARTICIPEZ À L'AMÉLIORATION DE **SCIENCE & VIE** !

Cher ami lecteur,

Numéro après numéro, nous mettons tout en œuvre pour mériter votre confiance. Et c'est pour cela qu'aujourd'hui nous faisons appel à vous. Nous souhaiterions vous associer à notre réflexion sur *Science & Vie* dans le but de réaliser des numéros qui correspondent aussi parfaitement que possible à vos attentes et à celles de tous les lecteurs. Aussi, souhaiterions-nous vous donner la parole ! Que pensez-vous de *Science & Vie* en général ? Et de celui-ci en particulier ? Quels articles vous ont attiré et comment les avez-vous appréciés ?

Pour répondre aux questions, il suffit d'entourer le code correspondant à la réponse que vous avez sélectionnée. **Ayez la gentillesse de nous retourner votre questionnaire au plus vite.** Il n'est pas nécessaire de l'affranchir. Nous avons vraiment besoin de vos réponses, qu'elles soient critiques ou élogieuses, que vous ayez lu beaucoup d'articles dans ce numéro ou très peu.

Si vous souhaitez nous faire part d'autres commentaires sur cette nouvelle formule de *Science & Vie*, n'hésitez pas à nous envoyer, en complément, un email à l'adresse enquete.lecteurSV@mondadori.fr ou ajouter, à ce questionnaire rempli, vos commentaires sur papier libre. Votre aide nous est précieuse.

Très cordialement.

Matthieu Villiers

Directeur de la rédaction.

DÉCOUVRIR | COMPRENDRE | SAVOIR

SCIENCE & VIE
AU CŒUR DE LA VIE



En plus de ce questionnaire à nous retourner rempli par courrier, si vous souhaitez nous faire part d'autres commentaires sur cette nouvelle formule de Sciences & Vie, n'hésitez pas à nous envoyer, en complément, un email à l'adresse suivante : enquete.lecteurSV@mondadori.fr ou ajouter, à ce questionnaire rempli, vos commentaires sur papier libre.

Une fois rempli, ce questionnaire est à nous retourner, sans l'affranchir, à l'adresse suivante :

Science & Vie - Libre réponse 20409 - 75742 PARIS CEDEX 15

Q1. Vous lisez Science & Vie...

- > Tous les mois1
- > De 6 à 10 numéros par an2
- > De 3 à 5 numéros par an3
- > Moins de 3 numéros par an4
- > C'est la première fois5

Q2. Comment vous procurez-vous Science & Vie, en général ?

- > Vous êtes abonné
(vous ou une autre personne de votre foyer)1
- > Vous l'achetez chez votre marchand de journaux
(vous ou une autre personne de votre foyer)2
- > Autres (on vous le prête, donne...)3

Q3. Avez-vous le sentiment, ces derniers mois, de lire Science & Vie, avec

- > Plus d'intérêt1
- > Moins d'intérêt2
- > Sans changement3
- > C'est la première fois que je le lis4

Q4. Notez de 0 à 10 la couverture du numéro de Science & Vie que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout. Les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

sur 10

Q5. Pour chacun des articles de ce numéro, indiquez dans le tableau ci-dessous :

a- si vous l'avez lu, en entier, en partie, parcouru sans vraiment le lire ou pas lu du tout.

b- si vous l'avez au moins parcouru, s'il vous a intéressé, assez, peu ou pas du tout.

	a- Lecture				b- Intérêt			
	En entier	En partie	Parcouru sans vraiment le lire	Pas lu	Beaucoup	Assez	Peu	Pas du tout
> Sommaire (p. 4-5)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Forum (p. 7 et 9)	1	2	3	4	1	2	3	4
Actualités								
> Ensemble de la partie "Actualités" (p. 10 à 48)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus labos" (p. 10 à 20)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus labos "Idée neuve" (vie extraterrestre) (p. 18)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Terre" (p. 22 à 32)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Terre "On en reparle" (marée noire) (p. 32)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Médecine" (p. 34 à 42)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Médecine "Les clés pour comprendre" (rougeole) (p. 36-37)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ensemble de la partie "Actus Technos" (p. 44 à 48)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus Technos "On tenait à vous dire" (terres rares) (p. 48)	1	2	3	4	1	2	3	4
A la une								
> Ensemble du dossier "Fusion nucléaire" (p. 50 à 67)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Article "Fusion: l'eau pourra-t-elle remplacer le pétrole?" (p. 50 à 53)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Article "Les défis fous du réacteur à fusion" (p. 54 à 63)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Article "L'histoire ne fait que commencer" (p. 64 à 67)	1	2	3	4	1	2	3	4
Fondamental								
> Insectes: Leur intelligence défie la nôtre (p. 68 à 77)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Le temps va-t-il s'arrêter dans 3,5 milliards d'années? (p. 78 à 81)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Volcans: Les éruptions ne frapperont plus par surprise (p. 82 à 89)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Angkor: Le plus grand puzzle du monde reconstitué (p. 90 à 97)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Objectif: Récupérer l'énergie du quotidien (p. 98 à 101)	1	2	3	4	1	2	3	4
Le point sur								
> C'était il y a quinze ans... la crise de la vache folle (p. 102 à 112)	1	2	3	4	1	2	3	4
En pratique								
> Ensemble de la partie "En pratique" (p. 115 à 139)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Bon à savoir (p. 116)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Ça change quoi? Les 13 médicaments à bannir (p. 118 à 122)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Questions & Réponses (p. 124 à 129)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Technofolies (p. 130 à 134)	1	2	3	4	1	2	3	4
> A faire "Prélevez vous-même votre ADN" (p. 136-137)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Le ciel du mois (p. 138-139)	1	2	3	4	1	2	3	4

Enquête

Répondez à cette enquête et participez à l'amélioration de Science & Vie!

Q6. Pour chacune des phrases ci-dessous que l'on peut entendre à propos de Science & Vie, indiquez si, vous personnellement, vous êtes tout à fait d'accord, plutôt d'accord, plutôt pas d'accord ou pas du tout d'accord :

Tout à fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas du tout d'accord

Les numéros de Science & Vie sont...

> Clairs, bien organisés	1	2	3	4
> Agréables à lire	1	2	3	4
> Complets	1	2	3	4
> Distrayants	1	2	3	4
> Faciles à comprendre	1	2	3	4
> Riches en informations que vous ne trouvez par ailleurs	1	2	3	4
> Très intéressants	1	2	3	4

Q7. Vous est-il déjà arrivé de recommander à quelqu'un ...

Oui souvent Oui rarement Non jamais

> La lecture de numéros de Science & Vie	1	2	3
> Un article précis paru dans Science & Vie	1	2	3

Q8. Si Science & Vie disparaissait, diriez-vous qu'il vous manquerait beaucoup, assez, peu ou pas du tout ?

> Manquerait beaucoup	1
> Manquerait assez	2
> Manquerait peu	3
> Ne manquerait pas du tout	4

Q9. A quelle fréquence lisez-vous ...

Tous les numéros 1 numéro sur 2 1 numéro sur 3 Moins souvent Jamais

> Les hors-série de Science & Vie	1	2	3	4	5
> Les Cahiers de Science & Vie	1	2	3	4	5
> Science & Vie Junior	1	2	3	4	5
> Sciences et Avenir	1	2	3	4	5
> Pour la Science	1	2	3	4	5
> La Recherche	1	2	3	4	5
> Ça m'intéresse	1	2	3	4	5
> Géo	1	2	3	4	5
> National Geographic	1	2	3	4	5
> Grands Reportages	1	2	3	4	5

Q10. Dans ce numéro, Science & Vie a effectué des modifications dans son contenu et sa forme. Vous diriez que ces modifications sont...

> Très importantes	1
> Assez importantes	2
> Peu importantes	3
> Pas du tout importantes	4
> Vous n'avez rien remarqué	5

> Si vous avez remarqué des modifications

Q11. Suite à ces modifications, vous diriez que Science & Vie est aujourd'hui...

> Beaucoup mieux qu'avant	1
> Plutôt mieux qu'avant	2
> Plutôt moins bien qu'avant	3
> Beaucoup moins bien qu'avant	4
> Vous ne savez pas	5

> Si vous avez remarqué des modifications

Q12. Cette nouvelle formule vous donne-t-elle envie de lire Science & Vie...

> Plus souvent qu'avant	1
> Autant qu'avant	2
> Moins souvent qu'avant	3

Q13. Vous diriez que vous préférez...

- > La nouvelle formule de Science & Vie 1
- > L'ancienne formule de Science & Vie 2
- > Vous ne savez pas / Sans opinion 3

Q14. Plus spécifiquement, avez-vous remarqué la suppression de la rubrique "A voir, à lire" ?

- > Oui 1
- > Non 2

> Si vous avez remarqué la suppression de la rubrique "a voir, à lire"

Q15. La suppression de cette rubrique est pour vous :

- > Très dérangeante 1
- > Assez dérangeante 2
- > Peu dérangeante 3
- > Pas du tout dérangeante 4
- > Vous ne savez pas 5

Pour finir, voici quelques dernières questions destinées à mieux vous connaître.

RS1. Vous êtes...

- > Un homme 1
- > Une femme 2

RS2. Votre âge...

- > moins de 18 ans 1
- > de 18 à 24 ans 2
- > de 25 à 34 ans 3
- > de 35 à 49 ans 4
- > de 50 à 64 ans 5
- > 65 ans et plus 6

RS3. Dans quelle catégorie parmi les suivantes pouvez-vous vous ranger personnellement et/ou le chef de famille ?

Vous-même Le chef de famille

- | | | |
|--|----|----|
| > Agriculteur | 1 | 1 |
| > Profession libérale | 2 | 2 |
| > Artisan, petit commerçant | 3 | 3 |
| > Chef d'une entreprise de plus de 10 salariés | 4 | 4 |
| > Cadre supérieur | 5 | 5 |
| > Cadre moyen | 6 | 6 |
| > Employé | 7 | 7 |
| > Ouvrier | 8 | 8 |
| > Élève, étudiant | 9 | 9 |
| > Retraité | 10 | 10 |
| > Autre inactif | 11 | 11 |
| > Chômeur | 12 | 12 |

RS4. Quel est votre

département de résidence ?

VOUS ENTREZ

EN TERRITOIRE

SUBARU...

... CELUI DES GRANDS ESPACES OUTDOOR, DES ROUTES INFINIES, DES CONDITIONS CLIMATIQUES EXTRÊMES, MAIS SURTOUT CELUI DES 4 ROUES MOTRICES PERMANENTES ET DE LA TECHNOLOGIE DU MOTEUR BOXER DIESEL POUR UNE SÉCURITÉ DE CONDUITE EXCEPTIONNELLE.

Nouvelle IMPREZA **XV**



4 roues motrices permanentes



Modèle présenté : Impreza XV 2.0D, 31 400 €⁽¹⁾ peinture métallisée incluse. Consommation et émission de CO₂ (mixte) : 5,8 l/100 km et 152 g/km.

(1) Tarif TTC au 01/01/2011.



Découvrez l'offre Boxer Diesel Subaru - www.subaru.fr



SUBARU



NISSAN QASHQAI

ACENTA 1.5 dCi

URBANPROOF. MASTERED.⁽¹⁾

LE PACK NISSAN 3x3 À 379€/MOIS

3ANS

de financement Location Longue Durée avec 1^{er} loyer majoré⁽²⁾
d'assistance et de garantie⁽³⁾
d'entretien inclus⁽⁴⁾

SHIFT the way you move



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

AUTREMENT mobile. ⁽¹⁾ Le Crossover original plus que jamais à l'épreuve de la ville. ⁽²⁾ Exemple pour un Nouveau Qashqai Acenta 1.5 dCi 110 ch FAP Euro 5 avec peinture métallisée en **Location Longue Durée sur 37 mois avec 1^{er} loyer majoré de 2 187,95 €** et 36 loyers de 336,81 €/mois, pour un kilométrage maximum de 75 000 km. Restitution du véhicule chez votre concessionnaire en fin de contrat. Sous réserve d'acceptation par Diac SA au capital de 61 000 000 € - 14 av. du Pavé Neuf - 93160 Noisy-le-Grand - SIREN 702 002 221 RCS Bobigny. ⁽³⁾ Assistance et garantie constructeur 3 ans ou 100 000 km, au 1^{er} des deux termes échu (voir conditions détaillées dans le carnet de garantie du véhicule). ⁽⁴⁾ Contrat d'entretien facultatif sur 37 mois pour 42,19 €/mois pour un kilométrage maximum de 75 000 km, proposé par Sigma Services, SA au capital de 610 000 € - 14 av. du Pavé Neuf 93168 Noisy-le-Grand Cedex - SIREN 332 589 720 RCS Bobigny. Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable pour la Location Longue Durée d'un Nouveau Qashqai Acenta 1.5 dCi 110 ch FAP Euro 5 neuf du 1^{er} février au 30 avril 2011 chez les Concessionnaires participants. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 4 253 835 €, RCS Versailles B 699 809 174 - Z.A du Parc de Pissaloup 8, avenue Jean d'Alembert - 78194 Trappes Cedex - Enregistrement ORIAS N° 10053158.

Consommations (l/100 km) : urbaine : 6.3, extra-urbaine : 4.6, mixte : 5.2. Emissions de CO₂ (g/km) : 137.