



**OBUS DE 14-18  
ET MAINTENANT  
ILS POLLUENT !**

**PUBERTÉ  
LE GRAND DÉRÈGLEMENT**

*Entre pannes et colères...*

# SOLEIL SES 5 MYSTÈRES

France métro: 4,20 € - D: 6,90 € - BEL: 4,70 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 € - DOM surf: 4,90 € - DOM avion: 6,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € - PORT CONT: 4,90 € - CAN: 6,50 \$ CAN - MAR: 48 DH - TOM S: 750 CFP - TOM A: 1400 CFP - CH: 8,5 FS - TUN: 7,5 DTU



**SECRETS DE FAMILLE  
QUAND LA SCIENCE  
LES RÉVÈLE**

**MOUSTIQUES  
QUELS RISQUES  
CET ÉTÉ?**

# VOYEZ LA VILLE AUTREMENT

DÉCOUVREZ LE NOUVEAU 2008 EN LE LOUANT POUR  
UN ESSAI PROLONGÉ À PARTIR DU 17 JUIN DANS  
L'ENSEMBLE DU RÉSEAU **mu** EXPÉRIENCE.

Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Paris.



PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL Consommation mixte (en l/100 km) : de 3,8 à 5,9. Émissions de CO<sub>2</sub> (en g/km) : de 98 à 135.



Louez le PEUGEOT 2008 partout en France.  
Découvrez nos offres sur [2008.mu.peugeot.fr](http://2008.mu.peugeot.fr)

**NOUVEAU CROSSOVER PEUGEOT 2008**

MOTION & EMOTION





pas de problème,  
Orange s'engage à vous trouver  
une solution dans les 24 h



activez gratuitement le service 24 h garanti sur [service24.orange.fr](http://service24.orange.fr)  
une solution internet et mobile garantie dans les 24 h

**Échange de votre Livebox avec Open et Livebox.**

Offre soumise à conditions valable en France métropolitaine du 13/06/13 au 21/08/13 pour les clients particuliers Open et Livebox Zen, Star, Play et Découverte. Échange de votre Livebox (si en location) en boutique Orange après appel au service clients. Des frais pourront vous être facturés si vous restituez une Livebox endommagée. Détails sur [service24.orange.fr](http://service24.orange.fr)



# KOMME UN AIR DE NOUVEAUTÉ



NOUVELLE  
BOUTEILLE

**Kronenbourg**<sup>®</sup>  
*Kro, tout simplement*

BK RCS Strasbourg 775 614 308

FRED & FARID

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



## DU NEUF SOUS LE **SOLEIL**

En proie aux tremblements, aux pluies torrentielles, aux bombardements de météorites, aux tsunamis, cyclones et autres tornades, la vie de notre Terre n'est pas un long fleuve tranquille. Celle des scientifiques chargés de nous alerter de l'imminence de ces manifestations violentes non plus. Potentiellement mortifères, celles-ci restent largement imprévisibles. Et lorsque la menace se précise, il est souvent trop tard.

Comme si cela ne suffisait pas, voici qu'un nouveau venu s'invite au bal des grandes catastrophes possibles. Et il ne s'agit pas de n'importe qui : le Soleil lui-même ! Un comble. Lui qui nous a vus naître, lui qui brillait bien avant que le premier être unicellulaire ne flotte entre deux eaux, lui qui, chaque jour et depuis toujours, se lève plus ou moins tôt et se couche plus ou moins tard au rythme des saisons (quand bien même il s'est franchement fait désirer ce printemps...), lui, notre astre de lumière, voici qu'il nous inquiète. On ne peut décidément faire confiance à personne...

Sources de vie, ses rayons peuvent en effet s'avérer redoutables pour nos installations électriques, nos activités en haute atmosphère et nos moyens de communication. En 1989, l'une de ses colères a plongé

tout le Québec dans le noir pendant neuf heures. Fin septembre 2003, l'imminence d'une autre a obligé les avions reliant l'Amérique à l'Asie par le pôle Nord à se dérouter, sous peine de perdre toute leur électronique de bord.

Mais il pourrait y avoir bien pis. Étudiée depuis peu et encore pleine de mystères (cinq précisément), l'activité solaire inquiète de plus en plus de scientifiques. Certains allant jusqu'à imaginer qu'elle puisse être à l'origine d'un complet désastre technologique au niveau mondial, voire d'extinctions biologiques... Une chose est sûre : tous conviennent qu'à l'avenir les météorologues devront ajouter une corde lumineuse à leur arc et apprendre à compter avec les rayons du soleil, dont ils peinent encore à comprendre les cycles, les colères et les pannes. Une ardente nécessité, alors que nos activités reposent désormais sur des infrastructures particulièrement sensibles à ses jets de rayons X, de protons et de plasma magnétique.

S&V



## RENAULT CAPTUR. VIVEZ L'INSTANT. LE NOUVEAU CROSSOVER URBAIN.

Consommations mixtes min/max (l/100km) : 3,6/5,4. Émissions CO<sub>2</sub> min/max (g/km) : 95/125. Consommation et émissions homologuées. \*La virée.

RENAULT QUALITY MADE : la qualité par Renault.

Renault préconise 

# RENAULT CAPTUR

THE TRIP\* - VERSION FRANÇAISE



**CHANGEONS DE VIE  
CHANGEONS L'AUTOMOBILE**



14



28



ENTRE PANNES ET COLÈRES...

# SOLEIL

SES 5 MYSTÈRES

JUILLET 2013

50

## ACTUS

- 14 LABOS**  
La dynamique des bulles a enfin été modélisée; la stimulation électrique dope le calcul mental, etc.
- 24 ON EN REPARLE**  
*Vikings : ils savaient aussi mesurer les latitudes*
- 26 TERRE**  
La coccinelle asiatique abrite un parasite qui tue ses rivales; en fondant, le Groenland attire à lui le pôle Nord, etc.
- 32 LES CLÉS POUR COMPRENDRE**  
*Pourquoi les Français sont particulièrement exposés aux pesticides*
- 34 ON TENAIT À VOUS DIRE**  
*EDF fait barrage à l'information !*

- 36 MÉDECINE**  
Avoir mal au dos peut cacher une simple infection; le poivron a des vertus anti-parkinsoniennes; l'ozone abîme les poumons en découpant ses cellules, etc.
- 40 FOCUS**  
*Clonage thérapeutique : l'exploit que l'on n'attendait plus*
- 44 TECHNOS**  
Le premier avion sans pilote a réussi son pari; une caméra mime l'œil de mouche; une puce électronique intègre un "système immunitaire", etc.
- 48 IDÉE NEUVE**  
*"Je compte fabriquer des écrans à base de papier"*

## FONDAMENTAL

- À LA UNE**
- 50 LES 5 MYSTÈRES DU SOLEIL**  
*SES EXCÈS MENACENT NOS SOCIÉTÉS*
- 68 DÉCOUVERTE**  
*LA SCIENCE DÉTERRE LES SECRETS DE FAMILLE*
- 76 TENDANCE**  
*QUAND LA PHYSIQUE ÉLUCIDE LA BIOLOGIE LA MÉCANIQUE DE LA VIE*

Jamais les astrophysiciens n'ont disposé d'autant de moyens pour l'étudier sous tous les angles – et pourtant : qu'il s'agisse de son activité, de ses cycles ou de ses colères, notre étoile conserve cinq grands secrets... qui ne sont pas seulement d'exaspérants défis scientifiques. Ils sont aussi un enjeu quand notre monde est devenu incroyablement vulnérable aux manifestations solaires, notamment électromagnétiques. Entre spectre de black-out et mobilisation des chercheurs, dossier sur la face obscure de l'astre sans lequel il n'y aurait pas d'été.

128

**EN PRATIQUE**  
**ZOOM DU MOIS**  
Dengue, chikungunya, virus du Nil...  
**Les 5 moustiques qui menacent vos vacances d'été**



**La lutte antimoustique est confiée aux départements**

**Les moustiques des campagnes**

**Dérèglement hormonal**  
**LA PUBERTÉ N'EST PLUS CE QU'ELLE ÉTAIT**



**Le pic de la puberté des filles commence plus tôt et dure plus longtemps**

88



142

**EN PRATIQUE**



- 88 ÉVÉNEMENT**  
DÉRÈGLEMENT HORMONAL  
**LA PUBERTÉ N'EST PLUS CE QU'ELLE ÉTAIT**
- 96 ANALYSE**  
**MATIÈRE NOIRE : C'EST MAINTENANT OU JAMAIS !**
- 100 PORTRAIT**  
COMMENT POUVAIT-IL ÊTRE SI GROS ?  
**LES 5 SECRETS DU DIPLODOCUS**
- 108 ENQUÊTE**  
CENT ANS APRÈS 14-18  
**LES OBUS DE LA POLLUTION**

**115 7 IDÉES NEUVES POUR LE XXI<sup>e</sup> SIÈCLE**

Quand les nouveaux savoirs bousculent les anciens dogmes... Une grande série de Science & Vie, à retrouver chaque mois. Ce mois-ci : **Penser exergie plutôt qu'énergie**

**100 ANS SCIENCE VIE** 7 IDÉES NEUVES pour le XXI<sup>e</sup> siècle

Quand les nouveaux savoirs bousculent les anciens dogmes. Une grande série de "Science & Vie", à retrouver chaque mois. Ce mois-ci : **La thermodynamique**

**Logos n°16**  
**Penser exergie plutôt qu'énergie**

PER VINCENT ROYER/LEIT

"Non se agit, de se se part". C'est en sens de la première loi de la thermodynamique que, depuis deux siècles, le développement industriel mondial explore les ressources de la planète, en cherchant à maximiser l'usage de l'énergie. Or, on découvre un autre changement la deuxième loi de la thermodynamique, qui stipule que si l'énergie se conserve, sa qualité – l'exergie – s'épuise, se dégrade... et doit donc être prise en compte. Par exemple, un bol d'eau chaude au pôle Nord possède la même énergie mais pas la même exergie que s'il se trouve au Sahara. À la fin ? Un incroyable gaspillage ! Et une chance pour le 21<sup>st</sup> siècle... Car si le monde se voit en proie à une crise énergétique, il ne doit pas attendre qu'il souffre d'être d'une crise énergétique. Il se doit d'anticiper le mal, en diffusant des savoirs différents, différents.

- 126 BON À SAVOIR**
- 128 ZOOM DU MOIS**  
Dengue, chikungunya, virus du Nil...  
**Les 5 moustiques qui menacent vos vacances d'été**
- 132 QUESTIONS / RÉPONSES**
- 138 TECHNOFOLIES**  
Les premières lunettes à réalité augmentée ; le robot qui veut qu'on l'essaye, etc.
- 144 LE CIEL DU MOIS**
- 146 Contre-sommaire**

Deux encarts, "La Recherche" et "Multi-éditeurs", sont jetés en 4<sup>e</sup> de couverture d'une partie des exemplaires de la diffusion abonnée France métropolitaine. Un encart, "Boutique S&V Telescope", est jeté en 4<sup>e</sup> de couverture sur la totalité des exemplaires de la diffusion abonnée.

Zero Emission<sup>(1)</sup>



Innovation  
that excites

**NOUVELLE NISSAN LEAF. 100% ÉLECTRIQUE.**  
REJOIGNEZ UN NOUVEAU COURANT.



À partir de **169 €/mois**<sup>(2)</sup>

Location Longue Durée sur 37 mois

avec un premier loyer de 3000 € (bonus écologique de 7000 € déduit)

2€ pour 100 km • Système de navigation CARWINGS<sup>(3)</sup> avec connexion depuis un smartphone

Pour vos voyages, Nissan vous offre plus de 4 semaines de location<sup>(4)</sup> chez **Hertz**.



Pour plus d'informations, rendez-vous sur [nissan.fr](http://nissan.fr)

Découvrez l'actualité de la Nissan LEAF sur [facebook.com/nissanLEAFfrance](https://www.facebook.com/nissanLEAFfrance)



Innover autrement. <sup>(1)</sup> Zéro émission de CO<sub>2</sub> à l'utilisation, hors pièces d'usure. <sup>(2)</sup> Exemple pour une nouvelle Nissan LEAF Visia y compris sa batterie en location longue durée sur 37 mois pour un kilométrage maximum de 37 500 km. Restitution du véhicule chez votre concessionnaire en fin de contrat avec paiement des frais de remise à l'état standard du véhicule électrique et des km supplémentaires. - pour nouvelle Nissan LEAF Visia, un premier loyer de 10 000 € (dont 7 000 € de bonus écologique), 36 loyers de 169 € par mois (36 loyers de 90 € par mois sous réserve d'acceptation par DIAC, SA au capital de 61 000 000 € - 14, avenue du Pavé Neuf - 93160 Noisy-le-Grand - SIREN 702 002 221 RCS Bobigny - et pour sa batterie 37 loyers de 79 € par mois, location de la batterie par DIAC LOCATION, SA au capital de 29 240 988 € - 14, avenue du Pavé Neuf - 93160 Noisy-le-Grand - SIREN 329 892 368 RCS Bobigny). Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable pour la Location Longue Durée d'une nouvelle Nissan LEAF Visia neuve du 01/06/2013 au 31/08/2013 chez les Concessionnaires participants. **Modèle présenté** : nouvelle Nissan LEAF Tekna avec option peinture métallisée en Location Longue Durée avec un premier loyer de 10 000 € et 36 loyers de **253 €**. <sup>(3)</sup> Selon version. <sup>(4)</sup> Carte Horizons HERTZ offerte créditée de 12 000 points Gold Plus Rewards utilisables toute l'année selon les conditions du programme HERTZ Gold Plus Rewards au moment de l'utilisation des points. La durée de location dépend du modèle de véhicule et de la période choisie. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 €, RCS de Versailles B 699 809 174 - Z.A du Parc de Pissaloup - 8, avenue Jean d'Alembert - 78194 Trappes Cedex.

Flashez,  
branchez-vous.



Notre enquête sur les risques et les opportunités du gaz de schiste, en particulier leur pérennité et leur impact sur le territoire, vous a fait abondamment réagir.

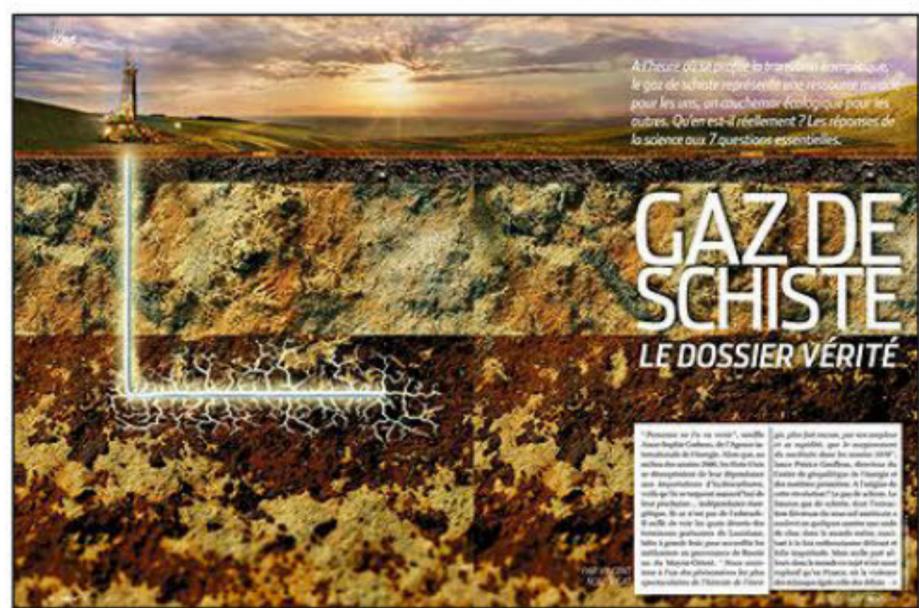
### Gaz de schiste: une gigantesque "bulle" spéculative ?

**S**'il est vrai que les perspectives en matière énergétique semblent bonnes pour les Etats-Unis qui ont investi massivement dans l'exploitation du gaz de schiste, il faut cependant relativiser nettement ce point de vue. En effet, l'exploitation d'un forage a une durée de vie faible vu que le rendement d'un puits chute brutalement au terme de sa première année d'exploitation, cette chute pouvant atteindre 60 à 90 %. Dès qu'un forage s'épuise, pour conserver une certaine rentabilité, il faut en creuser de nouveaux. C'est une catastrophe pour les producteurs

qui ont consenti des investissements énormes et qui voient leurs revenus diminuer de manière alarmante. L'épuisement rapide des sites de production compromet la rentabilité de ce type d'exploitation et incite les compagnies à une "fuite en avant" en cherchant de nouveaux gisements. Cela crée ainsi une bulle financière, une "bulle gazière". Et les analystes craignent que cela n'aboutisse à une nouvelle crise financière.

*Roland Martin, Theux (Belgique)*

**V**otre dossier sur les gaz de schistes, s'il dénonce avec efficacité quelques vérités doit être



complété: s'agissant de la France, la géologie, l'économie agricole et touristique, la dispersion de l'habitat dans l'Hexagone ne sont pas propices à des exploitations aussi "denses" et dévastatrices.

*J.-M. Moresmau, Soustons*

**S&V** L'expérience américaine, aussi récente qu'intensive, ne peut en effet suffire à se prononcer pour décider de la mise en place d'une telle filière ailleurs, en particulier en France. Le risque

de bulle spéculative porté par la courte durée d'exploitation des puits, dans l'état actuel de la technologie, existe bel et bien. Et la spécificité du territoire français le rend effectivement incompatible avec un déploiement aussi dense et intensif que celui en cours sur le territoire américain. Reste que les connaissances sont aujourd'hui si éparses que les conditions d'exploitation – coût, durée, densité... – pourraient être fort différentes à l'avenir.

### Sortie d'Afrique et diversité

**D**ans la carte accompagnant l'"idée neuve pour le XXI<sup>e</sup> siècle: penser diversité plutôt qu'uniformité" ["Leçon n° 3", *S&V* n° 1149, juin 2013], vous négligez les migrations qui se sont produites au sein de l'Afrique, et les adaptations locales qui les ont accompagnées. Des mouvements majeurs de population se sont produits au sein du continent africain sub-saharien aux environs de -60 000 ans, en même temps que la sortie

d'Afrique. Ces populations ancestrales ont connu des adaptations locales à mesure qu'elles colonisaient de nouveaux lieux de vie. Il ne faudrait pas que les lecteurs de *Science & Vie* aient une image statique du continent où l'homme moderne est apparu.

*Etienne Patin, Paris (Institut Pasteur, Laboratoire de génétique de l'évolution humaine)*

**S&V** Nous n'avons effectivement pas fait figurer les flèches des migrations à l'intérieur du continent africain. Mais outre que la couleur recouvrant l'Afrique sub-saharienne, sur la carte, indique sans ambiguïté la haute diversité génétique de ses populations, nous rappelons en légende que c'est en Afrique que, plus que partout ailleurs, s'est accumulée la diversité humaine.

Merci d'adresser vos courriers à : [sev.lecteurs@mondadori.fr](mailto:sev.lecteurs@mondadori.fr)

La boutique **SCIENCE & VIE**

Plus de **400**

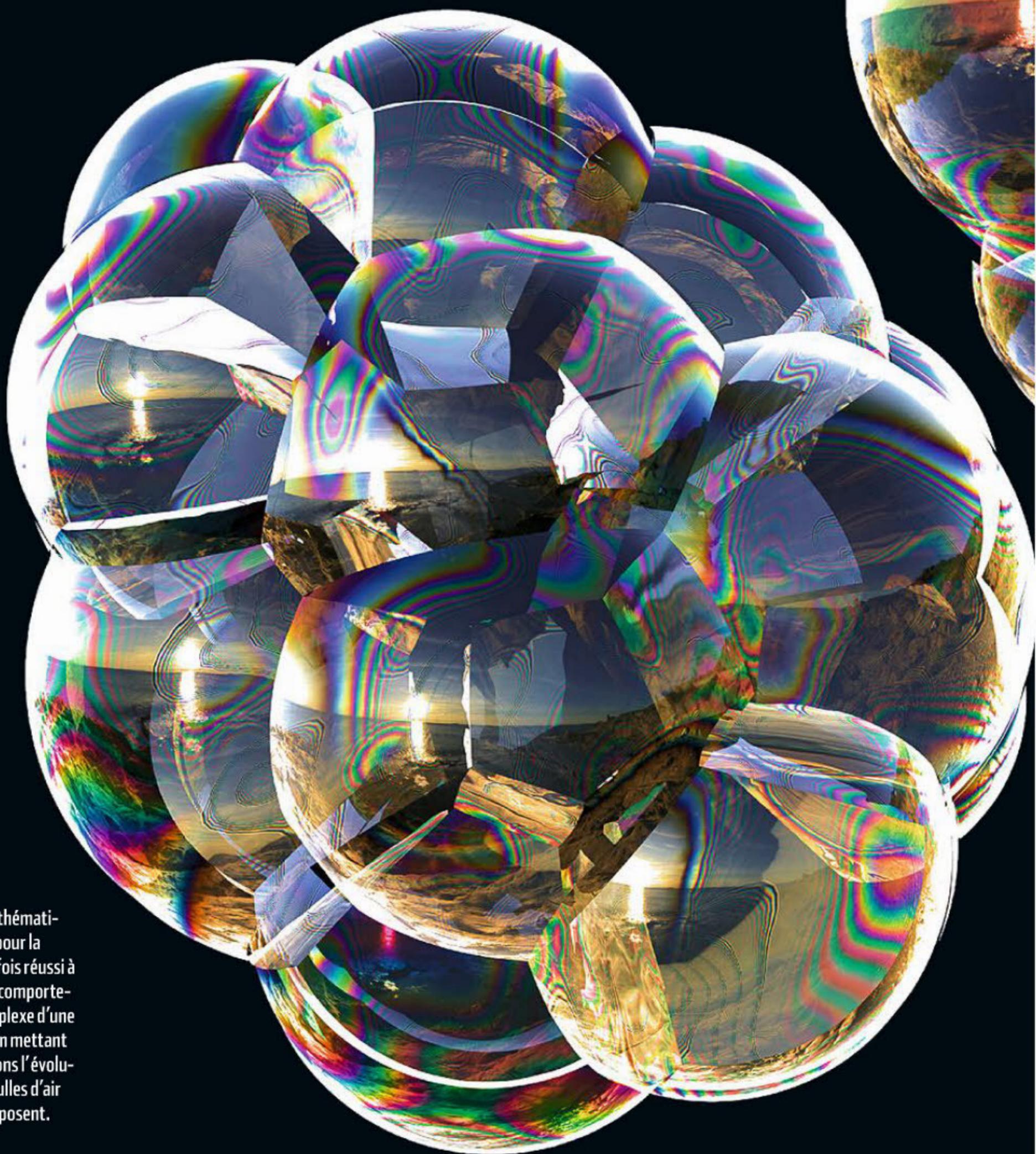
**Livres**

**Idées cadeaux**

**Objets scientifiques ou insolites**

**WWW**  
[laboutiquescienceetvie.com](http://laboutiquescienceetvie.com)

# lactus labos



J. SETHIAN, DPT. MATH, UNIV. CALIFORINA-BERKELEY

> Des mathématiciens ont pour la première fois réussi à prévoir le comportement complexe d'une mousse, en mettant en équations l'évolution des bulles d'air qui la composent.



PHYSIQUE

# LA DYNAMIQUE DES BULLES A ENFIN ÉTÉ MODÉLISÉE

C'était le cauchemar des physiciens : comment parvenir à décrire correctement le comportement de la mousse au fil du temps ? Ses innombrables bulles d'air glissant sur des couches de liquide avant d'éclater et de se réarranger, mêlant des effets de l'ordre du nanomètre avec des mécanismes collectifs à l'échelle du centimètre... La mousse semblait impossible à simuler, même

avec le plus colossal des supercalculateurs. Et pourtant, Robert Saye et James Sethian, mathématiciens à l'université de Californie à Berkeley, viennent de réussir cette prouesse. *"Habituellement, pour gagner en réalisme avec un modèle numérique, on cherche à décrire le plus finement possible le phénomène,* explique James Sethian. *Ici, nous sommes partis du*

*principe que les détails importants à une échelle ne l'étaient pas à une autre... Toute la difficulté a été de séparer les différentes échelles et les différents phénomènes.*" Les chercheurs ont fini par détailler trois phases de l'évolution d'une mousse : l'approche de l'équilibre, dominée par le réarrangement des bulles ; les écoulements dans les parois liquides, qui leur

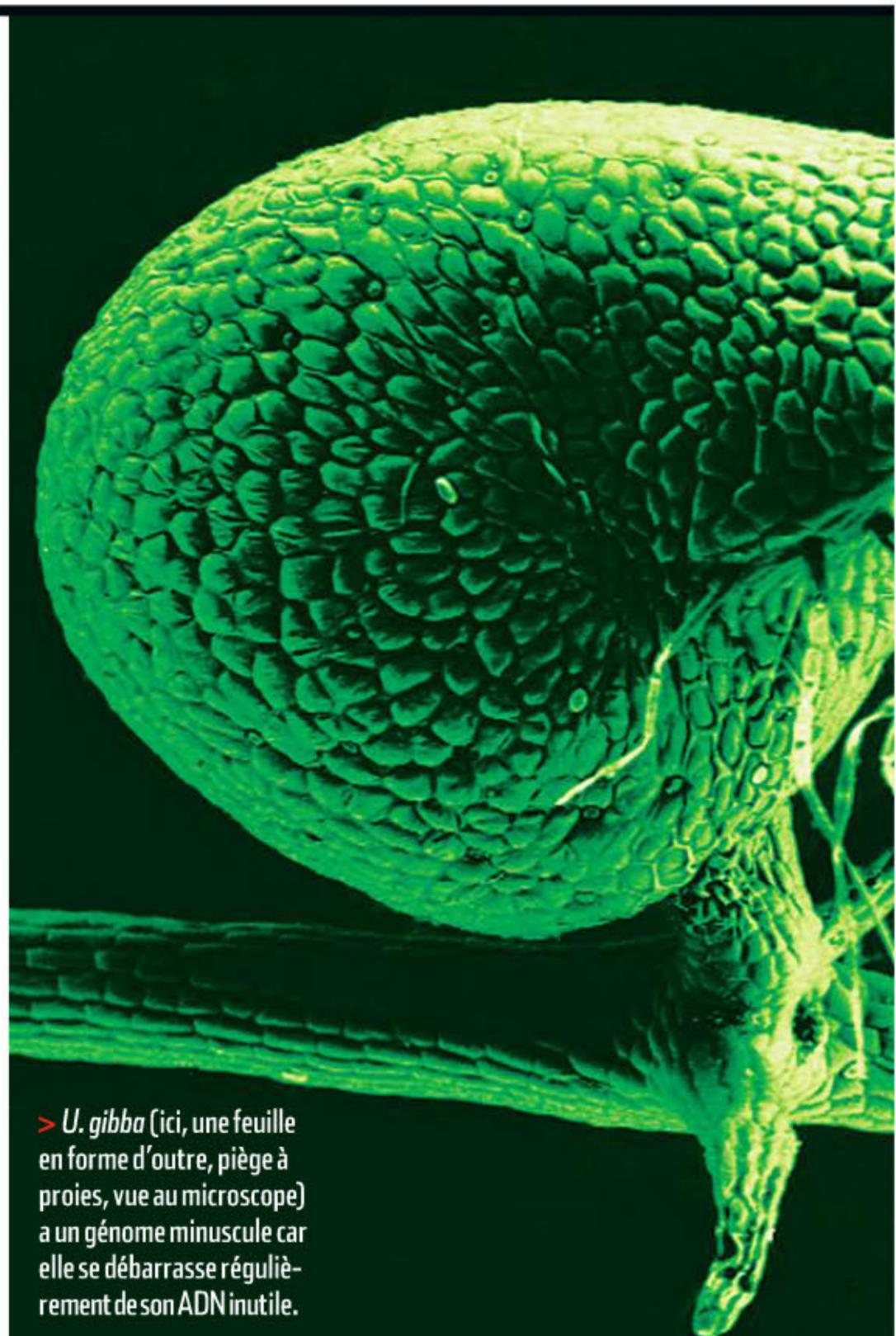
donnent corps ; et, enfin, leur rupture. Ils ont décrit chacune de ces phases avec leurs propres équations, donnant naissance à un modèle d'une précision diabolique. Ce dernier reproduit parfaitement la dynamique des bulles, leurs ruptures en cascade et l'évolution de leur forme, jusqu'à prédire les propriétés globales de la mousse. Une mine pour les industriels. **M.F.**

GÉNOMIQUE

# CETTE PLANTE CARNIVORE FAIT LE TRI DANS SON ADN

La plante aquatique carnivore *Utricularia gibba* possède une particularité encore jamais observée chez un organisme complexe: elle se débarrasse régulièrement de l'ADN qui ne lui sert pas. Si son génome est l'un des plus petits du règne végétal (82 millions de "bases", les briques de l'ADN), ses 28 500 gènes n'ont en revanche rien à envier à la vigne, ni même à l'homme, comme l'a montré une équipe de chercheurs mexicains dirigée par Luis Herrera-Estrella. En réalité, son génome est presque entièrement constitué de gènes (à près de 97 %, alors que le génome humain en contient 2 %), pour seulement 3 % d'ADN répétitif, également qualifié de "matière noire du génome" en raison de son rôle méconnu, voire

d'"ADN poubelle". Depuis une dizaine d'années, les biologistes commençaient tout de même à croire que cet ADN répétitif, omniprésent chez l'homme, devait être indispensable au bon fonctionnement des gènes. Or, voilà que la plante carnivore semble s'en passer aisément: à trois reprises au cours de son histoire évolutive, la taille de son génome a doublé. L'utriculaire gibbeuse devrait donc avoir 16 fois plus d'ADN que la vigne... sauf qu'elle en possède près de 6 fois moins! Seule explication possible: elle met régulièrement au rebut son ADN excédentaire. *"La majorité de l'ADN répétitif est donc bien, au moins chez les plantes, de l'ADN poubelle, qui n'est pas essentiel"*, conclut le chercheur. **V.E.**



> *U. gibba* (ici, une feuille en forme d'outre, piège à proies, vue au microscope) a un génome minuscule car elle se débarrasse régulièrement de son ADN inutile.

NEUROLOGIE

## La stimulation électrique dope le calcul mental

Equipés d'électrodes à l'aplomb de la région cérébrale liée au raisonnement mathématique, des volontaires ont effectué, à l'université d'Oxford, des séries de calculs. A raison de vingt minutes de stimulation par jour pendant cinq jours, leur taux de réussite s'est amélioré deux fois plus vite et leur temps de réponse a été divisé par deux, par rapport à des sujets non "dopés". Ce résultat serait lié à une connexion accrue entre neurones et circulation sanguine, sous l'effet du courant électrique. **F.L.**





BIOLOGIE CELLULAIRE

## ON A TROUVÉ L'ORIGINE DES MOTIFS DES PLUMES

Comment naissent les motifs du plumage des oiseaux ? Des biologistes américains et taiwanais ont identifié pour la première fois les cellules souches des mélanocytes, ces cellules à l'origine de la pigmentation. Situées dans le bulbe à la base de la plume, ces cellules souches migrent le long de la plume au fur et à mesure de sa croissance, puis se différencient en mélanocytes. Les uns sont pigmentés ; les autres, non. C'est leur répartition qui donne au plumage ses motifs tachetés ou rayés. Mais dans les parties dépigmentées se trouvent aussi des cellules souches non différenciées, qui peuvent encore se transformer en mélanocytes pigmentés au gré des saisons, et tout au long de la vie de l'oiseau. Les motifs du plumage ne sont donc jamais figés. **O.D.**

▼ La répartition des cellules pigmentées, au fur et à mesure de la croissance de la plume, dessine ses motifs.



# 300 kHz

C'est la fréquence qu'est capable de percevoir la fausse teigne de la cire (*Galleria mellonella*). Un record pour le monde animal ! Cette haute fréquence permet à ce papillon d'entendre approcher ses prédateurs, les chauves-souris. En effet, les ultrasons qu'elles utilisent pour percevoir ce qui les entoure et inscrire la teigne à leur menu n'atteignent "que" 212 kHz. Soit une fréquence audible par le papillon, qui peut prendre ses ailes à son cou... **L.C.**

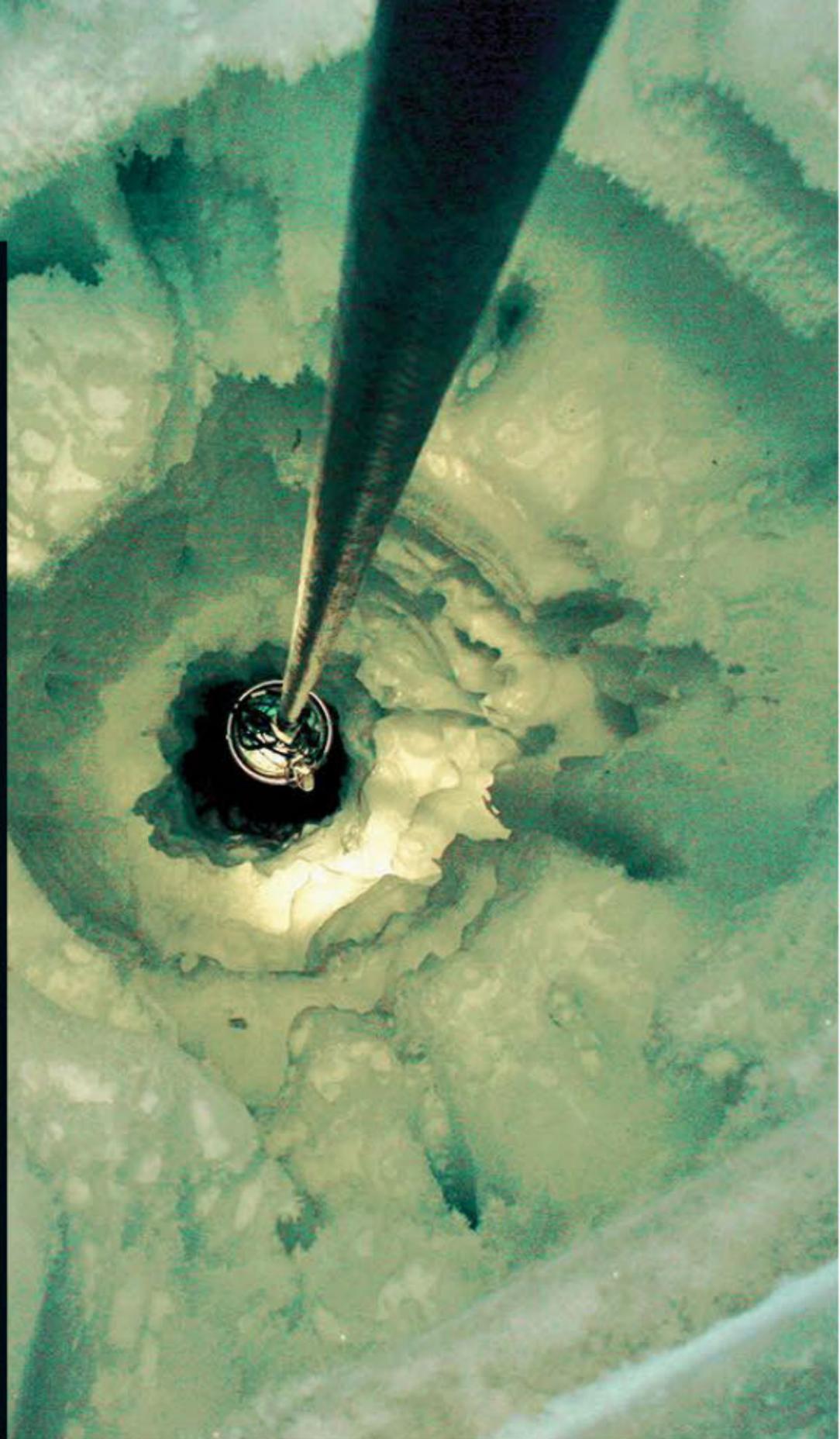


ASTROPHYSIQUE

# ICECUBE A REPÉRÉ DE LA MATIÈRE EXTRAGALACTIQUE

Ils ont été baptisés Bert et Ernie: les deux neutrinos les plus énergétiques jamais observés ont été détectés par le télescope IceCube, achevé en 2011 et installé sous la glace de l'Antarctique. Chacun de ces neutrinos possède une énergie de l'ordre du pétaélectronvolt ( $10^{15}$  eV), soit 100 millions de fois plus que ceux habituellement détectés. De quoi laisser penser qu'ils pourraient provenir de l'extérieur de notre galaxie... Très difficiles à détecter, les neutrinos sont les particules les plus discrètes de l'Univers: ils n'interagissent quasiment pas avec la matière et traversent la Terre sans laisser de trace. Sauf... quand

ils percutent le noyau d'un atome: il se forme alors un muon, qui émet une lumière bleue lorsqu'il traverse l'eau ou la glace. C'est pour repérer cette furtive lueur qu'a été construit IceCube: plus de 5 000 photodétecteurs soutenus par 86 câbles, dans des puits creusés à 2 450 m de profondeur sous le pôle Sud. L'énergie de ces deux neutrinos exclut l'hypothèse d'une banale interaction entre un rayon cosmique et les atomes de l'atmosphère terrestre. Ont-ils été éjectés par une supernova, voire par un trou noir supermassif tapi au cœur d'une galaxie lointaine? De nouvelles recherches sont en cours pour préciser leur origine. **A.D.**



> Chez cette espèce d'araignée, le cannibalisme est inversé: c'est le mâle qui mange la femelle.

ARACHNOLOGIE

## CHEZ CETTE ARAIGNÉE, LE MÂLE

On connaissait le cannibalisme de la mante religieuse et de la veuve noire, une espèce d'araignée dont la femelle dévore le partenaire après l'accouplement. Chez l'araignée européenne *Micaria sociabilis*, c'est l'inverse qui se produit: dans

près d'un tiers des 169 rencontres organisées en laboratoire, pendant plus de deux ans, par Lenka Sentenska et Stano Pekar, de l'université Masaryk (République tchèque), c'est le mâle qui fait festin. Pis, il dévore sa congénère dès le premier contact si celle-ci ne lui plaît pas, et cette drastique

## L'ÉTÉ, LES RATS ONT LE BLUES

Trop de soleil nuit au moral des rats ! Contrairement à l'homme, l'anxiété et la dépression augmentent chez cet animal nocturne quand les jours s'allongent. C'est ce qu'a montré une équipe américaine en examinant comment la chimie du cerveau du rongeur variait selon l'ensoleillement. **R.B.**

## UN ROVER HISTORIQUE RETROUVÉ SUR LA LUNE

En 1970, la mission soviétique *Luna 17* déposait sur la Lune le premier rover d'exploration de l'histoire, qui fonctionna onze mois avant de devenir indétectable... Il vient d'être retrouvé, grâce à un laser de l'Observatoire de la Côte d'Azur, qui mesure depuis trente ans la distance Terre-Lune. **A.D.**

## (TROP) FIDÈLES COMPAGNONS

Chiens et maîtres partagent leurs microbes, révèle une étude américaine. Qu'il s'agisse de la peau, de la bouche ou des excréments, le contact direct et fréquent avec un animal de compagnie modifie clairement la composition des communautés microbiennes de notre organisme. **R.B.**

## PHYSIOLOGIE

# LORSQU'ON VIEILLIT, C'EST NOTRE CERVEAU QUI VOIT LES COULEURS

A mesure que nous prenons de l'âge, nous voyons les couleurs non plus réellement avec nos yeux, mais avec notre cerveau. Ce dernier compense en effet la perte de sensibilité des cônes récepteurs situés au fond de nos yeux. C'est ce que démontre l'étude de Sophie Wuerger, de l'université de Liverpool (Royaume-Uni). La neuroscientifique a soumis 185 individus âgés de 18 à 75 ans à une variété de tests. Il s'agissait, dans diverses conditions d'éclairage, de sélectionner des taches représentant une couleur pure – rouge, vert, jaune ou bleu. Elle a ensuite comparé ces résultats à l'état du cristallin des volontaires. Avec l'âge, cette lentille naturelle de l'œil a en effet tendance à jaunir, ce qui amoindrit la capacité à percevoir les couleurs. Résultat : contre toute attente, alors que nos yeux s'abîment au fil du temps, notre perception subjective des couleurs demeure inchangée ! Seule notre capacité à distinguer de légères différences entre certaines nuances décroît avec l'âge. Les principales difficultés semblent concerner les teintes vertes observées sous la lumière du jour. Autrement dit, conclut Sophie Wuerger, tandis que le signal lumineux envoyé par la rétine change de façon significative avec l'âge, des mécanismes compensatoires doivent se produire au niveau du cerveau pour nous permettre de maintenir constante notre vision chromatique. **R.B.**

✓ Alors que les yeux s'abîment avec l'âge, le cerveau met en place des mécanismes compensatoires pour continuer à percevoir les couleurs.

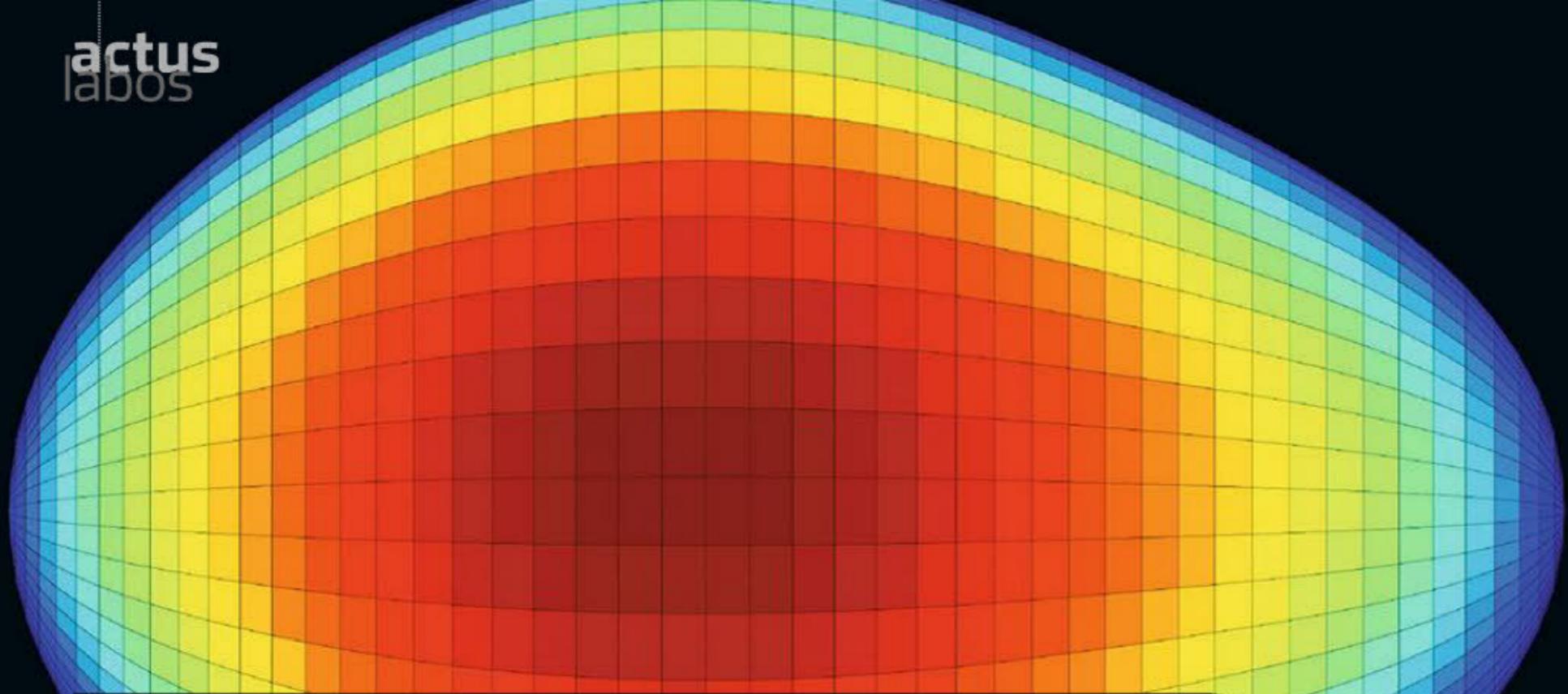


NSF/B.GUDBJARTSSON/ICECUBE COLLABORATION - F.TRNKA - H.MEDIIVILLA/PANDORA/PICTURETANK

◀ Sous la glace de l'Antarctique, les photodétecteurs d'IceCube ont enregistré le passage de deux particules ultraénergétiques.

## JOUE LA MANTE !

sélection se fait non pas en fonction de la taille des femelles, ni de leur éventuelle virginité, mais... de leur âge. Il ne fait pas bon vieillir lorsqu'on est une femelle *Micaria sociabilis* : ce cannibalisme inversé culmine lorsque les jeunes mâles de l'été croisent les vieilles femelles du printemps ! **R.B.**



PHYSIQUE ATOMIQUE

# IL EXISTE DES NOYAUX EN FORME DE POIRE

Dans les manuels scolaires, les noyaux des atomes sont figurés par des sphères. Mais une équipe internationale du Cern (Genève) bouscule cette image d'Épinal et valide les dernières théories (voir *S&V* n° 1045, p. 78) en montrant que certains atomes exotiques prennent une forme asymétrique de poire. L'expérience a consisté à accélérer des noyaux radioactifs de

radium 224 et de radon 220 jusqu'à ce qu'ils se fracassent. Le choc excite les atomes, qui perdent leur excès d'énergie en émettant un rayonnement gamma – ce dernier trahissant la forme du noyau. C'est ainsi que le noyau de radium 224 a révélé une forme constante de poire, quand celui de radon 220 l'adopte périodiquement. Dans ce cas, une des extrémités du noyau comporte

une plus grande masse de protons et de neutrons. Cela suggère que les charges électriques ne seraient pas non plus réparties de manière équilibrée. Une découverte essentielle, car il deviendrait possible de mesurer le moment dipolaire électrique (séparation des charges positives et négatives) de ces atomes, ce qui aboutirait à une nouvelle physique de la matière. **A.D.**

▲ Dans un noyau asymétrique, comme celui du radium 224, la masse de particules n'est pas répartie de manière équilibrée.

NEUROLOGIE

## NE PAS AVOIR D'OREILLE TIENT À UN DÉFAUT DU CORTEX

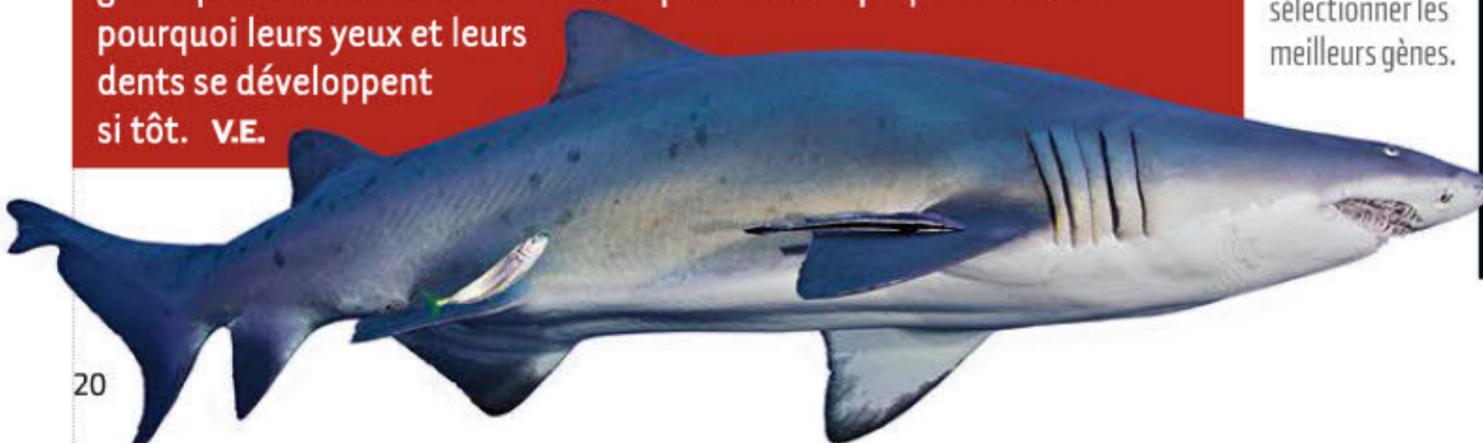
Avis aux personnes souffrant d'amusie congénitale, incapables de distinguer deux notes proches ou de reconnaître une mélodie : l'origine de leur trouble a été localisée. Selon une équipe lyonnaise, il s'expliquerait par un dérèglement de la transmission nerveuse entre cortex auditif et cortex frontal. Les chercheurs ont observé chez ces personnes (4 % de la population) un retard et une diminution de l'activité cérébrale au moment où les notes sont encodées, ainsi que des anomalies morphologiques dans ces mêmes régions du cerveau. **E.H.**

ÉTHOLOGIE

## Ce requin cannibalise ses frères in utero

Chez le requin-taureau, la femelle incube plusieurs œufs fécondés dans chacun de ses deux utérus, mais ne donne naissance qu'à deux jeunes : les premiers à éclore, qui ont dévoré leurs frères et sœurs *in utero*. Demian Chapman (université de Stony Brooke, États-Unis) a remarqué que dans 60 % des cas, ces deux jeunes ont le même père, alors que la femelle s'accouple souvent avec plusieurs mâles. Ce phénomène sélectionnerait la descendance du "meilleur" mâle, qui aura fourni des gènes permettant une croissance rapide. Cela expliquerait aussi pourquoi leurs yeux et leurs dents se développent si tôt. **V.E.**

▼ Chez *Carcharias taurus*, ce phénomène de compétition *in utero* permet de sélectionner les meilleurs gènes.



# LE TECHNO SPACE

PARE-BRISE  
PANORAMIQUE

COMMANDES  
TACTILES

ÉCRAN  
12" HD<sup>(1)</sup>

SERVICES CONNECTÉS<sup>(2)</sup>



Découvrez-le et tentez de gagner un vol stratosphérique.  
Voir conditions et règlement du jeu sur [www.technospace.citroen.fr](http://www.technospace.citroen.fr)

## NOUVEAU CITROËN C4 PICASSO

Nouveau Citroën C4 Picasso, le Technospace, révolutionne l'univers des monospaces et met le meilleur de la technologie au service de votre bien-être. Ouvert sur le monde, son espace intérieur est encore plus spacieux et baigné de lumière grâce à son pare-brise panoramique. Sa tablette tactile 7", qui commande toutes les fonctions du véhicule, son écran panoramique 12" HD personnalisable<sup>(1)</sup> et ses technologies embarquées, vous permettent de rester connecté en toutes circonstances. Grâce à sa nouvelle conception technologique, profitez de sensations de conduite inégalées tout en maîtrisant votre consommation et vos émissions de CO<sub>2</sub>\*. Vous parcourez le monde en toute sérénité et le monde entre dans votre voiture.

CRÉATIVE TECHNOLOGIE



Modèle présenté : Nouveau Citroën C4 Picasso THP 155 BVM6 Exclusive avec options. (1) Équipement de série ou non disponible selon versions. (2) Voir conditions en point de vente.

\*CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DE NOUVEAU CITROËN C4 PICASSO : DE 3,8 À 6,3 L/100 KM ET DE 98 À 145 G/KM.



▲ En orbite autour d'une étoile double, cette planète surdimensionnée (en haut) n'a pas pu naître par accrétion classique.

PLANÉTOLOGIE

# UNE EXOPLANÈTE BOULEVERSE LES CANONS CÉLESTES

Non seulement elle restera dans les annales comme la première exoplanète photographiée autour d'une étoile double, grâce à l'image infrarouge obtenue par une équipe franco-québécoise à l'aide du Very Large Telescope, au Chili. Mais en plus, 2MASS0103AB(b), de son petit nom, bouscule les canons de la formation planétaire. Car si ses deux étoiles totalisent une masse à peine équivalente à un tiers de notre Soleil, l'exoplanète est plutôt surdimensionnée: entre 12 et 14 fois la masse de Jupiter. Ce qui rend improbable le scénario traditionnel, selon lequel les planètes naissent par accrétion, autour d'un cœur rocheux, d'une partie du nuage de

gaz et de poussières entourant les étoiles en formation. Dans ce scénario, en effet, la matière en orbite, accaparée par les étoiles, serait vite devenue insuffisante pour former un tel monstre planétaire. Certes, cette exoplanète pourrait être une naine brune, soit une troisième étoile formée en même temps que les deux autres mais qui, trop petite, n'aurait pas brillé. Sa masse est cependant trop faible pour que ce scénario soit probable. Les chercheurs avancent donc une troisième voie de formation: des turbulences apparues dans le disque de gaz et de poussières auraient provoqué un effondrement d'une grande masse de gaz à la périphérie. Affaire à suivre. **A.D.**

ARITHMÉTIQUE

## Le problème des trois nombres premiers a été démontré

Tout nombre impair plus grand que 7 est la somme de trois nombres premiers. Cette conjecture dite "faible de Goldbach" a été démontrée par Harald Helfgott, de l'ENS, qui a procédé à une vérification numérique équivalant à un million d'années de calculs sur un processeur. La fin d'une traque lancée en 1937 par Ivan Vinogradov. Mais toujours pas d'idée pour attaquer la conjecture forte, qui postule que tout nombre pair est la somme de deux nombres premiers... **P.P.**



▼ Avant l'arrivée du riz, la culture du palmier queue-de-poisson était très répandue.

ARCHÉOLOGIE

## EN CHINE, ON A D'ABORD MANGÉ DU PALMIER

De quoi se nourrissaient les Chinois avant l'arrivée du riz, il y a environ 5000 ans? Des archéologues de l'Académie chinoise des sciences ont analysé divers outils ayant servi à préparer les aliments il y a 4500 à 5500 ans, dans le sud de la Chine. Ils y ont prélevé 454 granules d'amidon. Quelques-uns provenaient de tubercules, de bananes ou de plantes aquatiques, mais la grande majorité venait d'un palmier dit "queue-de-poisson", qu'on trouve encore en Asie du Sud-Est. La culture du palmier devait être très développée, ce qui expliquerait pourquoi la domestication du riz fut très lente dans cette partie de la Chine. **O.D.**

P. DELORME ET AL. - NATURAL HISTORY MUSEUM OF LONDON/BIOSPHERA

CE QUE VOUS ATTENDIEZ :



CE QUE VOUS N'ATTENDIEZ PAS :

\*Voir conditions des offres sur mercure.com

**LES PRÊT-À-PARTIR MERCURE.**

Jusqu'à **-40%** sur nos offres partout en France\*.

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

REDÉCOUVREZ  
MERCURE

**Mercure**

**LE CLUB ACCOR  
HOTELS**

REJOIGNEZ NOTRE PROGRAMME DE FIDÉLITÉ  
MONDIAL SUR [ACCORHOTELS.COM](http://ACCORHOTELS.COM)

PLUS DE 700 HÔTELS  
DANS LE MONDE.



# VIKINGS

## ILS SAVAIENT AUSSI MESURER LES LATITUDES

Outre leur usage de la boussole via un cristal, scénario que nous relations l'an passé, les Vikings utilisaient un demi-disque de bois qui confirme leur génie de la navigation. Ce curieux objet servait en effet à déterminer leur position!

SCIENCE & VIE

N° 1133  
FÉVRIER 2012

Comment diable les Vikings parvenaient-ils à parcourir des milliers de kilomètres en haute mer sans boussole? Comment arrivaient-ils à diriger leurs drakkars depuis la Scandinavie jusqu'aux Amériques? En février 2012, nous relations comment deux physiciens bretons étaient parvenus à apporter une partie de la réponse: par temps couvert, les marins pouvaient trouver le nord en regardant le ciel au travers d'un cristal leur servant de drôle de boussole, exploitant ainsi sans le savoir la polarisation de la lumière. Une autre équipe de spécialistes de l'optique, hongroise cette fois, vient de dévoiler un nouveau pan de l'histoire: les Vikings auraient été capables de mesurer leur latitude grâce au soleil et à une sorte de compas.

### UNE PRÉCISION DE 11 KM...

"*Tout part d'un demi-disque de bois attribué aux Vikings, qui a été découvert à Uunartoq, au Groenland, en 1948: les nombreuses études dont il a été l'objet depuis des décennies ont conclu qu'il servait à désigner le nord, relate Balázs Bernáth, chercheur à l'université de Budapest. Seulement cette interprétation souffre de faiblesses.*" Ainsi, certaines des graduations du demi-disque de bois se



sont révélées imprécises de plusieurs degrés, au risque de provoquer d'énormes erreurs de navigation...

Le chercheur et son équipe ont donc décidé il y a quelques mois de reprendre le puzzle à zéro, partant du principe que ses étranges entailles indiquaient non pas l'orientation, mais la position du navire. "*Toute l'économie des Vikings reposait sur une activité maritime régulière, explique le chercheur. Ils avaient besoin d'une mesure fiable pour se diriger, et il n'y a rien de plus efficace que de suivre une latitude.*" Bernáth et ses collègues ont donc reproduit en trois dimensions un modèle virtuel

**1** Les drakkars vikings étaient capables de parcourir d'immenses distances...

**2** ... grâce à ce véritable instrument de navigation, un demi-disque de bois gravé, qui leur permettait de mesurer les latitudes.

du fameux disque, ont tracé des lignes correspondant aux ombres du soleil, à midi, à différentes dates... et les ont vues se superposer parfaitement avec celles tracées sur le demi-disque de bois il y a 10 siècles. "*En relevant l'ombre du Soleil à midi, les Vikings pouvaient, avec ce disque, mesurer leur position avec une précision de 11 km, conclut le chercheur. Ces gravures que l'on croyait imprécises sont en réalité parfaites... mais pour mesurer la latitude.*" **M.F.**

# AVEC L'AMPERA, OPEL INVENTE L'E-MOBILITÉ !

Opel commercialise depuis deux ans une voiture électrique unique en son genre, l'Ampera. Sa technologie révolutionnaire lui autorise un rayon d'action de 500 km. Explications.

À l'heure où la voiture électrique fait l'actualité, l'Opel Ampera établit une nouvelle référence. Avec elle, la question de l'autonomie est une affaire résolue. Un moteur thermique fonctionnant à l'essence sert de générateur ; il prend le relais des batteries quand celles-ci ne sont plus en

**L'OPEL AMPERA EST LA 1<sup>ÈRE</sup> VOITURE ÉLECTRIQUE QUI PERMET D'ALLER « OÙ L'ON VEUT QUAND ON VEUT »**

mesure d'alimenter le moteur électrique. Jamais ce générateur thermique n'anime la voiture par lui-même. La mission reste confiée à l'unité électrique, forte de ses 150ch et 370Nm de couple ! Ainsi, l'Opel Ampera peut parcourir jusqu'à 80km en mode électrique seul - la solution idéale pour un usage quotidien. Et il suffit, après chaque utilisation, de « ravitailler » la voiture en la branchant sur une simple prise de secteur 220V. Une autre innovation de taille. Ce qui suit l'est encore plus. Dès que le générateur essence se met en marche, en douceur, l'Ampera élargit son rayon d'action à 500km. Cette autonomie étendue en fait une voiture électrique loin devant les autres. À noter, la consommation mixte du générateur

thermique s'élève à 1,2 l/100 km. Un chiffre à opposer à la quantité d'essence qu'engloutit une voiture essence de taille et de performance comparables... Cinq fois plus, tout est dit.

## LE SENS DE L'ACCUEIL

L'Ampera intègre la catégorie des «familiales compactes». Plus imposante que la moyenne de ses concurrentes, soit 4,50 m en longueur, elle libère un volume habitable plus qu'appréciable ! Et elle a le sens de l'accueil, dans un univers futuriste mais rationnel. L'instrumentation propre au complexe électrique demeure facile d'utilisation et immédiatement compréhensible. En mouvement, enfin, l'Opel Ampera enchante son conducteur. Elle s'inscrit dans la circulation quotidienne sans la moindre difficulté. Sur route, son moteur électrique a du nerf en reprise et emmène la voiture avec allant. Pas étonnant que ses talents dynamiques aient été encensés par les observateurs du monde automobile !

## UN ÉQUIPEMENT RICHE

Climatisation automatique programmable par smartphone, installation audio avec prises auxiliaire/USB et interface Bluetooth, alerte pour piétons en mode électrique et bien d'autres équipements composent la dotation de base. Sans oublier la gestion du complexe électrique selon quatre modes : Normal, Sport, Montagne et Maintien de charge. Rien ne manque dans l'Opel Ampera.



Le Centre d'information du conducteur situé derrière le volant est synonyme de tranquillité d'esprit.

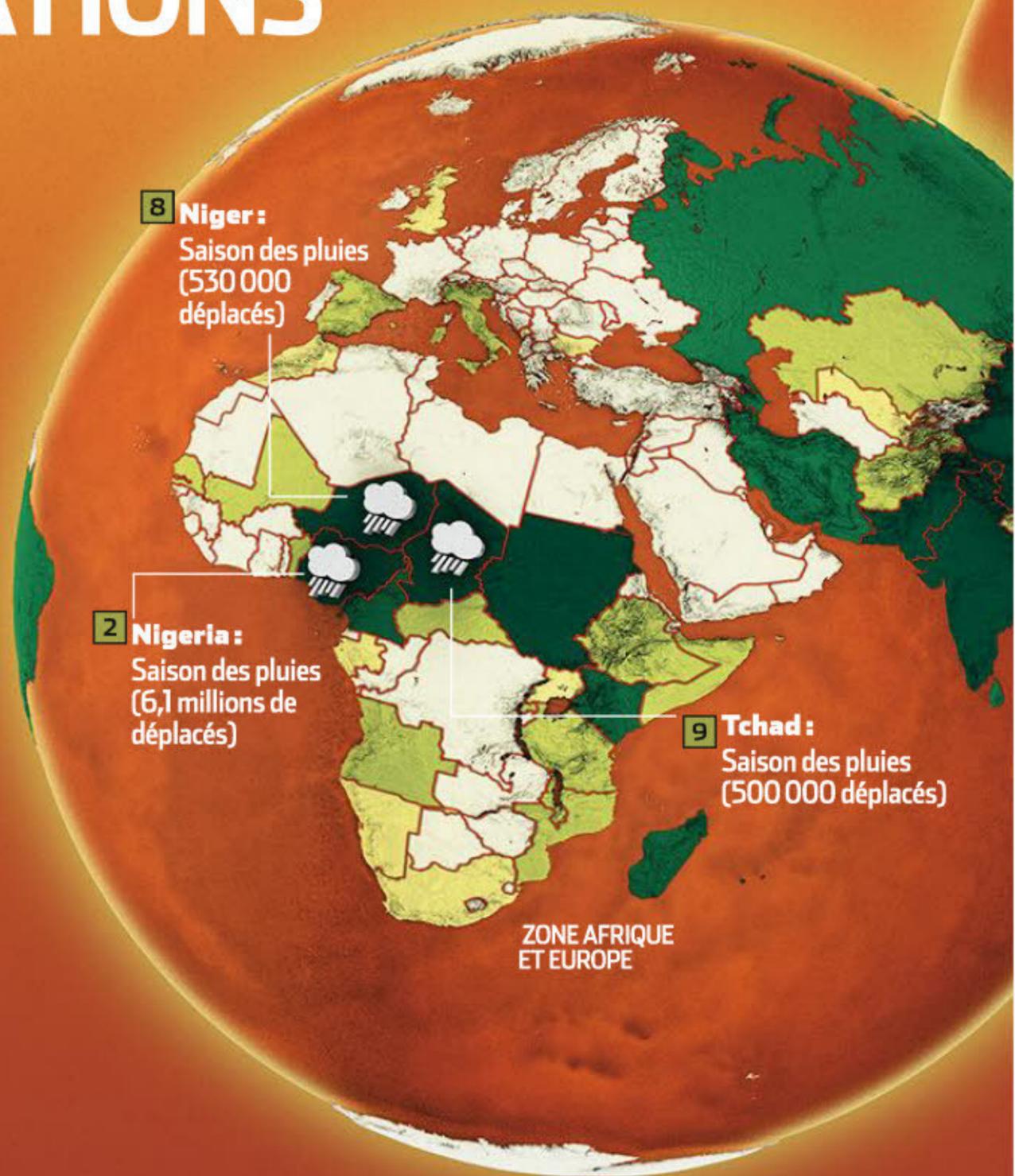


À partir de 40900€  
(bonus de 5000€ déduit)  
Opel Ampera Édition  
prix public clés en main  
au 1<sup>er</sup> août 2012.  
Conso mixte Ampera  
(l/100km) : 1,2.  
CO<sub>2</sub> (g/km) : 27.

CATASTROPHES NATURELLES

## LE CLIMAT EST LA PREMIÈRE CAUSE DES DÉPLACEMENTS DE POPULATIONS

En 2012, 32,4 millions de personnes dans le monde ont dû fuir leur maison à la suite de catastrophes naturelles, selon l'Observatoire des situations de déplacement interne (IDMC), à Genève. C'est deux fois plus que pour l'année 2011... mais, bien moins qu'en 2010 (42,3 millions de déplacés). Difficile dans ces conditions de dégager une tendance fiable sur ce phénomène. Les variations d'une année sur l'autre s'expliquant par la survenue, imprévisible, de mégacatastrophes entraînant le déplacement de plusieurs millions de personnes. Seule constance, l'essentiel des déplacements forcés de population est causé par des catastrophes climatiques, au premier rang desquelles les inondations. En 2012, elles ont causé le déplacement de 9,1 millions de personnes en Inde, et de 6,1 millions au Nigeria. Pour Clare Spurrell, directrice par intérim de l'IDMC, "ces données montrent que les pays pauvres sont disproportionnellement affectés par les catastrophes naturelles. Les risques sanitaire et sécuritaire augmentent d'autant plus que les populations touchées par ces catastrophes sont déjà vulnérables car elles vivent dans des zones aux climats politique, économique, et social, instables." J.H.



# Carte des 10 plus importants déplacements dus aux catastrophes naturelles dans le monde en 2012



**1 Inde :**  
 - 1<sup>re</sup> mousson (6,9 millions de déplacés)  
 - 2<sup>e</sup> mousson (2 millions de déplacés)

**5 Pakistan :**  
 Mousson (1,9 million de déplacés)

**3 Chine :**  
 - Typhon Haikui (2,1 millions de déplacés)  
 - Mousson de juin/juillet (1,4 million de déplacés)

**7 Bangladesh :**  
 Mousson (600 00 déplacés)

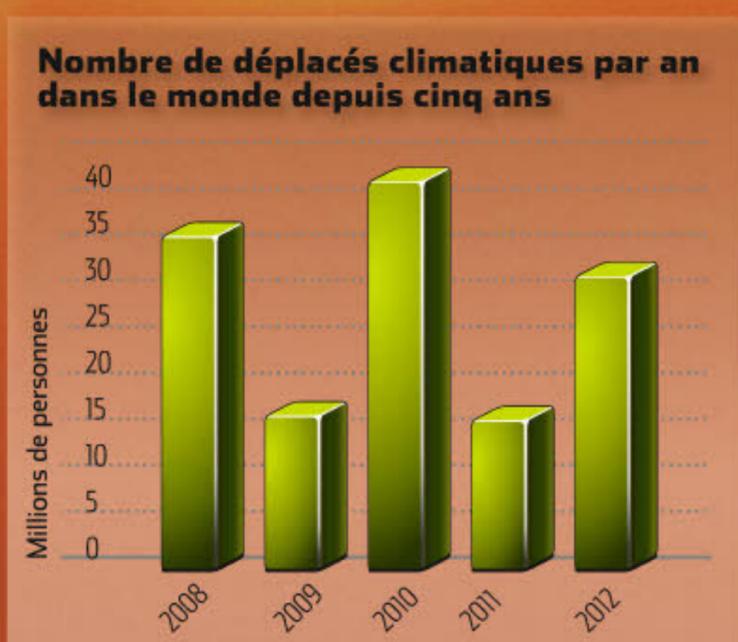
**4 Philippines :**  
 - Mousson du Sud-Ouest (1,6 million de déplacés)  
 - Typhon Pablo (1,9 million de déplacés)

**6 Etats-Unis :**  
 Ouragan Sandy (776 000 déplacés)

**10 Cuba :**  
 Ouragan Sandy (343 000 déplacés)

ZONE ASIE ET OCÉANIE

ZONE AMÉRIQUES



**143,9** millions de personnes ont été déplacés entre 2008 et 2012.

**98** % des personnes déplacées vivent dans des pays en développement.

**776 000** personnes ont été déplacés aux Etats-Unis par l'ouragan Sandy.

Océanographie

# LES POISSONS FUIENT LES MERS LES PLUS CHAUDES

Nos filets de pêche contiennent de plus en plus de poissons d'eaux chaudes, au détriment des espèces locales. Ainsi, dans l'Atlantique Nord, des espèces méditerranéennes comme le rouget cohabitent avec le cabillaud. Si ce phénomène avait déjà été observé dans plusieurs régions du monde, il vient d'être quantifié à l'échelle mondiale pour la première fois par William Cheung et Daniel Pauly, de l'université de Colombie-Britannique, au Canada. L'évolution du contenu des filets au cours des quarante dernières années est d'autant plus marquée que la hausse des températures marines a été forte. Mais dans les eaux tropicales, les plus

chaudes du globe, le phénomène s'est arrêté en 1980, malgré la hausse des températures. De fait, il n'existe pas d'espèces adaptées à des températures plus chaudes, susceptibles de remplacer les espèces subtropicales qui ont fui. La diversité des produits pêchés a donc diminué dans ces régions. Et si la température finit par dépasser la tolérance des poissons restants, c'est la viabilité des pêcheries tropicales qui s'en trouve menacée, affectant une population largement dépendante des ressources halieutiques. Déjà, dans une précédente étude, les auteurs y avaient prédit une baisse des captures pouvant aller jusqu'à 40 % d'ici à 2055. **V.E.**



# 400 ppm

C'est la concentration de CO<sub>2</sub> enregistrée (en partie par million) dans l'atmosphère au-dessus de la station météo de Mauna Loa, à Hawaï, le 9 mai 2013. En cinquante-cinq ans de mesures, jamais un tel seuil n'avait été atteint ! A moins de remonter... 3 millions d'années en arrière. Un chiffre symbolique qui reflète l'accélération du réchauffement de la planète ces dernières décennies. **E.H.**

ÉCOLOGIE

## La coccinelle asiatique abrite un parasite qui tue ses rivales

Si *Harmonia axyridis*, la coccinelle venue d'Asie, s'est imposée en Europe, en Amérique latine et en Afrique du Sud, c'est parce qu'elle héberge un parasite néfaste pour les autres coccinelles. Andreas Vilcinskis, de l'université de Giessen, en Allemagne, a en effet révélé dans leur "sang" (l'hémolymphe) la présence de microsporidies auxquelles ces coccinelles sont résistantes... contrairement aux espèces indigènes, qui meurent quand elles l'absorbent en mangeant des œufs ou des larves de *H. axyridis*. **E.L.**



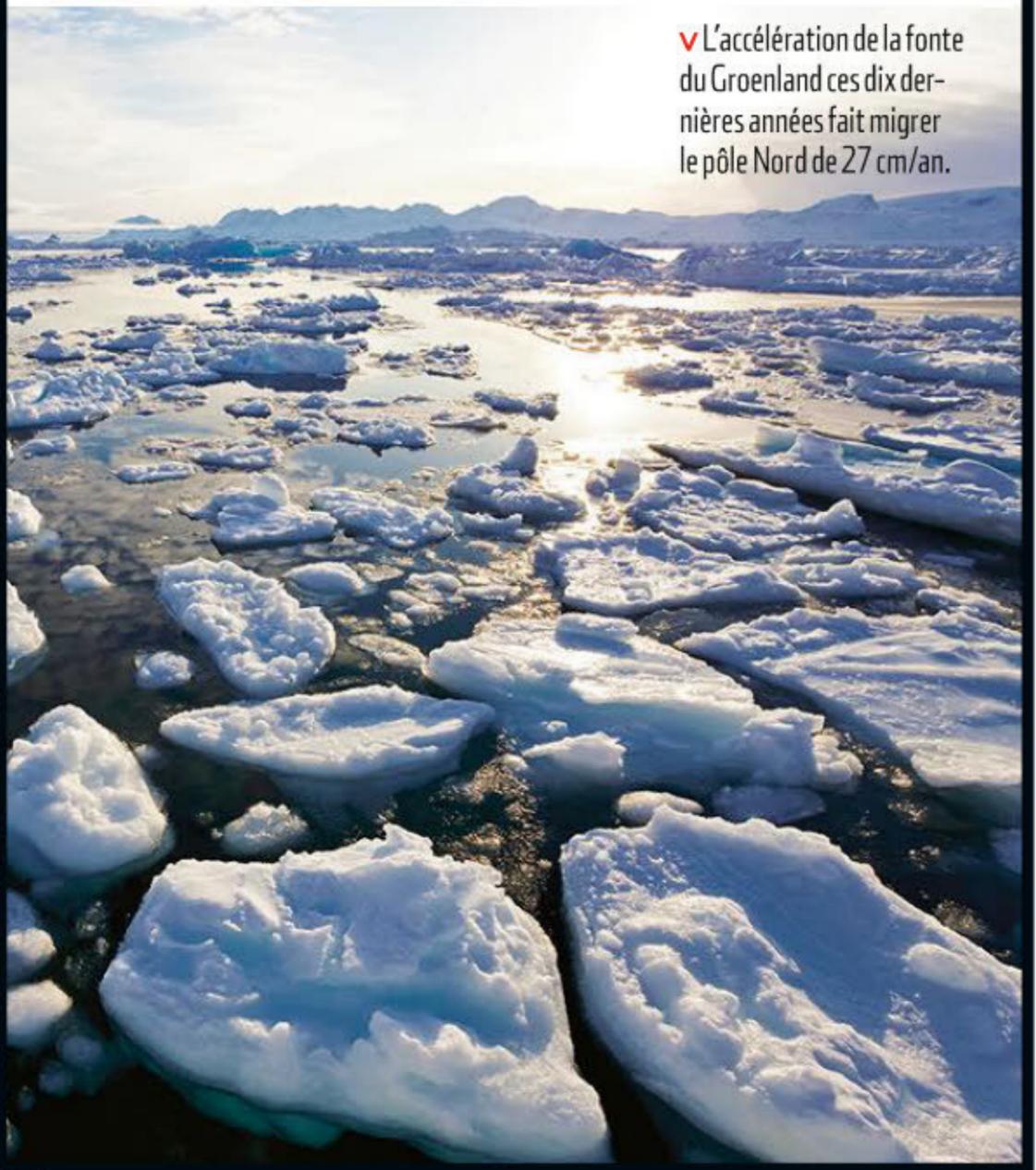
▲ Les pêcheurs de l'Atlantique Nord remontent aujourd'hui dans leurs filets davantage d'espèces méditerranéennes.



## GÉOGRAPHIE

# EN FONDANT, LE GROENLAND ATTIRE VERS LUI LE PÔLE NORD

Contrairement à une idée reçue, le pôle Nord géographique n'est pas fixe. Il se déplace même depuis un siècle, à la vitesse de 6 cm par an, en direction du nord du Canada. Or, voilà qu'il a brusquement changé de cap. Depuis 2005, le pôle Nord se dirige vers le Groenland, quadruplant de vitesse: environ 27 cm par an. La raison? Pour Jianli Chen, de l'université du Texas, ce virage est dû à l'accélération de la fonte des calottes et des glaciers polaires. "Le déplacement du pôle Nord est lié à une redistribution des masses à la surface de la Terre", explique le chercheur. En effet, le pôle correspond au point, à la surface du globe, par lequel passe l'axe de rotation de la Terre. Or, en fondant, les glaces ont libéré d'immenses quantités d'eau dans les océans, engendrant un transfert de masse d'une région du monde vers une autre. Si on enlève de la masse sur une sphère qui tourne sur elle-même, l'axe de rotation s'incline vers l'endroit de cette perte. Dans ce cas précis, le Groenland, où les glaces ont le plus fondu au cours de la décennie 2001-2010. La mesure précise des mouvements polaires se révèle ainsi un indicateur supplémentaire pour suivre l'évolution de l'état de santé des calottes polaires. **C.L.**



▼ L'accélération de la fonte du Groenland ces dix dernières années fait migrer le pôle Nord de 27 cm/an.

E.CASTRO-MENDIVIL/REUTERS - ENTOMART - J.ARNOLD/HEMIS.FR

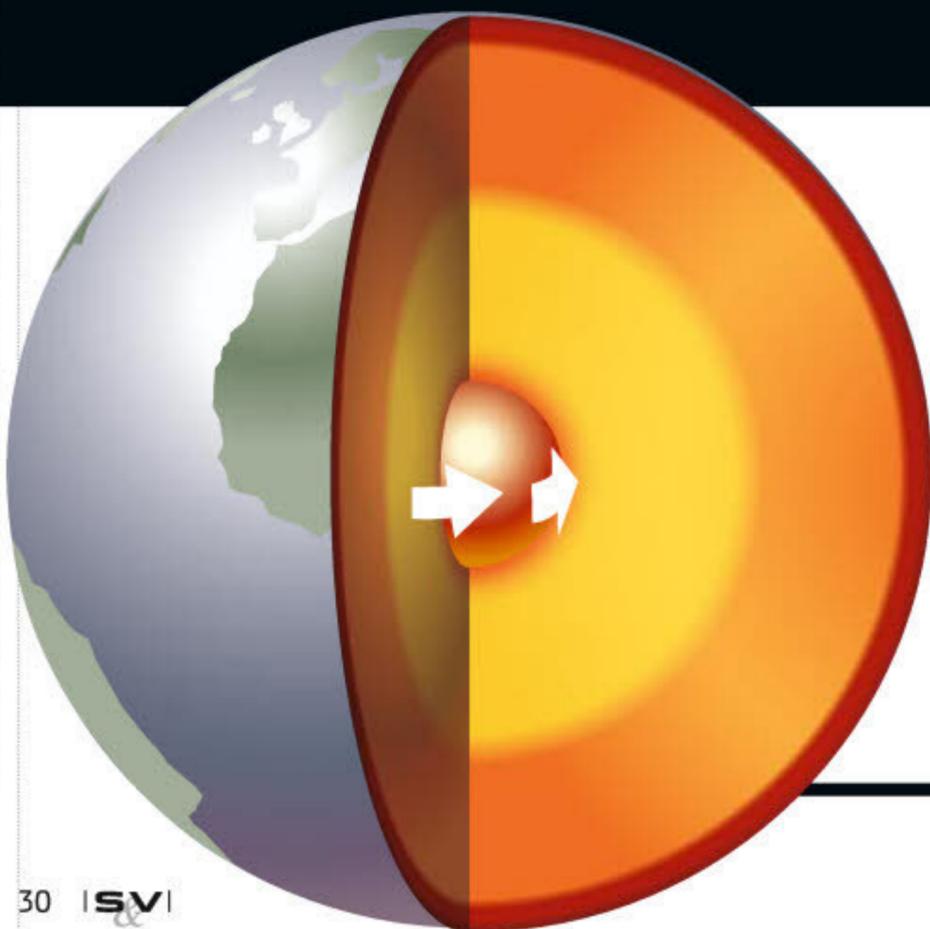
ÉCOLOGIE

# ON A RÉSOULU LE MYSTÈRE DES CERCLES DE FÉES

Sur des dizaines de kilomètres, le désert du Namib est ponctué d'étranges taches: des zones circulaires dénuées de toute végétation, délimitées par des couronnes d'herbes pérennes. Baptisées "cercles de fées", ces structures ont longtemps intrigué les scientifiques qui ont multiplié les hypothèses pour expliquer leur formation: poison libéré par les plantes pour éliminer la concurrence, mystérieux gaz exhalés par le sol, fourmis carnivores... Norbert Juergens, de l'université d'Hambourg (Allemagne), pense avoir percé le mystère de leur origine. Ses observations révèlent qu'une seule

espèce de termite, *Psammotermes allocerus*, apparaît systématiquement dans tous les cercles de fées, et ce, dès leur formation. Elle y réalise, selon le chercheur, un travail "d'ingénieur de l'écosystème". En dévorant la végétation autour de son nid avant qu'elle ne se développe pleinement, ce termite crée une aire où le sol, mis à nu, absorbe mieux l'eau de pluie. C'est ce "piège à eau" qui permet à la végétation pérenne de se développer en périphérie du cercle, offrant en retour une réserve de nourriture aux termites et à tous les animaux qui trouveront refuge dans ces oasis. C.H.

> C'est un petit termite qui dénude ces aires circulaires: elles fonctionnent ensuite comme des pièges à pluie, alimentant les plantes à leur périphérie.



GÉOPHYSIQUE

## LE NOYAU DE LA TERRE TOURNE À

Les battements du cœur de la Terre ne sont pas réguliers. Depuis les années 1990, les sismologues soupçonnent la "graine", le noyau solide de notre planète, de tourner sur elle-même plus vite que le reste du globe. Mais sans parvenir à s'accorder sur sa vitesse de rotation. Et pour cause: Hrvoje Tkalčić

(université de Canberra, Australie) a découvert que cette vitesse n'est pas constante! Pour l'affirmer, il a analysé des doublets de séismes, ces tremblements de terre "jumaux" qui se produisent à des semaines ou des années d'intervalle, générant des ondes sismiques qui empruntent le même chemin au

## L'EUROPE INTERDIT TROIS INSECTICIDES

Depuis des années, on les suspectait de décimer abeilles et autres pollinisateurs sauvages. À partir du 1<sup>er</sup> décembre, trois insecticides de la famille des néonicotinoïdes seront bannis en Europe... Mais à défaut d'un consensus entre les pays, la décision ne porte que sur certaines cultures pour une durée de deux ans. **E.H.**

## LISTE NOIRE DES ECOSYSTEMES

Après les espèces menacées, l'Union internationale pour la conservation de la nature se penche sur l'état de santé des écosystèmes. Une nouvelle méthode d'évaluation des risques environnementaux a été développée pour établir la liste des écosystèmes en danger, qui n'est prévue qu'en 2025. **J.H.**

## LES SÉISMES DES GRANDES PROFONDEURS

605 kilomètres sous la surface terrestre. Telle est la profondeur à laquelle s'est produit le séisme de magnitude 8,3 qui a secoué le nord-ouest de l'océan Pacifique le 24 mai. Cette localisation exceptionnelle s'explique par le fait que la croûte océanique s'enfonce assez vite pour rester cassante malgré les températures élevées à ces profondeurs. **B.B.**

## AGRICULTURE

# EN AMAZONIE, LES PAYSANS BOULEVERSENT LE CLIMAT

Les éleveurs et les agriculteurs travaillent-ils à leur propre perte en Amazonie ? C'est ce que pense en tout cas Leydimere Oliveira, de l'université de Viçosa, au Brésil, qui estime que la destruction de la forêt au profit des cultures et de l'élevage pourrait provoquer un changement climatique local majeur compromettant l'avenir de ces activités. Si rien n'est fait pour limiter la déforestation, et compte tenu du réchauffement global en cours, la forêt amazonienne pourrait en effet perdre 65 % de sa végétation. Ce qui entraînerait une diminution des précipitations et une augmentation des températures. Conséquences, selon les simulations informatiques réalisées par la chercheuse : une chute d'ici à 2050 de 30 à 34 % de la productivité des pâturages destinés au bétail et de 24 à 28 % du rendement des cultures de soja. Un processus qui pourrait conduire à rendre l'élevage et l'agriculture non rentables dans certains cas. *"L'expansion de l'agriculture en Amazonie va devenir autodestructrice : plus l'agriculture s'étendra, moins elle deviendra productive"*, conclut Leydimere Oliveira dans son analyse. Par endroits, les terres pourraient même être si affectées qu'elles en deviendraient impropres à l'agriculture. **P.L.**

▼ La déforestation sauvage modifie localement le régime des pluies et fait baisser la productivité des terres et des pâturages.

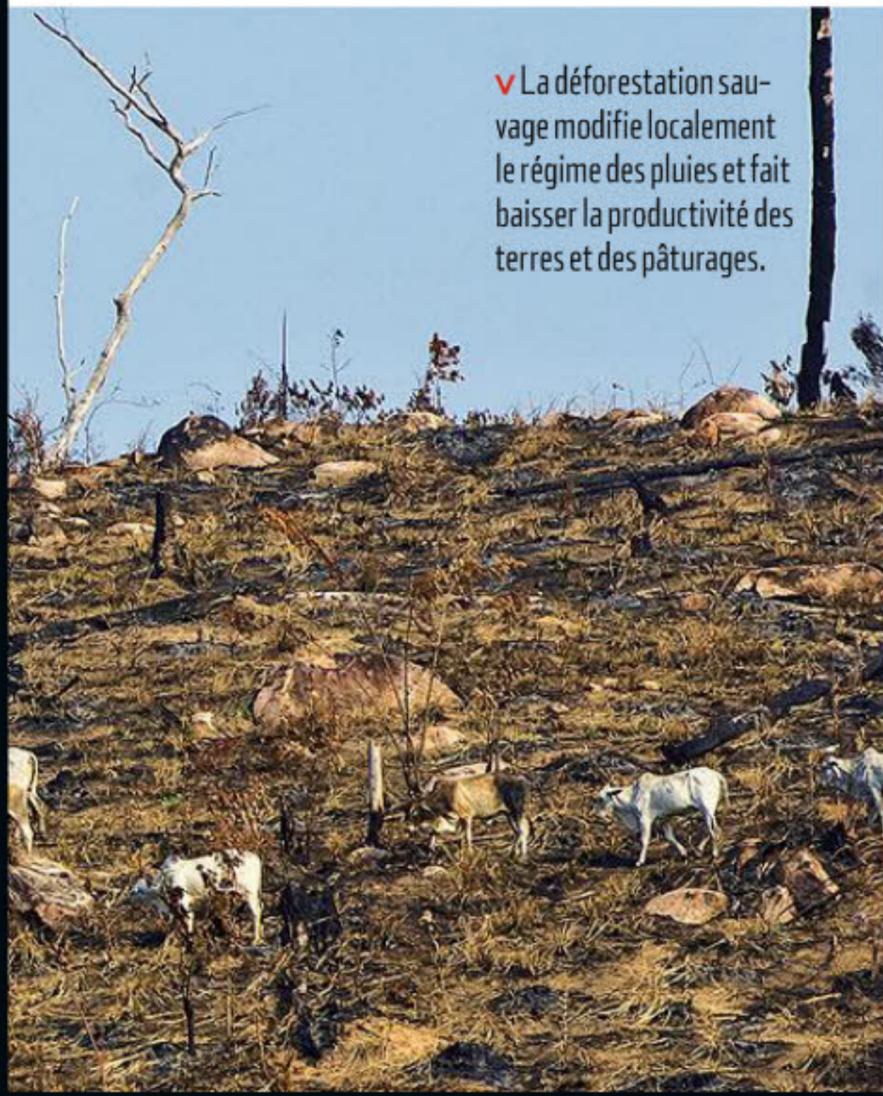


IMAGE COURTESY OF N. JUERGENS - A. SCORZA/AFP - M. KONTENTE

## VITESSE VARIABLE

sein du globe. En étudiant les infimes différences de temps de parcours des ondes qui ont traversé la graine, le géophysicien en a conclu que la vitesse de rotation varie au cours du temps. Elle a accéléré dans les années 1970, ralenti dans les années 1980, puis repris de la vitesse dans les années 1990 et 2000. **L.C.**

POURQUOI LES FRANÇAIS  
SONT PARTICULIÈREMENT  
EXPOSÉS AUX

# PESTICIDES

*Gros producteur européen, la France pratique une agriculture intensive faisant massivement appel aux pesticides. Dès lors, la contamination atmosphérique et alimentaire est inévitable.*

En avril dernier, l'Institut de veille sanitaire (InVS) a présenté les résultats de la première étude sur l'exposition de la population aux composés chimiques. Quarante-deux "biomarqueurs" ont été dosés dans le sang ou l'urine d'un échantillon représentatif de 3 115 Français, vivant aussi bien à la campagne qu'en ville.

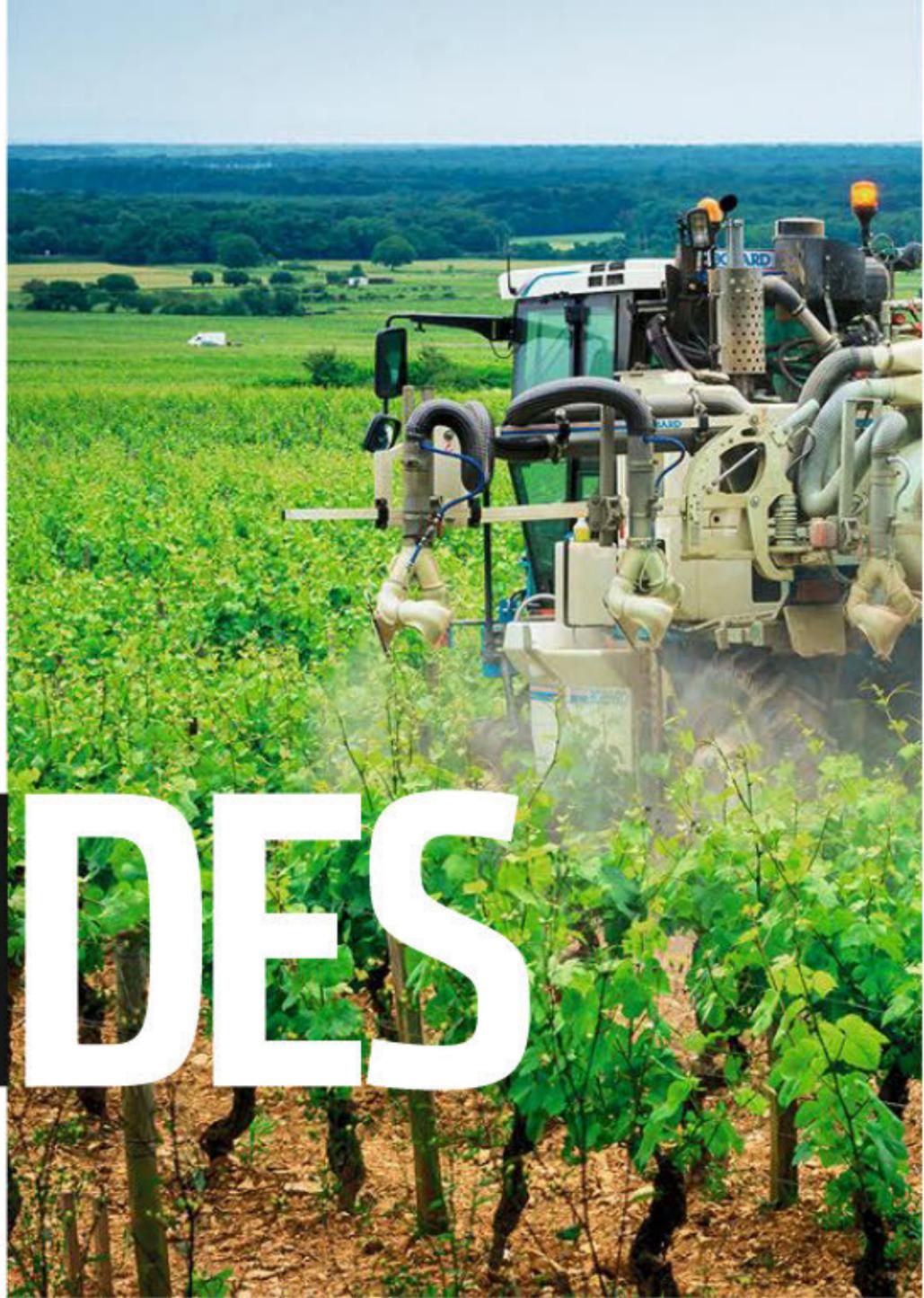
## L'URGENCE D'ÊTRE INFORMÉ

La plupart des biomarqueurs qui trahissent l'imprégnation de l'organisme par des pesticides ont été détectés chez quasiment tous les individus ! Même les organochlorés, dont certains sont interdits depuis 40 ans, restent détectables dans nos corps. Du reste, l'InVS ajoute qu'une "attention particulière doit être portée aux organophosphorés et pyréthri-noïdes pour lesquels les niveaux français semblent être parmi les plus élevés en référence à des

pays comparables". Entre autres l'Allemagne, proche voisin.

Pour comprendre cette spécificité française, il faut d'abord s'interroger sur la façon dont ces substances peuvent se retrouver dans notre corps. A la campagne, l'air ambiant peut être contaminé par les grandes quantités de produits épandus, en particulier près d'un vignoble ou d'un champ de céréales. Les pesticides utilisés à la maison, pour le jardinage, contre les insectes ou pour protéger nos animaux de compagnie, sont également vecteurs d'exposition. Mais selon l'OMS, la principale source d'exposition est notre alimentation. Rien d'étonnant : 90 % des pesticides sont utilisés par l'agriculture intensive.

Selon une étude récente de l'autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA, 2010), la moitié des denrées alimentaires européennes analysées



## REPÈRES

**En 2003** est créé l'Observatoire des résidus de pesticides (ORP), chargé d'évaluer leur présence dans la population et les écosystèmes.

**Depuis 2008**, les limites appliquées aux résidus de pesticides dans l'alimentation sont harmonisées au niveau européen.

**D'ici à 2018**, le plan Ecophyto, né après le Grenelle de l'Environnement, vise une réduction de 50% de l'usage des pesticides en France. Leur utilisation est en constante augmentation...

montre des résidus de pesticides... Certes, 97,2 % des échantillons testés sont dans les limites européennes légales.

Mais il reste très difficile d'estimer l'impact sanitaire de ces produits. Les effets à long terme, de même que les risques liés au fameux "effet cocktail" dû à la combinaison de plusieurs molécules, sont mal connus. Même à faible dose, cette exposition chronique pourrait avoir un impact : effets neurologiques, endocriniens ou immunitaires, troubles de la reproduction et anomalies du développement de l'enfant, cancérogénicité... Il s'agit maintenant d'en savoir plus – et vivement ! – sur les effets des pesticides afin que des mesures puissent être prises qui protégeront notre santé. Car le constat est désormais fait : c'est la population française dans son ensemble qui est aujourd'hui imprégnée par les pesticides. **D.H.**



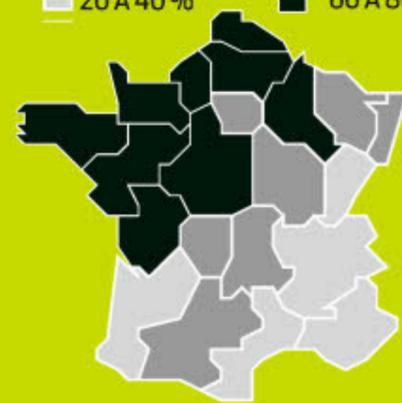
### CLÉ N° 1

## La France, première agriculture européenne...

Avec près de 30 millions d'hectares, l'Hexagone possède presque deux fois plus de surface agricole utile (SAU) que l'Allemagne. Il est aussi le premier utilisateur de pesticides du continent. L'occupation du sol y étant très agricole, habitat et cultures sont étroitement liés et les Français sont donc plus exposés à la contamination atmosphérique par les produits épandus dans les champs.

Part des surfaces agricoles

- 0 À 20%
- 20 À 40%
- 40 À 60%
- 60 À 80%



SOURCE: OBSERVATOIRE DES TERRITOIRES

### CLÉ N° 2

## ... utilise de grandes quantités de pesticides



Premier producteur de vin mondial, la France est aussi un gros producteur de pommes. Deux secteurs où la consommation de pesticides à l'hectare est très importante, avec des indices de fréquence de traitement (IFT) élevés. A elle seule, la viticulture utilise 20% du volume annuel des pesticides, pour 3% de la surface agricole !

SOURCE: INRA

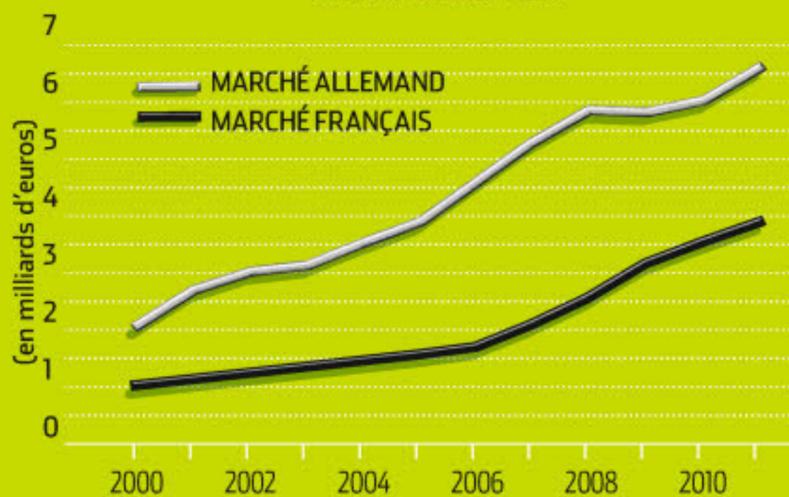
▲ L'épandage massif de pesticides – particulièrement sur les vignobles – pratiqué par l'agriculture intensive est l'une des sources principales d'exposition pour l'homme.

### CLÉ N° 3

## Alors que le développement des produits "bio" est à la traîne...

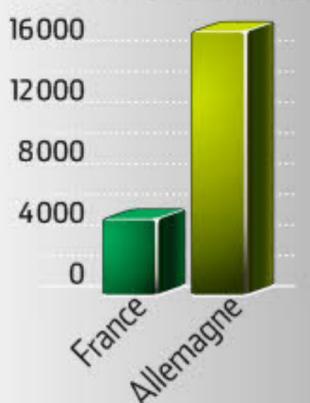
Notre consommation de produits biologiques (le risque d'y retrouver des pesticides est 30% inférieur aux produits non biologiques, selon une étude américaine de 2012) reste, année après année, derrière celle des Allemands. La France consomme en effet 19% du marché bio européen, contre 32% pour l'Allemagne. De même au niveau de la production, l'agriculture biologique accuse du retard, avec seulement 3% de la surface agricole utile en bio en 2010, deux fois moins qu'en Allemagne et sept fois moins qu'en Autriche !

### Marché du bio



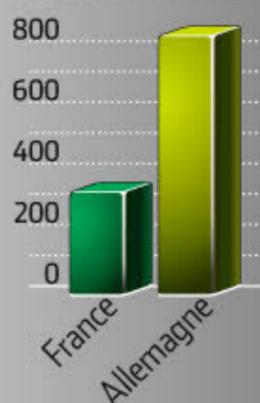
SOURCE: AGENCE BIO

Nombre d'échantillons analysés



SOURCE: EFSA

Nombre de molécules étudiées



### CLÉ N° 4

## ... ainsi que la surveillance des aliments

Nous avons un taux de non-conformité des denrées alimentaires (dépassement des limites maximales résiduelles autorisées en pesticides) plus élevé que nos voisins d'outre-Rhin : 3,1% contre 2,1%. Or, avec un nombre d'analyses beaucoup plus élevé, l'alimentation allemande est mieux contrôlée, et les anomalies sont retirées du marché. Il est donc probable que les denrées non conformes seraient encore plus nombreuses en France si le suivi y était aussi poussé qu'en Allemagne. Selon l'adage bien connu : plus on cherche, plus on trouve...

FOTOLIA - M.KONTENTE

# EDF FAIT BARRAGE À L'INFORMATION!

Par Vincent Nouyrigat

C'est une situation de plus en plus intenable. Un secret de notre paysage énergétique que l'électricien EDF et l'Etat français prennent grand soin de cacher. Un refus obstiné de transparence à propos de bâtiments pourtant potentiellement très dangereux. Après une telle entrée en matière, chacun s'attend certainement à lire une chronique sur les méandres de notre industrie nucléaire. Eh bien, pas du tout: il s'agit d'hydroélectricité, ce secteur qui jouit d'une image incroyablement sympathique, écologique, esthétique... alors même que le fonctionnement de cette industrie, en France, est parmi les plus obscurs. Au point que le niveau de sécurité de nos 296 grands barrages s'avère infiniment plus opaque que celui de nos 58 réacteurs nucléaires à la réputation vénérable! Et ce n'est pas un léger détail: faut-il rappeler que, tout comme un accident sur un réacteur, la rupture d'un barrage serait un drame national; la défaillance de la retenue de Vouglans (Jura) menacerait ainsi de submersion plus de 1,3 million de personnes, engloutissant la ville de Lyon sous une vague de 6 mètres. Cette seule perspective mérite mieux que les cachotteries d'un corps d'ingénieurs...

L'hydroélectricité plus secrète que le nucléaire? Jugez plutôt. Le parc de réacteurs d'EDF est soumis en permanence au regard aiguisé et intransigeant d'une autorité indépendante, laquelle ne se prive pas de publier ses rapports d'inspection sur Internet ni de dresser, lors d'une grande conférence de presse, un bilan annuel souvent corrosif. Mais que sait-on de l'état des barrages EDF, dont certains atteignent 75 ans d'âge? Que nous disent les directions régionales du ministère de l'Ecologie chargées de leur contrôle? Rien, absolument rien. La seule information consultable aujourd'hui se trouve perdue au milieu du rapport annuel, très discret et évasif, de "l'inspecteur de la sûreté hydraulique" employé... par EDF. La belle affaire. Sa lecture permet au moins de



découvrir que trois incidents sérieux se sont produits en 2012, tous dans les Pyrénées: rupture de conduite forcée à Gnioure et Lescun, bris de turbine aux Echarts. Heureux de l'apprendre...

Ce silence est assourdissant. EDF et les organes de contrôle étatiques fonctionnent en vase clos, comme aux pires heures du nucléaire. Même les maires des communes situées en aval, pourtant garants de la sécurité de leurs concitoyens, n'ont aucun moyen d'être informés sur l'intégrité du barrage qui les surplombe. Que disent les analyses chimiques de son béton? Les études géologiques révèlent-elles des affaissements de terrain ou des infiltrations d'eau? Mais, au fait, pourquoi EDF remplace-t-il en ce moment sur son parc de nombreuses vannes de vidange? Ce remue-ménage cache-t-il quelque chose d'inquiétant? On n'empêchera jamais le manque de transparence de laisser libre cours aux soupçons, aussi injustifiés soient-ils...

Demeure l'espoir que l'ouverture à la concurrence, prévue à partir de 2015 sur certains barrages, fasse céder ces verrous. Pour l'instant, les compagnies candidates, désireuses de connaître la fiabilité des barrages qu'elles convoitent, ont toutes vu leurs demandes de consultation des études d'inspection refusées net. Le motif invoqué officiellement est des plus pratiques: "Ces rapports contiennent des informations dont la communication pourrait porter atteinte à la sécurité publique." Formons le vœu que ces refus obstinés, maladroits et injustifiés, ne résistent plus longtemps.

**EN 2012, 3 INCIDENTS SÉRIEUX SE SONT PRODUITS SUR DES BARRAGES: ON N'EN SAURA PAS PLUS!**

*Gardez vos yeux  
sur la route, désormais  
les SMS s'écoutent.*

➤ **Ford SYNC® avec lecture des SMS\*.**

Tout le monde sait qu'on ne doit pas lire ses sms au volant. Désormais, grâce au Système Ford SYNC® avec lecture des sms, une voiture peut le faire et y répondre à votre place.

Découvrez plus de technologies sur [Ford.com](http://Ford.com)

FIESTA • B-MAX • FOCUS • C-MAX • KUGA • TOURNEO CUSTOM  
• TRANSIT CUSTOM

\*Selon téléphones compatibles.

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

**Ford.com**

Retrouvez Ford France sur 

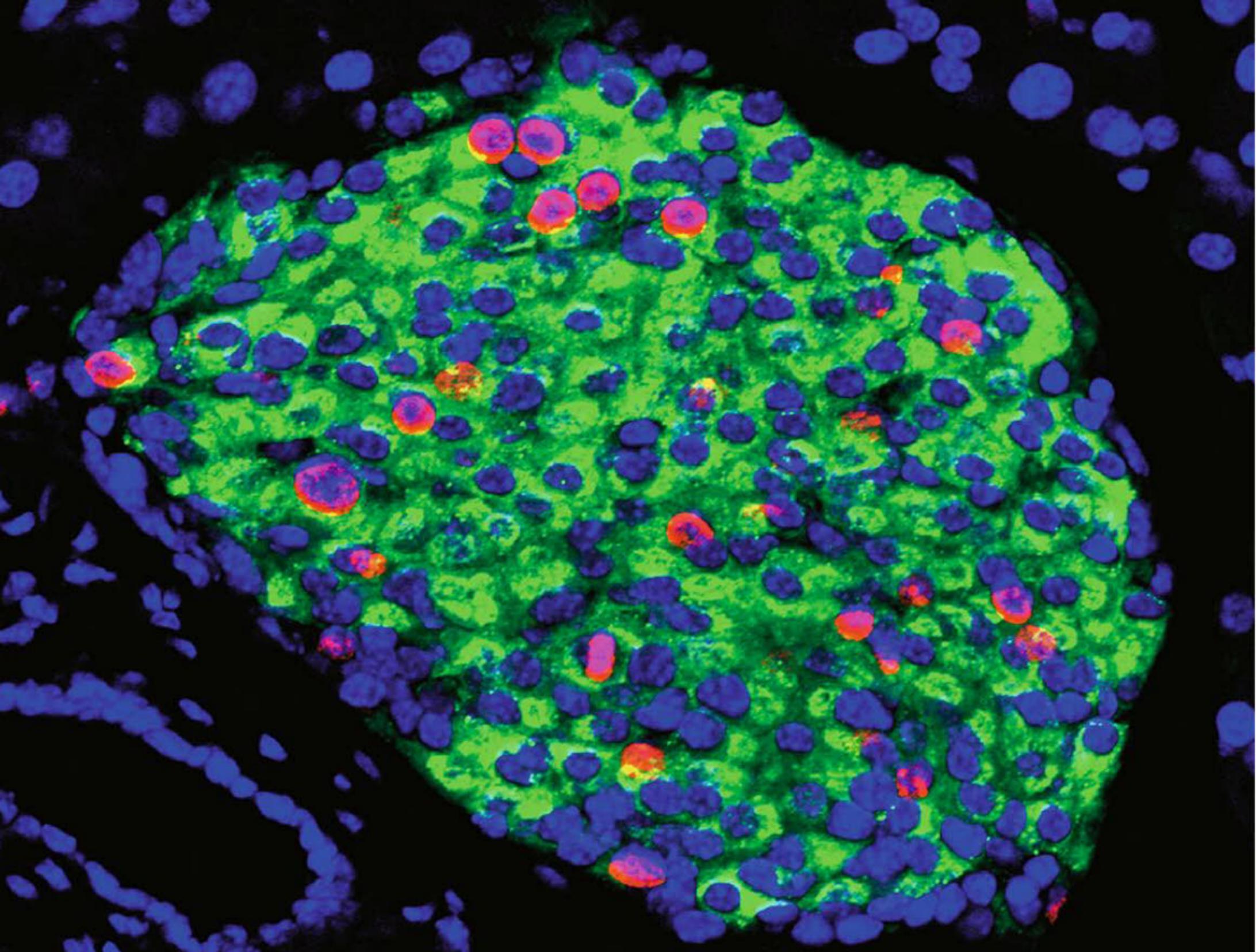


**Allons plus loin**

# actus médecine

P.YI/J.-S.PARK/D.A.MELTON/HARVARD STEM CELL INSTITUTE

> Dans ce pancréas de rat, les cellules  $\beta$  relancent la production d'insuline (en vert) après s'être multipliées (en rose) grâce à l'injection d'une hormone : la bêtatrophine.



ENDOCRINOLOGIE

# UNE NOUVELLE HORMONE TRAITERA LE DIABÈTE

Les personnes touchées par des formes avancées de diabète de type 2 (tardif, le plus répandu) auront-elles bientôt accès à un traitement hormonal totalement inédit ? Chez ces malades, les cellules  $\beta$  du pancréas sont incapables de fabriquer les quantités suffisantes d'insuline pour contrôler le taux trop élevé de sucre dans le sang. Au fur et à mesure, le

pancréas finit par s'épuiser et le nombre de cellules  $\beta$  diminue. Aujourd'hui, le traitement consiste à pallier le manque d'insuline par des injections quotidiennes répétées de cette hormone. Mais une alternative originale vient d'être testée chez la souris : Peng Yi et ses collègues de Harvard ont pour cela utilisé les pouvoirs de la

bêtatrophine, une hormone tout juste identifiée chez l'homme, qui s'avère capable de relancer la prolifération des cellules  $\beta$ . Chez le rongeur, la production de la bêtatrophine a ainsi pu être stimulée en augmentant l'activité de son gène, et la prolifération des cellules  $\beta$  multipliée par trente. En seulement huit jours, le taux d'insuline des

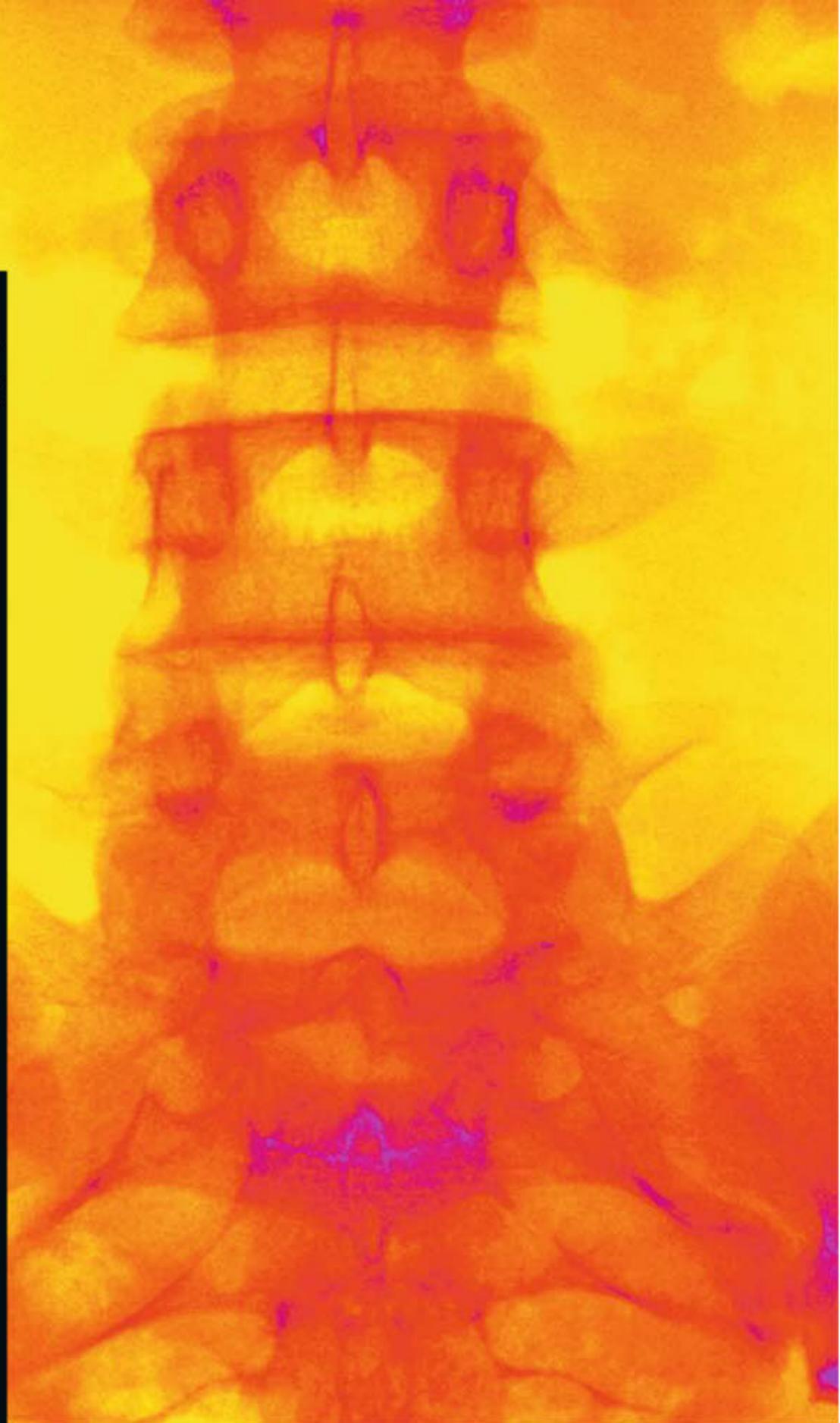
rongeurs soumis à ce traitement a doublé par rapport à celui des autres souris. Les chercheurs envisagent des essais cliniques d'ici trois à cinq ans. De plus, ils espèrent démontrer que la bêtatrophine peut également ralentir l'évolution du diabète de type 1 (inné), causé par la destruction des cellules  $\beta$  par le système immunitaire. **L.C.**

INFECTIOLOGIE

# AVOIR MAL AU DOS PEUT CACHER UNE SIMPLE INFECTION

Traiter une lombalgie récalcitrante avec des antibiotiques? L'idée semble se confirmer, d'après une étude clinique conduite à l'université du Danemark du Sud. Point de départ: la découverte de bactéries dans des hernies discales a suggéré une origine infectieuse. Des patients souffrant du bas du dos depuis plus de six mois et présentant des signes d'œdème vertébral sur les images d'IRM ont été soumis à trois mois de traitement (antibiotiques ou placebos). Après neuf mois sans médicament, l'évaluation s'est révélée meilleure pour les patients sous traitement actif. Un tiers d'entre

eux ne souffrait plus du tout, et la moitié pouvait effectuer sans gêne des mouvements de flexion ou d'extension. Les douleurs dans les jambes avaient aussi diminué. Ces effets bénéfiques survenaient dès six à huit semaines d'antibiothérapie et perduraient... confortant l'hypothèse infectieuse. Selon ce scénario, des germes anaérobies communs se logent dans le disque intervertébral, d'où ils agressent l'os vertébral et irritent les racines nerveuses. Après leur éradication, la vertèbre "cicatrise" et les symptômes régressent. Toutefois, ce processus n'expliquerait pas toutes les lombalgies chroniques. **O.C.**



▼ C'est la teneur en nicotine des poivrons qui diminue le risque.



PHARMACOLOGIE

## LE POIVRON A DES VERTUS ANTI-PARKINSONIENNES

Manger des poivrons diminuerait le risque de développer la maladie de Parkinson... car ils contiennent de la nicotine! Une équipe de l'université de Washington, à Seattle, a étudié l'alimentation d'un millier de personnes souffrant ou non de la maladie. Résultat: la consommation de tomates, aubergines, pommes de terre, piments et poivrons diminue le risque de la développer; les autres légumes n'ont pas d'effet notable. Toutes issues d'une même famille (les solanacées), à laquelle appartient également le tabac, ces plantes sont plus riches en nicotine que d'autres légumes. Reste à découvrir l'effet précis de cette molécule. **E.D.**

## DES BRÛLURES RÉPARÉES AVEC DU PRÉPUCE

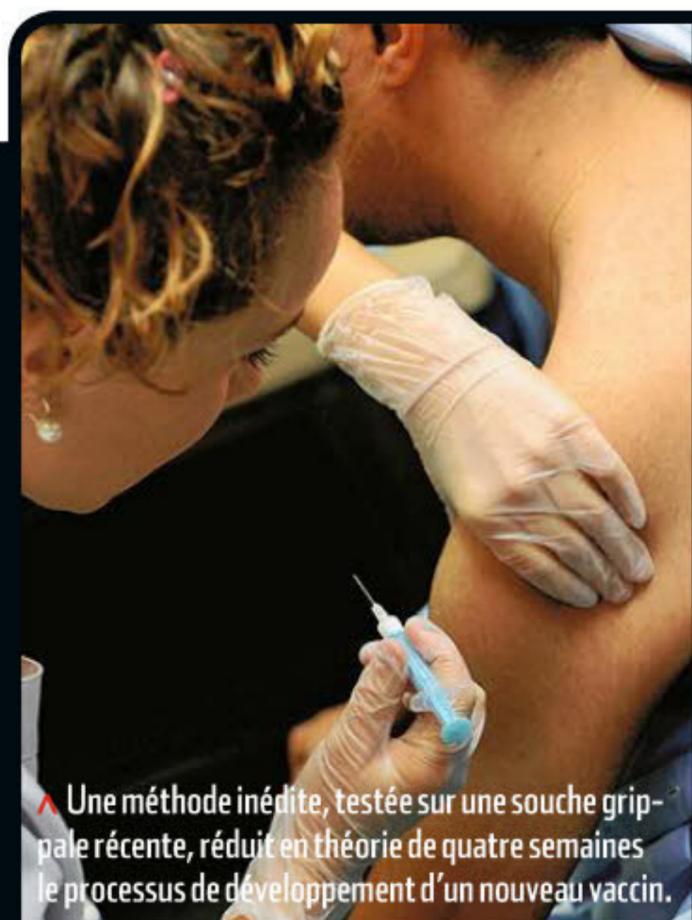
Riche en cellules souches, la peau de prépuce répare les tissus brûlés chez les garçons. A l'hôpital de Poitiers, des cellules de prépuce ont été prélevées chez 15 enfants, puis réadministrées par spray sur la zone lésée. Elles se sont multipliées jusqu'à recouvrir une surface 80 fois supérieure à celle du prélèvement. **A.R.**

## UNE BACTÉRIE ALLIÉE DE POIDS

*Akkermansia muciniphila*, une bactérie de la flore intestinale qui fait défaut aux personnes obèses et diabétiques, pourrait leur servir. Des chercheurs belges ont administré la souche à des souris après une cure de gras. Résultats : les rongeurs ont maigri et risquent moins de complications. **A.R.**

## LE BABY BLUES, UNE AFFAIRE DE GÈNES ?

Les nourrissons ne sont pour rien dans le baby blues ! Pendant la grossesse, les œstrogènes perturbent deux gènes dans une région du cerveau impliquée dans l'humeur. Et le risque de dépression post-partum est lié au niveau de ces perturbations. Des chercheurs américains estiment même pouvoir prédire la maladie avec 85 % de certitude. **A.R.**



▲ Une méthode inédite, testée sur une souche grippale récente, réduit en théorie de quatre semaines le processus de développement d'un nouveau vaccin.

## GÉNÉTIQUE

## LE VACCIN CONTRE LA GRIPPE SE FERA MOINS ATTENDRE

Comment raccourcir le délai entre l'émergence d'un nouveau virus de la grippe et la mise à disposition d'un vaccin efficace ? En faisant appel à la biologie synthétique, répondent les chercheurs du J. Craig Venter Institute (Etats-Unis), qui ont testé leur méthode sur la souche grippale H7N9, apparue en Chine début avril. Première étape, la fabrication d'une "semence virale", "constituée de fragments d'ADN, à partir du seul code génétique des antigènes du virus", indique Philip Dormitzer, responsable du projet. Durée d'obtention de cette semence virale : quatre jours et quatre heures. Soit un gain d'environ quatre semaines par rapport à l'ancienne technique, qui implique la culture du virus dans des œufs de poule. Si ce progrès permet en théorie d'améliorer les délais de production, en pratique, il faut relativiser. En effet, la fabrication en masse du vaccin, qui survient après la mise au point de la semence virale, n'est initiée que lorsque l'OMS lance l'alerte pandémique. **O.C.**

< Si elles ont une origine bactérienne, les douleurs dans le bas du dos (ici, une radio du rachis lombaire) peuvent être soignées par antibiotiques.

# 828 722

C'est le nombre d'années de vie perdues, en 2010, à cause des sites de déchets industriels toxiques en Inde, en Indonésie et aux Philippines. Pour la première fois, le nombre de décès prématurés dus à la pollution dans ces pays dépasse celui des morts causées par le paludisme. **E.A.**

# CLONAGE THERAPEUTIQUE

## L'EXPLOIT QUE L'ON N'ATTENDAIT PLUS

*Des chercheurs sont parvenus à obtenir des cellules souches embryonnaires à partir de la technique de clonage qui, en son temps, donna Dolly. Ce qui relance le débat éthique...*

Les spécialistes ont été les premiers surpris. “*On n'en attendait plus parler*”, confie Louis-Marie Houdebine, spécialiste des biotechnologies et directeur de recherches honoraire à l'Inra. “*Certains prédisaient qu'on n'y arriverait jamais*”, affirme même Mathilde Girard, spécialiste des cellules souches à l'Institut I-stem d'Evry. Et voilà qu'en mai dernier, l'équipe de Shoukhrat Mitalipov, de l'université de l'Oregon (Etats-Unis), a sobrement annoncé... la première réussite de clonage humain !

### DU MOUTON À L'HOMME...

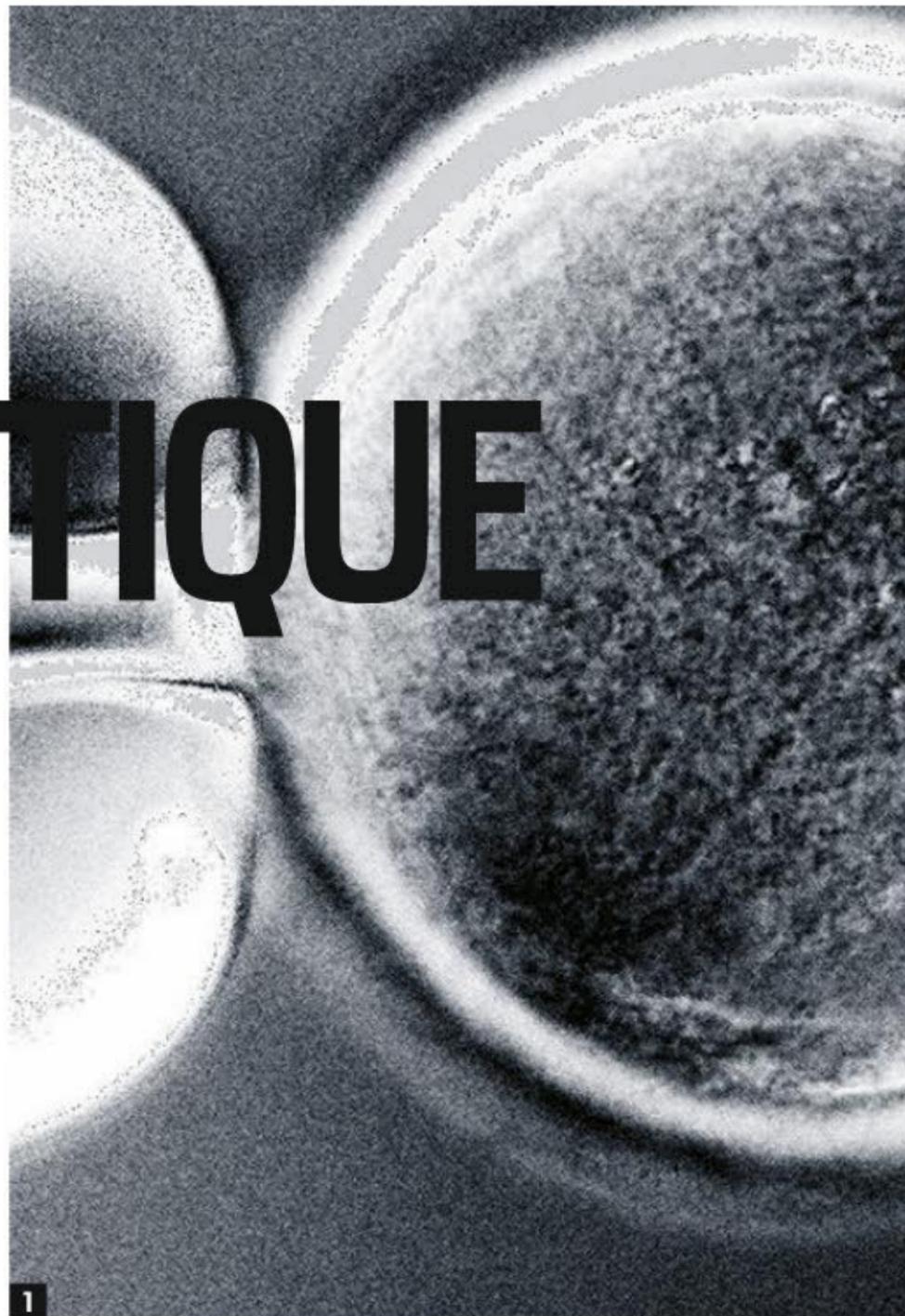
Soit la fabrication d'embryons possédant le même matériel génétique qu'un individu déjà né. Et permettant, dans le cadre du clonage thérapeutique, de transplanter ces cellules souches embryonnaires dans n'importe quel tissu malade (cœur, cerveau, moelle épinière...) du patient cloné, avec qui elles sont parfaitement compatibles. Une extraordinaire avancée médi-

cale – qui se sera longtemps fait attendre. Pour rappel, la même technique, utilisée à des fins reproductives, avait permis la naissance de la brebis Dolly il y a déjà... seize ans !

Pourquoi autant de temps pour passer du mouton à l'humain ? Les raisons sont multiples et, en premier lieu, techniques. “*Cette expérience nécessite de tester de nombreux protocoles, car on comprend encore très mal les mécanismes de reprogrammation du génome dans l'embryon. Or, si chez les animaux, on a accès à un nombre illimité d'ovocytes, ce n'est pas le cas chez l'humain*”, explique Shoukhrat Mitalipov.

Se pose ensuite un problème éthique. En dehors du risque de clonage reproductif (voir encadré), cette méthode implique la création d'un embryon à des fins uniques de recherche. Ce qui est interdit dans de nombreux pays, parmi lesquels la France.

Enfin, un dernier obstacle – scientifique celui-là – est venu



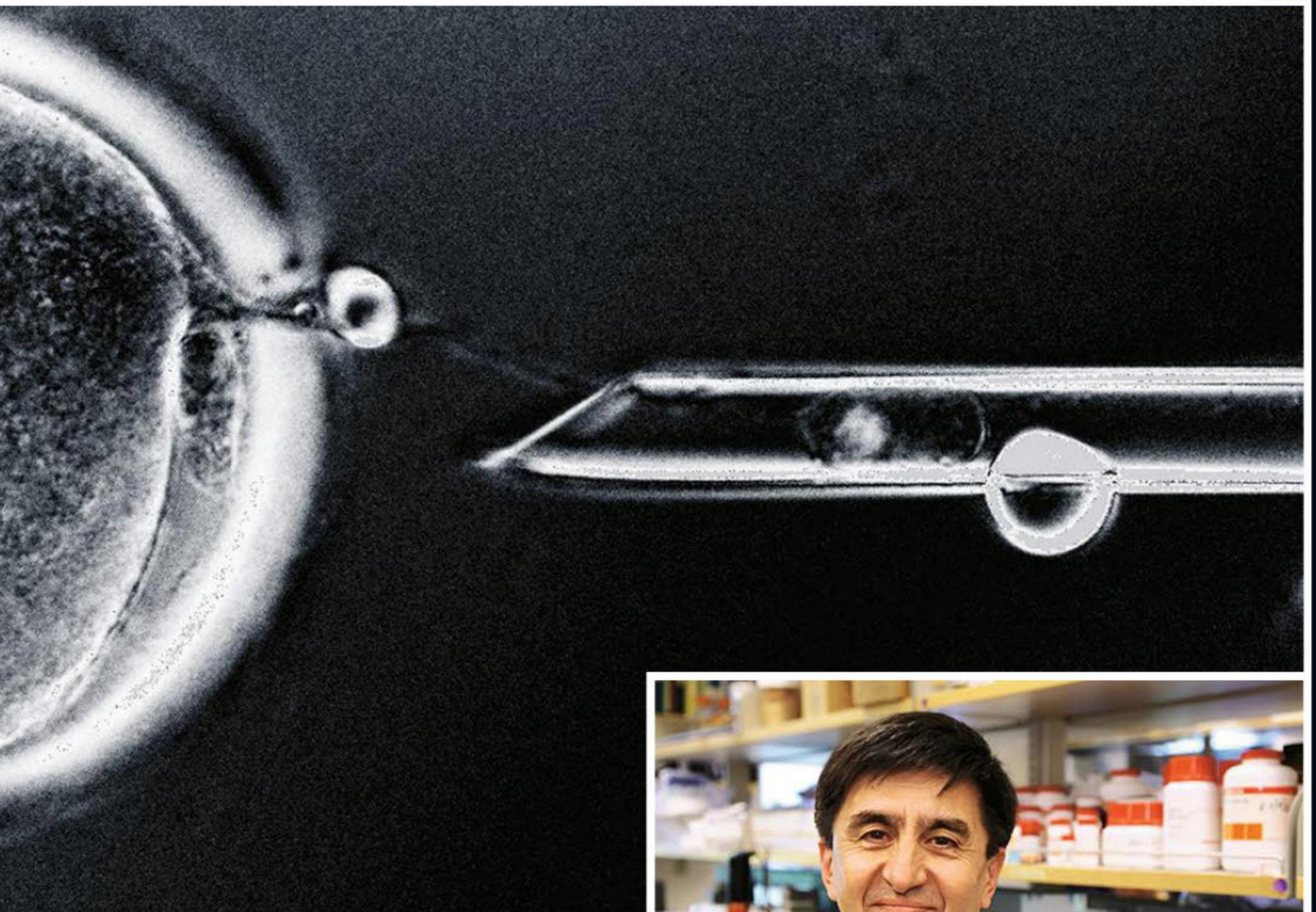
### REPÈRES

**En 1997** naît le premier mammifère cloné : la brebis Dolly.

**En 2004**, le Coréen Hwang Woo-suk prétend avoir cloné le premier humain, mais il s'agissait d'une fraude. **En 2007**, apparition des IPS, cellules souches concurrentes des cellules embryonnaires clonées. **En mai 2013**, les premiers embryons humains clonés sont créés.

s'ajouter en 2007 : la fabrication d'un nouveau type de cellules souches, appelées IPS. Obtenues directement par transformation de cellules adultes (par exemple de peau), elles peuvent elles aussi être transformées en tous les types cellulaires. Rendant *a priori* inutile le clonage thérapeutique.

Ce qui n'a pas empêché l'équipe de Shoukhrat Mitalipov de tester la technique de clonage sur 80 ovocytes. Retirer le noyau de l'ovocyte, y injecter le noyau d'une cellule adulte, activer le développement embryonnaire, et croiser les doigts... Les chercheurs ont fini par obtenir, à partir d'ovocytes issus de trois donneuses, six lignées de cellules souches embryonnaires. Ils ont ensuite confirmé que leurs cellules clonées ressemblaient à

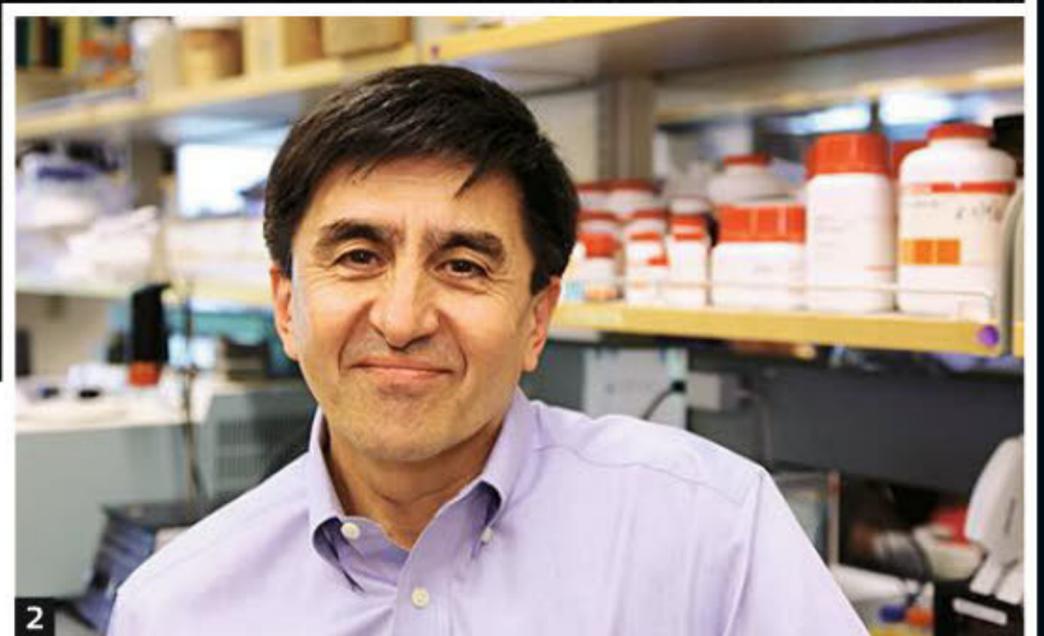


des cellules embryonnaires normales, et qu'elles pouvaient se différencier en tout type de cellules (cardiaques, etc.).

2013 sera donc l'année du premier clonage humain. Mais cet exploit est-il vraiment utile, alors qu'existe, grâce aux cellules IPS, une alternative libérée de tout problème éthique? La réponse ne pourra être apportée que par une dernière expérience: *"Il faudra comparer ces deux types cellulaires au niveau moléculaire, car il est possible que les cellules clonées, plus proches des véritables cellules embryonnaires, présentent moins de risques de mutations que les IPS, ce qui serait un énorme avantage"*, explique Mathilde Girard. Une expérience qu'est justement en train de mener Shoukhrat Mitalipov. Affaire à suivre, donc... **E.A.**

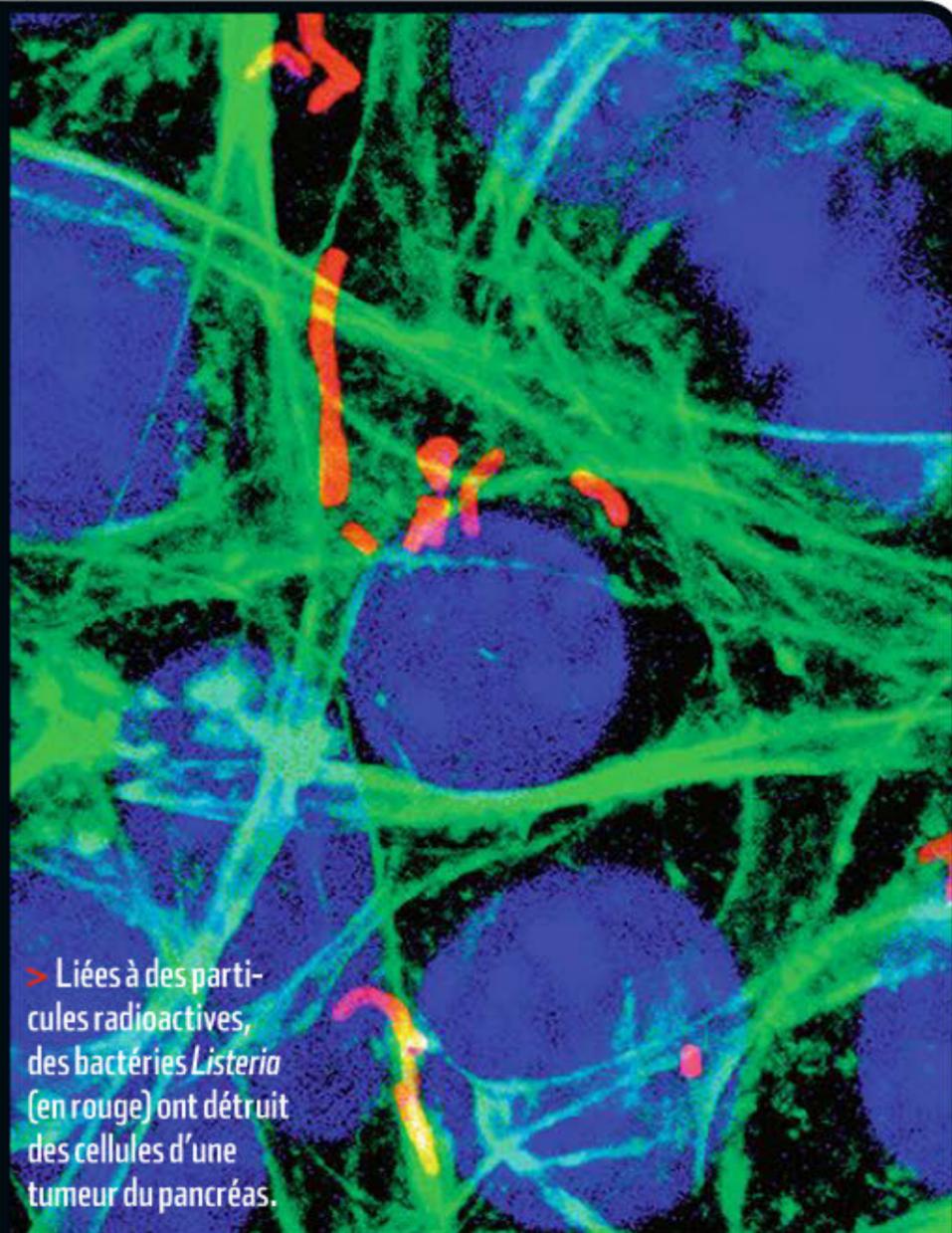
**1** A l'aide d'une pipette, le noyau d'un ovocyte est retiré (photo), avant l'implantation du noyau d'une cellule adulte. L'embryon ainsi cloné peut donner n'importe quel tissu organique compatible avec le donneur.

**2** Cette prouesse a été réalisée par Shoukhrat Mitalipov et son équipe (université de l'Oregon).



## ET LE CLONAGE REPRODUCTIF ?

La réussite de Shoukhrat Mitalipov nous rapproche de l'angoissante possibilité de mettre au monde des humains clonés. Car le clonage thérapeutique – mené pour obtenir des cellules souches – et le clonage reproductif – pour faire naître un individu – emploient la même technique. Mais si un embryon survit pendant quelques jours *in vitro*, cela ne signifie pas qu'il est capable de se développer pendant 9 mois. D'ailleurs, *"l'équipe de Shoukhrat Mitalipov a déjà obtenu en 2007 des embryons de macaque clonés, mais ils n'ont jamais réussi à les implanter dans une femelle"*, précise Mathilde Girard, de l'Institut I-stem d'Evry. De nombreuses années de recherche sont donc probablement encore nécessaires avant de pouvoir faire naître un clone d'humain. Sans compter que cela reste interdit dans la plupart des pays...



> Liées à des particules radioactives, des bactéries *Listeria* (en rouge) ont détruit des cellules d'une tumeur du pancréas.

CANCÉROLOGIE

# UNE BACTÉRIE RADIOACTIVE MET À MAL LE CANCER

Contre le cancer du pancréas, particulièrement redoutable, Claudia Gravekamp a décidé d'employer les grands moyens. Cette chercheuse de la faculté de médecine Albert Einstein, à New York (Etats-Unis), est parvenue à attacher des particules radioactives sur des bactéries pathogènes (*Listeria*) qui vont infecter les cellules cancéreuses. Et les résultats sont là: injectées 11 fois en seize jours chez des souris atteintes d'un cancer du pancréas métastasé, les bactéries radioactives ont supprimé

90 % des métastases, et réduit de 64 % la taille de la tumeur primaire. "Les bactéries et la radioactivité induisent chacune un stress oxydant dans les cellules cancéreuses, ce qui finit par les tuer", explique Claudia Gravekamp. De plus, aucun effet secondaire n'a été observé: "Contrairement aux cellules cancéreuses, les cellules saines sont protégées par le système immunitaire. Et en trois jours, les bactéries radioactives sont totalement éliminées par les urines", se réjouit la chercheuse. **M.L.**

PNEUMOLOGIE

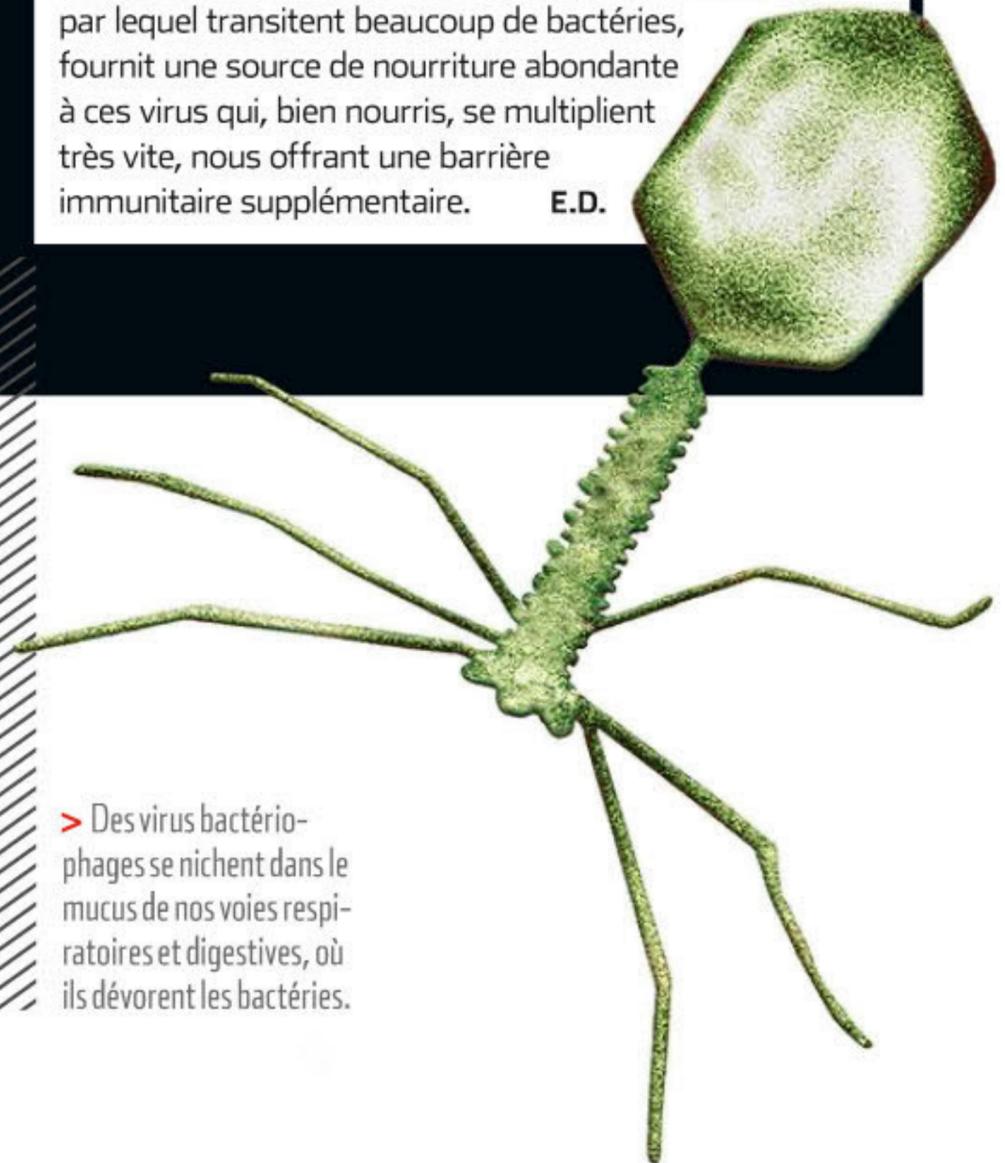
## L'ozone abîme les poumons en découpant ses cellules

Si l'ozone est si toxique pour les poumons, c'est parce qu'il découpe les cellules qui les tapissent. Katherine Thompson (université de Londres) a plongé un poumon artificiel dans un mélange de gaz comparable à l'air d'une ville en été, et a suivi les dégâts à l'échelle moléculaire: "En réagissant avec l'ozone, les molécules grasses se cassent et quittent la zone superficielle du poumon." La paroi devient alors moins perméable à l'oxygène, et la respiration plus difficile. **M.F.**

IMMUNOLOGIE

## C'EST AINSI QUE DES VIRUS NOUS PROTÈGENT

Nous faisons alliance avec certains virus pour lutter contre les bactéries: c'est ce que révèle une étude de l'université de San Diego (Etats-Unis). Les virus mangeurs de bactéries, dits bactériophages, se lient à la mucine, une protéine très présente dans le mucus des voies respiratoires et digestives. Lorsqu'une bactérie arrive, ils l'attaquent avant qu'elle provoque une infection. L'association profite ainsi aux deux parties: le mucus, par lequel transitent beaucoup de bactéries, fournit une source de nourriture abondante à ces virus qui, bien nourris, se multiplient très vite, nous offrant une barrière immunitaire supplémentaire. **E.D.**



> Des virus bactériophages se nichent dans le mucus de nos voies respiratoires et digestives, où ils dévorent les bactéries.

D.CHANDRA/ALBERT EINSTEIN COLLEGE OF MEDICINE/PNAS - DR HAROLD FISHER/BSIP

**ÖGON<sup>®</sup>**  
**-DESIGNS-**  
Established 2004



ALUMINIUM WALLETS  
DESIGNED IN SWEDEN\*

*Choose yours!*



Points de vente au +33 (0)2 32 23 66 40  
\*Les portefeuilles en aluminium venus de Suède  
Choisissez le vôtre !

[www.ogon.fr](http://www.ogon.fr)

# actus technos



BAE SYSTEMS-WARTON

▲ Ce Jetstream a parcouru 800 km dans l'espace réservé aux avions commerciaux, en étant contrôlé par un pilote à terre : une première.



AVIATION

# LE PREMIER AVION SANS PILOTE A REUSSI SON PARI

Y a-t-il un pilote dans l'avion? En avril dernier, un appareil de dix-neuf sièges, un Jetstream 31, a réalisé sans encombre un trajet de 800 km entre l'Angleterre et l'Ecosse. La prouesse? Exception faite des phases de décollage et d'atterrissage, gérées par un pilote à bord, l'avion était contrôlé tout le long du trajet depuis... la terre ferme par un

autre pilote. Selon les chercheurs, c'est la première fois qu'un tel appareil vole dans l'espace aérien, réservé aux avions commerciaux. Menée par le consortium Astreae – regroupant notamment le groupe de défense britannique BAE Systems, Rolls-Royce et Thales –, l'expérience visait à valider une technologie devant permettre à de futurs

drones XXL ou à des appareils réservés au fret d'évoluer en toute sécurité dans l'espace aérien. Equipé de nombreux capteurs et d'algorithmes de correction de vol, le prototype s'est tenu à distance des autres avions détectés et a évité les obstacles virtuels insérés sur sa route *via* l'ordinateur de vol, transmettant les injonctions des contrôleurs aériens à

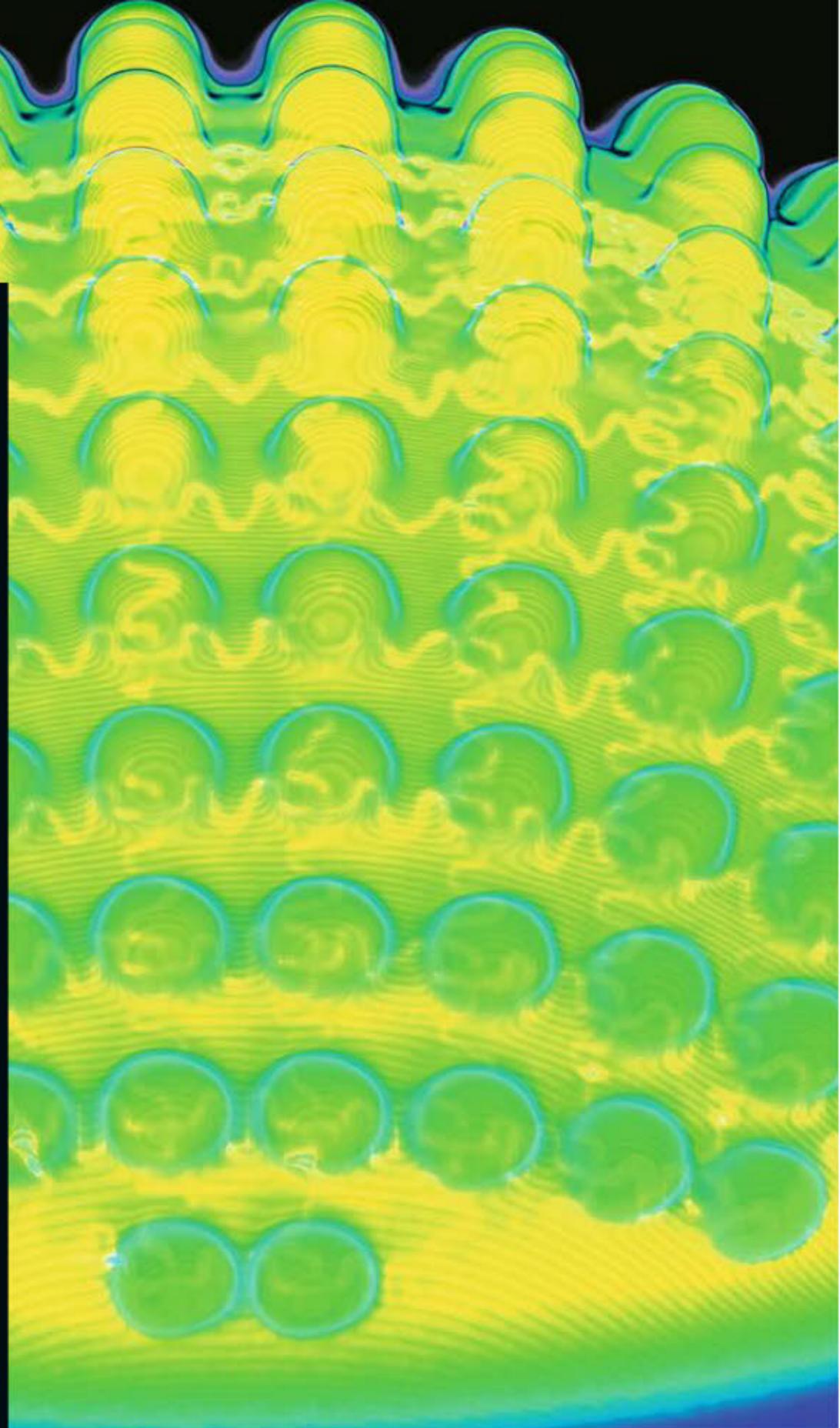
l'équipe au sol pour qu'elle valide les modifications de trajectoire. L'appareil était aussi capable de repérer des zones propices pour atterrir en cas d'urgence. Selon le directeur du programme de recherche, cette étape clé montre que les avions commerciaux sans pilote pourraient se généraliser au cours des vingt prochaines années. **G.S.**

OPTIQUE

# UNE CAMÉRA MIME L'ŒIL DE MOUCHE

A quoi peut bien ressembler la vision d'une mouche? Des chercheurs de l'université de l'Illinois, à Urbana-Champaign, ont mis au point une caméra qui en donnera bientôt un aperçu. Destiné à faire de l'imagerie, ce prototype, d'à peine 2 cm de diamètre, mime l'œil des insectes et a déjà de quoi impressionner: vision panoramique à 160°, profondeur de champ presque illimitée, le tout sans déformation de l'image... Chez les insectes, l'œil est composé de milliers de facettes qui, chacune, contient l'équivalent d'une lentille concentrant la lumière et d'un capteur qui reconstruit l'image. Individuellement, ces dernières ont de piètres performances,

mais juxtaposées, elles procurent à l'insecte une vision très efficace. Pour copier ces yeux, les ingénieurs ont construit des facettes "artificielles" puis les ont placées sur un support gonflable en silicium. Ils ont ainsi obtenu une demi-sphère pouvant filmer avec des angles compris entre 140 et 180°, selon le gonflage. De telles caméras pourraient bien révolutionner la surveillance ou l'exploration médicale. A condition toutefois de les perfectionner: avec "seulement" 180 lentilles, ce modèle est encore loin des 3 000 facettes de l'œil d'une mouche, et il ne reconstruit pour l'instant que des images de résolution modeste, en noir et blanc. F.G.



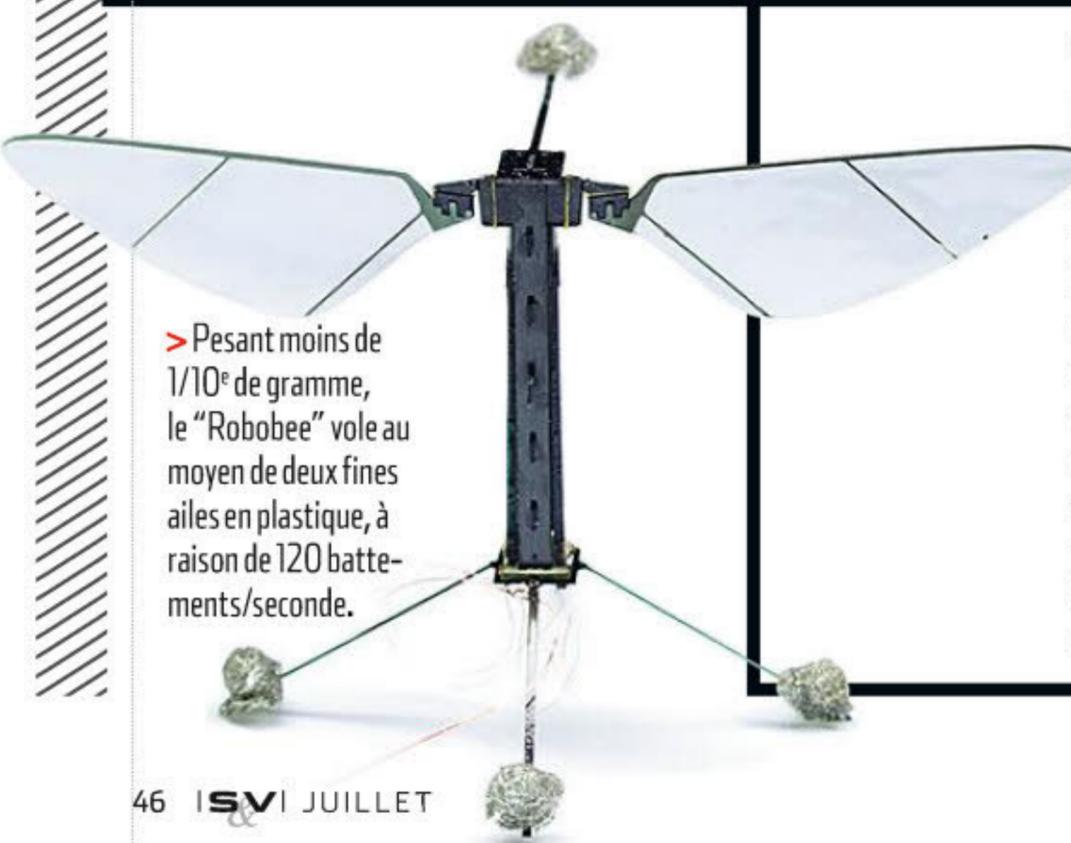
ROBOTIQUE

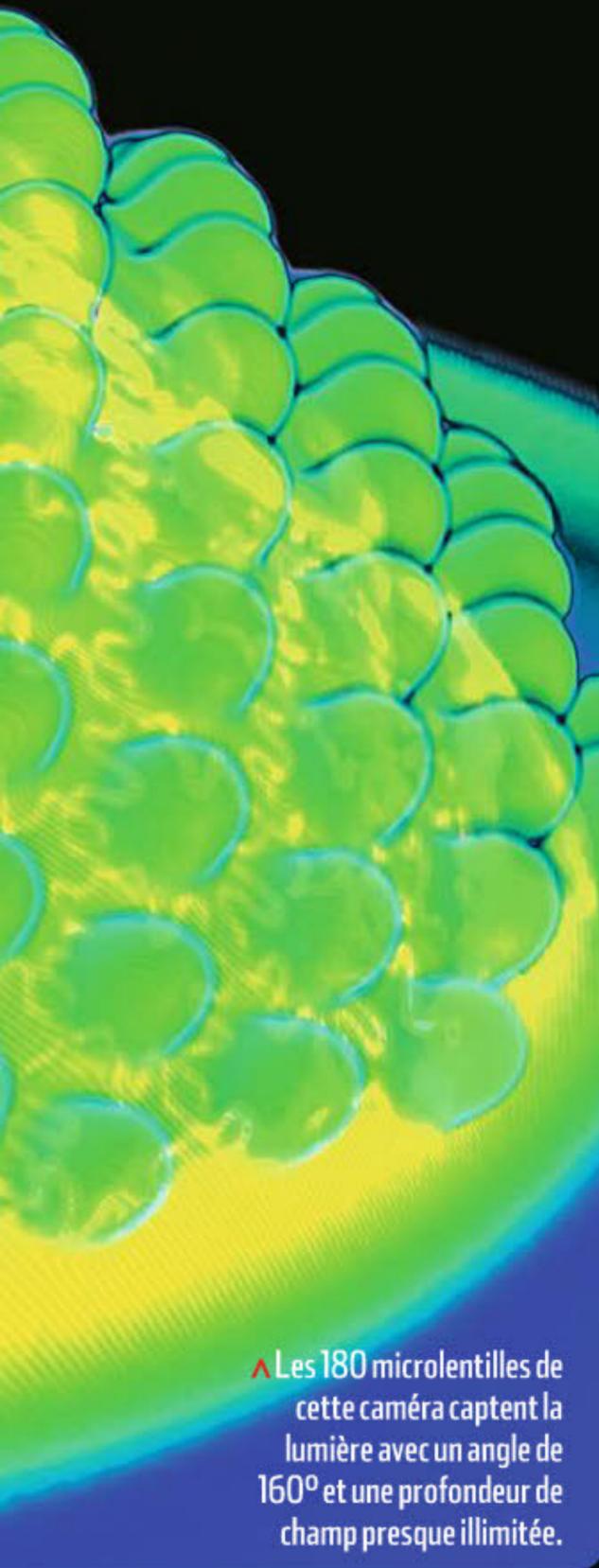
# CE MINIROBOT INNOVE DANS L'ART

Grâce à deux fines ailes en plastique reliées à un corps en fibre de carbone, Robobee, conçu par des chercheurs de Harvard (Etats-Unis) virevolte dans les airs: il pèse moins de 1/10<sup>e</sup> de gramme et ne dépasse pas la taille d'une pièce de 2 euros! Chaque aile est actionnée de manière indépendante par un muscle

artificiel, une bande de céramique qui se contracte et se dilate sous l'effet d'un courant électrique, à raison de 120 battements par seconde. C'est en faisant varier l'amplitude des battements que l'on imprime au robot divers mouvements aériens. Pour le moment, l'engin possède deux fils à la patte: un pour

> Pesant moins de 1/10<sup>e</sup> de gramme, le "Robobee" vole au moyen de deux fines ailes en plastique, à raison de 120 battements/seconde.





▲ Les 180 microlentilles de cette caméra captent la lumière avec un angle de 160° et une profondeur de champ presque illimitée.

## DE VIREVOLTER

l'alimenter en électricité, l'autre pour recevoir les commandes de vol que lui communique un ordinateur. L'équipe travaille désormais à le rendre complètement autonome. Il pourrait alors servir de capteur environnemental ou aider dans les opérations de recherche et de sauvetage. **O.L.**

## LE MYSTÈRE DES LED S'ÉCLAIRE ENFIN

Une équipe franco-américaine a découvert pourquoi les ampoules LED n'éclairent pas plus que les ampoules à incandescence de 100 W : une partie de l'énergie électrique à l'intérieur est en fait utilisée pour exciter des électrons dans la matière... **L.B.**

## 5G : PREMIER TEST RÉUSSI

Des chercheurs de chez Samsung ont réalisé le premier transfert de données sur un réseau 5G. Avec un débit de 1 Gb/s, soit cent fois plus rapide que la 4G, cette nouvelle technologie de transmission permettra de répondre à l'explosion du trafic des données mobiles d'ici à 2020. **D.H.**

## CLIMATISEUR SOLAIRE

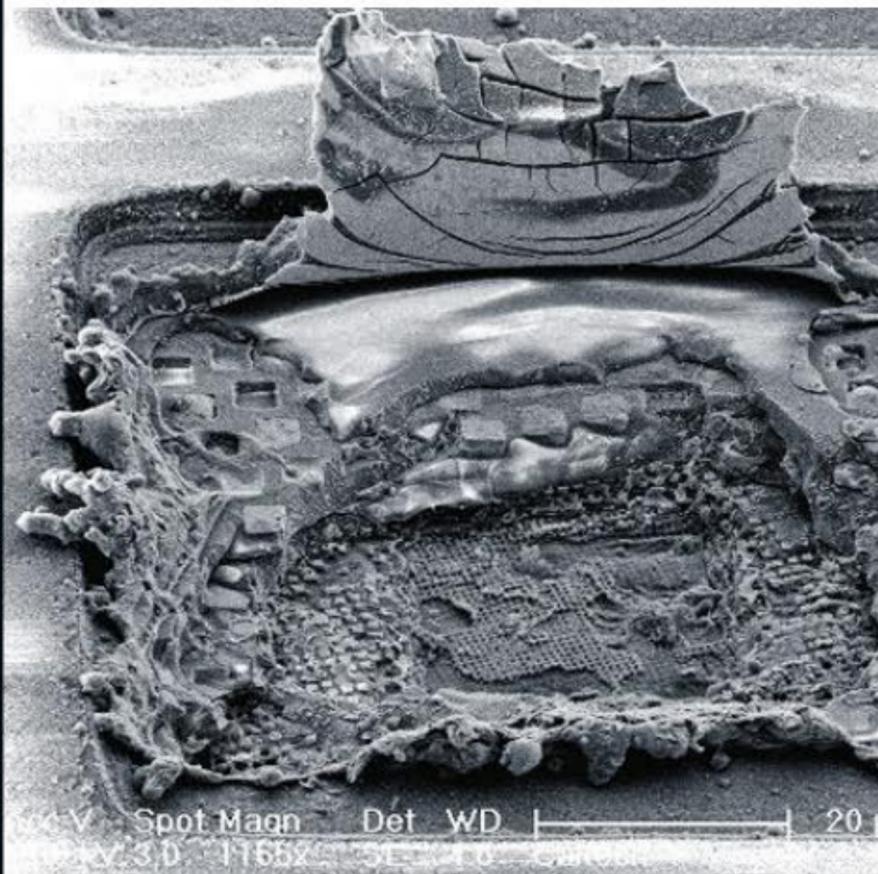
Pour rafraîchir les immeubles, des chercheurs de l'université Stanford s'appuient sur... le Soleil. Ils ont construit un miroir à base de quartz et de carbure de silicium qui réfléchit les rayons solaires entrants et qui renvoie également l'air chaud, piégé à l'intérieur des bâtiments, sous forme d'infrarouges. Ce dispositif pourrait un jour remplacer les climatiseurs sur les toits. **E.T-A**

## ÉLECTRONIQUE

# UNE PUCE INTÈGRE UN "SYSTÈME IMMUNITAIRE"

Bientôt la fin des pannes sur les appareils électroniques ? Les ingénieurs de l'Institut de technologie de Californie (Caltech) s'en approchent. Ils ont en effet créé le premier circuit qui se répare tout seul. Son secret ? Il possède en réalité deux circuits : un principal et un "de secours". Sur une même puce, les ingénieurs ont intégré des capteurs qui mesurent la température, l'intensité et la tension électrique et qui sont reliés à un circuit de réparation, agissant comme le "cerveau" du système. Dès qu'une perte de puissance est détectée ou un transistor endommagé, ce second circuit est capable, grâce à un algorithme spécifique, de détecter la panne et, en moins d'une seconde, de prendre le relais pour que la puce continue à fonctionner quasiment normalement. Le tout sans intervention humaine. "Doter ainsi les circuits intégrés d'un système immunitaire électronique ouvre tout un monde de possibilités et permet de faire un pas de plus vers des circuits indestructibles", explique Ali Hajimiri qui a encadré les recherches. L'autre avantage de ce système, c'est que les capteurs du circuit secondaire permettent de faire fonctionner la puce dans des conditions optimales. Ainsi, la puce consomme moitié moins d'énergie comparée à celles dépourvues d'un tel circuit de réparation. Elle devrait être intégrée dans des appareils électroniques, notamment militaires, d'ici 3 à 5 ans. **L.B.**

✓ Cette puce électronique, dont le transistor a été détruit par rayon laser, continue de fonctionner, grâce à un circuit de secours.



K.MA & P.CHIRARATTANANON, HARVARD UNIV. - UNIV. OF ILLINOIS & BECKMAN INSTITUTE - CALTECH

# JE COMPTE FABRIQUER DES ÉCRANS À BASE DE PAPIER

## SON IDÉE



**HONGLI ZHU**, chercheuse au Centre de recherche sur l'énergie à l'université du Maryland (Etats-Unis)

**Science & Vie: D'où vous est venue cette idée ?**

**Hongli Zhu:** Mon groupe de recherche travaille depuis plusieurs années sur l'électronique flexible et les cellules solaires. Nous cherchions donc un nouveau matériau qui soit à la fois souple et capable de laisser passer la lumière. Le nanopapier en est un. Il est léger, résistant, plus stable à haute température que le plastique, et a l'avantage d'être issu d'une ressource renouvelable. Mais jusqu'à présent, les scientifiques qui travaillaient sur ce matériau s'étaient surtout concentrés sur ses propriétés mécaniques et n'avaient pas démontré ses applications concrètes. Nous sommes les premiers à explorer ses capacités optiques pour l'intégrer dans des dispositifs électroniques.

**S&V: Quelles différences avec du papier ordinaire ?**

**H.Z.:** Le nanopapier est en fait conçu à partir de nanofibres

de cellulose, le principal constituant du bois, auxquelles on fait subir un traitement mécanique et chimique afin de les rendre 1 000 fois plus fines que celles d'un papier blanc classique. Ce qui rend le nanopapier quasiment transparent. Cette caractéristique est très importante en opto-électronique: pour améliorer l'efficacité des cellules solaires par exemple, il faut pouvoir augmenter la quantité de lumière qui entre à l'intérieur. De plus, on peut réarranger les nanofibres de cellulose en un solide maillage, afin d'obtenir un matériau bien plus résistant que le papier.

**S&V: Et ça marche ?**

**H.Z.:** Oui! En faisant varier le diamètre des nanofibres de cellulose, nous avons réussi à rendre notre nanopapier jusqu'à 93 % transparent. Alors que la transparence du plastique, elle, avoisine les 89 %. Nous avons ensuite mis au point différentes versions de ce nanopapier, uti-

Ecologique, flexible, stable quelle que soit la température... Le papier apparaît de plus en plus comme une alternative prometteuse aux supports plastiques dans les circuits électroniques. Et pour peu qu'on réussisse à le rendre parfaitement transparent, et à changer ses propriétés optiques à la demande, il pourrait aussi servir à fabriquer des écrans tactiles ou des panneaux solaires plus performants.

lisables comme substrats dans des dispositifs électroniques: notamment une, hautement transparente, contenant des fibres de 10 nanomètres de diamètre, qui pourrait être intégrée dans des écrans tactiles, et une autre, avec des fibres de 50 nanomètres, pour fabriquer des panneaux solaires.

**S&V: A quand les premiers appareils intégrant ce nanopapier ?**

**H.Z.:** Nous avons déjà réussi à "imprimer" sur notre papier des transistors et des OLED. J'espère que les premiers dispositifs électroniques à base de nanopapier, comme des écrans ou des cellules solaires, existeront dans trois ans. D'ici là, nous travaillons à améliorer son processus de fabrication, pour qu'il soit plus rapide. Et nous envisageons aussi de nouvelles applications, toujours dans l'électronique. Plus nous en saurons sur ce matériau, plus les possibilités seront nombreuses.

Propos recueillis par L.B. 

# ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE

**55 €** seulement  
au lieu  
de 95,20 €

**1 an d'abonnement  
+ 4 hors-séries**



Recevez cette  
**Clé USB  
32 GO**

**-45%**  
DE RÉDUCTION

Vos données vous  
accompagnent dans tous  
vos déplacements !  
Stockez plus de 96 h de  
vidéos, 8 000 chansons,  
16 000 photos !



## BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :  
SCIENCE & VIE ABONNEMENTS – B341 – 60643 CHANTILLY CEDEX

**Oui, je m'abonne  
à Science & Vie pour 1 an**  
(12 numéros + 4 hors-séries)  
+ la clé USB 32GO EMTEC pour **seulement 55 €**  
au lieu de ~~100,20 €~~ **soit plus de 45% de réduction**



715 367

**Je préfère seulement m'abonner à Science & Vie**  
pour 1 an (12 n°+4 HS) pour **49 €** au lieu de ~~70,20 €\*~~  
(prix kiosque) **soit 30% de réduction**

715 375

**Je commande uniquement la clé USB 32 GO**  
au prix de **30 €** et je joins à mon courrier le règlement  
total de ma commande

715 383

### ► 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 public et prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1<sup>er</sup> abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 30/07/2013 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 €, chacun des hors-séries au prix de 4,95 €. La clé USB vous sera adressée dans un délai de 4 à 6 semaines après réception de votre commande. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Vous disposez du droit de rétractation pour la clé USB. Conformément à la loi «informatique et libertés» du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que votre droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-après. Vous êtes susceptible de recevoir des propositions commerciales de notre société pour des produits et services analogues à ceux objet de l'opération. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher la case ci-contre . Science & Vie – Service Abonnements - 8 rue François Ory 92543 MONTRouGE CEDEX - Mondadori Magazines France SAS RCS 422 791 262 NANterRE.

**SCIENCE & VIE**

PLUS D'OFFRES ET  
D'AVANTAGES SUR  
[WWW.KIOSQUEMAG.COM](http://WWW.KIOSQUEMAG.COM)

ENTRE PANNES ET COLÈRES...

# SOLEIL

*SES 5 MYSTÈRES*



*Jamais les astrophysiciens n'ont disposé d'autant de moyens pour l'étudier sous tous les angles – et pourtant : qu'il s'agisse de son activité, de ses cycles ou de ses colères, notre étoile conserve cinq grands secrets... qui ne sont pas seulement d'exaspérants défis scientifiques. Ils sont aussi un enjeu quand notre monde est devenu incroyablement vulnérable aux manifestations solaires, notamment électromagnétiques. Entre spectre de black-out et mobilisation des chercheurs, dossier sur la face obscure de l'astre sans lequel il n'y aurait pas d'été.*

PAR BORIS BELLANGER,  
MATHILDE FONTEZ  
ET VINCENT NOUYRIGAT

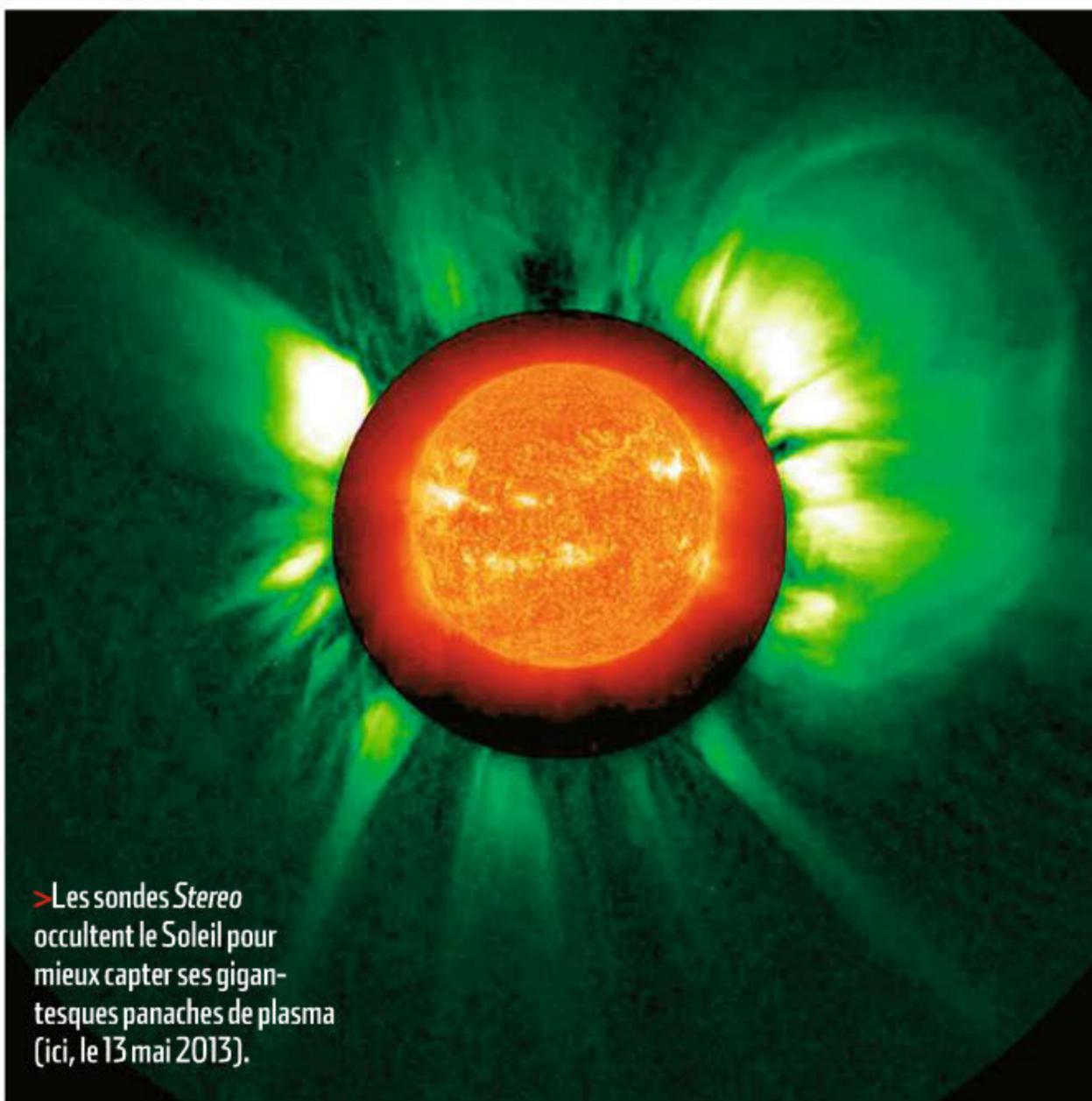
Le diable se niche décidément dans les détails. Car les astrophysiciens connaissent presque tout de lui. Ils ont repéré son moteur : un cœur nucléaire à 15 millions de degrés dans lequel fusionnent des atomes d'hydrogène. Ils ont mis en valeur son champ magnétique dont les courbes commandent la circulation de toute sa matière. Ils ont caractérisé son cycle de onze années, qui passe successivement de son minimum à son maximum d'activité. Ils ont même repéré les soupapes qui lui permettent de libérer en quelques dizaines de minutes un million de fois l'énergie électrique consommée chaque année

sur Terre : le trop-plein d'énergie née de son cœur se concentre sous la forme de champs magnétiques très intenses à sa surface, formant de gigantesques taches sombres, dans lesquelles naissent des flashes jusqu'à 10 000 fois plus intenses que sa propre lumière, mais aussi de fantastiques geysers de plasma et des particules hyperaccélérées.

Pourtant, les meilleurs spécialistes sont forcés de le reconnaître : le Soleil reste un monstre aux humeurs imprévisibles. Personne n'est capable de prédire exactement son comportement, de deviner quand et où aura lieu la prochaine éruption, de dire si le cycle →

## On ne l'a jamais aussi bien vu

Solar Dynamics Observatory, Stereo, Swedish Solar Telescope, New Solar Telescope, ACE... une trentaine de télescopes traquent la moindre des sautes d'humeur solaires. A 360 degrés, en volume ou avec une précision de l'ordre de la centaine de kilomètres, les astronomes ont enfin les instruments pour comprendre la machinerie solaire.



> Les sondes Stereo occultent le Soleil pour mieux capter ses gigantesques panaches de plasma (ici, le 13 mai 2013).

→ à venir sera intense ou non, de prévoir si une panne risque d'arriver... Un exemple: "Tout le monde s'est trompé sur la prévision de l'évolution du cycle solaire actuel", analyse Frédéric Clette, astrophysicien à l'Observatoire royal de Belgique. Alors qu'il y a deux ans, les astronomes croyaient avoir repéré tous les signes d'une panne d'activité (S&V n° 1119, p. 52), et que tout le monde pariait, il y a quelques mois encore, sur un cycle au ralenti (S&V n° 1124, p. 18), le Soleil semble finalement s'être réveillé. "La communauté mérite un zéro pointé", tranche le chercheur.

Il y a de quoi être frustré. On ne l'a en effet jamais aussi bien vu. Depuis deux ans, les sondes jumelles Stereo de

la Nasa, placées de part et d'autre du Soleil, donnent pour la première fois une vue complète de ses deux faces en même temps. Et depuis trois ans, le Solar Dynamics Observatory (SDO) scrute sa surface à une cadence infernale, recueillant l'intégralité de ses émissions ultraviolettes toutes les douze secondes et mesurant son champ magnétique toutes les douze minutes.

### NOUS AVONS PASSÉ UN CAP!

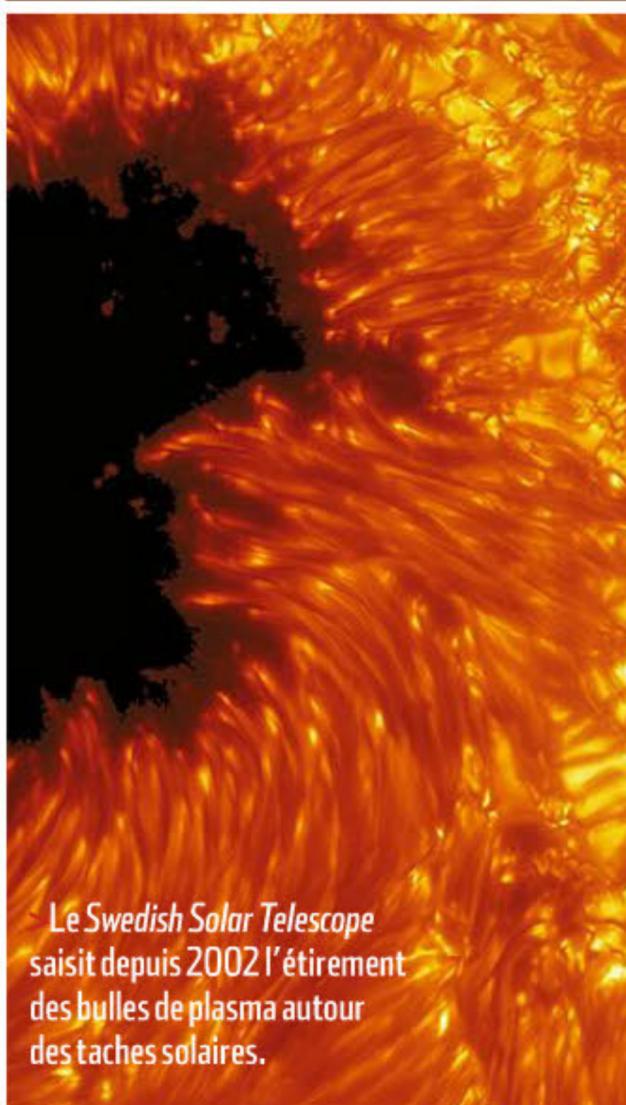
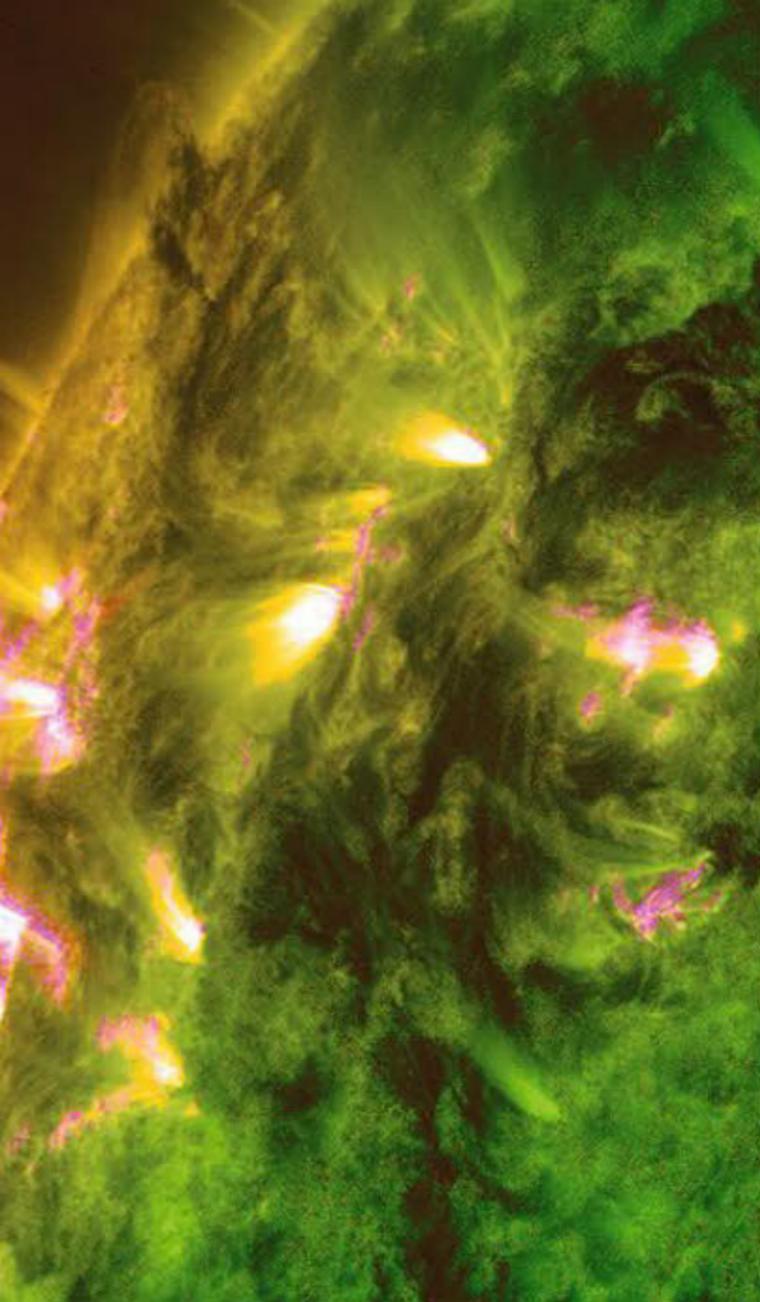
Avec ces images intégrales en trois dimensions à 360°, dont la résolution peut atteindre quelques centaines de kilomètres, les astrophysiciens ont enfin une vue globale de phénomènes à grande échelle, comme la structure de son champ magnétique, et disposent



> Le SDO a détaillé le flash de lumière qui a secoué la surface solaire le 3 mai 2013.

en même temps d'une résolution suffisante pour des événements plus locaux, comme les granules, ces infimes bouillonnements qui agitent sa surface... "Jusque-là, on devait se contenter de cartes synoptiques. On avait parfois quinze jours d'écart entre deux zones du Soleil!", rappelle Allan Sacha Brun, astrophysicien au Commissariat à l'énergie atomique. "Cette vision en 3D révèle de nouveaux phénomènes et de nouveaux détails, qui nous échappaient en 2D", ajoute Miho Janvier, de l'Observatoire de Paris. Ainsi, pas un mois ne s'écoule sans que ses éruptions de plasma, les bouillonnements de sa surface ou les circonvolutions de ses champs magnétiques n'éclaircissent de leurs flamboyances les austères revues scientifiques.

Ce qui ajoute encore à la frustration, c'est que les humeurs du Soleil sont incroyablement bien documentées: les spécialistes ont épluché soixante-dix ans de données issues des capteurs de particules au sol à la recherche des traces d'éruptions solaires; compilé quatre cents ans de relevés de taches solaires; analysé les glaces



Le Swedish Solar Telescope saisit depuis 2002 l'étirement des bulles de plasma autour des taches solaires.

## CE QUE L'ON SAIT DE LUI

- **C'est une centrale nucléaire:** son cœur, chauffé à 15 millions de degrés, transforme à chaque seconde 4 millions de tonnes d'hydrogène en hélium et en lumière.
- **C'est une sphère de 695 500 km de rayon:** son champ magnétique le maintient dans une forme parfaite; il n'y a que 0,00075 % de différence entre ses rayons polaire et équatorial.
- **Il représente 99,86 % de la masse du système solaire:** il pèse autant que 330 000 Terre, ce qui le place dans la catégorie des naines jaunes, qui représentent 10 % des étoiles de la Voie lactée.
- **Sa lumière atteint la Terre en 8 min 19 s:** il gravite à 150 millions de kilomètres, près de 12 000 fois le diamètre terrestre.
- **Son atmosphère est 1 000 fois plus chaude que sa surface:** de complexes mécanismes de transferts de chaleur pompent l'énergie des tréfonds solaires pour les réinjecter dans son halo de gaz.
- **Il irradie dans toutes les couleurs:** il nous paraît jaune, mais il émet sur tout le spectre, des infrarouges aux rayons X en passant par les couleurs de l'arc-en-ciel...
- **Il a des jumeaux dans toute la Galaxie:** quelque 100 étoiles seraient nées avec lui lors de l'effondrement d'un nuage de gaz et de poussières, avant d'être dispersées.
- **Son activité est influencée par les planètes:** la gravité des planètes modifie la circulation des plasmas solaires et son cycle de 11 ans.

polaires et les cernes des arbres les plus vénérables, pour, sur onze mille ans, reconstituer l'activité solaire telle qu'elle marque de son empreinte notre planète... Grâce à des échantillons de roches lunaires rapportées par les missions Apollo, ils espèrent même retracer les éruptions jusqu'à un million d'années. Sans compter qu'ils commencent à s'appuyer sur l'observation

### LE SOLEIL RESTE UN MONSTRE AUX HUMEURS IMPREVISIBLES

des autres étoiles, plus petites ou plus massives, plus jeunes ou plus âgées, pour tester leurs modèles dans des cas extrêmes. "Le satellite Kepler a étudié plus de 100 000 étoiles... ce qui revient à compiler 400 000 années d'histoire stellaire!", se réjouit Rachel Osten, astrophysicienne au Space Telescope Science Institute (Etats-Unis).

Mais le plus frustrant est peut-être que les astrophysiciens ont la certitude de mieux comprendre cette ma-

chine diabolique. Grâce aux flots de données recueillies, les plus fins et les plus globaux des mécanismes solaires, qui jusque-là étaient modélisés à l'aveugle, ont enfin pu être testés. Des dizaines de modèles sont tombés sous les coups d'ordinateurs massivement parallèles. D'autres ont été modifiés, rassemblés... "On a passé un cap, confirme Guillaume Aulanier, à l'Observatoire de Paris. On vient de terminer un grand débroussaillage. Enfin, on commence à y voir plus clair!" Au point que les astrophysiciens savent désormais modéliser les éruptions solaires dans leurs moindres détails. "Les simulations numériques sont de plus en plus réalistes: on peut faire des modèles globaux du Soleil dont la résolution atteint le millier de kilomètres, soit les plus fines des structures observées sur le Soleil", précise Allan Sacha Brun. "Des taches entières peuvent être modélisées avec une résolution suffisante pour capturer de petites plumes de quelques centaines de kilomètres", renchérit Matthias Rempel, du Centre national pour la recherche atmosphérique de Boulder (Etats-Unis). Les →

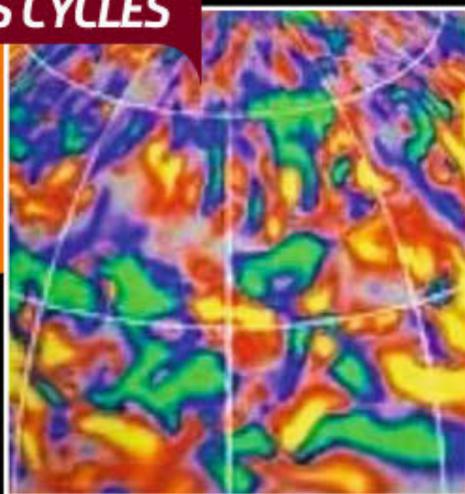
## Les 5 mystères qui défient encore la science

Les modèles, les équations, les observations... Les astrophysiciens ont tout ce qu'il leur faut mais rien n'y fait. Ils butent sur cinq phénomènes, cinq ultimes rouages de la machinerie solaire qui les empêchent de prédire quoi que ce soit de son comportement.

### 1 LE MYSTÈRE DES CYCLES

Pourquoi sont-ils systématiquement de onze ans ?

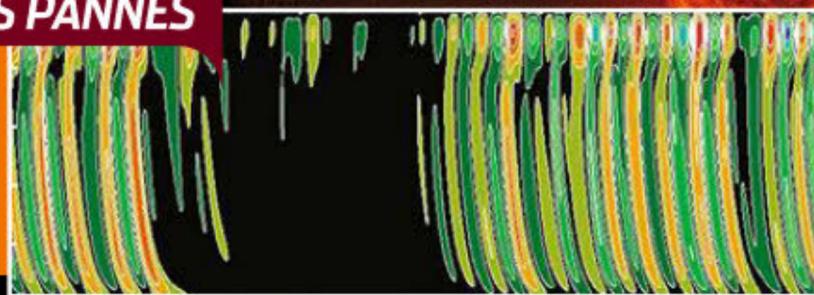
Voir p. 56



### 2 LE MYSTÈRE DES PANNES

D'où viennent les brusques baisses d'activité solaire ?

Voir p. 57



→ progrès sont tels que certains développent des modèles capables, comme en météorologie, de se corriger en permanence (voir encadré ci-contre).

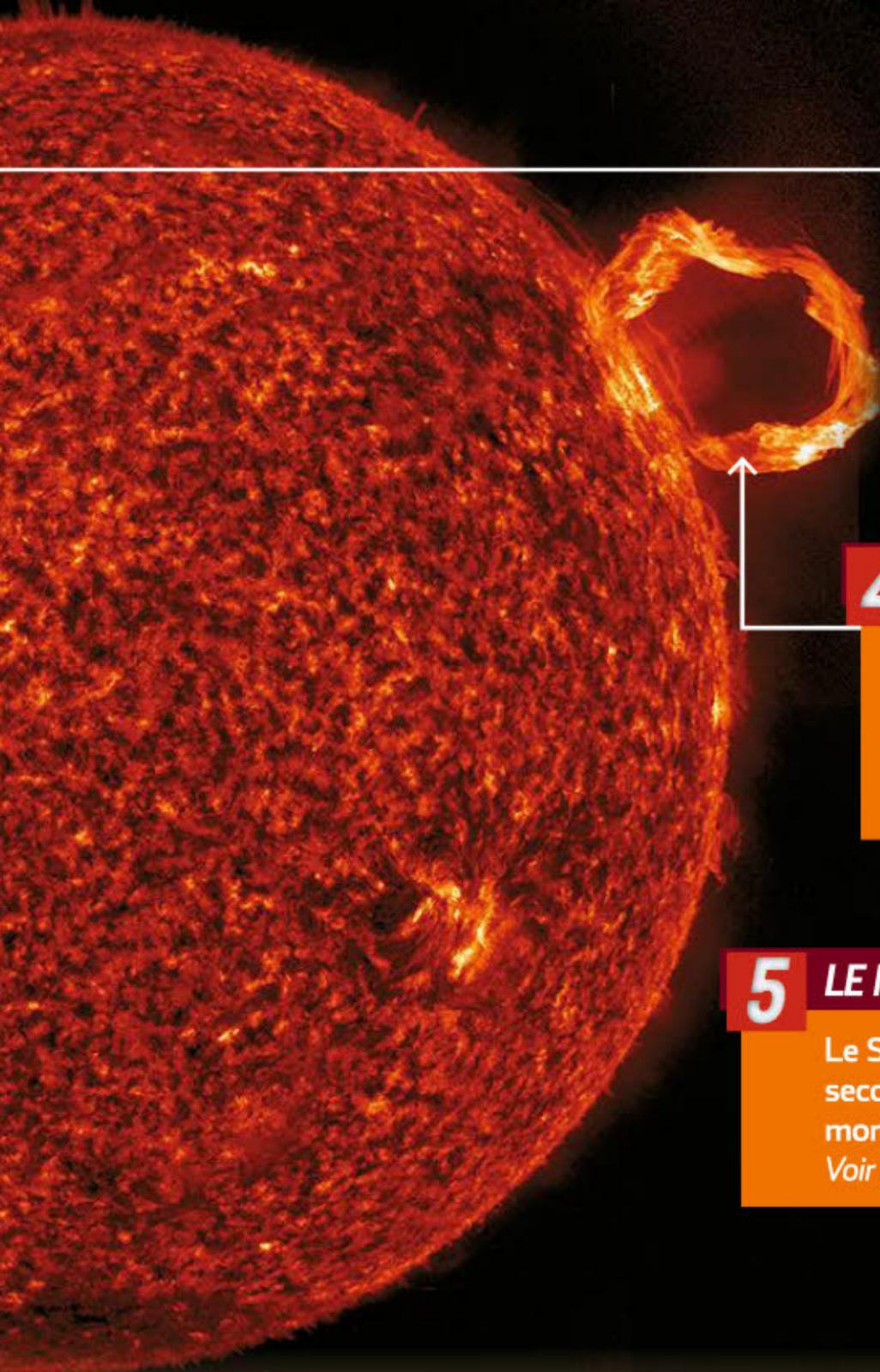
Mais voilà ! Le Soleil est un diable. Si sa machinerie n'a jamais été aussi bien observée et modélisée, les astrophysiciens reconnaissent qu'ils sont incapables de prédire son humeur. Pourquoi ? Parce qu'il y a cinq détails qui résistent à leurs investigations. Des cas extrêmes, des phénomènes poussés dans leurs retranchements, des pichenettes qui pourraient paraître insignifiantes, mais qui suffisent à les empêcher de suivre jusqu'au bout la voie tracée par les météorologues. Cinq points abscons, mais fondamentaux qui catalysent leur frustration.

A savoir, petit un : même s'ils connaissent la dynamo solaire dans les grandes lignes, ils ne saisissent pas les ressorts précis de son retournement périodique. Deux : ils savent que la machine solaire s'enraye parfois, mais sans parvenir à trancher entre leurs explications contradictoires. Trois : ils comprennent comment les taches solaires donnent naissance à des flashes lumineux, mais sans saisir ce qui les déclenche. Quatre : ils savent comment les champs magnétiques des nuages de plasma éjectent leur flot de particules, mais sans réussir à prévoir la direction et la forme de ces éjections. Et cinq : ils disposent de nombreuses données sur la violence de ces éruptions mais sont divisés sur leur ampleur maximale. Tels sont les cinq

derniers mystères du Soleil. Pourquoi la dynamo solaire se retourne-t-elle périodiquement ? Pourquoi ces cycles s'enrayent-ils ? Qu'est-ce qui déclenche les flashes lumineux ? Comment la matière est-elle éjectée ? Et quelle est la plus grande éruption possible ?

#### QUELS IMPACTS POUR LA TERRE ?

Certes, il existe d'autres grandes énigmes, notamment sur son passé – on ne sait pas comment un nuage de gaz et de poussières s'allume –, ou sur son avenir – on ignore encore quand le Soleil se métamorphosera en géante rouge, rendant notre système inhabitable –, mais ce sont ces cinq-là qui sont décisives pour la compréhension et la prévision de ses colères et, par ricochet,



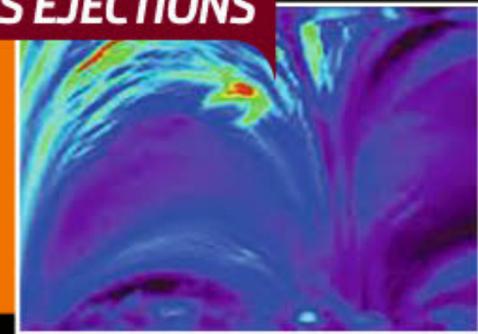
### 3 LE MYSTÈRE DES FLASHS

Qu'est-ce qui déclenche les gigantesques geysers de plasma ?  
Voir p. 58



### 4 LE MYSTÈRE DES ÉJECTIONS

Comment le Soleil peut-il propulser sa propre matière dans l'espace ?  
Voir p. 60



### 5 LE MYSTÈRE DES MÉGAÉRUPTIONS

Le Soleil est-il secoué d'éruptions monstrueuses ?  
Voir p. 61



de leurs conséquences pour notre planète. Car ces cinq phénomènes ne sont pas sans impact sur notre vie terrestre, loin s'en faut ! Les mystérieux cycles adoucissent depuis dix ans le réchauffement climatique; les mystérieuses pannes participent à la formation d'ères glaciaires; les mystérieux flashes menacent satellites et télécommunications; les mystérieuses éjections peuvent provoquer des pannes électriques à l'échelle d'un pays; quant aux mystérieuses mégaéruptions qui pourraient secouer la Terre, personne n'a osé mesurer leurs conséquences (voir p. 62). Il ne reste que cinq petits mystères à percer... mais ce sont ceux-là qui rendent les voies de ce diable colérique si impénétrables.

## ET SI LES MODÈLES FAISAIENT COMME SI DE RIEN N'ÉTAIT ?

Et si, au lieu de résoudre les cinq mystères restants, on les contourne ? La communauté se divise sur le sujet. Forts de la profusion de données, la moitié des astrophysiciens sont en train de délaisser la grande quête des mécanismes fondamentaux au profit des méthodes plus empiriques des météorologues. Eux qui, jusque-là, faisaient tourner des simulations basées sur ce qu'ils savaient de la physique du phénomène pour vérifier ensuite si leurs résultats collaient avec leurs observations, partent aujourd'hui des observations et les intègrent directement à leur modèle... En clair : ils glissent sous le tapis les questions qui les dérangent et comptent sur la profusion des observations et la puissance des calculateurs pour prédire les colères solaires. Une tentative désespérée ? *"La prévision est évidemment le but, à terme, mais il est trop tôt... justement parce qu'on n'a pas encore tout compris!"*, tranche Guillaume Aulanier (Observatoire de Paris). *"La simulation de données nous permet d'affiner nos prédictions, modère Allan Sacha Brun (CEA). Mais elle ne fera jamais de la physique à notre place."*

1

# LE MYSTÈRE DES CYCLES

## Quel mécanisme commande les pulsations solaires ?

Les astrophysiciens le constatent depuis plus d'un siècle et demi : tous les onze ans en moyenne, le Soleil se couvre de taches sombres. Quelques taches esseulées tout d'abord, qui se font de plus en plus nombreuses au fil des années, avant de tirer progressivement leur révérence, jusqu'à ce qu'il n'en reste aucune. En attendant un nouveau cycle... On mesure même depuis 1919, tous les onze ans environ, que la polarité du champ magnétique global s'inverse lors du maximum d'activité du cycle de ces taches solaires : le pôle Nord et le pôle Sud magnétiques échangent leur position, avant de les reprendre lors du maximum suivant.

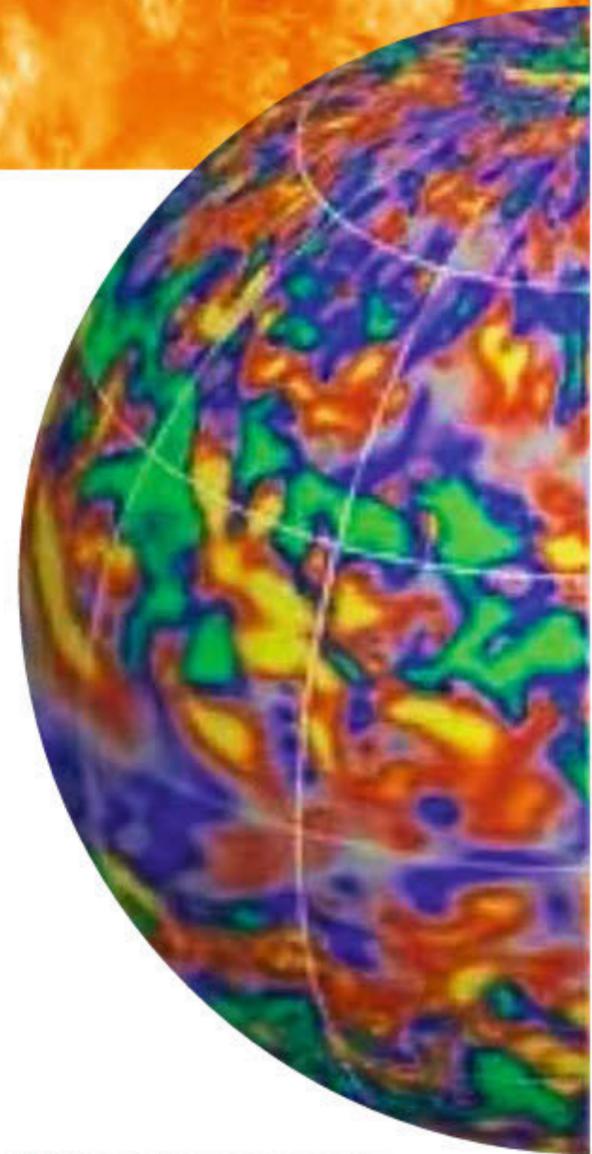
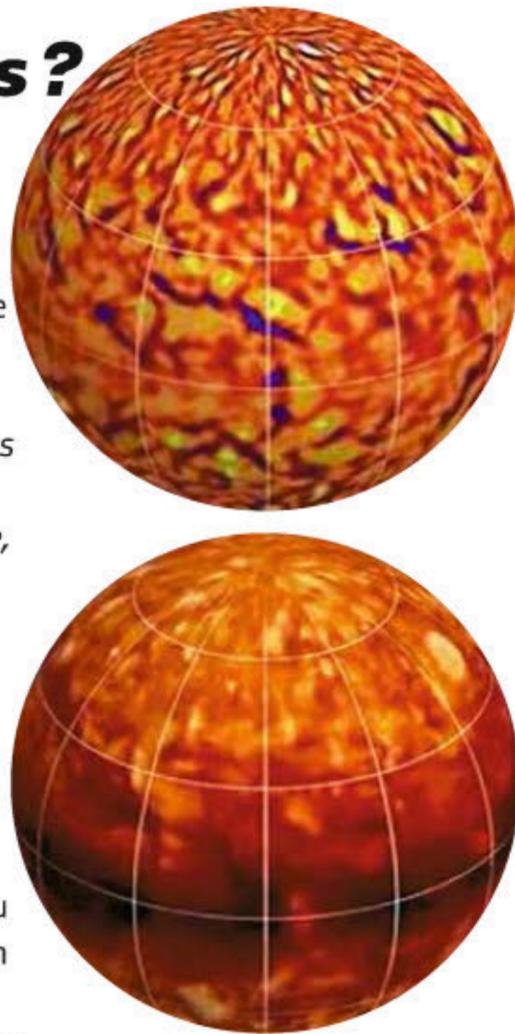
Seulement, nul ne sait précisément pourquoi le Soleil exhibe un tel cycle magnétique. *"Au niveau fondamental, la situation est claire et ne fait appel qu'à de la physique basique du XIX<sup>e</sup> siècle : c'est l'effet dynamo qui est responsable de l'activité magnétique du Soleil"*, explique Paul Charbonneau, de l'université de Montréal (Canada). En clair, ce sont les mouvements du plasma solaire, porteur de courants électriques, qui génèrent un champ magnétique. Lequel va former des boucles en surface, emprisonnant le plasma et donnant ainsi

naissance à des zones plus froides, donc plus sombres : les fameuses taches solaires, que Galilée observa le premier. *"Le problème, reprend Charbonneau, c'est que plusieurs mécanismes peuvent produire ce champ magnétique, et l'on ne sait toujours pas lequel domine."*

Car divers processus physiques, à des échelles spatiales et temporelles différentes, mettent en mouvement le plasma, contribuant d'une façon ou d'une autre à la production du champ magnétique solaire. Les astrophysiciens ont identifié les trois principaux : la rotation différentielle, liée au fait que le Soleil tourne plus vite à l'équateur qu'aux pôles ; la convection, qui transporte la chaleur produite à l'intérieur du Soleil vers la surface sous la forme d'une multitude de panaches turbulents ; et la circulation méridienne, un écoulement qui s'opère de l'équateur vers les pôles à la surface du Soleil, et des pôles vers l'équateur en profondeur.

### De l'ordre dans le chaos

*"Le Soleil est un système très complexe et turbulent ; il est donc difficile de comprendre comment il s'auto-organise pour produire un cycle régulier, résume Allan Sacha Brun, astrophysicien au Commissariat*



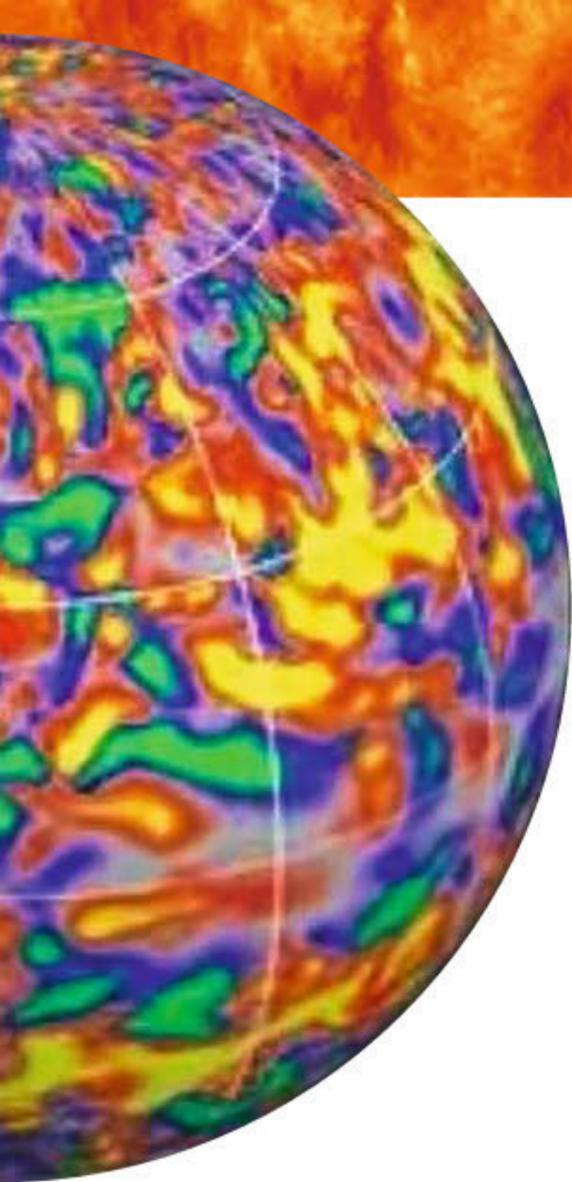
◀ Températures, mouvements de convection à l'intérieur du Soleil (à g.) et champ magnétique induit (ci-dessus)... ont pu être reproduits dans cette simulation.

à l'énergie atomique. *La grande question est donc : comment peut-on obtenir de l'ordre dans le chaos ?* Comment un rythme aussi régulier parvient-il à s'installer à partir de phénomènes aussi biscornus ?

Si une explication détaillée demeure hors de portée, les scientifiques sont toutefois d'accord sur le rôle primordial tenu par la rotation du Soleil. Celle-ci étire les lignes du champ magnétique polaire (dit poloïdal) au niveau de l'équateur, où la vitesse de rotation est la plus forte, jusqu'à mettre en place un champ magnétique particulier (dit toroïdal), qui s'enroule dans des plans parallèles au plan de l'équateur. C'est ce champ qui fait émerger les taches

solaires ; il gagne en intensité lors de la partie montante du cycle.

Ce que les scientifiques ne parviennent pas à comprendre, en revanche, c'est la redescente du cycle. *"Le problème, c'est comment se régénère le champ polaire de départ à partir du champ toroïdal créé par la rotation différentielle, explique Sami Solanki, de l'Institut Max-Planck de recherche sur le système solaire. Certains pensent que le phénomène se passe en surface, avec la circulation méridienne transportant le champ contenu dans les taches solaires de l'équateur vers les pôles. D'autres pensent que cela se joue dans les profondeurs via la force de Coriolis, qui imprime une torsion aux lignes du champ toroïdal*



telle qu'elle génère un champ poloidal."

Pour l'instant, aucune piste ne l'emporte. Par conséquent, les modèles numériques basés sur les différents mécanismes envisagés parviennent à reproduire la dynamo solaire, et parfois aussi un cycle, mais pas avec la périodicité de onze ans caractéristique du Soleil. Ainsi, la dernière simulation réalisée par Paul Charbonneau fait émerger un champ magnétique dont la polarité s'inverse tous les... quarante ans. "Nous ne savons pas ce qui détermine la longueur du cycle, admet le chercheur. Mais c'est déjà remarquable de réussir à en reproduire un, régulier, sachant que d'autres simulations, pourtant très semblables dans leur conception, n'y parviennent pas. Preuve que l'on n'a pas tout compris." Le Soleil devrait donc garder ce mystère pendant quelques cycles encore.

## 2

## LE MYSTÈRE DES PANNES

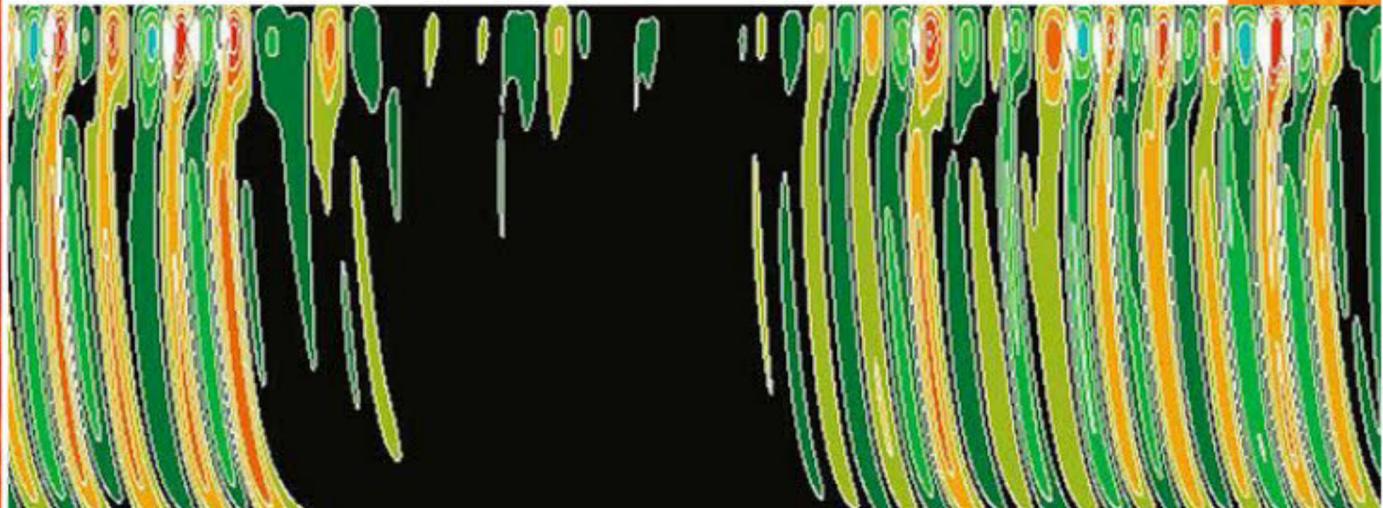
### Comment l'activité du Soleil peut-elle s'enrayer ?

Si le Soleil défie les astrophysiciens avec ses cycles réguliers, c'est dans des abîmes d'incompréhension qu'il les précipite lorsque ses cycles se détraquent. La dernière fois, c'était en 1645. Pendant les soixante années suivantes, le Soleil a présenté un visage quasiment dépourvu de tache. Baptisé "minimum de Maunder", cet épisode a coïncidé avec une période de grand froid en Europe. De telles pannes se seraient produites à intervalles irréguliers 27 fois au cours des 11000 dernières années.

"On n'a aucune idée de ce qui les provoque, avoue Paul Charbonneau (université de Montréal). On ne sait pas si le cycle s'arrête complètement ou s'il reste actif, mais pourvu d'un champ magnétique trop faible pour faire émerger des taches." Allan Sacha Brun, expert en modélisation du Soleil, penche pour cette seconde hypothèse, tout en proposant un mécanisme pouvant conduire à une panne :

▼ Des modèles sont parvenus à reconstituer la survenue de pannes dans l'activité magnétique du Soleil (ici, en vert).

"Un cycle normal ne dure pas systématiquement onze ans, il peut être de huit ou de quatorze ans. C'est donc qu'il existe des rétroactions entre le champ magnétique et les mouvements qui lui donnent naissance. On peut imaginer que ces rétroactions s'accumulent jusqu'à provoquer un arrêt." Par exemple, que le champ augmente au point d'empêcher la rotation différentielle du Soleil. Or, comme elle est une des sources du champ (lire ci-contre), celui-ci finirait par se dissiper. "Ensuite, la turbulence rétablirait la rotation différentielle, qui régènerait in fine le champ magnétique", poursuit-il. De quoi expliquer à la fois la panne, et la reprise. "Avec des modèles simplifiés, on peut introduire des rétroactions aboutissant à des pauses, confirme Paul Charbonneau. Mais cela reste plus descriptif qu'explicatif." Inutile, donc, d'espérer prévoir les pannes d'un Soleil dont on ne parvient déjà pas à prédire la marche normale...



## Quel est le déclencheur des flashes solaires ?

“*Tout le problème est de trouver le petit déséquilibre qui va déclencher le flash*”, résume Guillaume Aulanier, astrophysicien à l’Observatoire de Paris. Les scientifiques comprennent dans les grandes lignes comment naissent les éruptions à la surface du Soleil, avec leurs flashes de lumière aveuglants et leurs geysers de plasma. Ils savent d’où vient l’énergie : l’atmosphère au-dessus des taches, tourmentée par des champs magnétiques mille fois plus puissants que la moyenne, en est une source inépuisable. Enfin, ils pensent avoir compris comment cette énergie est transformée en lumière : lorsqu’une boucle magnétique se rompt avant de se reformer – ce phénomène est appelé “reconnexion” –, elle libère une partie de son énergie dans le milieu environnant.

Mais les scientifiques butent encore sur le début de l’histoire : d’où vient l’étincelle ? Quel phénomène déclenche la rupture initiale des lignes de champ magnétique ? “*Ce problème réunit les principales difficultés de la physique solaire*”, explique Etienne Pariat, qui travaille sur le sujet à l’Observatoire de Paris. D’abord, il dépend principalement des champs magnétiques de l’atmosphère solaire, que nous ne pouvons observer

à distance. Nous sommes donc obligés de nous fier à des mesures indirectes, comme la forme des courants de plasma. Ensuite, c’est un phénomène multi-échelle : l’énergie magnétique est stockée au-dessus de taches solaires qui font 100 000 km. Or, le phénomène de reconnexion s’étend sur 1 à 10 m, ce qui, en trois dimensions, nous amène à une différence d’échelle de  $10^{24}$  ! Aucune équipe n’est capable de simuler cela.” Résultat : certains astrophysiciens se cantonnent à la modélisation des phénomènes globaux, quand d’autres se concentrent sur les effets les plus fins... sans, malheureusement, pouvoir coupler leurs méthodes.

### Plus que deux modèles en compétition

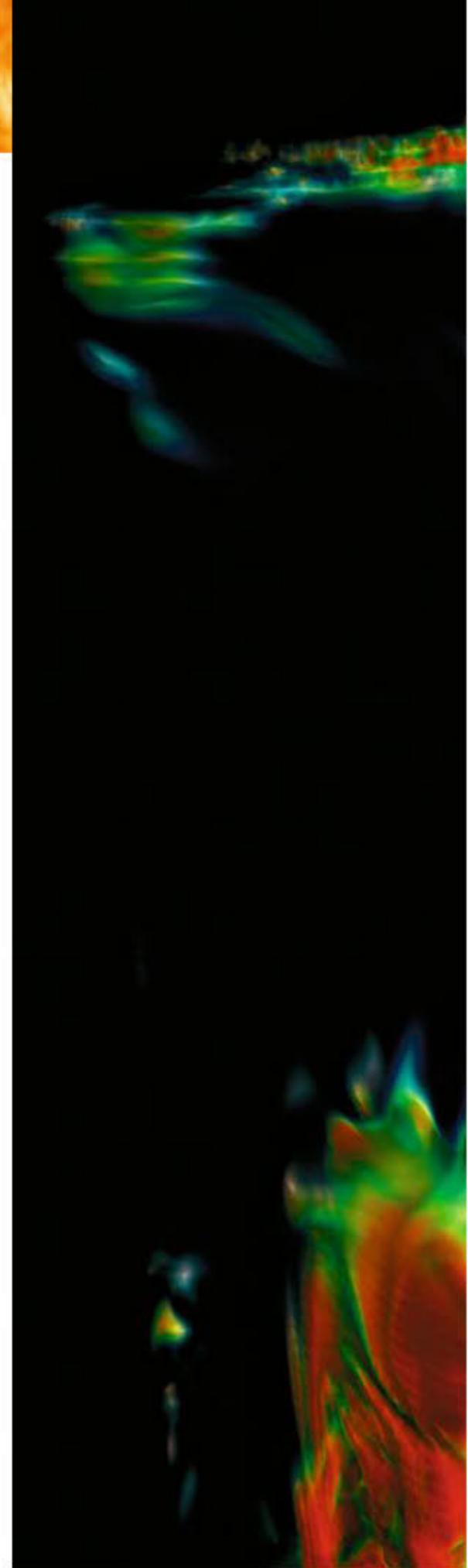
Pour autant, grâce aux récentes observations du *Solar Dynamics Observatory* (SDO), deux modèles sont en train de se distinguer parmi les dizaines qui, il y a quelques années encore, étaient en lice. Le premier est un vieux modèle, mis de côté dans les années 1970 parce qu’il ne tenait pas compte des spécificités physiques du plasma, et qui vient tout juste d’être ramené à la vie successivement par trois équipes (une américaine, une allemande et une française) : l’éruption pourrait tout simplement

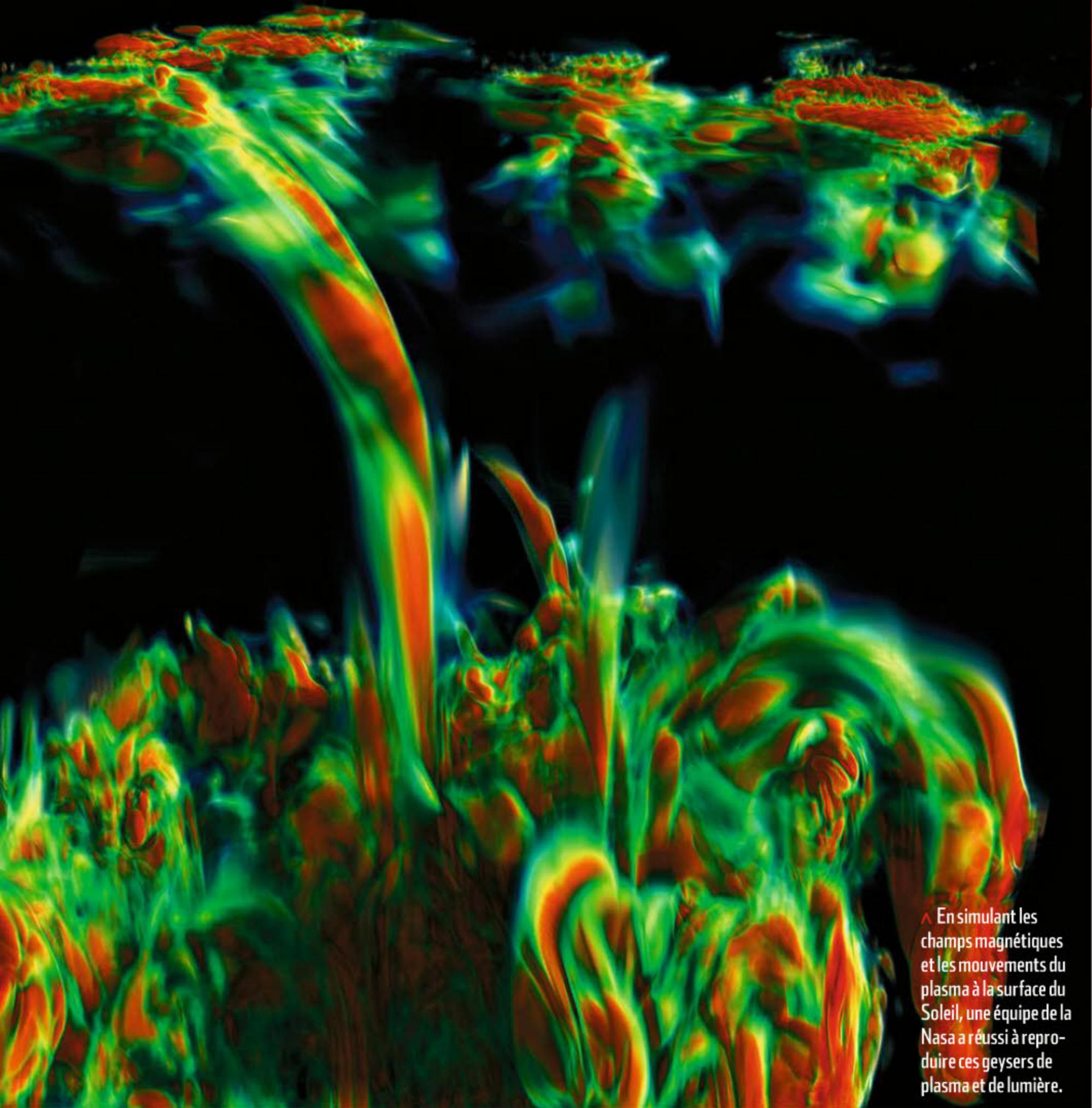
naître d’une instabilité magnétique juste au-dessus de la surface du Soleil : les lignes de champ magnétique se tordraient jusqu’à se rompre, libérant une bulle de plasma de la prison électrique dans laquelle elle était confinée. Dans sa traînée, l’énergie magnétique serait transformée en lumière : le fameux flash lumineux.

Le deuxième scénario met en scène la rupture de deux lignes de champ magnétique dans la haute atmosphère du Soleil, à plus de 50 000 km de la surface, qui initierait l’embrasement en donnant naissance à une perturbation magnétique qui se propagerait jusqu’à la surface solaire. “*Ce qui est diabolique avec ces approches, c’est que, de loin, elles se ressemblent toutes*”, convient Guillaume Aulanier, qui défend, lui, la première option. D’ailleurs, une fois la simulation lancée, elles se comportent de la même manière. Mais il est vital de faire un choix, car c’est ce qui va nous permettre de déterminer quels sont les signes observables efficaces pour prédire qu’une éruption va se produire.”

Trouver des signes annonciateurs de l’émergence d’un flash... Les astronomes sont encore loin de cet objectif, qui donnerait aux Terriens le temps de sortir les

parapluies face à ces bourrasques solaires. Ils ont bien remarqué que des boucles magnétiques en forme de S donnent naissance, tôt ou tard, à une éruption ; que lorsque deux taches solaires de polarité opposée se trouvent côte à côte, elles ont tendance à créer des instabilités ; que des microéruptions précèdent souvent une éruption... Mais ces indicateurs





▲ En simulant les champs magnétiques et les mouvements du plasma à la surface du Soleil, une équipe de la Nasa a réussi à reproduire ces geysers de plasma et de lumière.

empiriques ont l'énorme défaut d'être qualitatifs. En aucun cas ils ne permettent de conclure sous forme de probabilités précises.

Sans compter que le mystère vient encore de s'épaissir : les observations du télescope *SDO* montrent depuis 2011 que deux éruptions survenant d'un bout à l'autre du Soleil pourraient être liées. "On savait depuis une vingtaine

d'années qu'il était possible que de telles éruptions en cascade se produisent, précise Tibor Török, spécialiste du sujet au laboratoire Predictive Science, à San Diego (Etats-Unis). Mais on s'aperçoit aujourd'hui que c'est loin d'être un phénomène anecdotique." Ainsi, des arcades de champ magnétique, à 400 000 km d'altitude dans l'atmosphère solaire,

pourraient relier des taches d'un hémisphère à l'autre, se briser lors d'un premier flash et libérer l'énergie nécessaire pour en provoquer un second, des centaines de milliers de kilomètres plus loin.

Des liens au long cours dont il faudra tenir compte, quel que soit le modèle finalement choisi pour établir des prédictions. Pour Allan Sacha Brun,

astrophysicien au Commissariat à l'énergie atomique, il ne reste en définitive qu'une seule solution : accumuler encore les observations. "Grâce aux satellites *SDO* et *Stereo*, on a accumulé des mesures d'éruptions sur plus d'un cycle solaire. Il faut les étudier au cas par cas et faire des statistiques, précise-t-il. Le travail vient tout juste de commencer..."

# 4

## LE MYSTÈRE DES ÉJECTIONS

### Comment le Soleil peut-il propulser sa propre matière dans l'espace ?

Le scénario paraît d'une terrifiante simplicité : une fois entré en éruption, le Soleil expulse à des vitesses fantastiques les protons contenus dans sa couronne, et propulse même dans l'espace interplanétaire une partie de son atmosphère, faite de plasma magnétique. On ne s'attendait pas à moins... sauf que les astrophysiciens ne comprennent toujours pas les mécanismes de ces éjections ! Et sont donc incapables d'anticiper d'éventuelles conséquences sur Terre (voir p. 62). Pour expliquer l'accélération des protons, une bonne dizaine de scénarios ont été proposés, sans qu'aucun ne se dégage. *"Ces processus sortent du cadre du modèle théorique du Soleil, on ne sait pas faire !"*, reconnaît volontiers Guillaume Aulanier, de l'Observatoire de Paris.

En attendant, l'attention des scientifiques se reporte sur les bulles d'un milliard de tonnes de plasma que le Soleil éructe jusqu'à 2500 km/s. Ce phénomène prendrait naissance à partir d'un tube de flux magnétique déstabilisé lors de l'éruption. Mais ensuite, *"la structure du champ magnétique éjecté fait débat"*, signale Guillaume Aulanier. *Seul un tiers des mesures s'accorde avec la théorie, qui prédit un tube de champs torsadés".* Sans compter que la forme de ces ectoplasmes varie grandement d'une éjection à l'autre.

Leur propagation interroge aussi : ils semblent accélérés mais parfois... ralentis, sans doute sous l'influence du vent solaire. *"Manifestement, le vent solaire érode leur structure magnétique"*, ajoute Miho Janvier, chercheuse à l'Observatoire de Paris.

▼ Par la simulation numérique, les scientifiques commencent à comprendre les mécanismes de l'éjection du plasma lorsque le Soleil entre en éruption.



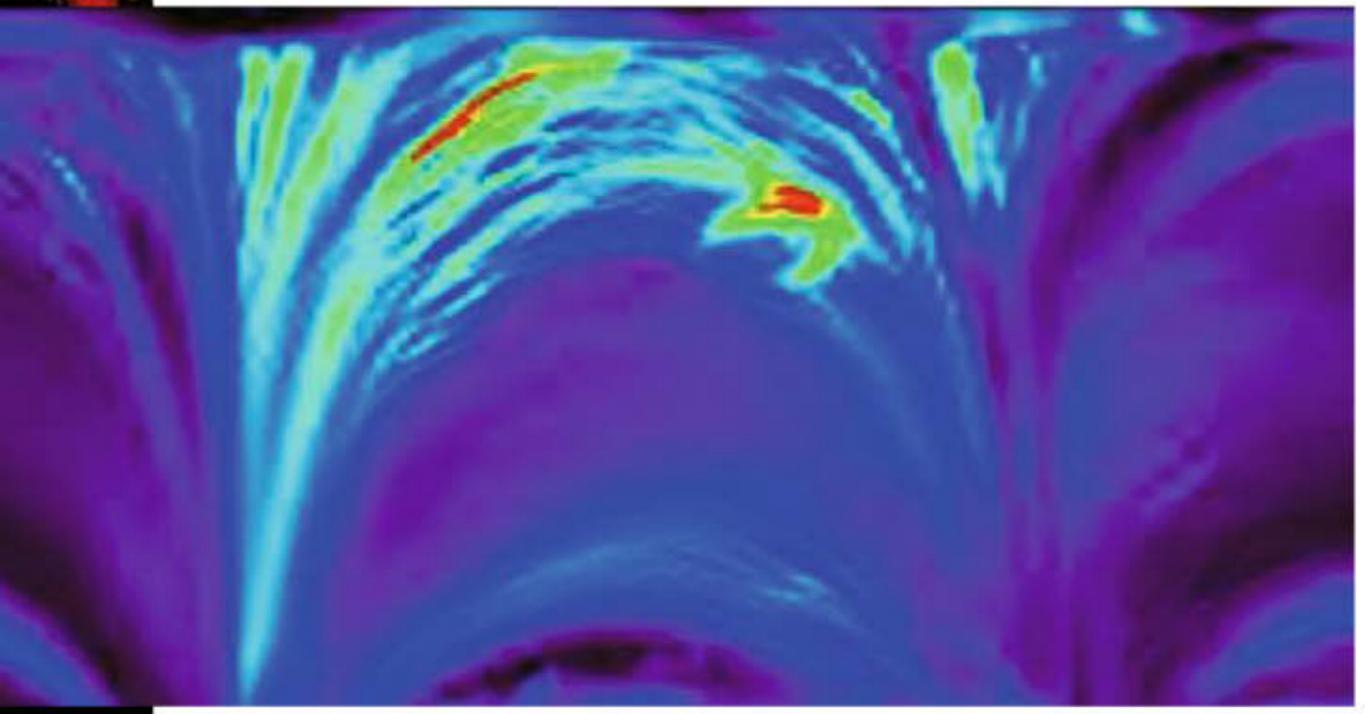
# 5

## LE MYSTÈRE

### Notre étoile éruptions

Cette question s'est invitée, depuis un an, dans les colloques d'astrophysique. Où elle réussit l'exploit de transformer ces réunions d'habitude si policées en véritable pugilat, sur fond de publications rageuses et de portes qui claquent. C'est peu dire que l'hypothèse des superéruptions solaires fait polémique...

Tout a commencé le 24 mai 2012, avec la publication dans la revue *Nature* d'une étude menée par une équipe japonaise qui s'était attelée au dépouillage des données du télescope *Kepler*, afin d'y relever les signes de superéruptions sur la myriade d'étoiles suivies. Par "superéruption",



P.ZACHARIAS/ISSI - M.SAEMANN



Des chercheurs français ont su modéliser ce qu'ils considèrent comme la plus grande éruption possible sur notre astre, d'une puissance de  $6.10^{26}$  joules.

## DES MEGAÉRUPTIONS

### est-elle sujette à des monstrueuses ?

entendez un phénomène 100, voire 1000 fois plus puissant que les plus furieuses tempêtes connues à ce jour sur notre Soleil ! En portant leur attention sur 148 astres de type solaire (montrant une structure similaire à celle de notre étoile), ces astrophysiciens ont repéré par photométrie 365 super-éruptions. Ce qui, en soi, n'est pas très étonnant, car dans ce bestiaire stellaire, on trouve notamment des astres jeunes qui tournent très vite sur eux-mêmes, et qui accumulent ainsi, par effet dynamo, une énergie magnétique dantesque prête à exploser. Mais les chercheurs de l'université

de Kyoto ont levé un lièvre : quatorze des super-éruptions détectées concerneraient des étoiles semblables au Soleil, à la faible vitesse de rotation.

#### Tous les 800 à 5000 ans

Un coup de tonnerre pour Hiroyuki Maehara, auteur principal de l'étude : "Tout le monde s'attendait à ce que l'énergie des éruptions soit proportionnelle à la vitesse de rotation d'une étoile – or, il n'en est rien ! La vitesse de rotation ne joue que sur la fréquence de ces manifestations, et non sur leur puissance." Et, d'après les calculs effectués sur ce modeste

échantillon d'étoiles analogues au Soleil, les super-éruptions surviennent tous les 800 à 5000 ans.

"Ce travail est très intéressant, juge Rachel Osten, astronome à l'Institut de science du télescope spatial (Etats-Unis). Il a le mérite d'étayer les réflexions entamées il y a une décennie par quelques astrophysiciens." Pour autant, jusqu'où s'applique-t-il à notre étoile ? C'est ici que le mystère s'épaissit. Interloqués par ces travaux, des chercheurs de l'Observatoire de Paris n'ont pas tardé à se pencher sur la question. D'abord en plongeant dans un siècle de leurs archives pour retrouver la plus grande concentration de taches solaires jamais observée sur notre étoile – c'était en avril 1947 –, puis en recherchant le plus grand flux magnétique solaire jamais mesuré, et en faisant tourner leurs simulations numériques pour obtenir l'énergie de l'éruption correspondante.

Verdict ? Cette éruption virtuelle poussée au maximum ( $6.10^{26}$  joules) reste 15 fois inférieure aux super-éruptions envisagées par les Japonais. D'autant que, après vérification, aucun événement répertorié ou reconstitué sur onze mille ans à partir d'isotopes ne dépasse cette limite. Guillaume Aulanier, de l'Observatoire de Paris, n'en démord pas : "Pour parvenir au phénomène décrit par l'équipe japonaise, il faudrait réunir tout le flux magnétique du Soleil dans un seul groupe de

taches, un peu comme si tous les vents de la Terre se concentraient en un point pour former une monumentale tornade : tout simplement invraisemblable !"

Fermez le ban ? Pas du tout. Si Hiroyuki Maehara, lui aussi, peine à y croire, son confrère Kazunari Shibata, autorité mondiale en physique solaire, reste absolument persuadé que notre étoile est susceptible d'entrer en super-éruption : "J'ai vérifié que ce phénomène pouvait entrer dans le cadre théorique de la dynamo solaire. Eh bien, on peut envisager qu'un flux magnétique s'accumule au fil du temps, en profondeur, dans une zone stable située sous la zone de convection du Soleil... avant de remonter à la surface. D'après mes calculs, il ne faudrait que huit à quarante ans pour rassembler cette énergie."

"J'appelle cela couper les cheveux en quatre !, réfute Guillaume Aulanier. Le modèle imaginé ici me semble irréaliste. Commençons par reprendre les données du télescope pour vérifier leur analyse." L'éminent astrophysicien néerlandais Karel Schrijver doit s'interposer : "L'historique que nous possédons sur le Soleil – notamment les radio-isotopes – ne témoigne pas d'éruptions extrêmes, alors que les observations stellaires suggèrent qu'elles existent. Ces deux approches présentent de possibles faiblesses. Nous devons résoudre ce mystère." Ce à quoi s'emploient actuellement de nombreuses équipes, dans une ambiance à couteaux tirés.

# LES EXCÈS DU SOLEIL MENAÇENT NOS SOCIÉTÉS

*Réseau électrique, satellites... ces piliers du monde moderne sont vulnérables aux perturbations solaires. Au risque de créer le chaos...*

Des cycles d'humeur difficiles à cerner, d'imprévisibles colères, d'inattendues phases de léthargie, une éventuelle crise de folie... Le portrait du Soleil brossé aujourd'hui par les astrophysiciens est bien loin de l'image de l'astre placide et immuable, se couchant doucement à l'horizon. C'est en réalité celui d'un monstre boursoufflé et imprévisible, capable du pire ! Un monstre que la Terre côtoie à "seulement" 150 millions de kilomètres de distance, un endroit remarquablement habitable, mais à portée de son tempérament intempestif. Ce qui, au-delà des cinq grands mystères cosmiques qui en font encore une énigme, pose certaines questions particulièrement terre à terre, mais non moins vertigineuses.

Car si, vus depuis le Soleil, les pannes, cycles, flashes, éjections et mégaéruptions sont de fascinants mystères, vus depuis le plancher des vaches, ce sont surtout des menaces dont les effets sont souvent loin d'être anodins, voire carrément cataclysmiques ! Exagéré ? Pas selon les auteurs des nombreux rapports scientifiques qui, depuis environ cinq ans, appellent à la mobilisation au plus haut niveau des Etats pour que ces risques soient pris plus au sérieux. Et ils commencent à être convaincants, comme le montre l'inauguration à Bruxelles, le 3 avril dernier, d'un grand centre européen de météorologie spatiale censé prédire ces perturbations solaires, à l'instar de son

homologue américain, le Space Weather Prediction Center, en place depuis 1990 dans le Colorado.

Cet empressement repose sur un constat indiscutable : jamais l'humanité n'a été aussi vulnérable aux sautes d'humeur du Soleil. Il n'est pas question, ici, des pannes qui affectent parfois notre astre (voir p. 57). Bien qu'elles soient historiquement associées à des périodes de refroidissement, comme lors du petit âge glaciaire, il y a 500 ans, il n'y a pas d'urgence particulière à en prédire la venue, dans le contexte actuel du réchauffement climatique lié à l'homme. Il ne s'agit pas non plus des effets sur les variations climatiques des mystérieux cycles du Soleil (voir p. 56). Le sujet, très sensible depuis que le cycle en cours masque une partie du réchauffement, reste dans le domaine classique de la climatologie terrestre (lire l'encadré ci-contre).

## TOUT UN RÉSEAU MIS EN PÉRIL

Les inquiétudes formulées concernent les trois autres grands mystères du Soleil, directement liés aux éruptions : les flashes, les éjections et les mégatempêtes. Car nous sommes devenus particulièrement fragiles face à ces flots d'énergie. Alors que les jets de rayons X, de protons ultraénergétiques et de plasma magnétique passaient inaperçus il y a moins de deux siècles (en dehors des aurores boréales), ils ont aujourd'hui des conséquences calami-

teuses sur les technologies modernes. Qu'on en juge ! Les rayons envoyés par le flash d'une éruption changent les propriétés de notre ionosphère (couche haute de l'atmosphère), ce qui peut bloquer la transmission des messages radio haute fréquence utilisés par les pilotes de ligne et les armées, et fausser le signal des satellites GPS qui servent à la navigation aérienne et maritime, à la synchronisation des télécommunications, etc. Les protons, eux, maltraitent les panneaux solaires des satellites en orbite et, surtout, modifient l'état électrique des composants de leurs ordinateurs de bord, avec moult bugs à la clé. Tandis que le plasma magnétique fait entrer la tempête dans une autre dimension : le contact de son champ magnétique avec celui de la Terre peut induire – à partir des hautes latitudes – un courant électrique dans le sol, qui





▲ Il y a désormais urgence à anticiper les risques liés aux aléas de la météo spatiale, comme ici au Space Weather Prediction Center.

va se faufiler dans les lignes haute tension en déstabilisant le réseau électrique, et semer aussi la zizanie dans les câbles sous-marins, les pipelines, les voies de chemin de fer...

Bon nombre de nos infrastructures sont donc menacées par les colères du Soleil. Qui ne sont pas, en soi, plus virulentes: c'est juste que le monde moderne y est devenu sensible. Et cela n'avait pas vraiment été anticipé... Extension des réseaux terrestres, dépendance aux satellites, miniaturisation des composants électroniques: "Ces tendances se sont développées très vite, sans prendre en compte leur grande sensibilité aux événements spatiaux", observe Frédéric Clette, physicien à l'Observatoire royal de Belgique. Le cas des orages magnétiques est édifiant. Leurs conséquences sont connues depuis longtemps: depuis les 28 et →

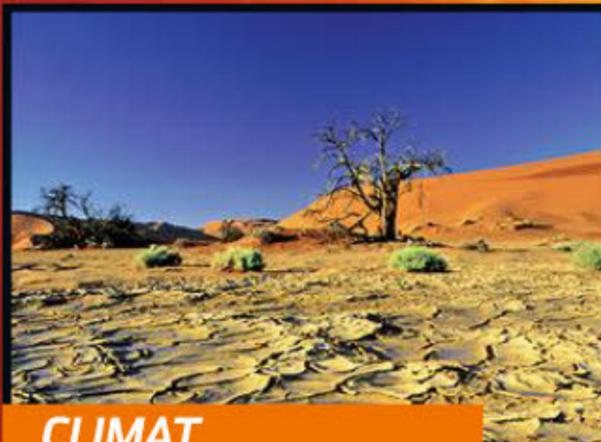
## UN ARGUMENT POUR LES CLIMATOSCEPTIQUES ?

Les climatosceptiques brandissent souvent cet argument: depuis le début des années 2000, la courbe de l'évolution de la température du globe ressemble plus à un plateau ondulé qu'à une dangereuse ascension. Une accalmie qui démontre, à leurs yeux, l'absence d'un réchauffement lié à l'homme. Or, c'est oublier les fluctuations naturelles qui caractérisent le climat aux échelles décennales, en particulier celles liées aux cycles solaires. Judith Lean, du Naval Research Laboratory, à Washington, a calculé qu'entre le minimum et le maximum d'un cycle (cinq ans et demi), l'augmentation de la luminosité du Soleil fait grimper la température terrestre de 0,1 °C. Un chiffre à rapprocher du réchauffement climatique enregistré depuis 30 ans: 0,16 °C par décennie. De sorte qu'au cours de son cycle, le Soleil va alternativement renforcer, puis s'opposer à la tendance au réchauffement. Plus précisément, "une grosse partie du réchauffement de la dernière décennie a été annulée par le fait qu'après le maximum d'activité du dernier cycle, en 2002, le Soleil est entré dans une phase prolongée de déclin", analyse Judith Lean. Mais même en partie masqué par les humeurs du Soleil, le réchauffement est bel et bien en cours.

## Les 5 mystères du Soleil constituent autant de menaces

→ 29 août 1859 exactement, lorsque de puissants courants induits provoquèrent l'électrocution de nombreux télégraphistes. "La prise de conscience du risque varie en fonction des époques et des secteurs, analyse Mike Hapgood, directeur du laboratoire d'environnement spatial Rutherford Appleton (Angleterre). Contrairement à l'industrie des satellites, le secteur électrique peine à se sentir concerné. Alors que le premier impact remarqué sur un réseau remonte à 1938, la question des orages magnétiques n'a été prise au sérieux qu'à partir de 1989, quand l'un de ces phénomènes plongea tout le Québec dans le noir durant neuf heures." Les 28, 29 et 30 septembre 2003, une autre tempête solaire (la "tempête d'Halloween") fit office de piqûre de rappel, cette fois-ci pour les compagnies aériennes, obligées de dérouter tous les vols reliant l'Amérique et l'Asie par le pôle Nord, de crainte de voir leurs pilotes privés de communication. Tempête lors de laquelle l'Agence spatiale japonaise perdit un précieux satellite d'étude du climat.

Face à ces perturbations, l'idéal serait de pouvoir prendre longtemps à l'avance des mesures préventives, en mettant en sommeil tel appareil, en reportant telle opération... Ce à quoi aspirent les quelque 32 000 abonnés aux bulletins de l'Agence américaine de météo spatiale (principalement des opérateurs du spatial et des compagnies aériennes, mais aussi les compagnies pétrolières). Sauf que, sans modèle physique fiable de l'astre solaire, les ingénieurs en sont réduits à tenter d'identifier des signaux précurseurs, à chercher fébrilement des corrélations, à puiser dans leur mémoire, puis à compter sur leur flair ou... leur bonne étoile. Autrement dit, à faire de la météo solaire. "On cherche à déceler, au sein des structures de taches solaires,



### CLIMAT

#### Les cycles peuvent le modifier

Bien que très modeste, l'augmentation d'intensité du rayonnement solaire fait grimper la température moyenne du globe de 0,1 °C lors de la phase montante du cycle.



### GLACIATIONS

#### Les pannes peuvent les initier

On entrevoit un lien entre l'absence d'activité solaire prolongée (soixante ans) et les épisodes de grand froid, comme ce fut le cas au XVII<sup>e</sup> siècle au cours du "petit âge glaciaire".

le signe que le feu d'artifice va se produire immanquablement", explique Frédéric Clette. Mais quand? Comment? Et avec quelle intensité?

Pour l'heure, tance Etienne Pariat, astrophysicien à l'Observatoire de Paris, "c'est comme si on essayait d'évaluer une probabilité de pluie en regardant un cumulonimbus". Sachant que lorsque l'événement a lieu à la surface, il est souvent trop tard: les rayons arrivent en huit minutes; les protons au bout d'une demi-heure; le plasma met des dizaines d'heures à nous parvenir, mais sa virulence n'est connue qu'à la hauteur du satellite ACE, à moins de 1 million de kilomètres de la Terre, distance avalée en une dizaine de minutes. "Nous en sommes au stade de la météorologie terrestre des années 1940, avec deux, trois bouées au milieu de l'océan et quelques navires qui envoient des télex pour annoncer la progression d'une perturbation", compare Frédéric Clette.

Tout cela ne serait pas si inquiétant si la météo spatiale se résumait au petit crachin dont s'accommodent les Scandinaves, les Russes et les Canadiens – moins protégés, aux hautes latitudes, par la magnétosphère –, secoué de temps à autre par quelques rafales solaires aux conséquences somme toute

assez bénignes... Seulement voilà, tous les scientifiques savent qu'une tempête solaire majeure est, à terme, inévitable. Elle pourrait avoir lieu demain, ou dans trente ans, quelle que soit la phase du cycle solaire. Nul ne sait quand elle se produira – mais elle se produira! C'est statistique.

#### DÉMUNIS FACE À CE BIG ONE SPATIAL

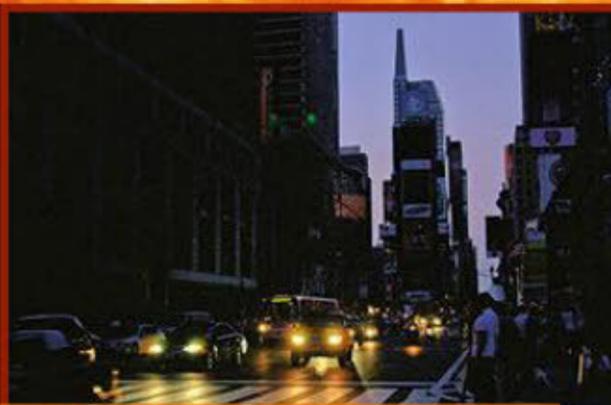
Reste à prédire l'intensité d'un tel phénomène, l'équivalent de la crue "du siècle" ou "du millénaire" d'un fleuve. Inutile de préciser que les ingénieurs n'ont encore pris aucune disposition pour résister à ce "Big One" spatial. John Kappenman, ingénieur spécialiste des réseaux électriques, travaille depuis longtemps sur un scénario noir. "Dans les archives, on trouve la trace d'un courant induit faramineux détecté lors de l'orage magnétique du 14 au 15 mai 1921", explique-t-il. Après avoir simulé cette perturbation sur le réseau électrique nord-américain actuel, il en a conclu que ce courant pourrait faire sauter 350 grands transformateurs, privant d'électricité au moins 130 millions de personnes durant plusieurs jours, sinon des semaines, voire des mois. C'est qu'un black-out d'origine solaire n'est pas un black-out comme les autres: le



## TÉLÉCOMMUNICATIONS

### Les flashes peuvent les brouiller

L'assaut de rayons X et UV détraque notre ionosphère: les ondes radio sont bloquées; tous les signaux satellites, comme la localisation par GPS, sont perturbés, voire faussés.



## RÉSEAU ÉLECTRIQUE

### Les éjections peuvent le faire sauter

Quand le plasma solaire éjecté percute le bouclier magnétique terrestre, il génère un courant électrique susceptible d'effondrer nos réseaux d'alimentation.



## BIOSPHERE

### Les mégatempêtes peuvent la menacer

Un déluge de protons très énergétiques pourrait détruire la couche d'ozone, laissant la biosphère sans protection face au rayonnement spatial très pénétrant.

courant induit détruit littéralement les transformateurs, des machines sophistiquées dont la fabrication, sur mesure, demande plusieurs mois. On imagine sans mal le chaos régnant alors dans le pays, les magasins à court de nourriture, les hôpitaux dont les générateurs de secours tombent en panne sèche, les réacteurs nucléaires qui peinent à refroidir leur cœur radioactif... Sans parler de la destruction de dizaines de satellites de communication, pour ajouter à la panique. Un rapport de l'Académie des sciences américaines, qui reprenait en 2008 les travaux de Kappenman, évalue le coût d'un tel ouragan à 1 000 ou 2 000 milliards de dollars.

Ces conclusions apocalyptiques semblent à peine croyables. Elles ont au moins le mérite d'éveiller l'intérêt. L'Académie des technologies britannique vient de publier une étude d'impact d'une tornade spatiale; la Commission européenne a ouvert un groupe de travail; les spécialistes d'analyse des risques s'essaient à de savants calculs. "L'étude de la série de conséquences de ces tempêtes ne fait que commencer", estime l'astrophysicien Volker Bothmer (université de Göttingen, Allemagne), qui milite pour lancer une armada de satellites d'alerte avancés, à l'image des systèmes de détection des tsuna-

mis. Beaucoup reste aussi à accomplir pour comprendre les interactions complexes de la matière solaire avec le système Terre. Mais Mike Hapgood insiste: "Le problème des événements rares et extrêmes doit être pris en charge au niveau gouvernemental, car cela concerne la société entière. Nous devrions considérer la météo spatiale comme un risque naturel, au même titre que les inondations, les séismes ou les éruptions volcaniques." Même si, poursuit-il, "nous n'avons pas encore réussi à définir la tempête de référence à prendre en compte, en fonction de sa fréquence d'apparition". Serait-ce celle de l'année 775, révélée

## UN BLACK-OUT D'ORIGINE SOLAIRE SÈMERAIT UN CHAOS SANS PRÉCÉDENT

l'an dernier dans les cernes de deux cèdres japonais et qui s'est avérée vingt fois plus énergétique que toute autre tempête connue à ce jour (voir S&V n° 1140, septembre 2012)? Selon Ilya Usoskin, géophysicien à l'université d'Oulu (Finlande), "l'événement de 775 n'a pas d'équivalent au cours des 10 000 dernières années".

Il y a peut-être encore pire. C'est l'hypothèse de la mégaéruption, mille fois plus puissante que les plus féroces jamais recensées. Une violence presque inenvisageable. Au point que personne n'a encore osé, semble-t-il, modéliser son impact sur Terre. Brian Thomas, spécialiste des radiations à l'université Washburn (Etats-Unis) et auteur de travaux sur l'origine spatiale de l'extinction massive de l'Ordovicien (il y a 440 millions d'années), imagine "une réduction majeure de la couche d'ozone provoquant des risques biologiques dus aux rayons UV, et il n'est pas impossible que cela mène à des extinctions". Kazunari Shibata, physicien japonais à l'université de Kyoto, qui croit à la nécessité d'informer l'humanité sur ce risque extrême, voit pour sa part un "complet désastre technologique au niveau mondial, la mort quasi certaine sous les radiations des astronautes et des passagers de certains vols long-courriers, mais pas de problème de santé à moyen terme pour les Terriens".

Pannes du Soleil, cycles détraqués, éruptions intempestives, orages magnétiques, mégatempêtes: pour la première fois dans l'histoire de leur discipline, les astrophysiciens sont soumis à l'urgence de comprendre... ■

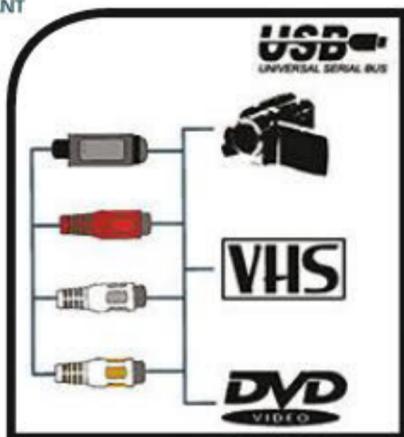
## Ré-enregistrez facilement toutes vos VHS sur votre ordinateur!

Avant que les images ne disparaissent totalement des bandes VHS ou films 8 mm, transférez-les sur votre ordinateur ou gravez-les sur DVD/ disque dur grâce aux Grabbino®. Ingénieux et compact, il convertit parfaitement tous les formats analogiques en format numérique.

### Grabbino® YesWeScan

PENTIUM 4 2.4G OU PLUS. 512Mo RAM OU PLUS.  
PORT USB 2.0.  
CARTE VGA SUPPORTANT DIRECTX 9.0.  
600Mo À 3Go DE LIBRE (PAR HEURE D'ENREGISTREMENT).  
LIVRÉ AVEC MANUEL + CD LOGICIEL + CD DRIVER.

LE GRABBINO  
**39€**  
FRAIS D'ENVOI OFFERTS



YES  
WE  
SCAN



**69,99€**  
seulement

FRAIS D'ENVOI OFFERTS

## La véritable lampe à lave, modèle Astrobaby

Saviez-vous que ces lampes ont été utilisées pour générer des nombres aléatoires? Les gouttes de cire lumineuses se formant par convection ont en effet un comportement chaotique. Et quel fascinant objet de décoration! Une invention de 1963, fabriquée à la main.

### Lava lampe Astrobaby Mathmos

H: 43cm. ECLAIRAGE 30W SES AMPOULE.  
BASE ET CAPUCHON EN ALUMINIUM POLI.  
BOUTEILLE EN VERRE.

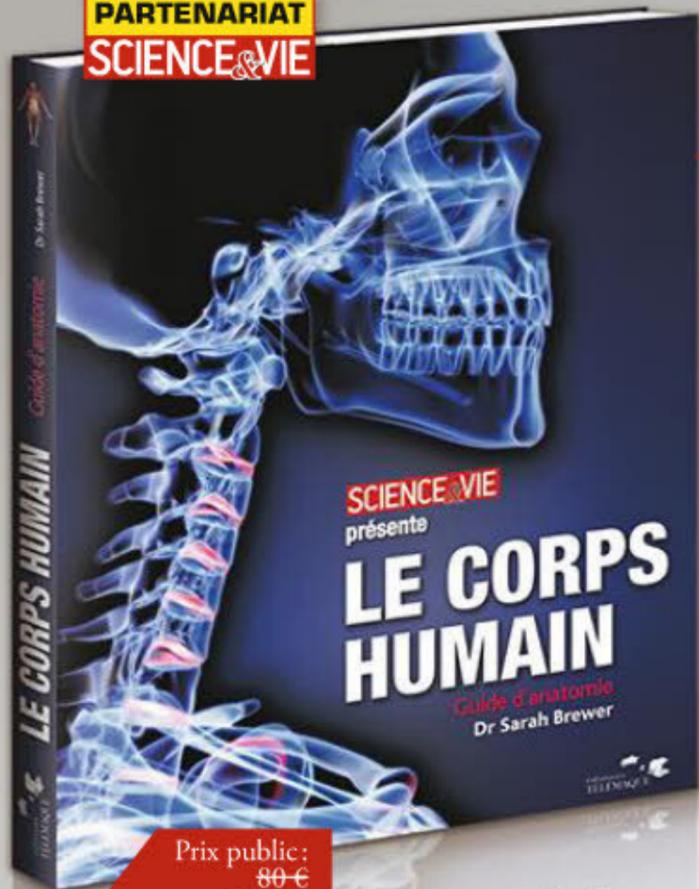
Vidéo explicative sur notre site web!

Fabrication main!



## NOS ÉDITIONS SCIENCE & VIE 4 kg

PARTENARIAT  
SCIENCE & VIE



Prix public: 80€

**76€**

RÉDUCTION SPÉCIALE -5%

FRAIS D'ENVOI COLISSIMO 72H OFFERTS

### Le corps humain, guide d'anatomie

DIM. 35,3 x 43 CM - 176 PAGES  
COUVERTURE CARTONNÉE SOUS JAQUETTE  
ÉD. TÉLÉMAQUE/SCIENCE & VIE

### Le corps humain comme vous ne l'avez jamais vu!

Une référence absolue en anatomie. Un magnifique ouvrage pour tous, étudiants, praticiens ou simples passionnés de biologie humaine.

+ de 400 illustrations  
format gigantesque!

**75,53€**

Prix public: 79,50€

RÉDUCTION SPÉCIALE -5%

FRAIS D'ENVOI COLISSIMO 72H OFFERTS



PARTENARIAT  
SCIENCE & VIE

### Un livre spectaculaire

De l'origine des dinosaures, il y a 230 millions d'années jusqu'à leur extinction à la fin du crétacé: évolution, époque, habitat, taille, poids, alimentation, prédateurs... sur plus de 170 créatures préhistoriques.

### Dinosaures

FORMAT: 355 x 430 MM. 224 PAGES, RELIÉES SOUS JAQUETTE, 450 PHOTOS COULEURS. COÉDITIONS TÉLÉMAQUE ET SCIENCE & VIE.



**50 quiz,  
500 énigmes  
pour peaufiner  
vos  
connaissances !**

Amusez-vous et affûtez votre vivacité d'esprit avec ce livre rempli d'énigmes de niveaux variés en algèbre, géométrie, arithmétique...

**Mon QI en maths  
12,90 €**

DIM. 13,5 x 22 CM.  
176 PAGES.  
ÉD. DE LA MARTINIÈRE.

## LIP, UNE MONTRE INTEMPORELLE

**Offrez-vous cette élégante  
montre 'boussole' LIP !**

Multifonctions, cette montre à 3 aiguilles cache une boussole qui se déploie très facilement pour vous donner simultanément l'heure et votre position. Idéale pour vos vacances et toutes vos randonnées!

**Montre 'boussole' LIP  
collection classique**

GARANTIE LIP 2 ANS. BOÎTIER EN ALLIAGE DE MÉTAUX CHROMÉ. BRACELET CAOUTCHOUC.  
DIMENSIONS DU BOÎTIER : 45 MM.  
FONCTIONNE AVEC UNE PILE AU LITHIUM FOURNIE. LIVRÉE DANS UNE BOÎTE EN MÉTAL.



**39€**  
seulement

FRAIS D'ENVOI  
OFFERTS

### POUR COMMANDER ET S'INFORMER

[www.laboutiquescienceetvie.com](http://www.laboutiquescienceetvie.com)

Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®

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

01 46 48 48 83 (Paiement par CB uniquement)

## BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Grabbino Capteur de source vidéo	371.856	x	39 €	= €
Lampe à lave baby base	372.078	x	69,99 €	= €
Livre Dinosaurés	305.441	x	75,53 €	= €
Livre Le corps humain	353.441	x	76 €	= €
Livre Mon QI en 50 quiz maths	372.441	x	12,90 €	= €
Montre boussole Lip	372.599	x	39 €	= €
<b>SOUS-TOTAL</b>				<b>€</b>
<b>FRAIS D'ENVOI</b> (cocher la case de votre choix)				<b>5,90 €</b>
<input type="checkbox"/> Envoi normal				<b>5,90 €</b>
<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 39 € Envoi Coliéco				<b>GRATUIT</b>
<input type="checkbox"/> Envoi Colissimo suivi (72 h)				<b>8,90 €</b>
<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 75 € Envoi Colissimo suivi 72 h				<b>GRATUIT</b>
<b>TOTAL</b>				<b>€</b>

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 30/09/2013. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (4 jours max.). Selon l'article L121-20 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 7 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo descellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus

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

### > Mes coordonnées

CODE AVANTAGE : 275 644

M.  M<sup>me</sup>  M<sup>lle</sup>

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

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

CP [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] Ville \_\_\_\_\_

Tél. \_\_\_\_\_

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

E-mail \_\_\_\_\_

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

### > Mode de paiement

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

### Je règle par carte bancaire

Je règle en 1 fois la totalité de ma commande

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

Carte bancaire N° [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]

Expire fin : [ ] [ ] / [ ] [ ]

Date et signature obligatoires

Cryptogramme [ ] [ ] [ ]

Les 3 chiffres au dos de votre CB

PAIEMENT  
3x  
SANS  
FRAIS

The background features a dark, textured surface with several overlapping film strips in various colors (brown, gold, red). A large, torn white photograph is positioned on the right side, showing a woman in a light-colored dress smiling and holding a baby. The title text is overlaid on the left and center of the image.

# LA SCIENCE DÉTERRE LES *secrets* de *famille*

*Ainsi la science se mêle-t-elle désormais de nos vies de famille ! Armés de la théorie de l'évolution, des anthropologues se sont immergés dans des siècles de statistiques, afin de dévoiler certains secrets qui, de façon universelle, fondent les relations familiales. Où l'on en apprend long sur les belles-mères et leurs brus, le rôle des oncles, le Q.I. des cadets... Décryptage.*





On croyait pouvoir les garder pour soi, ces sentiments inavouables... Non pas ces secrets effroyables, destructeurs de familles, qui émaillent les faits divers. Mais ceux, plus inoffensifs, qui ponctuent la vie de toute tribu : cette légère antipathie pour la nouvelle femme de son fils, ce penchant discret à encourager davantage l'aîné ou cette liaison secrète avec le voisin... C'était sans compter l'esprit viscéralement curieux – voire un peu indiscret – des scientifiques. Les histoires de famille n'échappent plus à leurs investigations, et ils parviennent à révéler par des voies tout à fait inattendues ces histoires à la fois intimes et universelles. Attention, la science a désormais les moyens de percer à jour tout ce que les familles voudraient garder caché dans le placard.

### DÉCRYPTER LES TENDANCES SOUTERRAINES

Pas convaincu ? Légèrement inquiet ? Et d'ailleurs, comment les scientifiques pourraient-ils tirer des conclusions générales sur ce qui se passe derrière les murs de chaque foyer ? Il est *a priori* très difficile, voire un peu offensant, d'imaginer que nos relations familiales fassent, au milieu de milliers d'autres, l'objet d'études de populations. Chaque famille n'est-elle pas unique jusque dans ses dysfonctionnements ? Par exemple, si tante Jeannette ne s'entend pas avec cousin Alfred, c'est à cause de ce voyage en Italie qui s'est mal passé, durant l'été 2006... Il n'y a rien, ici, que les scientifiques auraient pu prévoir, ni même qui les regarde ! Certes, mais ce que la science tente de révéler, ce ne sont pas les secrets particuliers, mais les secrets universels, les tendances souterraines partagées par une grande partie des mères, oncles ou enfants que nous sommes tous.

Bien sûr, là encore, la promesse semble intenable tant la forme des familles et le rôle de chacun de ses membres varient en fonction des cultures et des époques. *“L'organisation*

*de la famille a radicalement changé au cours du dernier siècle”*, confirme Virpi Lummaa, qui étudie, dans son laboratoire de l'université de Sheffield, au Royaume-Uni, les effets de différentes configurations familiales sur l'évolution humaine. En France, par exemple, les femmes font moins d'enfants et les font plus tard ; les familles recomposées ou monoparentales sont devenues des alternatives courantes au couple hétérosexuel avec enfants ; les familles avec un couple de parents de même sexe ont fait leur apparition ; la mobilité croissante des individus éloigne géographiquement les enfants de leurs parents et de leurs grands-parents... Et de nombreuses autres formes d'organisation familiale ont été identifiées aux quatre coins du globe, telles que la polygamie, la filiation reconnue →



## La taille des enfants révèle le

C'est peut-être difficile à avouer, mais c'est maintenant démontré : à chaque naissance, les parents accordent moins d'attention à leur dernier-né. Ils auront beau le nier, les chiffres sont là : en étudiant la croissance de plus de 13000 petits Britanniques jusqu'à leur dixième anniversaire, David Lawson et Ruth Mace, de l'University College de Londres, ont observé, en 2008, que celle-ci dépendait non seulement de leur nombre de

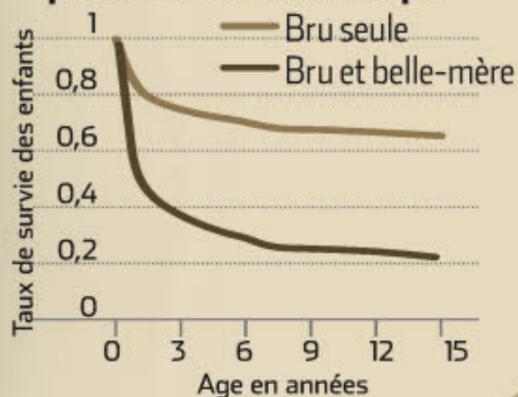
frères et sœurs, mais aussi de leur place dans la fratrie. Ainsi, un enfant de 10 ans ayant quatre frères et sœurs mesure en moyenne 3,15 cm de moins qu'un enfant unique, quel que soit le contexte socio-économique (voir graphique). Au sein d'une fratrie, l'aîné sera en moyenne 1,35 cm plus grand que son cadet, et 1,74 cm plus grand que le troisième et les suivants. En cause : la baisse du temps que peuvent consacrer les parents à chaque enfant,

## La ménopause révèle les conflits entre belles-mères et brus



**Au XIX<sup>e</sup> s., la survie des enfants chute quand belle-mère et bru procréent en même temps**

SOURCE: ECOLOGY LETTERS 2012



C'est un secret de polichinelle : les belles-mères et leurs brus ont parfois du mal à s'entendre. Mais seule la science pouvait révéler l'importance et la persistance de ce phénomène. Au point de démon-

trer que ce conflit est inscrit jusque dans le corps des femmes... L'hypothèse a été formulée pour la première fois en 2008 par les anthropologues britanniques Michael Cant et Rufus Johnstone : selon eux, si les femmes sont ménopausées, c'est parce que l'évolution a trouvé ce moyen efficace pour éviter

les dommages collatéraux de ce conflit millénaire concernant le partage des ressources par leurs enfants. Car si belle-mère et bru ont des enfants en même temps, ces derniers auraient tout à y perdre. D'une part, parce que la belle-mère accorderait une partie de son temps à ses petits-enfants, au détriment de sa progéniture directe, alors que la bru, sans lien avec les enfants de sa belle-mère, ne rendrait pas la pareille. Mais aussi parce qu'elles se disputeraient les ressources de la famille, défavorisant tous leurs enfants. Cette hypothèse a été confortée en 2012 par une étude de Mirikka Lahdenperä, de

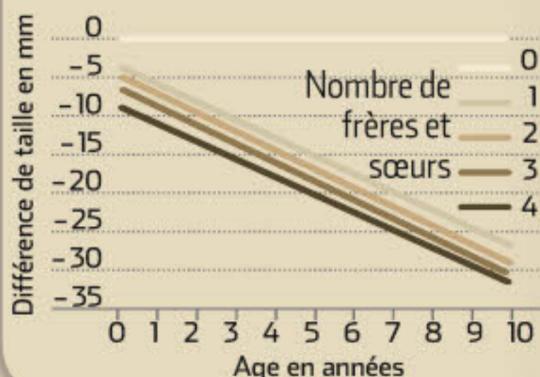
l'université de Turku (Finlande). Cette chercheuse a en effet montré, en étudiant un très large échantillon de la population finlandaise du XIX<sup>e</sup> siècle, que dans les rares cas où les enfants de brus et de belles-mères étaient nés à la même période, ceux-ci avaient un taux de survie beaucoup plus faible (voir graphique), alors que, quand mères et filles avaient des enfants en même temps, ces derniers n'en souffraient pas. Ce qui explique pourquoi, dans le règne du vivant, les femmes sont presque les seuls individus capables de vivre des dizaines d'années sans plus pouvoir se reproduire.

## degré d'attention des parents

qui se ressent sur la qualité de leur développement physique. Une autre étude, menée sur les mêmes familles, a par ailleurs montré que les derniers-nés avaient une alimentation moins saine que leurs aînés, ce qui pourrait en partie expliquer leur moins bonne croissance. "C'est ce que l'on appelle la balance quantité-qualité entre le nombre d'enfants et leur bon développement, explique Ruth Mace. Déjà observée chez de nombreux animaux

et dans des sociétés traditionnelles, elle fonctionne toujours dans le contexte économique favorable des pays occidentaux."

**A 10 ans, les enfants uniques sont 3,15 cm plus grands que les enfants qui ont des frères et sœurs**



SOURCE: OXFORD UNIV. PRESS, 2008



→ uniquement à travers la mère ou le père, et la résidence avec la famille d'un ou des deux conjoints.

Trop complexes, les familles d'aujourd'hui? Trop bien cachés, leurs secrets inviolables? Eh bien non! Face à l'immense diversité des situations familiales à travers le monde, la science n'a pas baissé les bras. Elle a trouvé une manière subtile et originale de faire remonter à la surface ce que chaque famille garde volontairement dans l'ombre. Comment? Des anthropologues audacieux ont fait le pari qu'au sein de la mosaïque des familles humaines, aussi bigarrée soit-elle, devaient perdurer des traces – portées par les gènes aussi bien que par la culture – des règles qui guident chaque structure familiale. Et que ces traces pouvaient révéler les relations secrètes et les sentiments dissimulés communs à la grande majorité des familles.

### UN GROUPE FAVORISÉ PAR L'ÉVOLUTION

L'organisation des individus en petits groupes familiaux serait en effet apparue dans notre espèce à une période aussi reculée que le Pléistocène (-2,5 millions d'années à -12000 ans)... car l'humanité en aurait tiré profit, l'organisation en familles améliorant les chances de survie et de reproduction de nos lointains ancêtres. A l'appui de cette hypothèse, les chercheurs font valoir que plusieurs autres espèces recourent à un élevage coopératif de type familial, où plusieurs individus mettent en commun les ressources et élèvent les plus jeunes, encore dépendants. C'est ainsi le cas de nombreux oiseaux (pics, passereaux...) et de certains mammifères (éléphants, ouistitis...).

En pratique, les chercheurs font alors l'hypothèse que si la structure familiale, des mormons polygyniques (plusieurs femmes) aux Tibétains polyandriques (plusieurs conjoints) a été favorisée par l'évolution, elle impose, en conséquence, certaines règles. Ne serait-ce que parce que le nombre d'enfants qu'une famille réussit à élever – et donc, fondamentalement, le succès reproductif des descendants de cette famille – est limité. Et comme il dépend des ressources en nourriture, du soin ou de l'attention que les parents et tous ceux qui participent à l'élevage de la progéniture peuvent mobiliser, la force et la nature des relations (conflictuelles, protectrices...) entre les membres d'une même famille ne sont pas livrées au seul hasard de →

## L'affection des oncles révèle

Ce n'est certes pas une grande découverte à porter au crédit de la science: il arrive aux femmes d'être infidèles. Mais voilà: la science permet de repérer certaines populations où elles le sont... un peu plus que la moyenne. Car même si les infidèles cachent parfaitement leur jeu auprès de leur conjoint, ce n'est pas leur comportement qui les trahit, mais celui de leurs frères et maris! Des anthropologues ont en effet remarqué dès les années 1950 que cette tendance était corrélée à un autre phénomène, beaucoup plus facilement repérable, lui: la matrilinearité.

C'est-à-dire la transmission des biens familiaux de femmes en filles. Cette organisation familiale induit un investissement, en temps et en argent, des oncles envers les enfants de leurs sœurs beaucoup plus important que celui des pères envers leurs propres enfants. L'existence minoritaire, mais répandue sur tous les continents de sociétés matrilineaires, où les hommes, pourtant dominants, choisissent de privilégier d'autres enfants que les leurs, a longtemps été un mystère pour les anthropologues. Mais la corrélation de celles-ci avec l'observation, par des

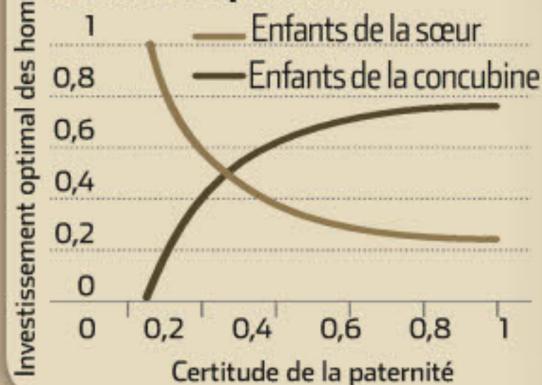
## Le Q.I. des cadets révèle le



## L'infidélité de leurs femmes

enquêtes scientifiques approfondies, d'une plus grande infidélité féminine, apporte une piste d'explication: dans ce cas, pour transmettre leurs gènes, les hommes ont plus intérêt à investir dans les enfants de leurs sœurs, auxquels ils sont sûrs d'être reliés par le sang (puisque la même mère leur a donné naissance), que dans leurs propres enfants, qui risqueraient d'être, biologiquement, ceux d'un autre. L'intérêt relatif porté à ses neveux plutôt qu'à ses propres enfants serait ainsi inversement proportionnel à la certitude de paternité (voir graphique). En 2012,

**L'intérêt porté aux neveux devrait être inversement proportionnel à la certitude de paternité**

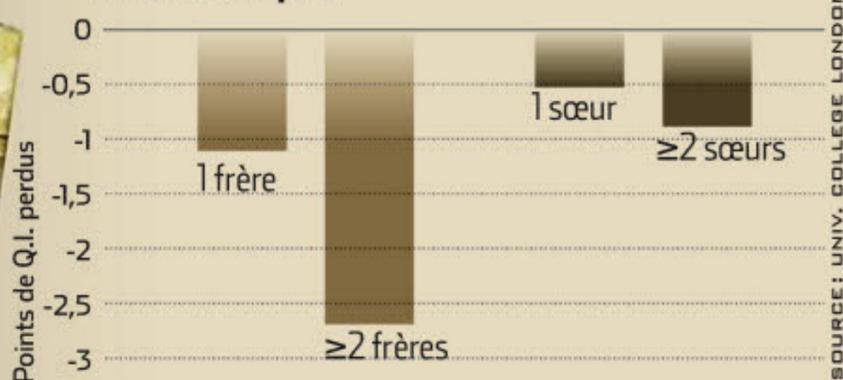


une étude d'Alan Rogers, de l'université de l'Utah (Etats-Unis) a conforté cette hypothèse en montrant que le taux d'infidélité minimum à partir duquel apparaîtraient de tels comportements est moins élevé, et donc plus probable, que ce que l'on pensait jusqu'alors.



## privilège des garçons

**A 8 ans, les enfants qui ont des frères et sœurs ont un Q.I. moins élevé que les enfants uniques**



Beaucoup de gens aimeraient croire que leur famille est ce havre préservé des stéréotypes imposés par la société, où tout le monde se voit traité sur un pied d'égalité... Eh bien ils se trompent ! C'est ce qu'a démontré David Lawson,

en révélant le sexisme fréquent des parents. Cet anthropologue a en effet étudié au cours de sa thèse, menée à l'University College de Londres et publiée en 2009, le développement intellectuel et physique de 13000 enfants britanniques, en

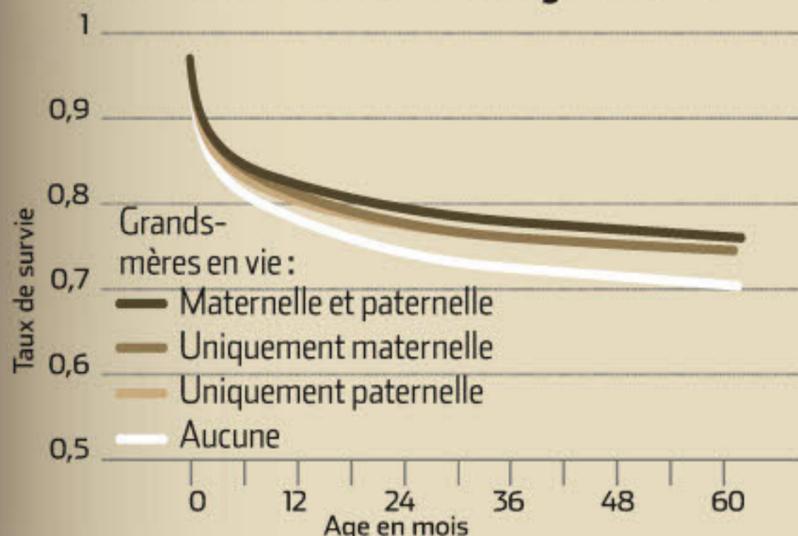
fonction de leur situation familiale. Il a alors fait une découverte troublante: le fait d'avoir au moins deux frères est associé, chez les enfants de 8 ans, à une diminution moyenne de leur quotient intellectuel de 2,68 points ! En revanche, aucune différence n'a été observée entre les enfants uniques et ceux qui comptent une ou plusieurs sœurs plus âgées (voir graphique). Comment expliquer cette conséquence spécifique des frères ? David Lawson a observé dans la même étude que les parents passent, au quotidien, globalement plus de temps avec leurs fils

qu'avec leurs filles. Un temps qui pourrait s'avérer précieux pour le développement intellectuel desdits enfants... et qui ne serait donc plus disponible pour les autres. Certes, l'effet est "globalement modeste", reconnaît David Lawson. De plus, "les choses changent très vite, précise Ruth Mace, qui a dirigé sa thèse. Il y a très peu de temps, les garçons étaient encore beaucoup plus favorisés au sein de la famille. Les différences entre sexes ont énormément diminué". Il n'empêche, cette étude trahit un biais que l'on aurait bien du mal, en d'autres circonstances, à avouer...

## La longévité des femmes révèle l'utilité des grands-mères



**Aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> s., les petits-enfants avaient plus de chance de survivre avec deux grands-mères**



Les grands-mères sont formidables ! Certains diront qu'ils le savaient déjà, mais personne ne l'avait démontré. En effet, comment expliquer que les femmes survivent si longtemps après avoir arrêté de faire des enfants ? Réponse des scientifiques : la survie des grands-mères a été sélectionnée par l'évolution, car elle augmente les chances de survie de leurs petits-enfants. Plusieurs études de populations, chez des chasseurs cueilleurs et dans une population de Français du Québec au XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles (voir graphique), l'ont confirmé. En récoltant de la nourriture pour leurs petits-enfants et en s'occupant d'eux, les grands-mères favorisent leur survie. De plus, en passant du temps à s'en occuper, elles permettent à leurs propres enfants de faire

plus d'enfants. En 2012, une étude menée dans le laboratoire de Kristen Hawkes, de l'université de l'Utah (États-Unis), confirme ce lien entre la longévité des femmes et le rôle essentiel des grands-mères : "Nous avons développé un modèle théorique d'évolution de la longévité humaine à partir de celle des grands singes, afin de vérifier que cet effet bénéfique des grands-mères suffisait à expliquer l'exceptionnelle longévité des femmes. Et il s'avère que oui !", explique la chercheuse. Dans les pays riches, où la mortalité des enfants a heureusement diminué, l'effet des grands-mères sur la survie de leurs petits-enfants n'est aujourd'hui plus notable. Mais cela ne signifie pas que les grands-mères ne leur apportent pas de nombreux autres bénéfices !

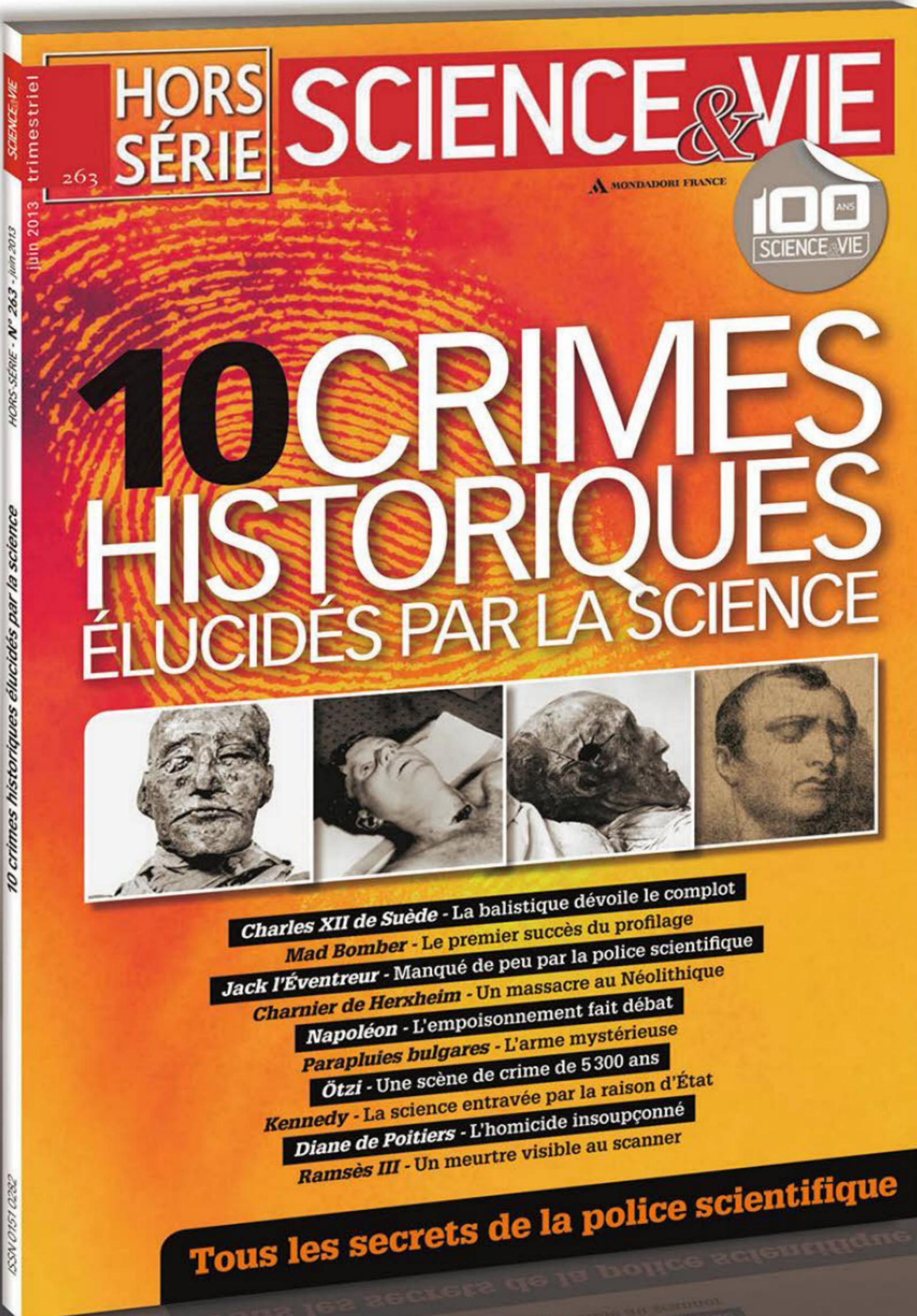
→ l'histoire singulière de cette famille, mais obéissent à des contraintes naturelles. De quoi en déduire certaines vérités générales... très intimes.

Certes, ce détour par la théorie de l'évolution, largement accepté pour expliquer les comportements de nombreuses autres espèces, n'est pas sans heurter s'agissant de rendre compte de comportements que les familles prennent soin de tenir à l'abri des regards. "La controverse reste forte autour de l'idée d'utiliser la théorie de l'évolution pour comprendre les comportements humains", constate Rufus Johnstone, anthropologue à l'université de Cambridge. Et pour cause : comment nier, par exemple, qu'aujourd'hui dans les pays riches, grâce au développement économique et technologique,

l'humain est très peu soumis à la sélection naturelle ? Les choix que nous faisons, notamment dans l'organisation de nos familles, semblent ainsi libérés des contraintes liées à la nécessité d'optimiser la survie de sa propre lignée.

Et pourtant... Les anthropologues ont remporté leur pari. En croisant de volumineuses statistiques biologiques (capacité de reproduction des mères, longévité des grands-mères...) et comportementales (Q.I. des enfants, attitude des oncles envers leurs neveux...), issues de l'étude systématique de milliers de familles, ils ont mis au jour des traits communs à de nombreuses familles se détachant de l'histoire singulière de chacune... Et ces traits ne sont autres que les secrets que chaque famille pensait à l'abri des regards, dans la sécurité du foyer. ■

# LA SCIENCE **CONTRE** LE CRIME



SCIENCE & VIE  
trimestriel  
263

juin 2013  
HORS-SÉRIE - N° 263 - juin 2013

10 crimes historiques élucidés par la science

ISSN 0157 0282

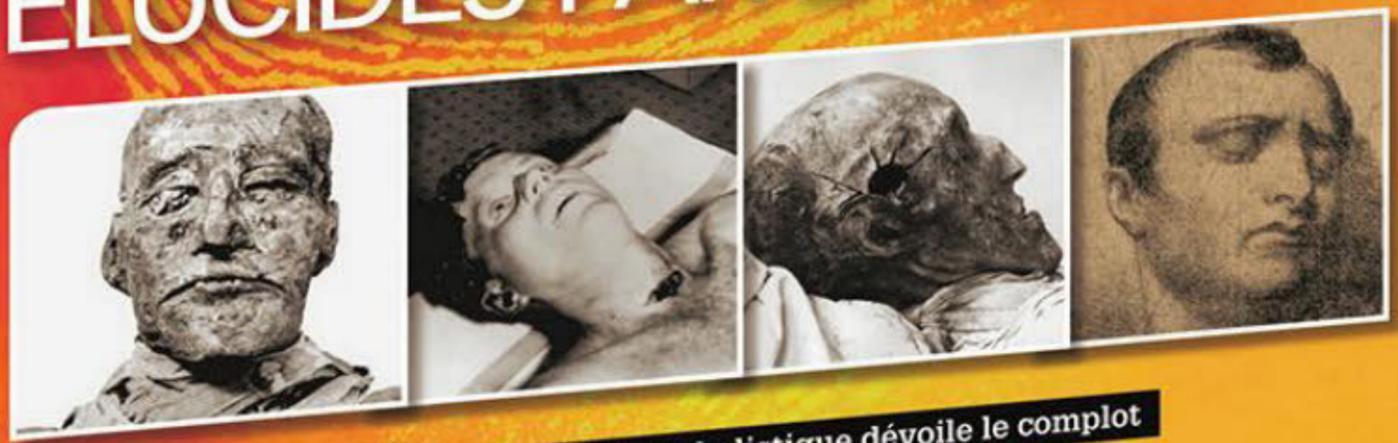
HORS  
SÉRIE

SCIENCE & VIE

MONDADORI FRANCE



# 10 CRIMES HISTORIQUES ÉLUCIDÉS PAR LA SCIENCE



**Charles XII de Suède** - La balistique dévoile le complot

**Mad Bomber** - Le premier succès du profilage

**Jack l'Éventreur** - Manqué de peu par la police scientifique

**Charnier de Herxheim** - Un massacre au Néolithique

**Napoléon** - L'empoisonnement fait débat

**Parapluies bulgares** - L'arme mystérieuse

**Ötzi** - Une scène de crime de 5 300 ans

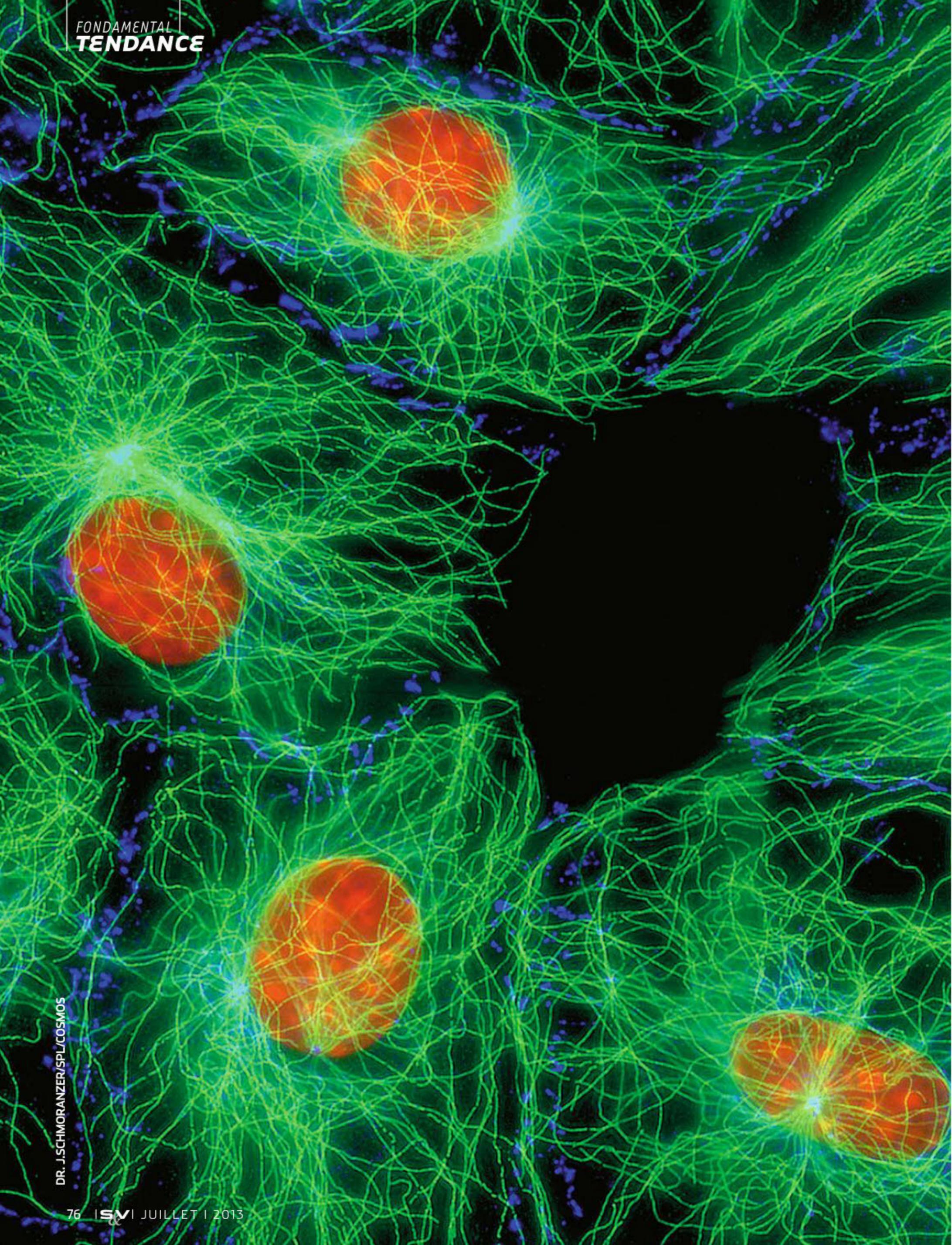
**Kennedy** - La science entravée par la raison d'État

**Diane de Poitiers** - L'homicide insoupçonné

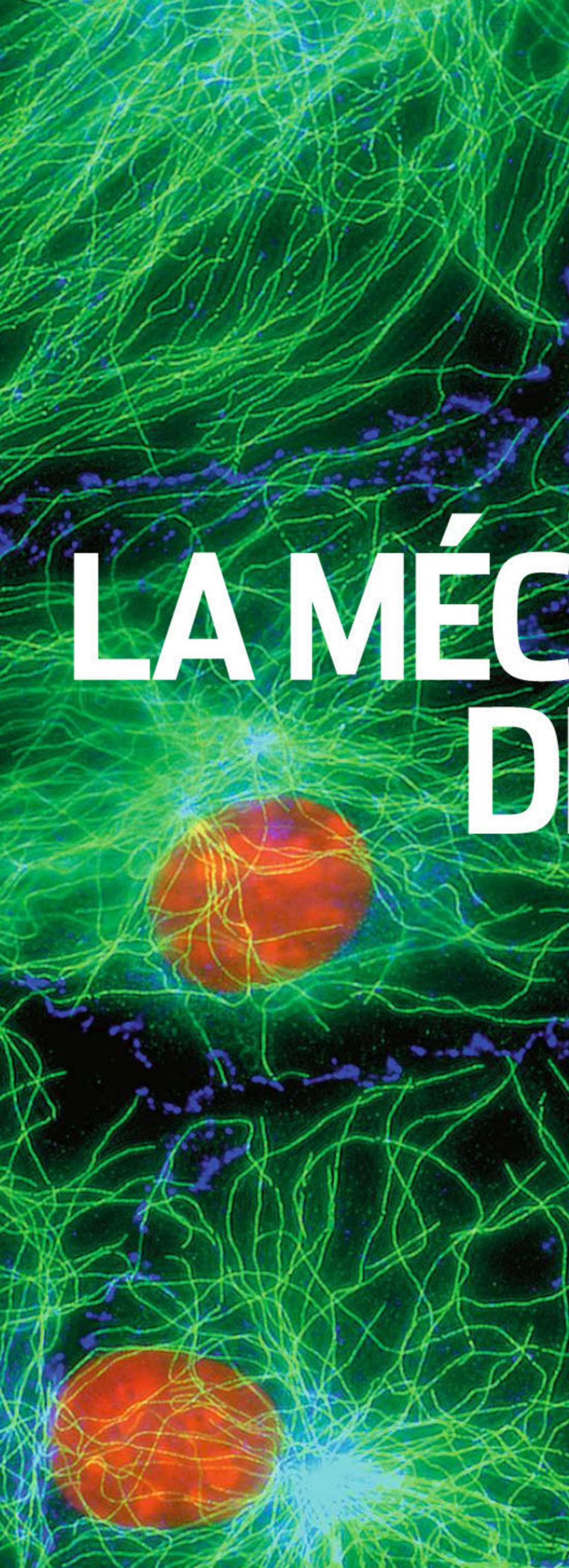
**Ramsès III** - Un meurtre visible au scanner

**Tous les secrets de la police scientifique**

**EN VENTE ACTUELLEMENT**



DR. J.SCHMORANZER/SPL/COSMOS



# LA MÉCANIQUE DE LA VIE

**QUAND LA PHYSIQUE  
ÉLUCIDE LA BIOLOGIE**

*La génétique n'est pas la seule à expliquer les phénomènes biologiques ! Des travaux montrent que le vivant n'échappe pas aux lois de la mécanique. Pressions, étirements, tensions... cellules et organismes sont façonnés par la physique. La preuve en 6 exemples.*

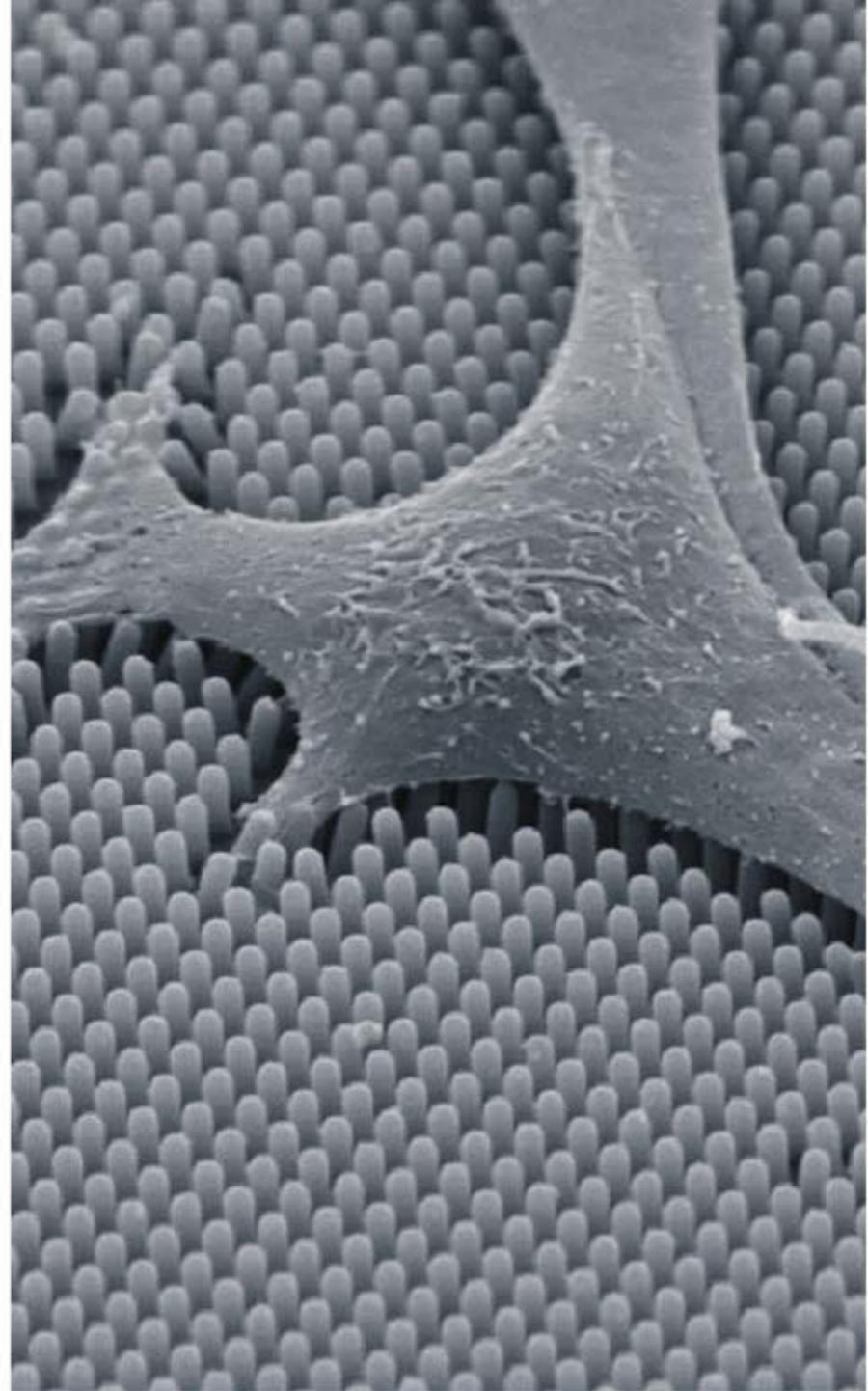
PAR ELSA ABDOUN  
ET XAVIER TERRIEN

**L**e vivant n'est pas au-dessus des lois de la physique." La remarque sonne comme une évidence dont le XIX<sup>e</sup> siècle fit, en son temps, son miel, et pourtant... "Tout au long du XX<sup>e</sup> siècle, on a cru que les phénomènes biologiques étaient tellement raffinés que les lois de la physique ne pouvaient pas les expliquer", poursuit Vincent Fleury, biophysicien à l'université Paris Diderot-Paris-VII. Aujourd'hui, à l'aube du troisième millénaire, et après un siècle passé à se regarder en chiens de faïence, les sciences de la vie et la physique se réconcilient enfin. Des phénomènes biologiques toujours plus nombreux, allant du développement embryonnaire à la cancérisation, se révèlent dirigés par des forces mécaniques. Trouvant à la lumière de la physique un éclairage nouveau, qui permet de comprendre ce que la biochimie et la génétique, seules, ne parvenaient pas à élucider.

B.LADOUX CNRS, ADAPTE DE SAEZ ET AL., BIOPHYSICAL JOURNAL - L52 - L54 2005@ELSEVIER - ICBMC - DR

#### UNE INTUITION VIEILLE D'UN SIÈCLE

C'est un fait indubitable : les forces sont partout dans l'organisme. Contraintes, frottements, ruptures, contractions... Chaque tissu, chaque cellule, chaque molécule y est confronté, et en produit en retour. Comment cette omniprésence de tensions, de pressions, d'étirements et d'écrasements pourrait-elle n'avoir aucune incidence sur la physiologie des organismes ? Cette remarque de bon sens a longtemps fait loi. Ainsi, "au tournant du XX<sup>e</sup> siècle, la mécanique était encore très dominante en biologie", raconte Matthieu Piel, biophysicien



à l'Institut Curie. Une tendance qu'illustre en 1917 le célèbre ouvrage de D'Arcy Thompson, *Forme et croissance*, dans lequel le savant écossais rapprochait des formes biologiques de phénomènes physiques, en comparant par exemple l'aspect des méduses à celui des chutes de gouttes d'eau.

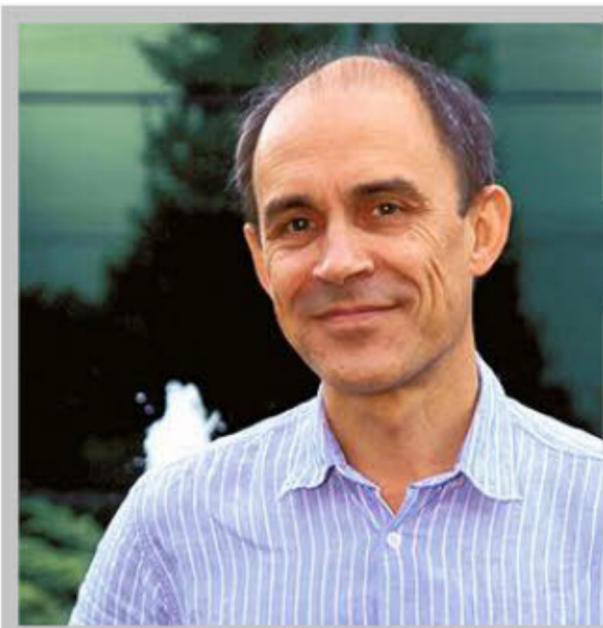
Le développement extraordinaire de la génétique et de la biologie moléculaire au cours du dernier siècle a cependant rapidement éclipsé les réflexions intuitives de ce brillant scientifique. Car s'impose alors l'idée que les processus biologiques sont les parfaits produits d'un programme génétique tout-puissant, totalement hermétique à son environnement physique. L'influence des forces mécaniques n'est reconnue que pour quelques phénomènes globaux, tels que la croissance des os, la formation des rides de la peau ou la courbure des arbres exposés au vent. Le reste est expliqué uniquement par des successions de réactions biochimiques entre molécules.

Le champ d'influence réel des forces ne redeviendra d'actualité qu'à partir des années 1990. A cette époque, en effet, plusieurs facteurs se conjuguent pour remettre la

#### MICHEL LABOUESSE

INSTITUT DE GÉNÉTIQUE ET DE BIOLOGIE  
MOLÉCULAIRE ET CELLULAIRE,  
ILLKIRCH (BAS-RHIN)

**Les biologistes  
vont devoir se mettre  
à la physique s'ils  
ne veulent pas  
être dépassés !**





<▲ Les cellules sont elles-mêmes sources de forces physiques : ici, des micropiliers flexibles mesurent la force exercée par cette cellule qui s'accroche à son support en tirant dessus.



**DONALD INGBER**

INSTITUT WYSS POUR L'INGÉNIERIE  
BIO-INSPIRÉE, HARVARD

**L'environnement physique influence la différenciation, la prolifération et même la survie des cellules**

physique sur le devant de la scène. A commencer par la découverte de molécules permettant aux cellules de se contracter et de s'étirer, donc d'exercer des forces. Mais aussi par la mise au jour, complémentaire, de molécules sensibles aux forces mécaniques, qui peuvent en réaction à ces dernières envoyer, à l'intérieur des cellules, des signaux chimiques modulant l'expression des gènes.

### DÉPASSER LE SEUL CODE GÉNÉTIQUE

Des avancées qui tombent à pic, alors que la génétique entre dans une impasse. Malgré le séquençage de génomes entiers et l'identification de nombreux gènes, les biologistes commencent en effet à réaliser qu'ils sont encore très loin de percer tous les secrets du vivant. Et que le code génétique n'en détient pas toutes les clés : il faut les chercher ailleurs. Or, *"l'amélioration des techniques de microscopie, combinée à l'usage de protéines fluorescentes, permet enfin de suivre des processus en continu"*, raconte Michel Labouesse, chercheur à l'Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire d'Illkirch (Alsace). Visualiser des phénomènes mécaniques devient donc aisé.

### IL L'A DIT

*"Une profonde réticence l'empêche [le zoologiste] de comparer l'inanimé au vivant, ou de faire intervenir la géométrie ou la mécanique dans l'explication de ce qui touche au mystère de la vie"*, écrivait le biologiste écossais **D'Arcy Thompson** en 1917. Il aura fallu près d'un siècle pour que les choses changent et que la physique puisse, enfin, offrir de nombreuses découvertes à la biologie.

Les découvertes ne se font pas attendre. Dans les années 1990, Donald Ingber, l'un des pionniers de cette "mécanobiologie" naissante, démontre pour la première fois, dans son laboratoire de Harvard, que l'environnement physique des cellules – rigidité du support, contraintes spatiales, pression... – est déterminant pour ces dernières. *"Il influence non seulement leur différenciation, mais aussi leur prolifération, et même leur survie"*, raconte le chercheur, dont les découvertes ont depuis été maintes fois confirmées. Ainsi, selon la plus ou moins grande rigidité du milieu dans lequel elles baignent, les mêmes cellules peuvent se différencier en neurones, en cellules musculaires ou en cellules graisseuses. Et, sous la pression, certaines se mettent à proliférer tandis que d'autres meurent.

Ces effets biologiques produits par des forces physiques ont des conséquences énormes au niveau de l'organisme. Comme l'illustre l'expérience faite en 2003 par Emmanuel Farge, biophysicien à l'Institut Curie : en exerçant une légère pression sur la partie dorsale d'embryons de mouches, le chercheur y a provoqué la formation... d'un deuxième tissu →

→ ventral ! Dans des conditions naturelles, si le ventre apparaît dans la partie inférieure de l'embryon, ce n'est donc pas du fait de l'expression de gènes particuliers, mais simplement grâce à la force de compression exercée par la prolifération cellulaire.

Ces cinq dernières années, de telles découvertes des rouages mécaniques de la vie se sont accumulées à une vitesse croissante, révélant l'extraordinaire variété de leurs effets sur le développement des organismes (voir modules). Et de nombreuses surprises attendent probablement encore les chercheurs en quête de ces véritables "forces vitales". "Je suis sûr qu'on est loin d'avoir mesuré à quel point c'est important", parie Michel Labouesse.

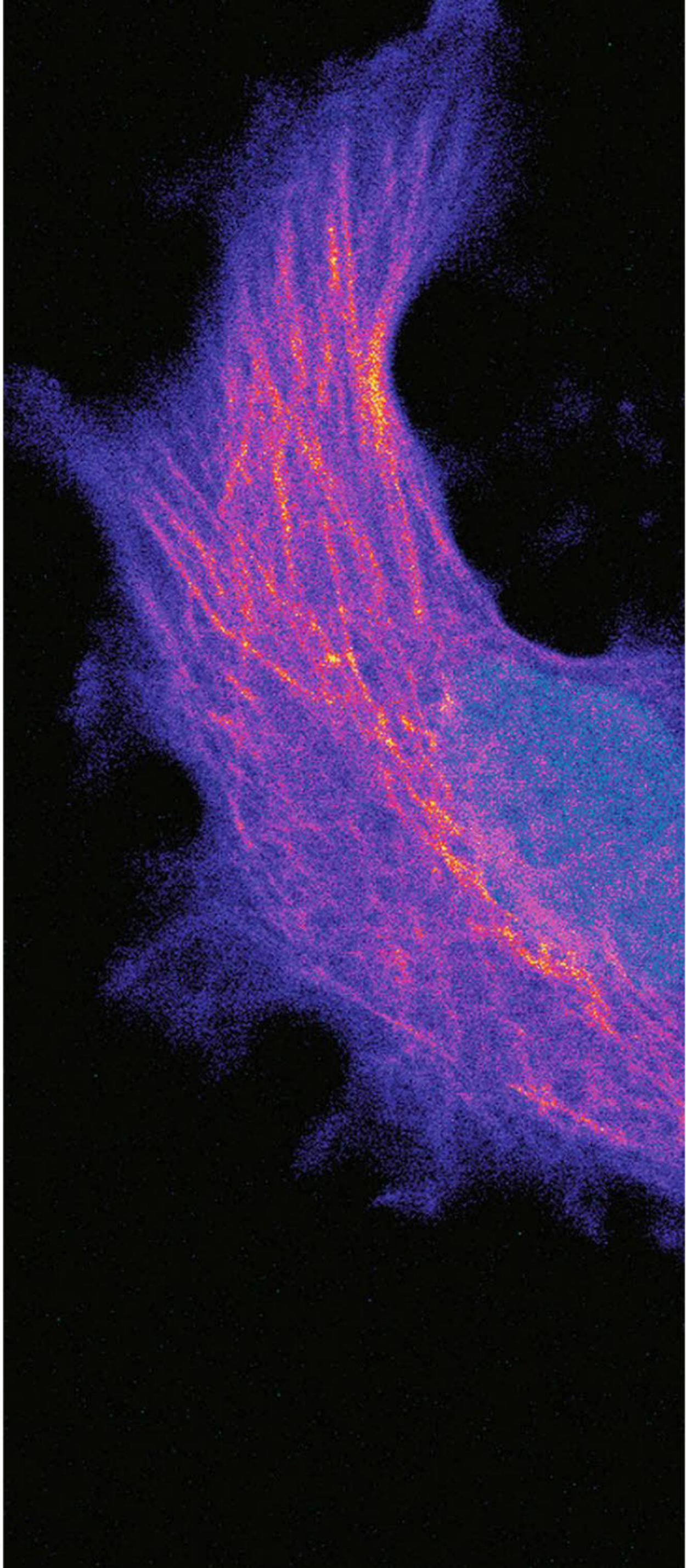
### DEUX DISCIPLINES COMPLÉMENTAIRES

Le mouvement ne fait en tout cas que s'amplifier. "De plus en plus de physiciens veulent devenir biologistes", affirme Matthieu Piel. "Aujourd'hui, la majorité des physiciens, à Paris, fait de la biologie", confirme Bruno Andreotti, lui-même physicien spécialiste de la morphogenèse à l'université Paris Diderot-Paris-VII. "Tous les problèmes intéressants en physique, en ce qui concerne les phénomènes visibles à l'œil nu, se rattachent de près ou de loin à la biologie", explique-t-il. Cette dernière a tout à gagner de cet afflux de nouveaux cerveaux. "La physique permet d'expliquer de nombreux phénomènes que l'on ne comprenait pas", s'enthousiasme Donald Ingber. Face à un tel mouvement de fond, les biologistes n'ont pas vraiment le choix... "Ils devront se mettre à la physique s'ils ne veulent pas être dépassés!", prévient Michel Labouesse.

Le vivant, qui semblait si familier aux biologistes, se révèle à présent sous un jour totalement nouveau. En se focalisant sur les frottements entre cellules, sur la compression exercée par les fluides qui les entourent ou sur les tensions que les cellules appliquent elles-mêmes au niveau de leurs connexions, les physiciens apportent de nouvelles perspectives sur la manière dont les organismes se déploient dans l'espace et dans le temps, complétant enfin la vision développée par les spécialistes de la biologie moléculaire. Grâce au mariage de la mécanique et de la génétique, les formes et les couleurs ont beau rester les mêmes... ce n'est plus tout à fait la même vie qui nous est donnée

à voir, à travers le microscope.

**E.A.**





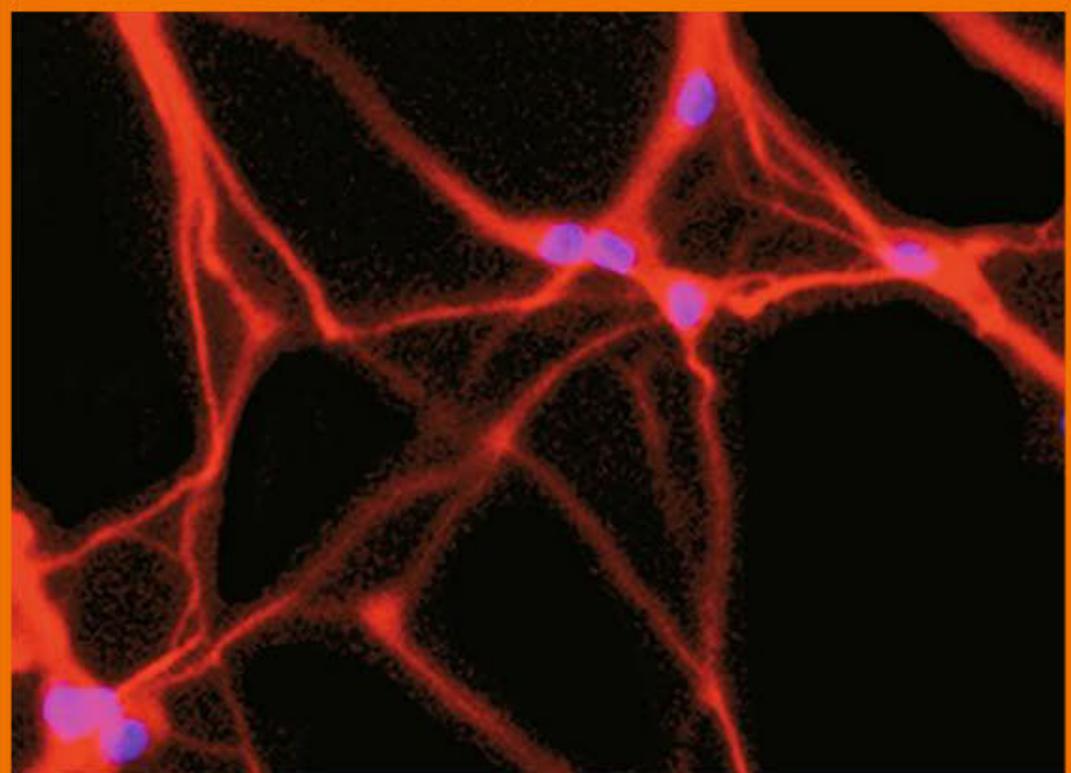
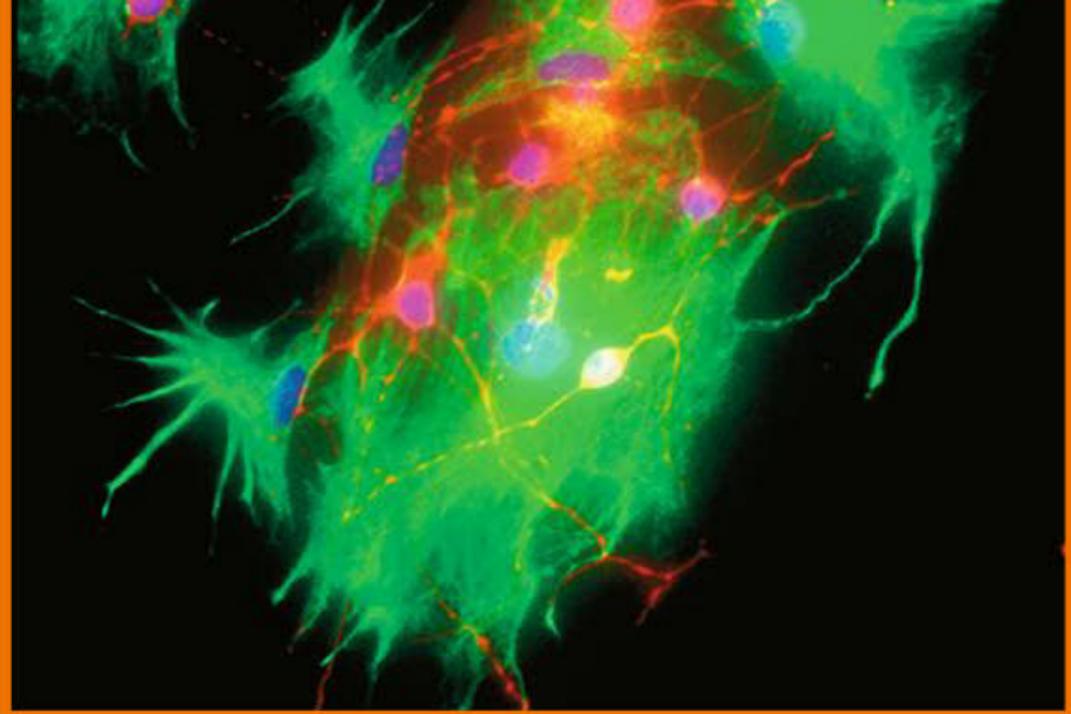
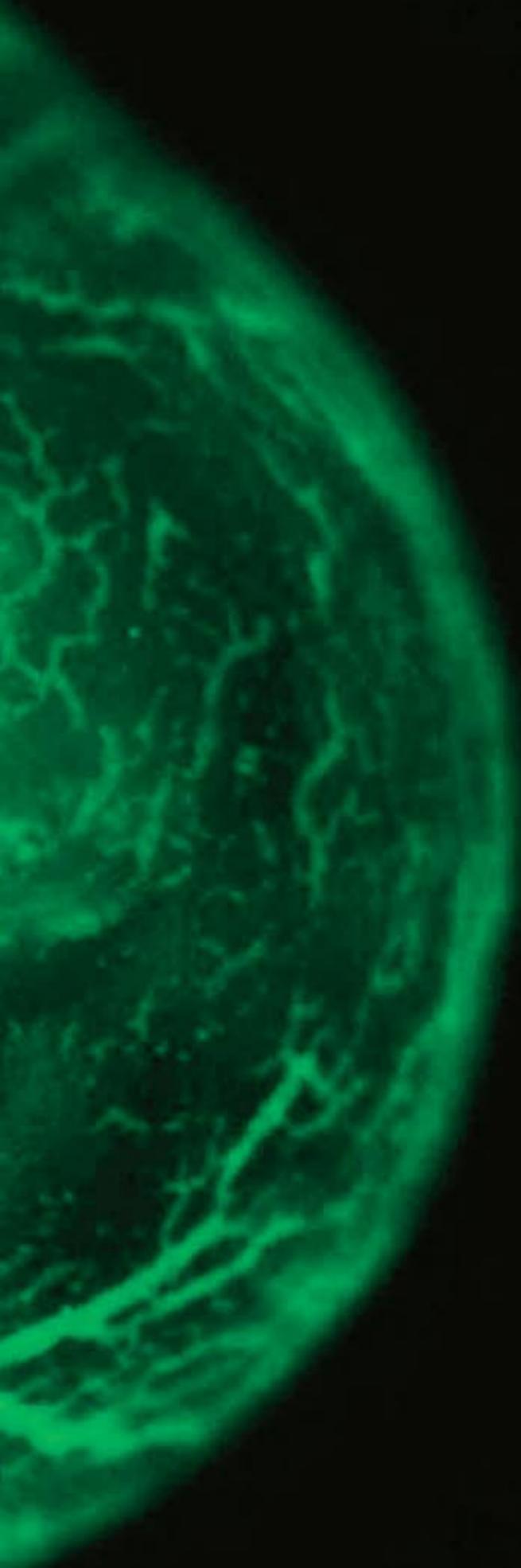
## La tension régule la division cellulaire

Issues de la division d'une cellule mère, ces deux cellules filles tirent de toutes leurs forces sur le dernier lien qui les unit... afin de rester accrochées ! C'est l'étonnante découverte que vient de publier l'équipe de Matthieu Piel, à l'Institut Curie (Paris). "Au départ, je pensais que le pont, la dernière jonction entre deux demi-cellules sur le point de se séparer, se rompait comme un élastique : à cause de la tension, explique le biophysicien. En fait, le phénomène est inverse." Des gels remplis de billes fluorescentes ont permis d'observer les forces à l'œuvre : la tension exercée sur le pont empêche sa rupture en inhibant l'action de "ciseaux" internes, des molécules capables de couper le lien de l'intérieur. "On ne s'attendait pas à voir ces ciseaux moléculaires fonctionner après la disparition de la tension", s'enthousiasme le chercheur. Les cellules filles éviteraient ainsi d'endommager leurs tissus par un violent effet élastique. "C'est contre-intuitif mais, tant qu'elles tirent, les cellules peuvent se rassembler et empêcher la division." La mécanique révèle le secret d'une rupture réussie : c'est quand la tension se relâche que la division peut avoir lieu. X.T.

## *Les frottements de fluides dessinent les vaisseaux sanguins*

Les vaisseaux sanguins de cet embryon de souris sain (marqués par des protéines fluorescentes en vert) se forment et se remodelent grâce à la seule puissance de l'écoulement. En comparant, en 2007, des embryons de souris sains et des embryons mutants ayant une très faible circulation sanguine, des chercheurs américains ont constaté que les vaisseaux ne se forment pas en l'absence de pression sanguine. L'équipe a ensuite remplacé le sang par un liquide ayant la même viscosité, mais pas de cellules sanguines : les vaisseaux se sont développés normalement. Conclusion : "Seule la force

*physique exercée par le sang en mouvement permet de façonner le réseau", assure Mary Dickinson, qui a dirigé les expériences. "Le sang lui-même n'est pas utile, martèle la scientifique. La circulation de globules rouges est nécessaire, non pas parce qu'ils transportent de l'oxygène et délivrent des signaux chimiques, mais uniquement parce qu'ils déforment les cellules qui constituent la paroi interne des vaisseaux." La vie utilise parfois des stratagèmes d'une simplicité déconcertante pour arriver à ses fins : elle laisse à la mécanique des fluides le soin de dessiner les vaisseaux sanguins. X.T.*



## ***La rigidité du milieu sélectionne les cellules***

A priori, rien de commun entre ces deux photos. Pourtant, elles montrent les deux destins d'un même groupe de cellules. La seule différence ? La rigidité du milieu sur lequel elles reposent, qui se révèle donc un facteur essentiel de sélection des cellules. C'est ce qu'a démontré, en 2006, une équipe de l'université de Pennsylvanie (Etats-Unis), en cultivant les deux principales cellules du cerveau, neurones (en rouge) et astrocytes (cellules protectrices des neurones, en vert), sur des gels simulant la souplesse d'un cerveau sain ou la rigidité d'un cerveau atteint de lésions. Résultats : plus le support est rigide (en haut), plus il est envahi par les astrocytes ; à l'inverse, plus il est souple (en bas), plus les neurones se développent. *"La force exercée par une cellule sur son support varie selon la rigidité du milieu, et cette différence détermine sa croissance et sa différenciation"*, explique Paul Janmey, auteur de l'étude. Le programme de développement des cellules n'est donc pas confié à la seule biochimie : une partie est prise en charge par la physique des matériaux. X.T.



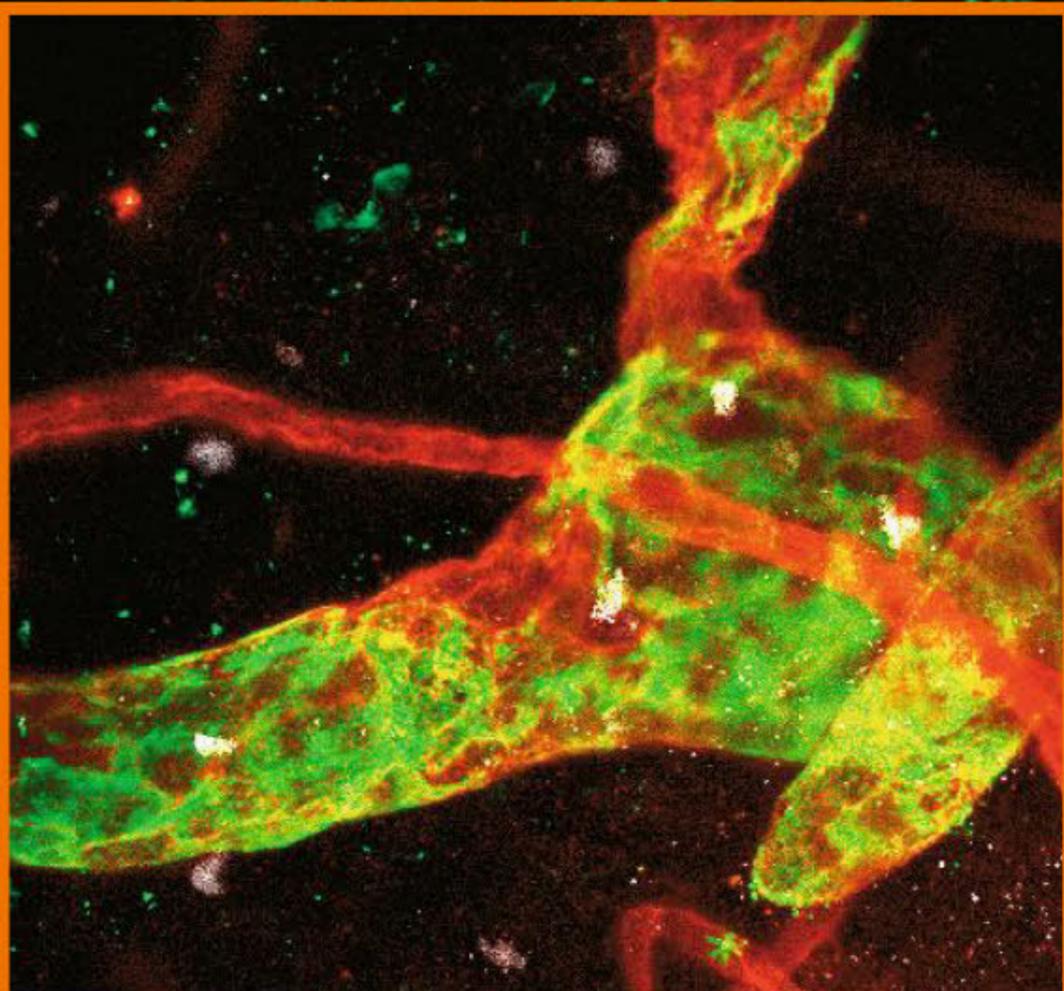


## **L'étirement des axones sculpte les réseaux neuronaux**

*"Cette image montre bien la force que peuvent exercer les neurones", s'enthousiasme Amir Ayali, de l'université de Tel Aviv (Israël). Le neurone (à droite) tire tellement fort... qu'il en arrache une touffe de nanotubes de carbone de leur socle (à gauche)! Par ce dispositif expérimental, le chercheur a pu mettre en évidence, il y a trois ans, l'importance des forces d'étirement dans le développement des réseaux de neurones. Car, lorsque les axones – les fibres nerveuses qui conduisent les messages – s'accrochent, que ce soit aux nanotubes de carbone ou à d'autres neurones, ils exercent immédiatement une tension qui permet de tester la résistance de la connexion. Ainsi, quand les neurones ont développé plusieurs connexions, les plus résistantes sont conservées, tandis que les autres sont éliminées. "C'est une*

*toute nouvelle manière d'envisager le développement des réseaux neuronaux, puisqu'on pensait jusqu'à présent que seuls les messages chimiques échangés au niveau des synapses déterminaient l'avenir des connexions neuronales", s'enthousiasme Amir Ayali. Ce regard neuf, le biologiste reconnaît qu'il le doit à Yael Hanein, son collègue physicien: "Au départ, Yael était intéressé par l'étude des réseaux de neurones d'un point de vue d'ingénieur, pour comprendre l'organisation de systèmes, la génération de motifs répétés... Ce n'est que plus tard que nous nous sommes aperçus de la signification biologique de notre découverte." Tel est donc le secret de la cognition: avant de pouvoir être régulièrement empruntés, les chemins de la pensée s'assurent bien de reposer sur des connexions stables...*

**E.A.**

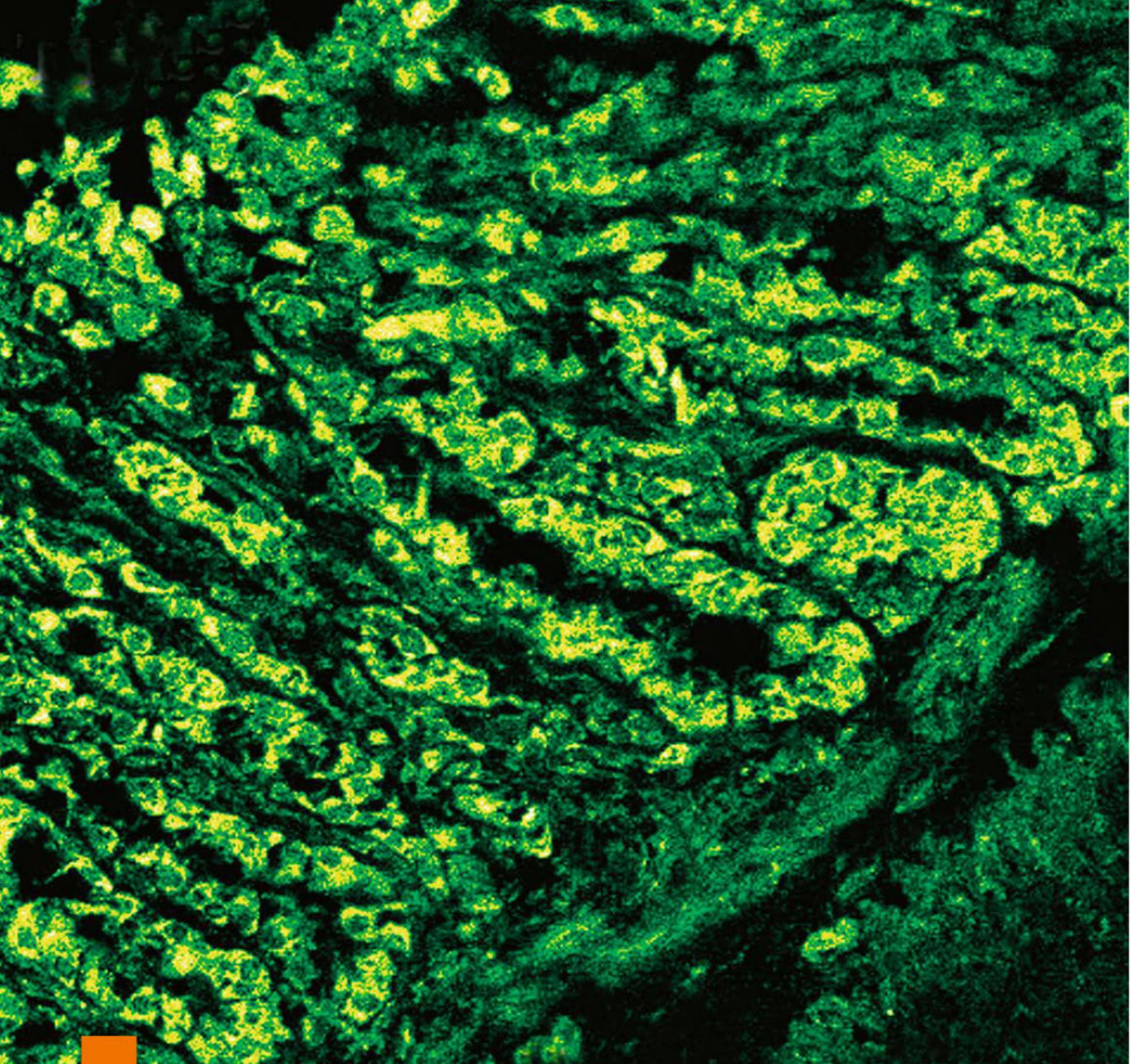


### **La compression des fluides étend les vaisseaux lymphatiques**

La mécanique est bien huilée : plus du liquide s'accumule entre nos cellules, plus les vaisseaux servant à son évacuation (ici, en vert et rouge) gonflent et s'allongent. C'est ce qu'a montré, il y a deux ans, une équipe de l'université Heinrich-Heine de Düsseldorf (Allemagne) en étudiant les vaisseaux lymphatiques, chargés d'évacuer l'excès de liquide dans lequel baignent nos cellules, sur un embryon de souris. Lorsque la pression exercée par le fluide autour des vaisseaux augmente, ces derniers l'absorbent et gonflent. Ce qui étire des cellules internes chargées de leur expansion, lesquelles activent une molécule qui les aide à se renforcer et se diviser (noyaux blancs sur la photo). Or, plus elles sont nombreuses... plus les vaisseaux s'allongent ! *"La pression, dont nous avons démontré le rôle, est la première explication biophysique de la formation des vaisseaux lymphatiques"*, commente Lara Planas-Paz, l'une des auteurs de l'étude. Des tuyaux qui grandissent à mesure qu'augmente le flux des déchets... Grâce à cette incroyable sensibilité des cellules à la pression, notre organisme est traversé de réseaux adaptés à ses besoins. Tout naturellement. Ou plutôt, tout physiquement.

X.T.

MAX PLANCK INST. FOR HEART & LUNG RESEARCH - INSTITUT CURIE



## **La pression participe au développement des cancers**

Dans un côlon de souris légèrement comprimé (à droite), la concentration de la protéine "myc" (en jaune), qui favorise les cancers, explose. La preuve que, si les forces physiques régulent les processus physiologiques, elles peuvent aussi les déréguler. Emmanuel Farge, physicien aujourd'hui spécialiste du développement de l'embryon et de la cancérisation, l'a montré, en 2008, pour un type particulier de cancer du côlon. A l'Institut Curie, il a étudié des côlons de souris porteuses d'une mutation (à l'origine, chez l'homme, d'une forme héréditaire de ce cancer). Une légère pression sur ces tissus, équiva-

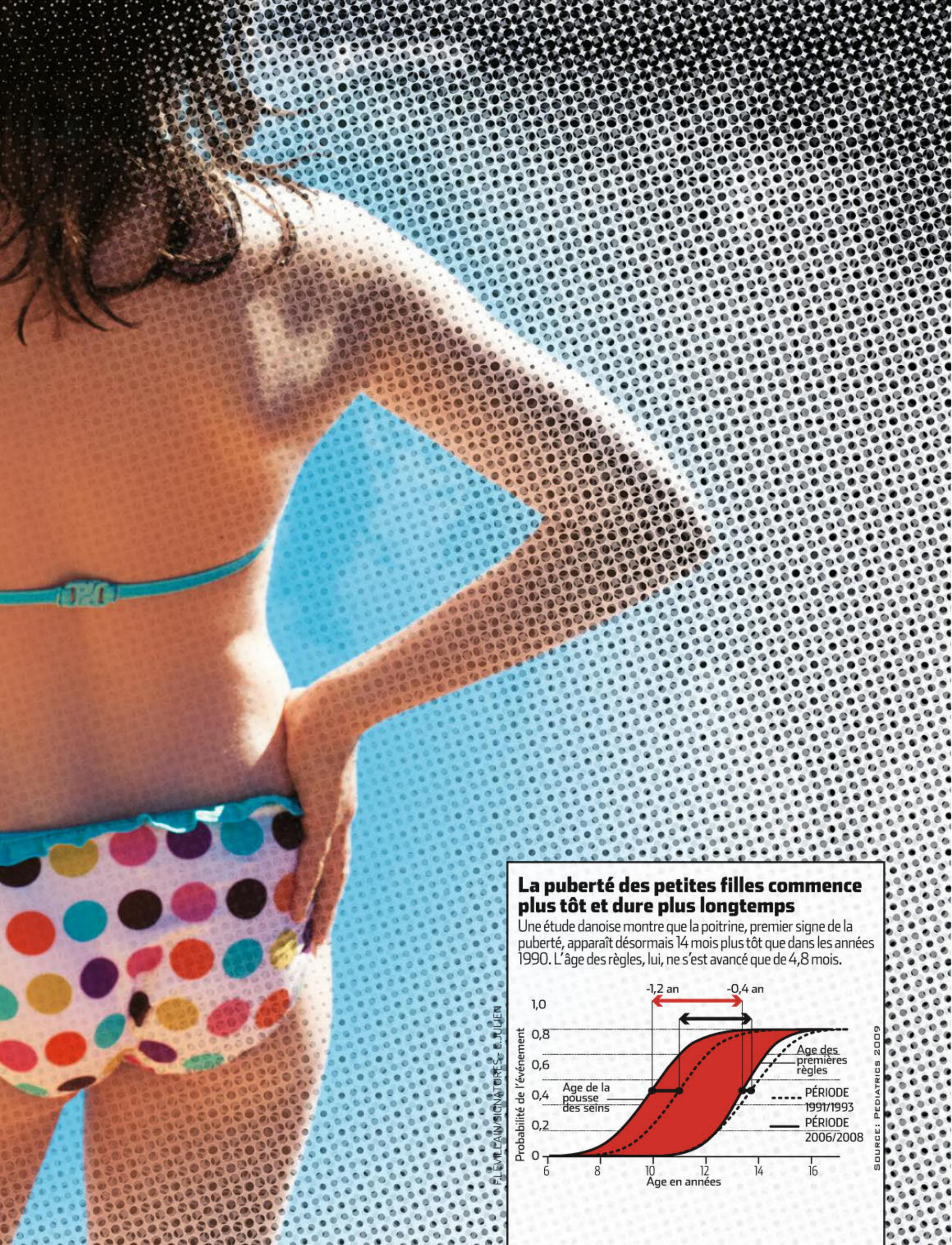
lente à celles pouvant se produire naturellement lors du transit intestinal, provoque systématiquement l'expression de gènes qui favorisent la prolifération anarchique des cellules, caractéristique des cancers. Aujourd'hui, le rôle des forces de pression est confirmé dans de nombreux autres cancers. "Cela permet d'envisager de nouveaux traitements, basés sur le blocage du signal de pression mécanique envoyé aux cellules, et non plus juste sur des messages biochimiques", explique Emmanuel Farge. Voilà que la physique permet maintenant, aussi, d'inventer de nouveaux médicaments... E.A.

## Dérèglement hormonal

# LA PUBERTÉ N'EST PLUS CE QU'ELLE ÉTAIT

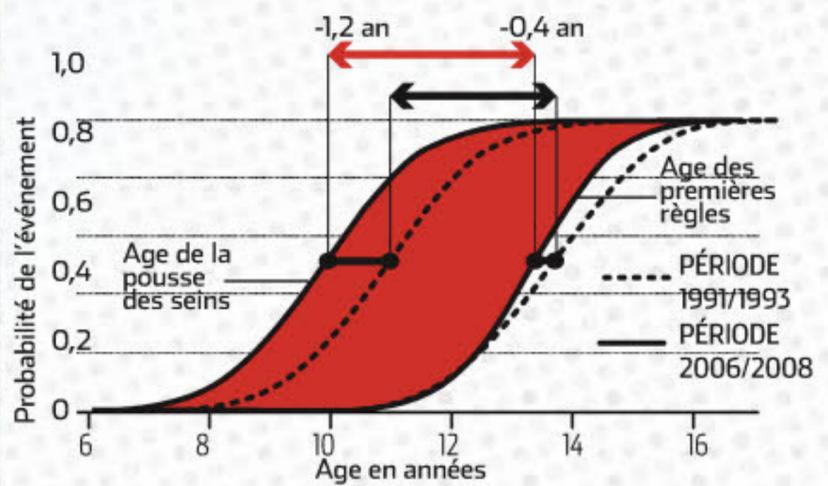
*Des petites filles qui ont des seins dès l'âge de 7 ans : le phénomène ne cesse de prendre de l'ampleur. Pour autant, les études montrent que l'âge des premières règles varie peu, dévoilant qu'il s'agit-là d'un dérèglement hormonal bien particulier. Lequel ne serait pas sans conséquence : il augmenterait le risque de cancer du sein. En cause ? Deux maux bien connus : l'obésité et les perturbateurs endocriniens...*

PAR CORALIE HANCOK



## La puberté des petites filles commence plus tôt et dure plus longtemps

Une étude danoise montre que la poitrine, premier signe de la puberté, apparaît désormais 14 mois plus tôt que dans les années 1990. L'âge des règles, lui, ne s'est avancé que de 4,8 mois.



**A**ppelons-la Anaïs. A l'âge de 7 ans, alors que sa mère l'aidait à s'habiller, elle a remarqué quelque chose d'étrange, quelque chose qui n'aurait dû arriver que plusieurs années plus tard: Anaïs commençait à avoir de la poitrine. A l'âge de raison! Anaïs était-elle rattrapée par cette espèce d'épidémie de "puberté précoce" dont, ces dernières années, les médias ont rapporté tant de cas? Pas exactement. Certes, Anaïs avait de la poitrine plus tôt que la moyenne de ses petites camarades, mais elle a eu ses règles à 12 ans, un âge, cette fois, tout à fait dans la "norme".

Le déroulement classique de la puberté, tel qu'il est enseigné en faculté de médecine, prévoit que le développement des seins n'intervient pas avant 8 ans, mais précède de deux à trois ans l'apparition

## LA PUBERTÉ, UNE HISTOIRE FAMILIALE

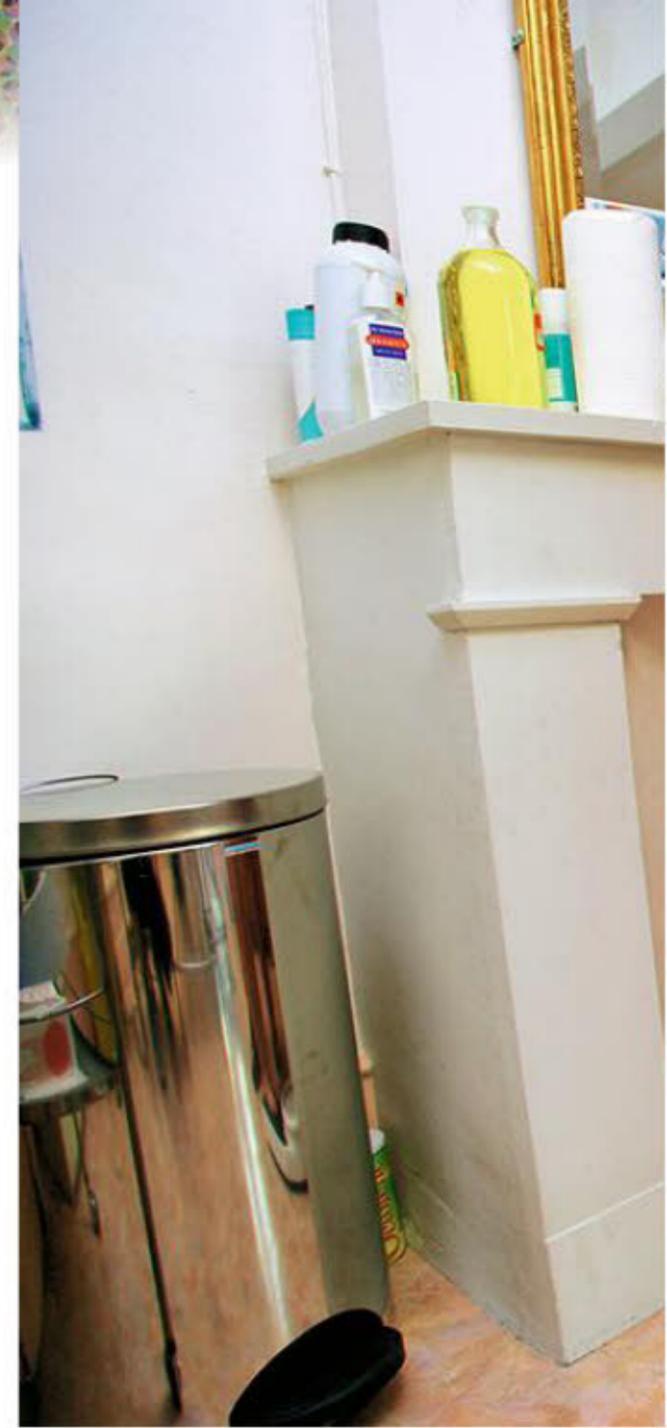
De nombreuses études épidémiologiques le suggèrent: le déroulement de la puberté est aussi influencé par le contexte psychosocial. Stress, faibles revenus, conflits familiaux et absence du père biologique sont ainsi associés à une avance de la puberté. Une étude menée en 2005 aux Etats-Unis a ainsi montré que les fillettes grandissant dans un foyer sans père ont deux fois plus de chance d'être réglées avant 12 ans que celles dont le père est présent. Les mécanismes physiologiques impliqués sont encore inconnus, mais une hypothèse existe: celle qu'ils résulteraient d'un processus évolutif d'évitement de la consanguinité.

des premières règles... contre près de cinq ans dans le cas d'Anaïs. Autrement dit, si les premiers signes de sa puberté ont effectivement été avancés, celle-ci a finalement duré plus longtemps. Or, ce bouleversement dans le déroulement de la puberté concernerait de plus en plus de jeunes filles. Même si le constat n'est pas encore admis par tous, un nombre croissant de spécialistes s'inquiètent: non pour des raisons normatives, mais parce qu'une croissance précoce de la poitrine augmente sensiblement les risques de futurs cancers du sein.

### UNE ÉPIDÉMIE MÉDIATIQUE ?

Tout a commencé en 1997 aux Etats-Unis: les travaux de Marcia Herman-Giddens (université de Caroline du Nord) font la une des journaux. Après avoir analysé des données collectées auprès de plus de 17 000 petites Américaines, la chercheuse a découvert avec stupéfaction qu'à l'âge de 7 ans, près de 7 % des petites filles blanches avaient déjà de la poitrine et/ou des poils pubiens. Une proportion qui dépasse les 27 % chez certaines populations (souvent pauvres et noires). "Autrement dit, chez celles-ci, plus d'un quart des petites filles ont déjà entamé leur puberté à 7 ans, souligne la chercheuse. Au moins un an avant l'âge considéré comme normal."

La machine médiatique s'emballa. Un peu partout dans le monde, on se focalise sur des cas extraordinaires de puberté précoce, c'est-à-dire de jeunes filles entièrement formées ayant leurs règles à un âge très précoce. Les rares études effectuées indiquent pourtant que ces cas sont très exceptionnels. Ainsi, au Danemark, Grete Teilmann et Anders Juul (université de Co-



penhague) ont mené l'une des seules études épidémiologiques au monde basées sur des registres nationaux. Entre 1993 et 2001, ils n'ont pas recensé plus de 70 cas de puberté précoce par an (soit 0,2 % des petites Danoises et moins de 0,05 % des petits Danois). Jean-Claude Carrel, du service d'endocrinologie pédiatrique à l'hôpital Robert-Debré, à Paris, parle d'"épidémie médiatique": "Dans ma pratique de clinicien, je n'ai pas constaté d'épidémie de puberté précoce. Et si leur nombre paraît augmenter, c'est surtout parce que l'on a tendance à confondre la vraie puberté précoce avec un phénomène nouveau qui, lui, s'accroît: l'arrivée précoce des premiers signes pubertaires, c'est-à-dire la poussée des seins."

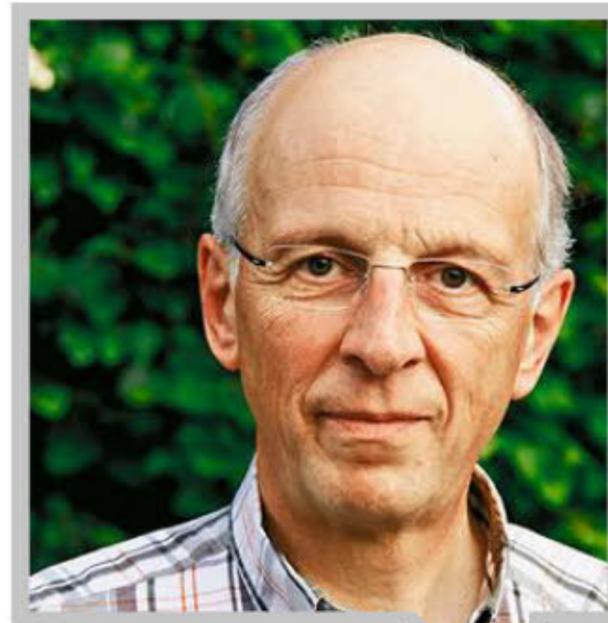
Ainsi, alors que la crainte des pubertés dites précoces occupait tous les médias, le



**MARCIA HERMAN-GIDDENS**

CHERCHEUSE EN SANTÉ PUBLIQUE,  
UNIVERSITÉ DE CAROLINE DU NORD (ÉTATS-UNIS)

*Dans certaines populations, plus d'un quart des petites filles ont déjà entamé leur puberté à 7 ans*



**JEAN-PIERRE BOURGUIGNON**

PÉDIATRE ENDOCRINOLOGUE  
AU CHU DE LIÈGE (BELGIQUE)

*Si on regarde les choses globalement, on constate que c'est tout le timing de la puberté qui est en réalité modifié*

▲ Les médecins ne constatent aucune "épidémie de puberté précoce", mais plutôt un allongement de la puberté dû à une poussée des seins qui intervient plus tôt.

phénomène de puberté "allongée" était, lui, passé sous silence... Mais les choses bougent, notamment grâce aux travaux de Jean-Pierre Bourguignon.

### DEUX SIÈCLES D'ÉVOLUTION

Ce pédiatre endocrinologue au CHU de Liège (Belgique) est l'un des spécialistes mondiaux du sujet. "Si on regarde les choses plus globalement, on se rend compte que c'est tout le timing de la puberté qui est en réalité modifié, affirme-t-il. L'âge moyen de développement mammaire survient plus tôt, mais la même tendance n'est pas observée pour les règles." Quant aux cycles ovulatoires, c'est-à-dire le moment où la jeune fille a des cycles fertiles, ils semblent paradoxalement apparaître de plus en plus tard.

En 2002, le suivi de plusieurs cohortes de femmes a ainsi montré que plus de 20 % d'entre elles, nées dans les années 1946-1950, avaient des cycles réguliers cinq ans après leurs premières règles, contre moins de 10 % chez celles nées entre 1925 et 1930. Même s'il est difficile de dire si cette tendance s'est confirmée par la suite en raison de l'utilisation de la contraception hormonale, il est probable que ce soit le cas.

Dans les faits, ce bouleversement s'est produit en deux temps. D'abord un abaissement généralisé de l'âge moyen de la puberté entre le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et le milieu du XX<sup>e</sup>. Ainsi, en un siècle, l'âge moyen de la ménarche (les premières règles) chez les Européennes du Nord est passé de 16-17 ans à environ 13 ans. Curieusement, →

DR P. MARAZZI/SPL/COSMOS - GARO/PHANIE - D. SEARS, UNIV. OF NORTH CAROLINA - DR



## GÉRARD LASFARGUES

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE, AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DE L'ALIMENTATION, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TRAVAIL

**Les effets concrets du bisphénol A sur la puberté précoce ont été démontrés chez l'animal**

→ depuis les années 1950, ce seuil s'est ensuite stabilisé dans la plupart des pays occidentaux. En revanche, l'âge moyen auquel les petites filles commencent à avoir de la poitrine a, lui, continué de baisser. Aux Etats-Unis, l'étude de Marcia Herman-Giddens montre qu'en 1997 cet âge moyen était légèrement en dessous de 10 ans, contre 11 ans au début des années 1970. Entre 1991 et 2006, des études danoises ont également révélé un même avancement de plus d'un an, alors que, dans le même temps, l'âge des premières règles ne perdait que quatre mois environ.

### DES PISTES QUI SE CONFIRMENT

Pour expliquer les premières modifications au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, il suffit d'invoquer l'amélioration des conditions socio-économiques, et plus particulièrement celle du régime alimentaire. Pour preuve: dans les pays pauvres ou en voie de développement, les jeunes filles issues de milieux aisés ont leurs règles à peu près au même âge que dans les pays occidentaux. Mais leurs compatriotes issues de milieux défavorisés, souvent victimes de carences alimentaires, les ont, elles, plus d'un an après. En cause, les tissus adipeux qui transforment

les hormones androgènes en œstrogènes et sécrètent également de la leptine.

La leptine est une hormone qui agit comme un facteur permissif de la puberté: en son absence (chez des souris génétiquement modifiées ou chez les rares patients déficients), la maturation sexuelle ne se fait pas. On sait même depuis peu que le taux de leptine et le taux de masse grasse sont fortement corrélés: chaque augmentation de 1 ng/ml de leptine serait même associée à un déclin de l'âge des premières règles d'un mois. Ainsi donc, pour certains scientifiques, les bouleversements récents de la puberté seraient le résultat de l'épidémie d'obésité qui frappe les pays occidentaux depuis plusieurs dizaines d'années. Ce qui expliquerait pourquoi le phénomène touche, aux Etats-Unis, davantage les enfants pauvres et noirs, plus exposés au surpoids.

Pourtant, cette explication ne suffit pas. Car il existe des exceptions troublantes. Comme ces jeunes Américaines d'origine hispanique, elles aussi bien plus souvent touchées par l'obésité que les Américaines d'origine caucasienne, mais qui ne souffrent pourtant pas plus souvent de signes de puberté avancée. Mettant donc à

## La puberté sous une double influence

Le circuit hormonal normal des jeunes filles semble aujourd'hui bouleversé. Leurs seins apparaissent de plus en plus tôt. Deux facteurs sont pointés du doigt: la pollution et le surpoids. Mais ce n'est pas tout. Il semblerait que ces causes s'additionnent et se renforcent mutuellement.

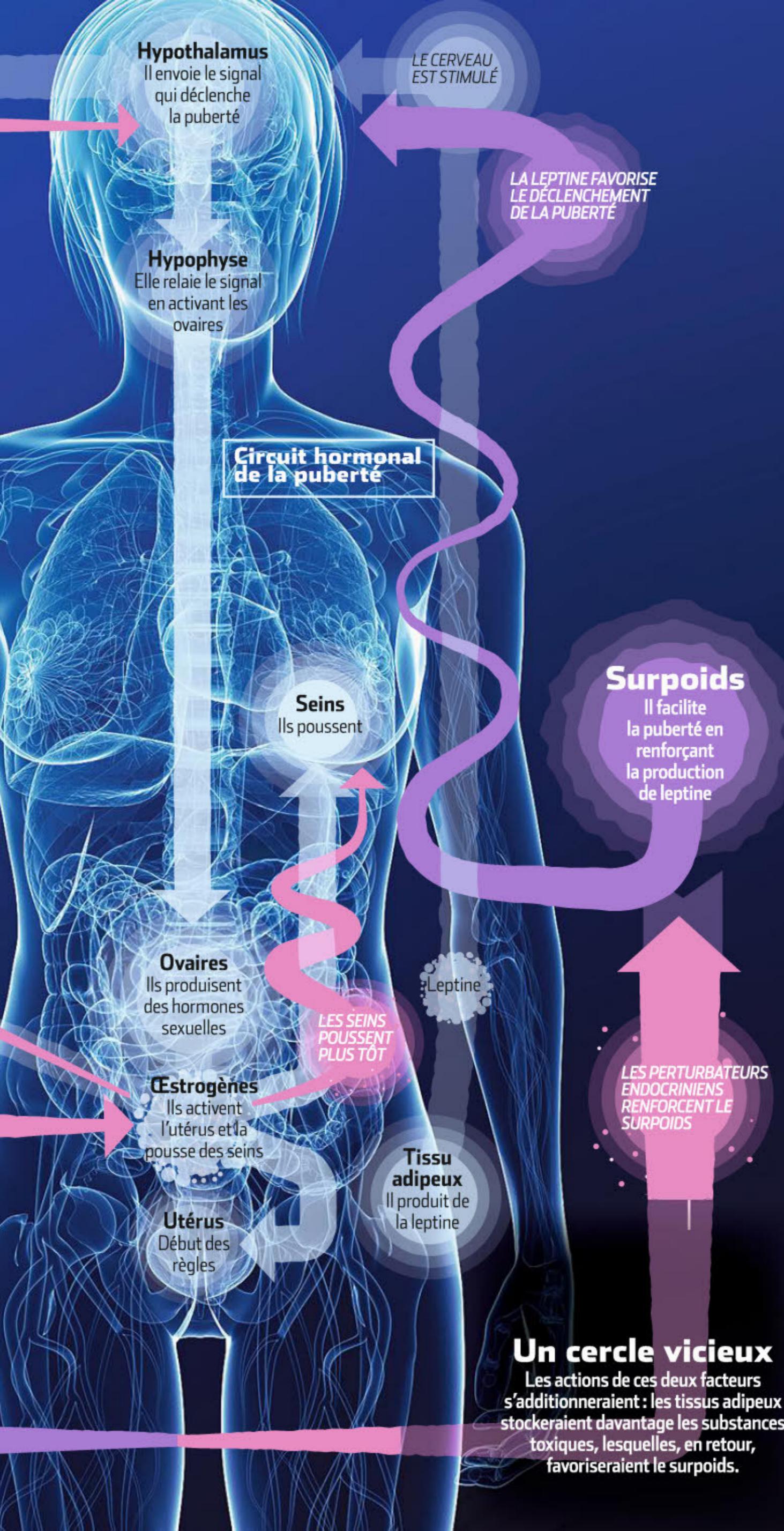
LE CERVEAU EST STIMULÉ

ILS DÉRÈGENT LE SIGNAL ŒSTROGÉNIQUE ENVOYÉ AU CERVEAU

### Perturbateurs endocriniens

Ils perturbent la régulation hormonale en imitant les œstrogènes

LE SURPOIDS CONCENTRE LES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS



mal le lien direct entre masse adipeuse et puberté. Mais plus généralement, comment expliquer une action sur les tissus mammaires quand les tissus ovariens semblent épargnés ?

C'est là qu'intervient l'épouvantail auquel tout le monde pense dès qu'il s'agit d'hormones : les fameux perturbateurs endocriniens. Pesticides, phtalates, bisphénol A, PCB, parabens... Ces substances chimiques ont envahi notre quotidien, depuis le biberon et l'emballage alimentaire jusqu'à nos meubles et nos jouets... Or, nombre d'entre elles sont connues pour mimer l'action des œstrogènes, ces hormones femelles déterminantes dans le déclenchement de la puberté.

#### UN VRAI RISQUE SANITAIRE

Pis, des études ont montré, chez l'animal, que les perturbateurs endocriniens pouvaient entraîner un développement mammaire prématuré, voire pré-cancéreux. Par quel mécanisme biologique ? *"La croissance des tissus mammaires est stimulée par les œstrogènes, et donc par les substances capables de mimer leur action"*, explique Jean-Pierre Bourguignon. Avant de préciser : *"Si les œstrogènes semblent avoir peu d'effets sur l'apparition des règles, c'est parce que celles-ci relèvent d'un mécanisme physiologique plus complexe. Alors que les tissus mammaires sont soumis à l'influence unique des hormones produites par les organes sexuels, les cycles ovariens sont régulés par le système nerveux, plus précisément par l'axe hypothalamo-hypophysaire."* Résultat : la maturation des seins serait donc plus facilement perturbable par l'environnement que celle des cycles ovariens. →

→ Autre explication possible: les perturbateurs endocriniens auraient des effets différents selon les tissus: “Une même substance pourrait avoir un effet stimulant sur les tissus mammaires et inhibiteur sur l’hypophyse, et donc sur le cycle ovarien”, propose Jean-Pierre Bourguignon. En janvier 2013, une étude américaine a même permis de faire le lien entre ces perturbateurs et les phénomènes épigénétiques,

Rosario, chimiste à l’université de Porto Rico, a montré que 68 % des petites filles concernées avaient dans leur sang des traces de phtalates. Tandis que chez les petites filles “normales” qui servent de contrôles, seule une sur 35 montrait un taux élevé de ces substances. Autre exemple, au Danemark: l’exposition fœtale de petites filles, nées de mères ayant travaillé dans des serres inondées d’un cocktail d’une centaine

## LES GÉNÉRATIONS À VENIR VONT SANS DOUTE CONNAÎTRE UNE PUBERTÉ DIFFÉRENTE DE CELLE DE LEURS MÈRES

des processus qui influencent l’expression des gènes sans altérer le code génétique. Des chercheurs de l’université de l’Oregon (Etats-Unis) ont montré que certaines substances, chez le rat, peuvent inhiber ou activer le fonctionnement du gène Kiss1, considéré comme l’un des maîtres de la chronologie de la puberté.

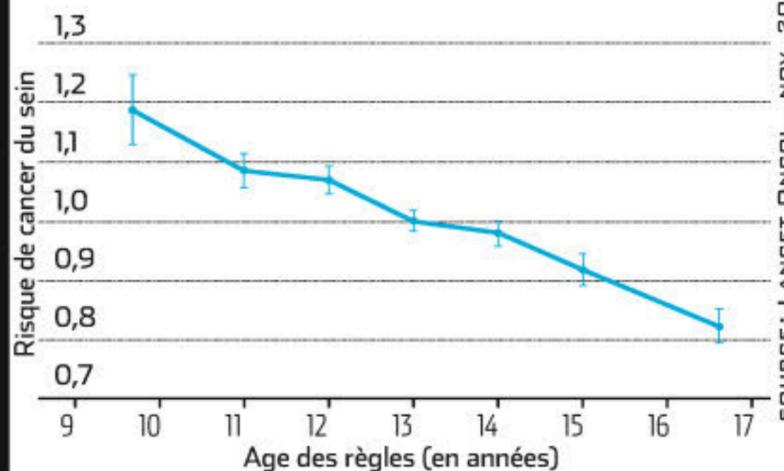
Qu’en est-il chez l’homme? “Alors que des effets concrets ont été démontrés chez l’animal, ils sont encore discutés chez l’homme en raison du trop petit nombre d’études”, note Gérard Lasfargues, directeur scientifique de l’Agence nationale de sécurité sanitaire de l’alimentation, de l’environnement et du travail (Anses), qui a rendu en mars dernier un rapport sur le bisphénol A. Parmi les rares études menées sur l’homme, celle réalisée à Porto Rico est assez parlante, même si elle n’implique qu’un petit nombre de jeunes filles. Dans ce pays où la proportion de jeunes filles touchées par le développement précoce de la poitrine est la plus élevée au monde, l’équipe d’Osvaldo

de pesticides, a été corrélée en 2012 à un avancement de près d’un an et demi de l’âge d’apparition des seins.

Mais il y a pire: l’action de l’obésité et celle des perturba-

### La poussée précoce de la poitrine augmente les risques de cancer

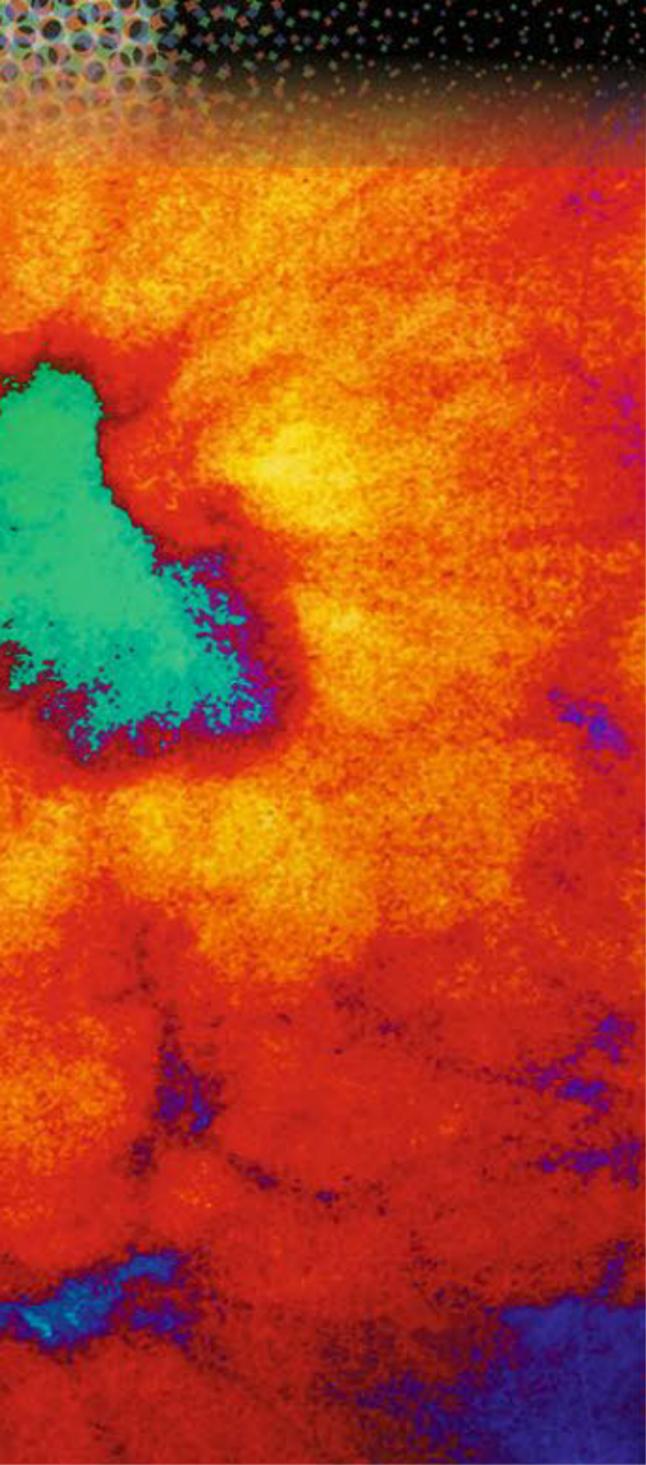
En 2012, une méta-analyse réunissant les données de plus de 100 études à travers le monde a montré que plus les seins sont exposés tôt à des hormones féminines, plus le risque de développer une tumeur (photo) augmente.



teurs endocriniens pourraient s’additionner! D’abord parce que les tissus adipeux ont davantage tendance à stocker les substances toxiques: une sorte de double peine pour les petites filles en surpoids, qui subiraient une plus forte concentration de perturbateurs

endocriniens dans leur organisme riche en tissus adipeux. Ensuite parce que, comme le souligne Jean-Pierre Bourguignon, “les perturbateurs endocriniens sont eux-mêmes soupçonnés de favoriser l’obésité”. En effet, le tissu adipeux est aussi un “organe” placé sous le contrôle de nombreuses hormones, comme l’insuline bien sûr, mais aussi des hormones du stress. Et c’est en modifiant les différents mécanismes de régulation du métabolisme contrôlés par ces hormones que les perturbateurs endocriniens augmenteraient notre propension au surpoids.

Ainsi, victimes d’un effet boule de neige catastrophique, les nouvelles générations connaîtraient une puberté différente de celle de leurs mères. Et affronteraient un risque accru de cancer, comme l’a



## ET CHEZ LES GARÇONS ?

Chez les garçons, la puberté démarre avec l'augmentation du volume testiculaire. Elle est considérée comme précoce quand ce premier signe apparaît avant 9 ans et demi. Si l'incidence de la puberté précoce n'a été que peu chiffrée, chez les garçons encore moins que chez les filles, les spécialistes s'accordent à dire qu'elle est dix fois moins fréquente chez les premiers. Surtout, dans 50 % des cas (contre seulement 10 % chez les filles), une lésion de la région hypothalamo-hypophysaire (tumeur, traumatisme crânien...) a été identifiée comme la cause de la puberté précoce. Sans parler de ce phénomène rare, la puberté des garçons a-t-elle, comme celle des filles, connu des modifications ? Oui, semblait dire fin 2012 Marcia Herman-Giddens. Son étude menée sur plus de 4000 petits Américains montrait que la puberté a avancé de 6 mois à 2 ans par rapport aux années 1970. Sceptique, Jean-Claude Carel (hôpital Robert-Debré) souligne *"la piètre qualité des normes précédemment établies et la difficulté des études chez les garçons, l'augmentation du*

*volume testiculaire n'étant pas un signe qu'on repère facilement en dehors d'un examen orienté"*.

Néanmoins, si avance il y a, l'obésité et les perturbateurs endocriniens sont-ils aussi responsables ? *"Le lien entre obésité et puberté n'est pas aussi clair chez les garçons : il y a peu d'études et leurs résultats sont contradictoires"*, note Marcia Herman-Giddens. Ainsi, quand, en 2002, Youfa Wang (université de l'Illinois, États-Unis) relève un retard de puberté chez les garçons obèses, une étude danoise constate en 2007 chez 500 choristes que les plus corpulents sont les premiers à muer. Quant aux perturbateurs endocriniens, *"à cause de leurs effets œstrogéniques ou anti-androgéniques, ils devraient au contraire retarder l'âge de la puberté chez les garçons"*, remarque Charles Sultan, pédiatre endocrinologue au CHU de Montpellier. En revanche, leur implication dans la forte augmentation des malformations de l'appareil génital masculin et la baisse de la fertilité masculine semble de plus en plus certaine.

montré en novembre 2012, l'analyse des données réunies sur 118000 femmes occidentales : chaque année d'exposition supplémentaire aux hormones féminines induit une augmentation de 5 % du risque. L'inquiétude est donc légitime. Mais le constat est encore trop récent pour que la science puisse apporter des réponses satisfaisantes. Jusqu'où cette puberté peut-elle encore être perturbée et avec quelles conséquences ? Mystère. D'autant qu'en France, les autorités sanitaires accusent un train de retard. Si, au début de l'année, l'Institut national de veille sanitaire a bien lancé une vaste étude auprès des jeunes Françaises, et si les scientifiques se penchent sur les cas de puberté précoce... Il n'en va pas encore de même pour la puberté allongée.

ZEPHYR/SPL/PHANIE - GETTY - E.JULIEN



# MATIÈRE NOIRE

## C'EST MAINTENANT OU JAMAIS !

*Les physiciens ont capté, coup sur coup, trois signaux qui pourraient témoigner de la réalité de la matière noire. Après des décennies d'une traque jamais récompensée, c'est le dernier espoir d'élucider enfin le mystère des particules fantômes...*

PAR MATHIEU GROUSSON

Il n'en finissent plus d'attendre. Décennie après décennie, au sommet de leurs forteresses expérimentales, ils ne voient toujours rien venir de tangible de ce désert des Tartares qu'est devenu pour eux l'Univers. Pas la moindre trace de cette énigmatique composante de la matière dont l'existence est postulée depuis 80 ans. Pourtant, tout – le mouvement des étoiles, des galaxies, des amas de galaxies, et même les fluctuations de la soupe de particules née du big

bang – indique qu'il existe une matière invisible qui baigne l'Univers, une masse qu'on ne voit pas, qui compte à elle seule pour 82 % du contenu de la matière. Masse que les spécialistes, depuis le milieu des années 1980, imaginent débusquer sous la forme de particules inconnues et interagissant très faiblement avec la matière ordinaire. Au milieu du désert, trois signes sont venus troubler le silence. Certes, trois signes ténus, disparates, voire contradictoires, mais qui indiquent

NASA/ESA/STSCI



que cette grande quête de la “matière noire” est désormais rendue à un moment critique de son histoire.

### **99,8 % DE CHANCES...**

Le premier signal est venu d'une tentative de détection directe de ces particules: l'expérience CDMS, dont les détecteurs sont enfouis au fond d'une ancienne mine, dans le Minnesota, afin de les protéger de tout “bruit” parasite (photons, rayons cosmiques, radioactivité naturelle...). Or, *via* leurs der-

nières données, obtenues grâce à des détecteurs d'une précision hors pair, les scientifiques sont parvenus à la conclusion qu'ils avaient peut-être capté trois particules de matière noire (courbe p. 99). Il y a 99,8 % de chances que le signal détecté soit le fait de particules de matière noire. Pourrait-il s'agir du grondement lointain des premiers Tartares? Pour Fabrice Piquemal, directeur du Laboratoire souterrain de Modane, “*avant de se persuader que ce pourrait être un signal, il faut*

*vérifier qu'il ne s'agit pas d'un bruit de fond mal contrôlé. Les physiciens de CDMS sont d'ailleurs d'une extrême prudence*”. Mais, souligne Gilles Gerbier, responsable de l'expérience Edelweiss, concurrente de CDMS: “*Les premiers indices d'un signal de matière noire ressembleront typiquement à ça.*”

Le second signe vient d'une tentative de détection indirecte: le détecteur AMS, à bord de la Station spatiale internationale, vient de confirmer avec une précision sans précédent un excès de positons mis en évidence par le satellite PAMELA en 2008 dans les rayons cosmiques. Or, d'après les théoriciens, ces quelques antiparticules surnuméraires pourraient bien être les produits de l'annihilation les unes avec les autres de particules de matière noire. “*A ce stade, il est impossible d'exclure une source astrophysique, en particulier des pulsars, admet Sylvie Rosier-Lees, au Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique des particules. Mais la bonne surprise est que* →

## Matière noire : les 3 signaux qui suscitent l'espoir

Les trois indices sont encore à confirmer. D'un côté, le télescope AMS a détecté un excès de positons au-delà de 10 GeV; le détecteur CDMS, lui, a capté trois particules inconnues autour de 10 GeV, tandis que le LHC n'a détecté que le boson de Higgs, jusqu'à l'énergie de 800 GeV. Mêmes contradictoires, ces signaux montrent que la mystérieuse matière noire semble enfin à portée de main.

→ *les données correspondent de façon tout à fait remarquable à ce que prévoient les modèles d'annihilation de matière noire!*

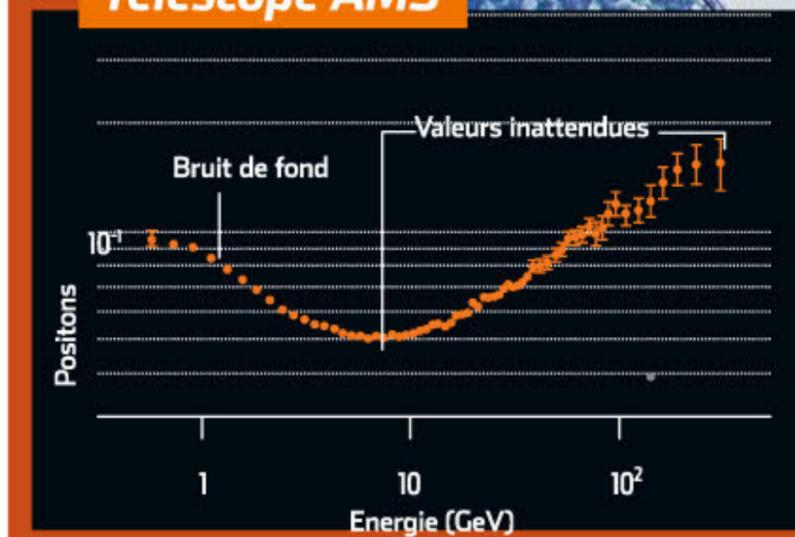
### "INVITATION À POURSUIVRE"

Le troisième signe est issu d'une tentative de production: c'est l'absence de découverte de nouvelles particules autres que le boson de Higgs au sein du LHC. Le grand accélérateur de particules européen, en pause depuis début 2013, a pourtant été conçu pour engendrer ces hypothétiques particules de matière noire...

Tous ces signes sont contradictoires. Interprétées comme un signal indirect de matière noire, les données d'AMS plaideraient pour une particule dont la masse se situerait au-delà de 300 GeV. Alors que les trois événements de CDMS correspondent plutôt à une particule dont la masse se trouve autour de 10 GeV. Et ce, dans un contexte où d'autres expériences de détection directe n'ont rien vu dans la plage de masse favorisée par l'expérience américaine. Sachant par ailleurs que le LHC semble pour l'instant exclure toute nouvelle particule susceptible d'être candidate au titre de matière noire d'une masse inférieure à 800 GeV...

*"La situation expérimentale est incroyablement confuse*

### Télescope AMS



### ENJEUX

Si, les physiciens ne parviennent pas à détecter leurs particules de **matière noire**, ils devront imaginer d'autres solutions: soit rechercher des particules encore plus exotiques, comme les **"axions"**, ou les **neutrinos dits "stériles"**, soit légèrement modifier les lois de la **gravitation** pour faire disparaître le problème. Mais dans tous les cas, il faudra mettre au point des instruments radicalement différents.

*et la théorie peine à mettre en cohérence l'ensemble des données", résume Marco Cirelli, à l'Institut de physique théorique du CEA, à Saclay. Il existe certes des modèles compatibles avec l'existence de plusieurs particules de matière noire dont les masses sont celles suggérées par AMS et CDMS, mais ils sont compliqués et peu subtils."*

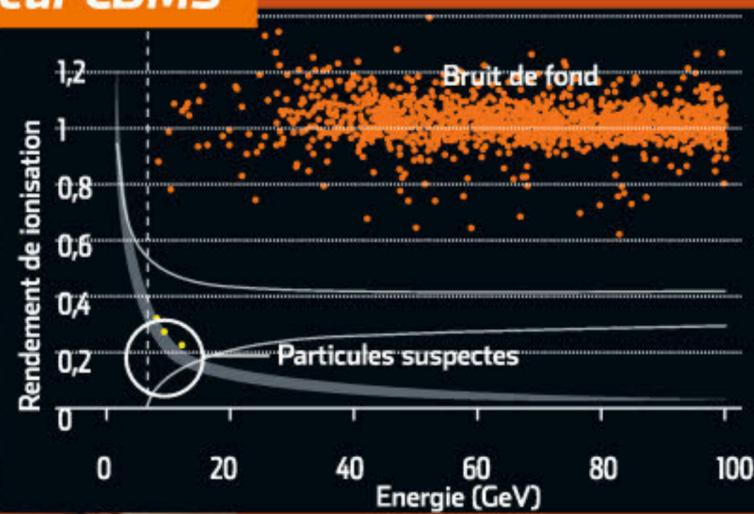
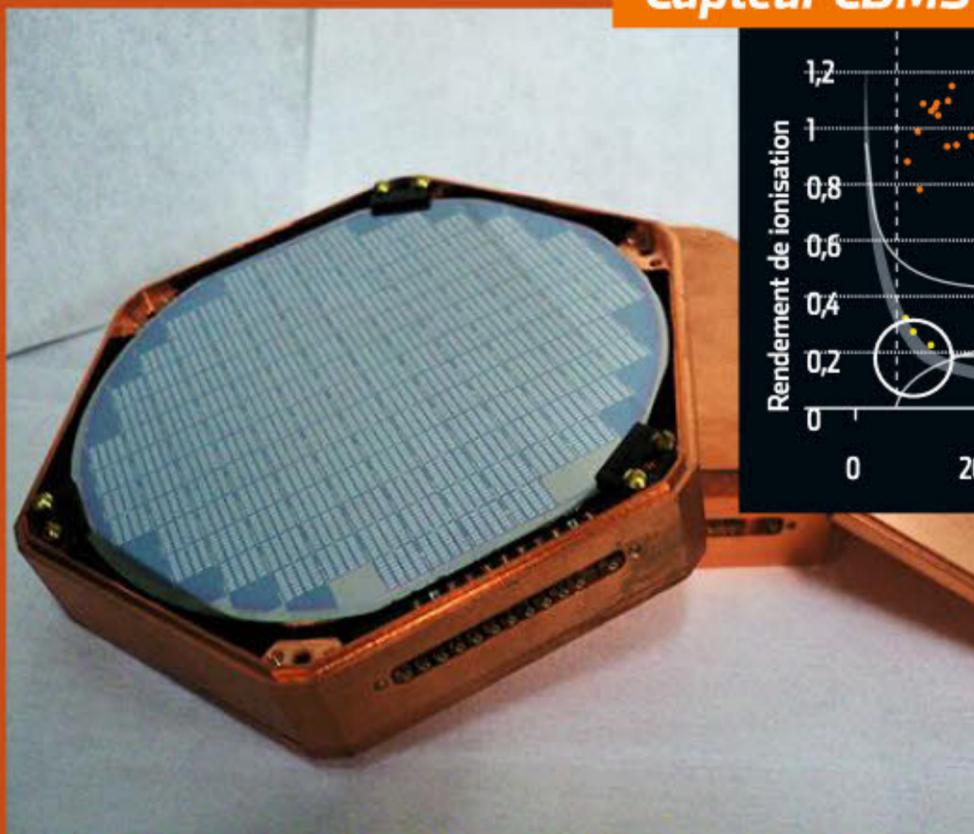
Mais l'étau s'est resserré sur la particule fantôme, car les trois signaux perçus pourront être validés ou infirmés expérimentalement d'ici cinq ans au plus. *"Avec AMS, on va enfin couvrir la plage en énergie la plus probable pour les particules de matière noire", souligne Marco Cirelli. De leur côté, les expériences de détection directe, telle CDMS, ne cessent de gagner en précision et en taille: "Elles ont désormais une sensibilité suffisante pour faire des recherches qui ont du sens", juge Pasquale Serpico, au La-*

boratoire d'Annecy-le-Vieux de physique théorique. Quant au LHC, il devrait redémarrer en 2015, plus puissant que jamais. *"On assiste aujourd'hui au frémissement de signaux un peu partout. Les progrès instrumentaux et certaines ouvertures théoriques invitent clairement à poursuivre", confirme Gilles Gerbier. "Les prochaines années seront donc cruciales", prévient Pasquale Serpico.*

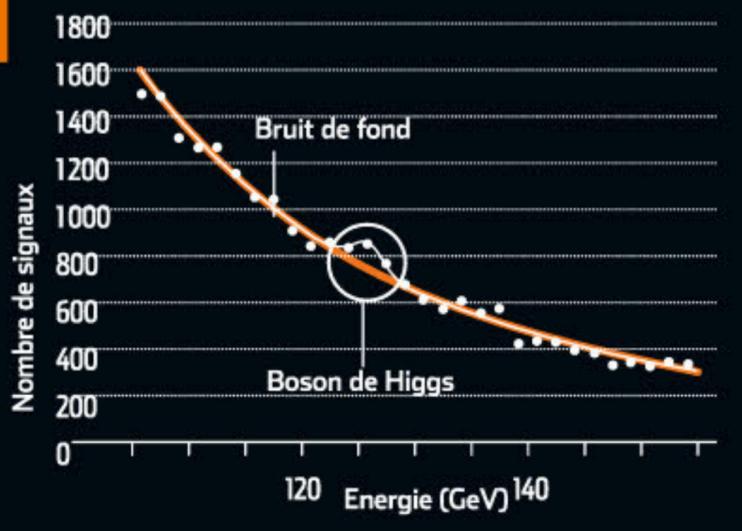




## Capteur CDMS



## Accélérateur LHC



## UNE LONGUE TRAQUE

**1933** : l'astronome suisse Fritz Zwicky déduit de la dynamique de l'amas galactique de Coma, l'un des plus grands connus, que ce dernier est pour l'essentiel composé d'une matière invisible. L'idée de matière noire est née.

**1985** : à court d'explications d'ordre astrophysique, les physiciens proposent que la matière noire est constituée de particules non prévues par leur modèle standard et interagissant très peu avec la matière ordinaire. Les programmes de détection sont lancés.

**2003** : en observant les premières fluctuations de la matière au sein de l'Univers, le satellite *WMAP* de la Nasa confirme qu'environ 85 % du contenu en matière de l'Univers est d'origine inconnue. Le casse-tête est plus que jamais posé.

**2013** : alors que le satellite *Planck* affine encore les mesures, les signes contradictoires s'accumulent. La tension est à son comble.

Ce que confirme en des termes plus policés un responsable du CNRS : *“ Dans une perspective générale de réduction de la voileure, ce type de recherche ne sera probablement plus un objectif prioritaire. ”*

Situation paradoxale, alors même que le satellite *Planck*, observant le fond de l'Univers, vient de confirmer avec une précision record l'omniprésence de la matière noire. *“ La cosmologie est formelle, on a besoin de matière noire ! ”*, martèle Sylvie Rosier-Lees. Du haut de leurs forteresses, après plusieurs décennies d'attente, les spécialistes de cette quête savent que c'est le moment ou jamais de voir les Tartares. ■

Après plusieurs décennies, cette traque arrive en effet aujourd'hui à la croisée des chemins. *“ Si l'on ne trouve rien d'ici à 2017 ou 2018, la motivation va devenir extrêmement limitée. J'imagine alors une communauté réduite d'un ordre de grandeur ”*, prédit Pasquale Serpico. Marco Cirelli enfonce le clou : *“ Au-delà de 5 à 10 ans, cela finira par confiner à la fixation psychologique. ”*

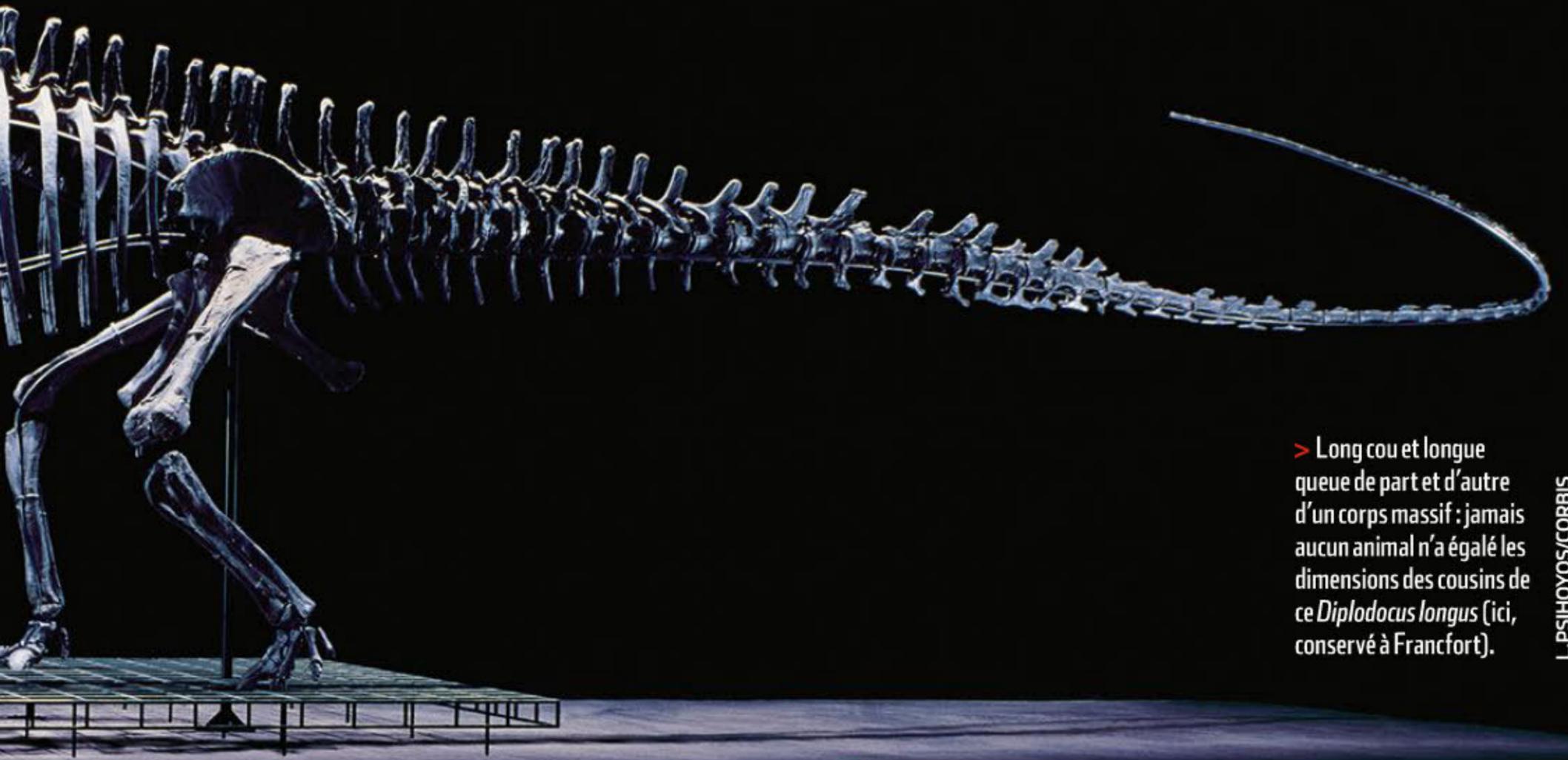
NASA - CERN - CDMS



*Comment pouvait-il être si gros ?*

LES 5 SECRETS DU

# DIPLODODO



> Long cou et longue queue de part et d'autre d'un corps massif : jamais aucun animal n'a égalé les dimensions des cousins de ce *Diplodocus longus* (ici, conservé à Francfort).

L.PSIHOYOS/CORBIS

# CLUS

*Jusqu'à 40 mètres et 100 tonnes ! Le diplodocus et ses cousins sauropodes, paisibles herbivores, ont défié les lois de la nature par leur gigantisme hors normes... et ainsi assuré la prospérité de leur lignée. Un succès évolutif qui tient en 5 astuces.*

PAR EMILIE RAUSCHER

**S**ilhouette placide, long cou et longue queue s'équilibrant de part et d'autre d'un corps massif, quatre pattes qui pourraient faire office de colonnes doriques dans un temple grec... Les sauropodes sont la preuve jadis vivante que la raison du plus fort n'est pas toujours la meilleure. C'est parfois la raison du plus grand qui l'emporte. Car à l'époque où les dinosaures régnaient sur le monde, il y a plus de 100 millions d'années, c'était bien le diplodocus le roi, et non le virulent tyrannosaure.

Rien sur Terre n'a jamais pu égaler les 100 tonnes à la pesée et les 40 mètres à la toise des plus grands sauropodes – l'équivalent d'un immeuble d'une dizaine d'étages. Outre le *Tyrannosaurus rex*, qui fait figure de nain avec ses 12 mètres et ses 7 tonnes, ils ridiculisent nos éléphants, aimables plaisantins de 10 tonnes au mieux, et même les 20 tonnes du plus gros mammifère connu, le défunt *Paraceratherium*. Ne mentionnons même pas la girafe qui, avec ses 5,5 mètres et ses 2 tonnes, ne joue pas dans la même cour...

### UN DÉFI ÉVOLUTIF DE TAILLE

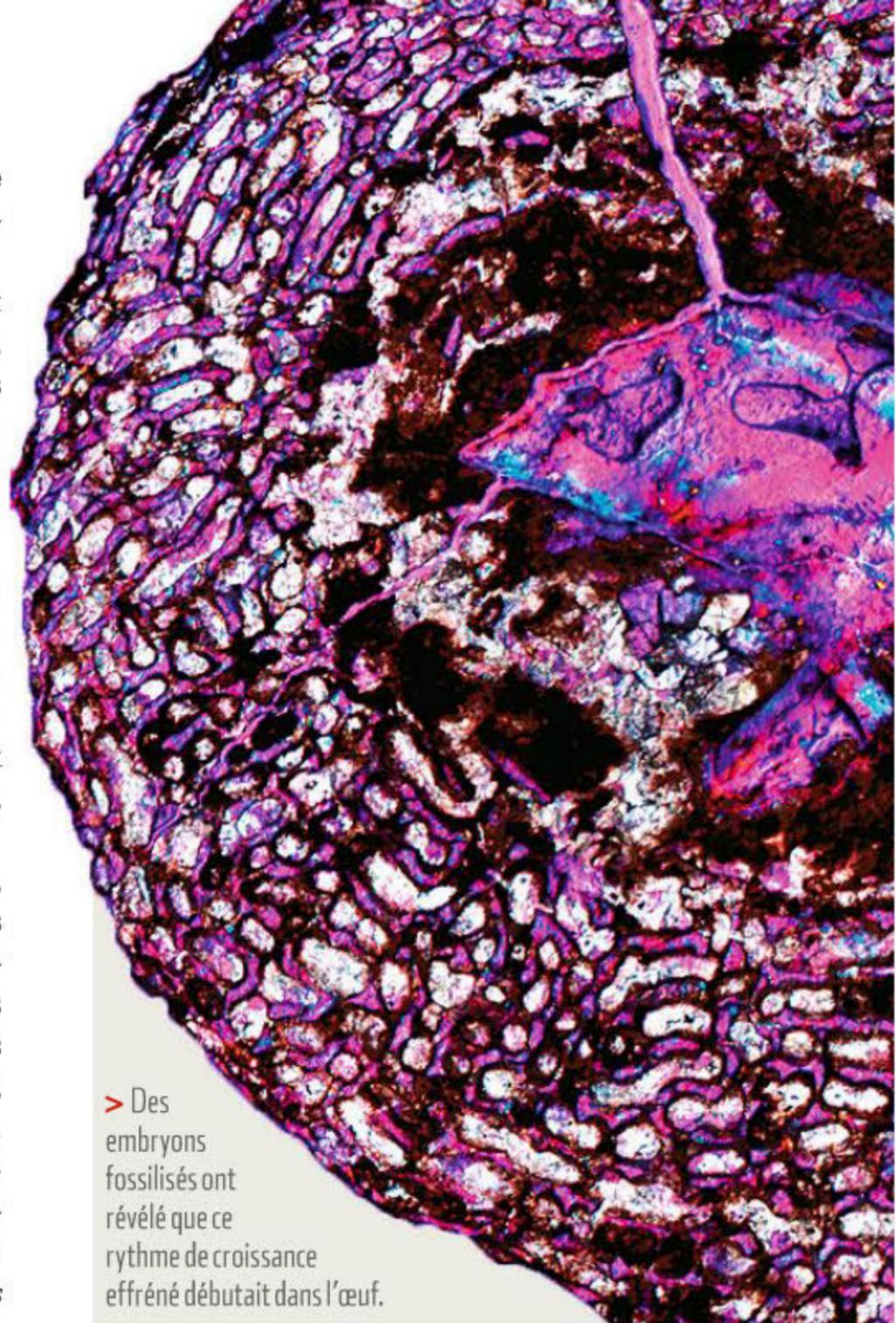
Question : par quel prodige de tels géants ont-ils pu apparaître, sachant qu'on ne revit plus jamais sur Terre pareils spécimens ? Sachant, aussi, qu'un tel gigantisme constitue un véritable défi pour un organisme vivant, que ce soit en termes de poids, d'alimentation, de croissance ou même de déplacement... En un mot, est-ce un

hasard ou un coup de folie de l'évolution qui a présidé à l'apparition de tels géants ?

Certainement pas, rétorquent paléontologues et biologistes, fascinés par ces créatures hors normes depuis leur découverte à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle... Ce gigantisme, loin d'être une aberration de l'évolution, se révèle être une marque de fabrique, un atout maître développé et poussé jusqu'à ses plus extrêmes limites par les sauropodes. Lesquels ont pourtant commencé tout petits, comme tout le monde...

Il y a 230 millions d'années, lorsque leurs ancêtres, tels *Saturnalia*, font leur apparition, ils ne pèsent que quelques centaines de kilogrammes ; mais 30 millions d'années plus tard, certains atteignent les 4 tonnes. Et le mouvement ira en s'amplifiant, encore et toujours, inventant et réinventant des géants. Si bien qu'au final, "*dans toutes les lignées de sauropodes, Brachiosauridae, Diplodocidae, Titanosauridae, etc., il y a eu des géants dépassant les 40 tonnes. Et ce, à toutes les époques et sur tous les continents*", note Jean Le Lœuff, paléontologue et directeur du musée des dinosaures d'Espéraza (Aude). *C'est comme ancré en eux. Ce trait distinctif est apparu tôt et vite dans leur évolution, et ils l'ont gardé jusqu'à la grande extinction de la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années, soit pendant plus de 130 millions d'années ! Ce fut un véritable succès évolutif.*"

Et un succès prolifique, puisqu'aujourd'hui, pas moins de 100 genres et 200 espèces de sauropodes ont été identifiés. "*Ces animaux étaient bien plus diversifiés qu'on le croit souvent*", constate Jean Le Lœuff. *Ils ont développé une →*



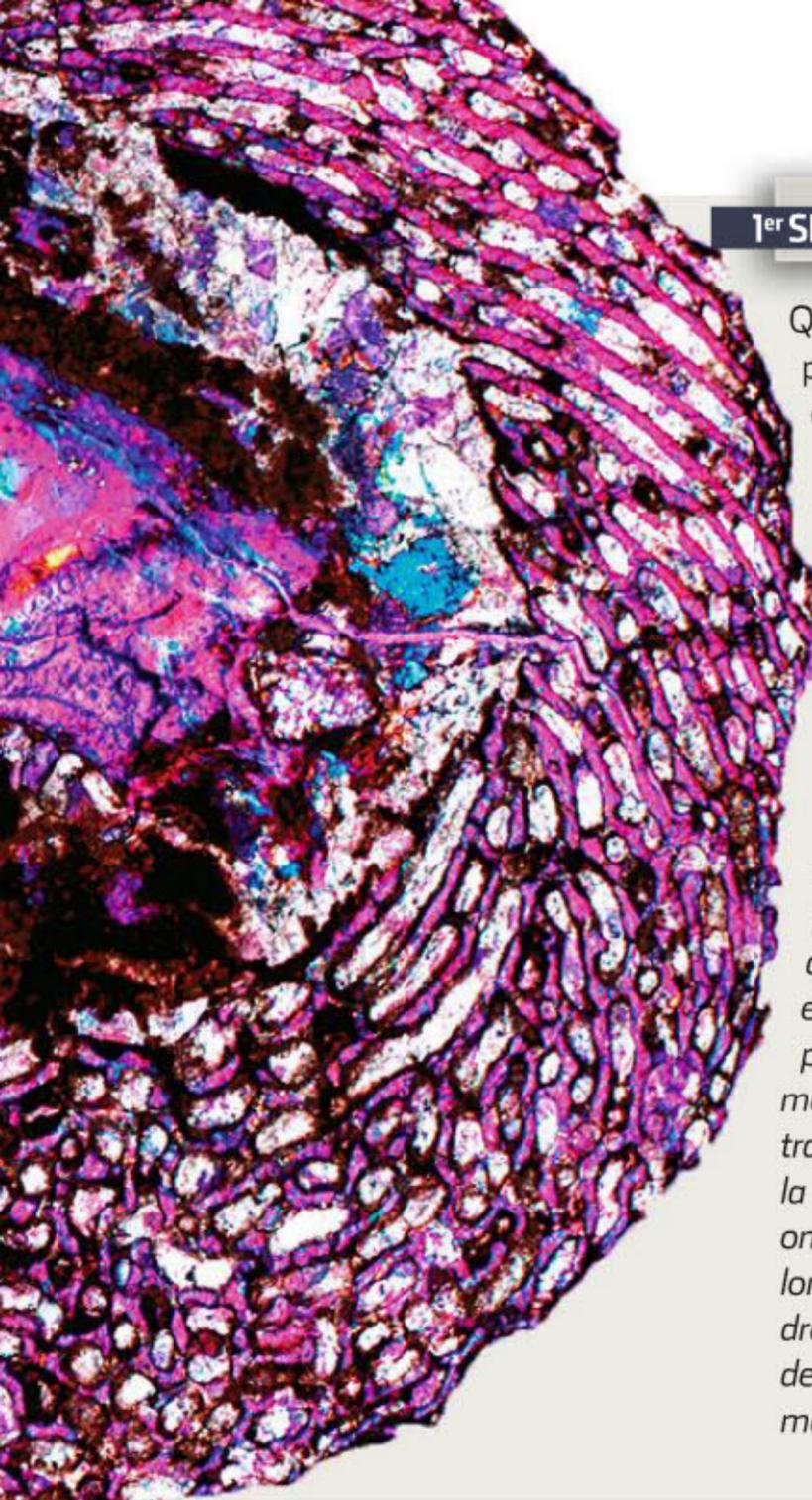
> Des embryons fossilisés ont révélé que ce rythme de croissance effréné débutait dans l'œuf.

### 2<sup>e</sup> SECRET

## UNE STRATÉGIE

Entre une salade et un steak, c'est bien sûr le second aliment qui est le plus énergétique. Et pourtant, les sauropodes herbivores étaient bien plus grands que les tyrannosaures carnassiers : ceci grâce à une stratégie alimentaire et un appareil digestif optimisés pour soutenir le rythme de leur croissance. Alors que les éléphants, herbivores eux aussi, passent 80 % de leur temps à manger mais doivent mâcher ce qu'ils avalent, les sauropodes ont opté pour la quantité : une dentition en râseau repoussant régulièrement leur permettait d'engloutir des végétaux en continu, sans les broyer ! Et vu la taille des intestins et de l'estomac, ils pouvaient y rester jusqu'à deux semaines, le temps d'être digérés. Une étude de 2007 a prouvé que les prêles et conifères dont ils se nourrissaient leur fournissaient ainsi leurs 100 000 calories quotidiennes – soit près de 500 kg de verdure.





1<sup>er</sup> SECRET

## UNE CROISSANCE TRÈS RAPIDE

Quand on visualise la taille des parents, il paraît presque incroyable de voir leurs œufs culminer à... une vingtaine de centimètres et 5 kg! C'est un peu comme si un immeuble de 11 étages pondait quelques ballons de foot. "Un œuf de saurpode fait dans les 4 litres et la bête, à sa sortie, ne devait pas faire plus de 90 cm, dont 30 cm de cou, indique Jean Le Lœuff. Or, une fois adulte, elle acquiert une taille gigantesque! On pensait il y a encore quelques années que ces animaux devaient avoir une espérance de vie de plusieurs siècles pour leur permettre d'atteindre leur maximum. Mais pas du tout: des travaux d'histologie osseuse, avec la recherche de marques de croissance, ont contribué à revoir à la baisse cette longévité - 60 ans -... et donc à revoir drastiquement à la hausse leur taux de croissance: on estime désormais qu'ils pouvaient

*grossir de 2 tonnes par an!"* Avec un adulte qui fait plus de 10000 fois son poids de naissance, il faut bien ça.

Une étude sino-canadienne publiée en avril vient d'ailleurs de révéler que cette croissance infernale débutait dès l'œuf! En analysant les ossements d'embryons fossilisés à différents âges, exhumés dans le comté chinois de Lufeng, l'équipe du paléontologue Robert Reisz (université de Toronto, Canada) a découvert la preuve de leur remodelage intensif: nombreuses cavités, vascularisation poussée... Ce rythme effréné engagé "in ovo" était sans doute maintenu une vingtaine d'années après l'éclosion, jusqu'à la maturité sexuelle, puis l'animal continuait plus lentement sa croissance pendant dix ans. Il lui restait alors trente ans de vie pour profiter de son environnement, sans plus aucun prédateur!

## D'ALIMENTATION OPTIMISÉE



< La dentition en râteau des saurpodes leur permettait de cueillir et d'avaler en continu les végétaux, sans devoir les broyer.

→ *multitude de petites variations autour de leur morphologie de base, très reconnaissable : différentes longueurs et formes de cou, de tête ou de queue, renvoyant à des adaptations à différents milieux, régimes alimentaires, etc.*”

Dans cette grande galerie, *Diplodocus* est sans doute l'un des mieux connus grâce

## CINQ TOURS DE PASSE-PASSE BIOLOGIQUES ONT RENDU POSSIBLE CE GIGANTISME HORS NORMES

à son squelette quasi complet – le plus célèbre étant *D. carnegii*, décrit en 1901 et exposé au Musée d'histoire naturelle Carnegie de Pittsburgh, aux Etats-Unis – qui en a posé l'archétype. Malheureusement, les fossiles de cette taille sont assez rares et, pour beaucoup de ses confrères, les squelettes sont lacunaires, ce qui oblige les spécialistes à extrapoler à partir de *Diplodocus* – d'où des divergences dans les estimations de taille et de poids.

### ENTRE 15 ET... 100 TONNES !

Mais cela ne les empêche pas de poser quelques repères, comme le fait que c'est son cousin, *Mamenchisaurus*, qui possède proportionnellement le plus long cou – la moitié de sa longueur totale, qui dépasse les 20 mètres. Ou que c'est le groupe des titanosaures qui recèle les plus grands sauropodes, comme *Argentinosaurus* et ses 100 tonnes. De manière générale, il était courant de peser entre 15 et 40 tonnes, et ce sont les petits gabarits qui étaient l'exception. Il n'y a guère que sur les îles où, en raison du nanisme insulaire, on pouvait trouver quelques "lilliputiens" d'à peine 4 ou 5 tonnes.

Pourquoi une telle démesure? Sans doute en bonne partie parce qu'elle ne présentait finalement aucun inconvénient, tout en assurant la tranquillité de ces paisibles herbivores... Il faut dire que quand les principaux prédateurs du moment, dont le fameux *T. rex*, sont presque dix fois plus légers que vous, vous ne risquez pas

grand-chose. Ainsi, la véritable question, c'est plutôt "comment" ils ont fait...

Aucune aide ne leur vint de l'extérieur. Les études de géophysique n'ont pas détecté de baisse de la gravité qui leur aurait rendu la vie plus "légère". En revanche, la composition de l'atmosphère était alors légèrement différente. Elle comportait plus d'oxygène – une source d'énergie qui a d'ailleurs permis à des insectes géants de voir le jour, grâce à un système respiratoire où l'air circulait directement, plus d'oxygène dans l'air signifiant plus d'oxygène disponible pour se développer... Mais chez nos Béhémoth, dotés de systèmes plus sophistiqués dans lesquels l'oxygène était concentré, cette faible hausse n'a guère pu avoir d'impact. Quant à une hausse hypothétique du CO<sub>2</sub> qui aurait favorisé la croissance de la végétation dont ils se nourrissaient, elle

n'aurait pas eu plus d'effet : les plantes qui croissent plus vite n'en sont pas plus nourrissantes pour autant...

Les raisons ne sont donc pas externes aux sauropodes, elles leur sont intrinsèques. Dans la plus grosse étude publiée sur le sujet, en 2011, Martin Sander, du département de paléontologie de l'université de Bonn (Allemagne), notait que "ce gigantisme a été rendu possible par la combinaison spécifique de traits hérités et d'innovations, qui a provoqué une vraie cascade évolutive inédite". Cinq tours de passe-passe biologiques aussi simples qu'efficaces : croissance incroyablement →

✓ Pouvant atteindre 12 à 15 m, le cou du sauropode lui permettait d'étendre son aire d'alimentation sans avoir à se déplacer.

4<sup>e</sup> SECRET

## UN SYSTÈME

L'oxygène, c'est l'autre source d'énergie de notre corps : pour alimenter la croissance, une respiration optimale est donc primordiale. Chez nous, le système respiratoire fonctionne en deux temps : l'inspiration, pendant laquelle nos poumons se remplissent, et l'expiration, durant laquelle l'air vicié en est chassé. Les poumons ne sont donc approvisionnés qu'un temps sur deux. Chez les sauropodes, l'hypothèse a été publiée que les poumons devaient être reliés à toute une série de sacs aériens disséminés le long du cou, dans le thorax et dans l'abdomen. A chaque inspiration (de 80 litres



3<sup>e</sup> SECRET

## UN COU IMMENSE AUX MULTIPLES VERTUS

Le long cou du diplodocus, qui rend sa silhouette si reconnaissable, peut sembler anecdotique... C'est en réalité une innovation majeure. Avec son cou long de 2,4 m, la girafe est aujourd'hui la championne dans ce domaine – l'homme bénéficie pour sa part de 15 malheureux centimètres, au maximum. Elle est pourtant loin derrière *Mamenchisaurus* (12 m) ou *Supersaurus* (15 m). Les sauropodes ont atteint de tels chiffres en multipliant leurs vertèbres cervicales, puisqu'ils

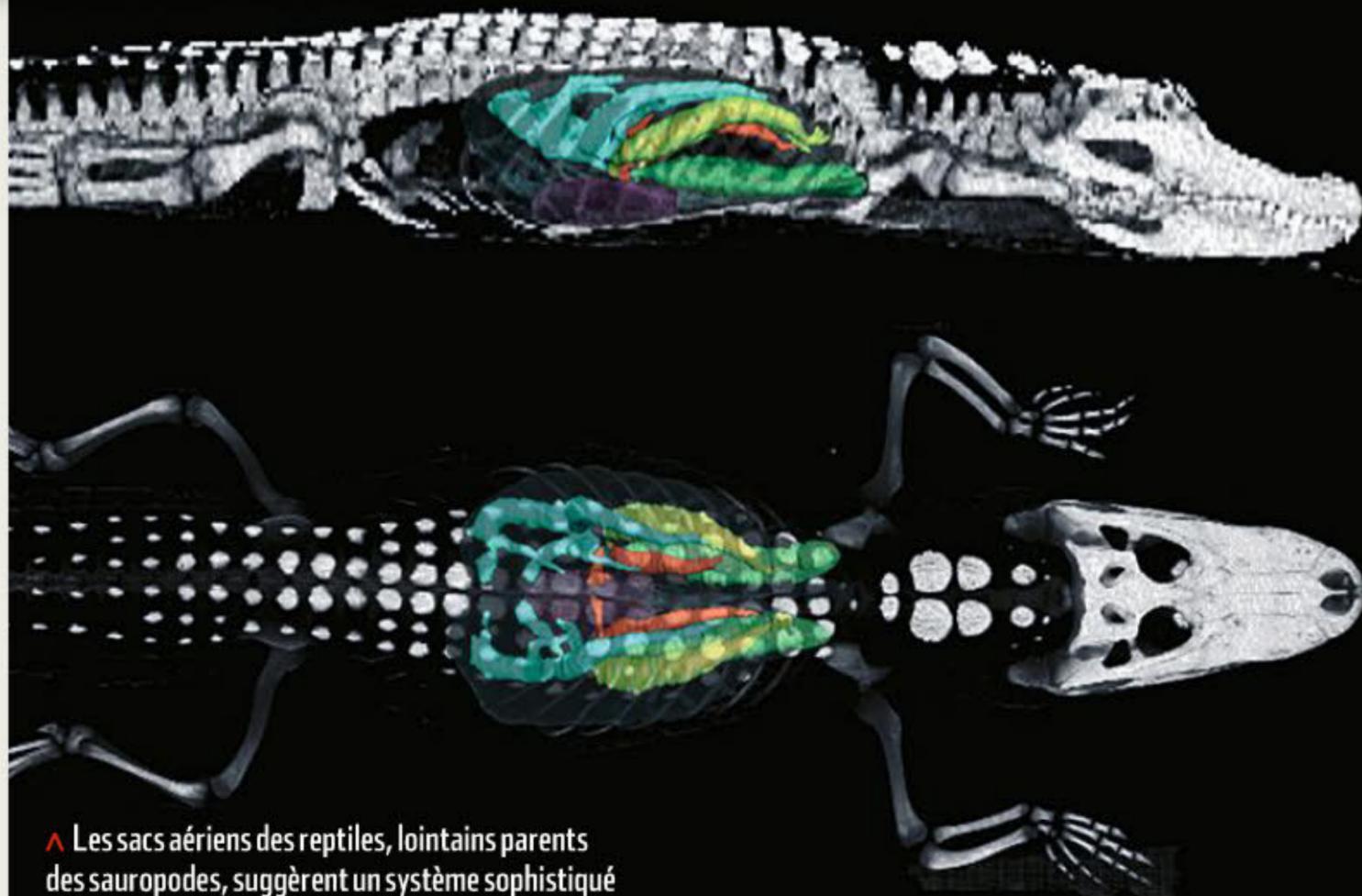
pouvaient en avoir jusqu'à 19, quand les mammifères se cantonnent à 7. De plus, leur toute petite tête, à peine plus grande que celle d'un cheval, ainsi que les sacs à air distribués le long du cou, allégeaient l'ensemble et permettaient sa mobilité.

Quel intérêt ? Ils sont en fait multiples. Déjà, traversé par une longue trachée facilitant les échanges de chaleur, le cou faisait office de système de refroidissement du corps. Ensuite, il équilibrait le poids de la queue. Enfin, et surtout, il était

doublément important pour l'alimentation. D'une part, il offrait un accès unique à des ressources trop haut perchées pour tous les autres herbivores ; d'autre part, il permettait à son propriétaire de couvrir une large zone sans avoir à déplacer ses dizaines de tonnes. Des chercheurs ont ainsi calculé que pour un hectare, un animal doté d'un cou long de 1 m (un cheval, par exemple) doit se déplacer 5000 fois ; une girafe, 1250 fois ; un sauropode, une centaine de fois seulement.

## RESPIRATOIRE DOUBLEMENT EFFICACE

environ, tout de même), poumons et sacs se remplissaient ; tandis qu'à l'expiration, les poumons se vidaient... et recevaient dans le même temps l'air contenu dans les sacs. Résultat : ils étaient alimentés en continu et, d'une seule respiration, étaient capables de tirer deux fois plus d'énergie que nous ! Aucun poumon fossile de dinosaure n'ayant jamais été découvert, c'est leur lien de parenté avec les oiseaux et les reptiles, qui possèdent ce genre de sacs aériens, qui suggère leur présence. Autre indice, de larges alcôves dans leurs vertèbres leur laissaient toute la place nécessaire.

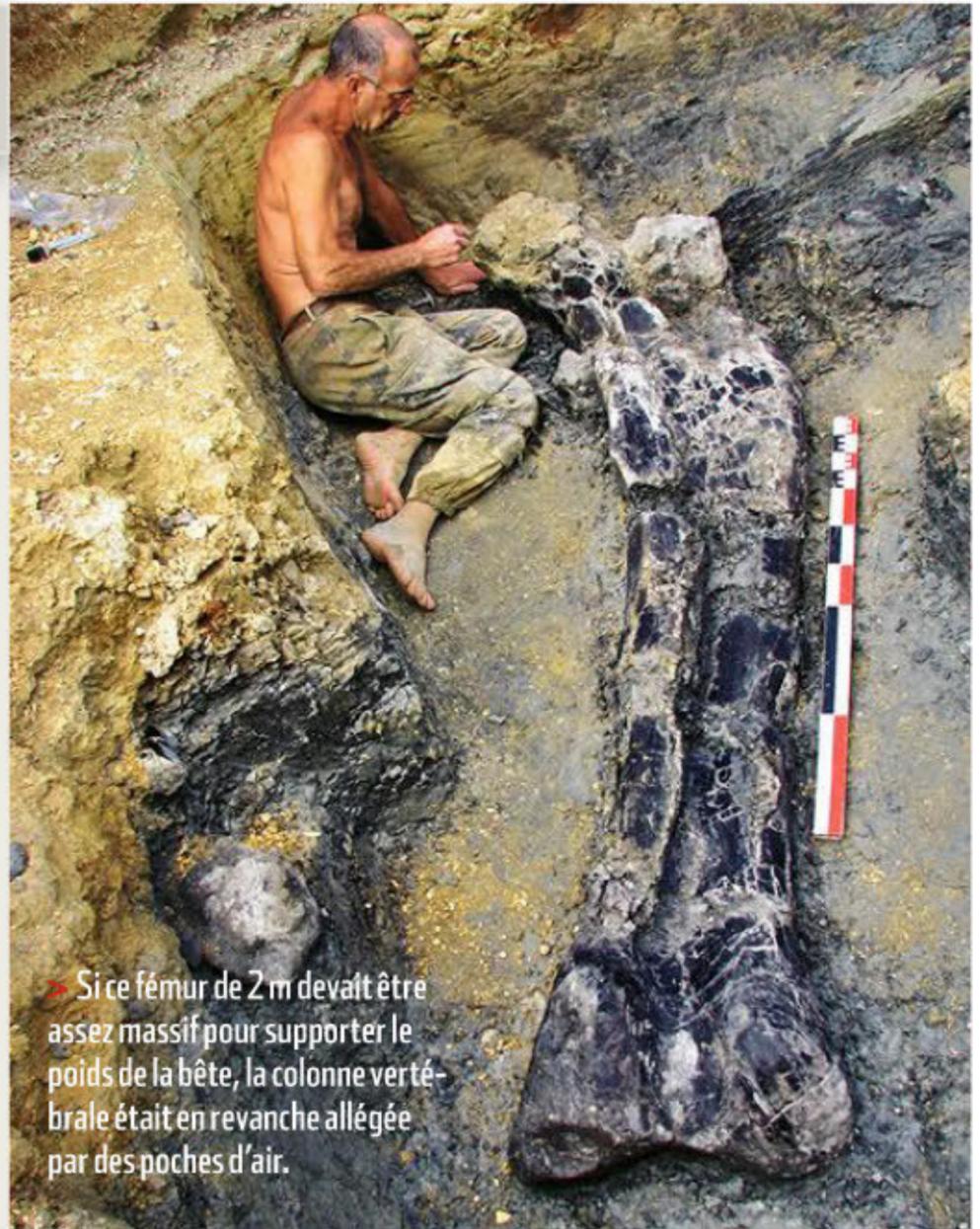


▲ Les sacs aériens des reptiles, lointains parents des sauropodes, suggèrent un système sophistiqué offrant deux fois plus d'énergie en une respiration.

5<sup>e</sup> SECRET

## UN SQUELETTE PUISSANT ET ALLÉGÉ

La partie la plus lourde d'un corps, c'est le squelette. Si son rôle de maintien ne peut être compromis, son allègement est un enjeu essentiel quand on prétend atteindre une masse de plusieurs dizaines de tonnes. Chez les sauroïdes, on constate ainsi que les os des membres, comme le très impressionnant fémur de 2 m retrouvé sur le site français d'Angeac (Charente), sont compacts et gardent la trace des canaux qui ont permis leur croissance rapide : ils devaient rester capables de supporter le poids global de l'animal. En revanche, les os du squelette axial (le long de la colonne, notamment) sont largement évidés : "Une vertèbre de sauroïde peut atteindre 1,50 m d'envergure, souligne le paléontologue Jean Le Lœuff. Si aujourd'hui de tels os sont très lourds du fait de leur fossilisation, ils étaient bien plus légers du vivant de l'animal, en raison des poches d'air qu'ils contenaient. Du crâne au bassin, les vertèbres étaient ainsi constituées de grosses cellules remplies d'air. Cou et dos s'en trouvaient donc considérablement allégés." Près de 10 % de la masse globale du géant pouvaient ainsi être économisés.



➤ Si ce fémur de 2 m devait être assez massif pour supporter le poids de la bête, la colonne vertébrale était en revanche allégée par des poches d'air.

→ rapide, cou gigantesque, systèmes digestif et respiratoire d'une efficacité redoutable, ossature à la fois robuste et allégée (voir encadrés)... Jusqu'à leur oviparité, qui s'est avérée être un atout, puisqu'elle permettait une descendance nombreuse tout en demandant un investissement parental minimal. Autant de stratégies et de particularités physiologiques

### QUI SAIT JUSQU'OUÛ IL SE SERAIT HISSÉ SI LA GRAVITÉ N'AVAIT RÉIMPOSÉ SA LOI !

parfois toutes simples, mais qui, combinées, se sont révélées monstrueusement efficaces.

Pas de doute, les sauroïdes étaient des machines à grandir parfaitement calibrées. Et qui sait à quels sommets ils se seraient hissés si la physique n'avait joué le rôle d'arbitre :

au-delà de 100 tonnes, la gravité, en effet, a réimposé sa loi. Par ailleurs, la relative pauvreté énergétique de leur alimentation ne leur permettait sans doute pas d'aller plus haut, tandis que même l'influx nerveux aurait connu un effet de seuil, n'étant plus assez rapide pour transporter les informations dans un corps plus grand...

Même si d'autres branches du vivant ont eu leurs géants, aucun, jusqu'à aujourd'hui, n'a plus jamais réussi à réunir les traits du sauroïde... Certes, dans les mers, les baleines bleues peuvent dépasser les 130 tonnes, mais pour une trentaine de mètres "seulement", et les contraintes physiques et physiologiques ne sont pas comparables. Les éléphants et leurs cousins poilus disparus les mammoths n'ont jamais dépassé les 10 tonnes :

c'est leur tactique pour se nourrir qui n'est pas assez rentable pour faire mieux.

### UN MODE DE SURVIE EFFICACE

Les *T. rex*, quant à eux, possédaient certes une alimentation très énergétique... mais aussi un mode de vie très énergivore : trop, en tout cas, pour leur permettre de capitaliser de quoi devenir plus grand, et d'atteindre ainsi ce stade où ce sont les lois de la physique qui seules deviennent capables de vous limiter ! Mais la très (très) longue prospérité des sauriens géants a prouvé l'intérêt de ce "pari", et le grand jeu de l'évolution reste ouvert... Rien n'interdit de penser que, demain, d'autres fabuleux géants reviendront fouler notre planète. A condition qu'ils trouvent, eux aussi, leur recette secrète du gigantisme.

J.F. TOURNEPICHE, MUSÉE D'ANGOULÊME

[Enquête]

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 ce numéro en particulier ?** Quels articles vous ont attirés et comment les avez-vous appréciés ?

Lisez votre magazine comme d'habitude et ayez la gentillesse de participer à notre enquête quand vous aurez lu ce numéro, si possible dans les prochains jours.

**Pour participer, rendez-vous sur [www.enqueteSV.fr](http://www.enqueteSV.fr)**

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. Votre aide nous est précieuse.

Très cordialement.

Matthieu Villiers  
Directeur de la rédaction

# LA RÉDACTION DE SCIENCE & VIE A BESOIN DE VOUS !

Que vous connaissiez très bien Science & Vie ou très peu (même si vous le lisez pour la première fois), votre avis nous intéresse !

RÉPONDEZ À NOTRE ENQUÊTE SUR [www.enqueteSV.fr](http://www.enqueteSV.fr)



Pour vous remercier de votre participation à notre étude, un tirage au sort sera organisé.

**Vous aurez ainsi la possibilité de recevoir l'un des 100 exemplaires de l'édition spéciale Science & Vie "La science du vin" !**

CENT ANS APRÈS 14-18...

# LES OBUS DE LA POLLUTION

*La Grande Guerre a laissé dans les sols de l'est et du nord de la France des millions d'obus n'ayant pas explosé. Lesquels, cent ans plus tard, distillent un lent poison...*

PAR DAVID HUMBERT

Pour les amateurs de randonnées, le Nord-Pas-de-Calais, les Ardennes et la Somme présentent des panoramas bucoliques : paysages champêtres, prairies verdoyantes, forêts denses... Rien qui, à première vue, rappelle l'enfer de la Première Guerre mondiale. Hormis les quelques sites préservés pour devoir de mémoire, où les tranchées et les trous d'obus de plusieurs mètres de diamètre et de profondeur laissent imaginer la férocité des combats, la Grande Guerre ne semble plus qu'un souvenir d'histoire. Un drame révolu.

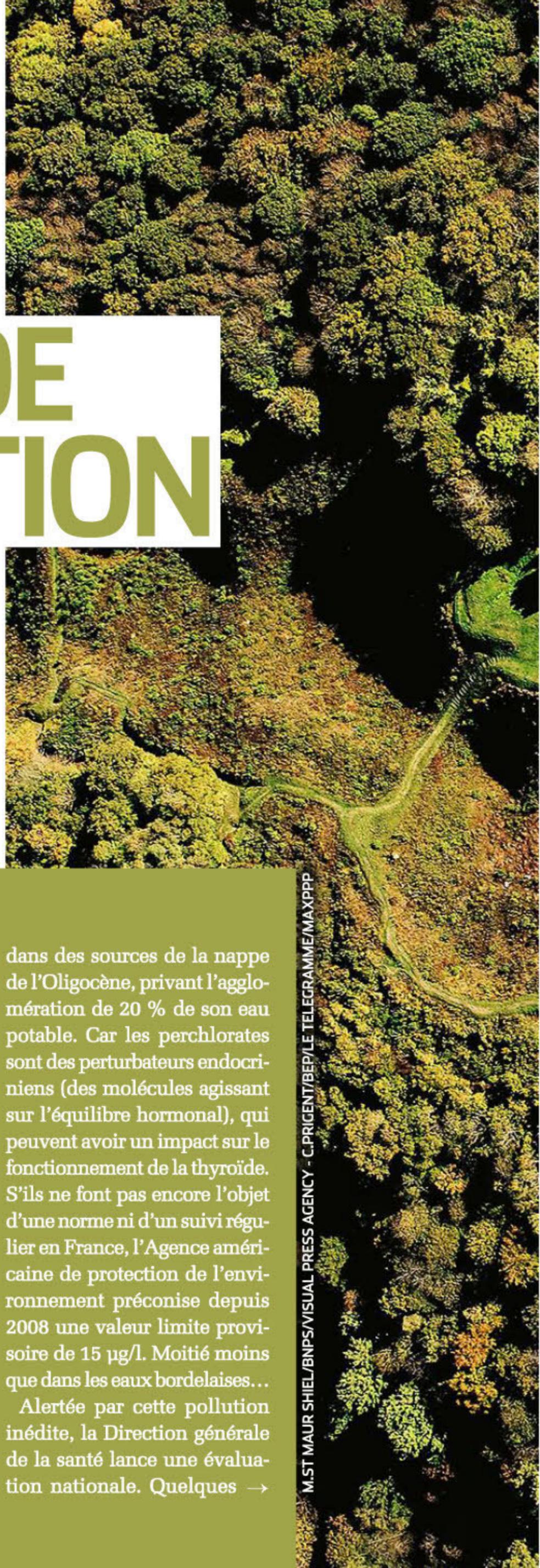
Révolu? Pas si sûr. Car depuis quelques mois, sous

ces plaies superficielles qui semblent cicatrisées, les stigmates de la guerre resurgissent de façon inattendue. Non pas sous la forme d'une pollution des terres, connue et maîtrisée, mais sous la forme d'un mal plus souterrain, qui empoisonne peut-être depuis longtemps l'eau du robinet. Et c'est par hasard que l'on a découvert qu'un siècle après avoir été lancées, les bombes de 14-18 n'ont pas tout à fait terminé leur sale besogne...

Tout a commencé loin du front, en juillet 2011. A Bordeaux, la communauté urbaine réunit une cellule de crise : des teneurs en perchlorates allant jusqu'à 30 µg/l ont été relevées

dans des sources de la nappe de l'Oligocène, privant l'agglomération de 20 % de son eau potable. Car les perchlorates sont des perturbateurs endocriniens (des molécules agissant sur l'équilibre hormonal), qui peuvent avoir un impact sur le fonctionnement de la thyroïde. S'ils ne font pas encore l'objet d'une norme ni d'un suivi régulier en France, l'Agence américaine de protection de l'environnement préconise depuis 2008 une valeur limite provisoire de 15 µg/l. Moitié moins que dans les eaux bordelaises...

Alertée par cette pollution inédite, la Direction générale de la santé lance une évaluation nationale. Quelques →



M.ST MAUR SHIEL/BNPS/VISUAL PRESS AGENCY - C.PRIGENT/BEPE/LE TELEGRAMME/MAXPPP



➤ Les paysages du Nord-Est (ici, la butte de Vauquois, à 25 km de Verdun) témoignent encore de la guerre... mais en sous-sol, la menace ressurgit, sous la forme de millions d'obus encore bourrés de polluants.





→ mois plus tard, un premier verdict tombe : la pollution est avérée dans plusieurs régions (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Ile-de-France et Champagne-Ardenne) et plus d'un millier de communes ! Une liste qui pourrait s'allonger à l'issue des analyses en cours dans d'autres régions (Normandie, Lorraine, Alsace...).

A Bordeaux, le coupable est rapidement identifié : une usine de la Société nationale des poudres et explosifs est à l'origine d'une fuite. De fait, depuis les années 1950, les sels de perchlorates sont utilisés pour de nombreuses applications industrielles, notamment dans le domaine militaire et l'aérospatiale. L'affaire de Bordeaux ressort donc d'un problème stricte-

▲ En 1916, lors de la seule bataille de Verdun, pas moins de 60 millions d'obus furent tirés.

ment local. Mais qu'en est-il de tous les autres cas de pollution aux perchlorates soudainement recensés ? Et comment expliquer que tant de régions soient frappées du même mal ?

La tension monte d'un cran lorsque des taux dépassant 60 µg/l sont mesurés fin 2011 dans des forages de la vallée de l'Escrebieux, au sud de Lille. Ces captages d'eau potable sont stratégiques, car ils alimentent environ 500 000 habitants. Les

investigations se tournent naturellement vers une origine comparable à celle de l'affaire bordelaise. Mais aucune activité industrielle proche n'explique un marquage des eaux souterraines aussi étendu. Seule une source de pollution diffuse, disséminée sur un vaste territoire, aurait pu provoquer une telle contamination. Mais laquelle ?

Ce sont les cartes qui vont livrer la solution. Car les secteurs où les perchlorates sont détectés recouvrent de façon étonnante la cartographie des zones de combats de la Première Guerre mondiale. Rapidement, l'hypothèse d'un lien avec les bombes de la Grande Guerre est formulée. Il faut dire que les chiffres donnent le vertige. En quatre ans, un milliard de bombes, soit 15 millions de tonnes de métal, ont ravagé les 700 km de front (voir Faits & Chiffres). Un déluge de feu, de fer et de plomb. Sur plus de 3 millions d'hectares, en Picardie, Lorraine

## DE "SALES" GUERRES MODERNES...

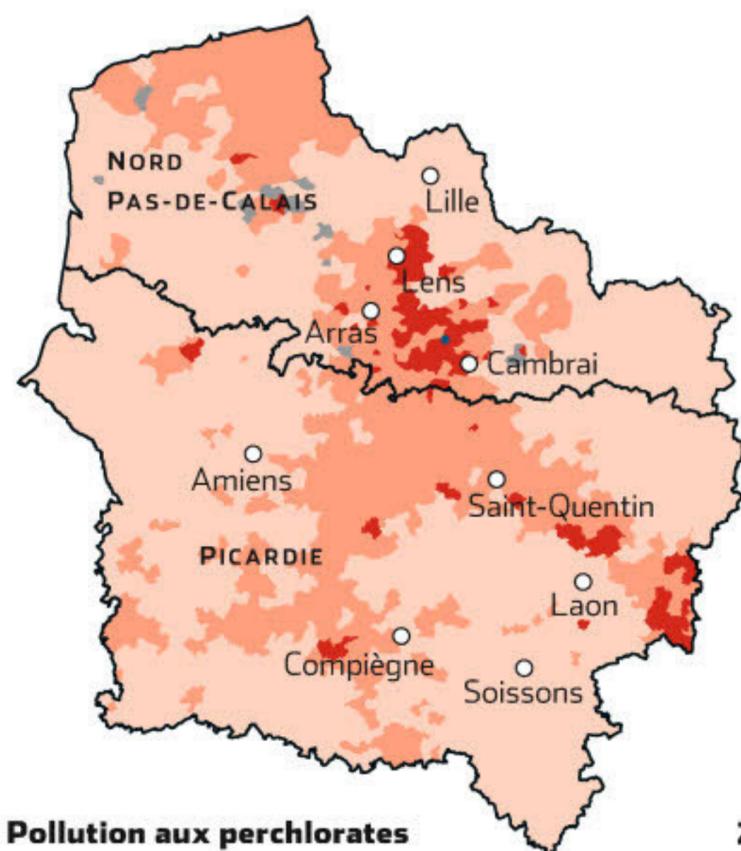
Longtemps après que les armes se sont tues, nombre de conflits récents ont laissé dans l'environnement des traces néfastes pour la santé. A commencer par la guerre du Vietnam : dans les années 1960, 70 millions de litres d'agent orange, un herbicide contenant de la dioxine, ont été déversés par les Américains pour empêcher l'ennemi de se cacher dans la forêt et détruire ses récoltes. Toujours présent en grande quantité dans les sols, il est soupçonné

de provoquer cancers et malformations congénitales. Plus récemment, au Kosovo, l'Otan a bombardé les raffineries et industries chimiques, polluant durablement les aquifères et les cours d'eau. Quant aux munitions à l'uranium appauvri, utilisées en Irak et dans les Balkans, elles ont dispersé dans l'air des particules radioactives. Or, on constate aujourd'hui une hausse des cas de cancers et de maladies congénitales chez les militaires et les civils...

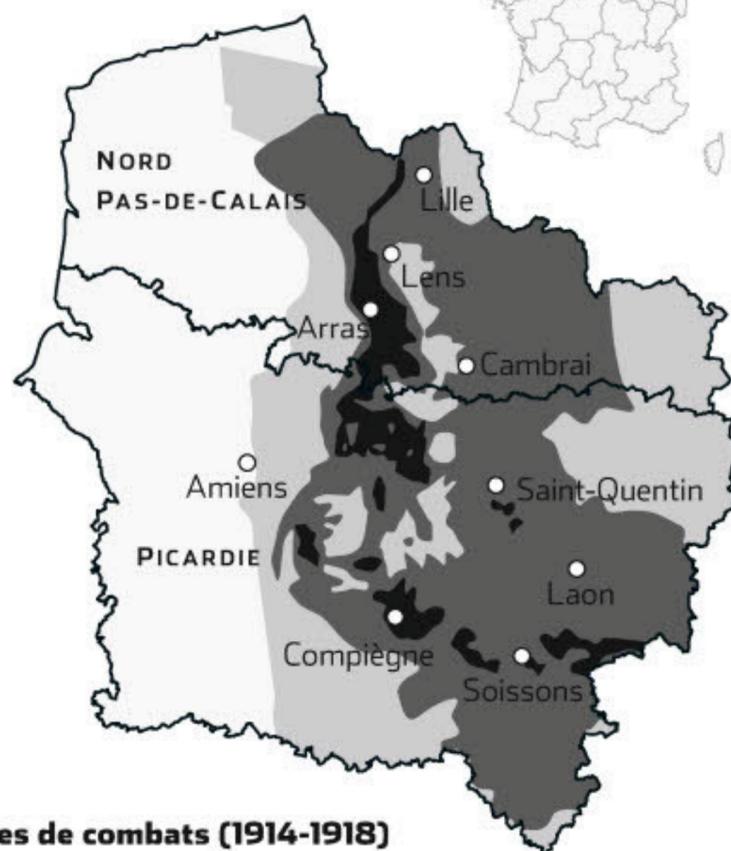
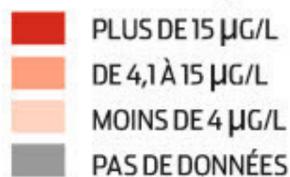


## La pollution aux perchlorates suit globalement les zones de combats de la Grande Guerre

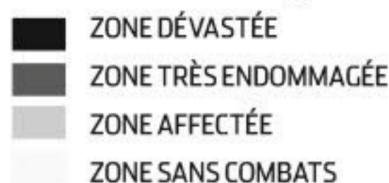
Les zones où d'importants taux de perchlorates ont été détectés recouvrent de façon édifiante les territoires dévastés par les bombardements.



**Pollution aux perchlorates**



**Zones de combats (1914-1918)**



▲ Sur 120 000 ha, les bombardements ont dessiné un *no man's land* aux sols encore minés.

## FAITS & CHIFFRES

Lors de la bataille de Verdun, **60 millions d'obus** furent tirés, dont **2 millions** par les Allemands la seule journée du 21 février 1916, début de l'offensive qui dura dix mois (**1400 impacts** par minute, **6** par mètre carré). Une apocalypse qui fit perdre **7 m d'altitude** à la côte 304, l'emblématique colline située sur le champ de bataille.

et Champagne-Ardenne principalement, 4 000 communes ont été dévastées, certaines littéralement rayées de la carte – c'est la "zone rouge", un *no man's land* de 120 000 ha qui recèle quantité d'obus encore intacts.

Des obus encore intacts: voilà précisément le problème! Sachant que le taux de raté des munitions d'artillerie est évalué entre 25 et 50 %. Dans les terres boueuses des champs de bataille labourés par l'artillerie ou dans les zones humides (étangs, marais, tourbières), les bombes se sont enfoncées plus ou moins profondément dans le sol sans exploser. Ainsi, de 500 à 800 tonnes de munitions intactes sont exhumées tous les ans. A ce rythme-là, et compte tenu du stock estimé, le déminage devrait être terminé... dans 700 ans environ! Or, pendant ce temps-là, les bombes ne se contentent pas de rouiller

paisiblement; au contraire, elles distillent leur poison souterrain: les fameux perchlorates.

Pour comprendre, il faut revenir à l'histoire de l'armement du début du XX<sup>e</sup> siècle. "Avant la Grande Guerre, les poudres utilisées dans les obus et les bombes étaient à base de nitrate de potassium, ou salpêtre, résume Daniel Hubé, chef de projet Sites et sols pollués au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). En 1915, la Royal Navy s'engage dans un blocus naval de l'Allemagne, et les nitrates, fournis par les colonies, viennent à manquer. Ils sont remplacés par les cheddites, des explosifs à base de chlorate de potassium, obtenu par synthèse électrochimique. Ces cheddites seront ensuite rapidement remplacés, de chaque côté du front, par les perdites, plus stables, à base de perchlorate de potassium."

Tout s'explique. Les projectiles qui ont martelé la ligne de front durant des années, en particulier les tristement célèbres obus de 75, étaient bourrés de perchlorates. Ces explosifs dits "brisants" étaient destinés à fragmenter l'obus, afin de générer un maximum d'éclats et de disperser shrapnels et gaz chimiques. En somme, à tuer de la façon la plus efficace.

## DES SOLS EMPOISONNÉS

La chimie et le temps ont fait le reste. Les bombes enfouies dans le sol se sont corrodées et ont libéré petit à petit leur contenu délétère sous des formes chimiques très concentrées. La pluie, en s'infiltrant dans le sol, est venue dissoudre les agents nocifs, entraînant vers les nappes phréatiques cette pollution séculaire, lentement mais sûrement. La très bonne solubilité des perchlorates →

→ et leur persistance dans la nature ont facilité la contamination et expliquent son ampleur.

La question centrale est bien sûr celle des effets de cette pollution, notamment sanitaires : aux doses présentes dans l'environnement, les perchlorates sont-ils susceptibles de poser des problèmes de santé publique ? Certaines études avancent qu'en altérant la capacité de la thyroïde à incorporer l'iode, ils pourraient affecter la croissance et le développement neuronal des nouveau-nés.

Jean-Louis Wémeau, chef du service d'endocrinologie et des maladies métaboliques du CHU de Lille, relativise cependant les risques : "Il n'existe pour le moment aucune évidence clinique reliant les perchlorates à des problèmes d'hypothyroïdie. La thyroïde présente en effet une très grande capacité à s'adapter aux excès ou aux déficits, bien avant l'apparition de pathologies. A titre de comparaison, le perchlorate est utilisé en médecine pour inhiber la pénétration intrathyroïdienne de l'iode, mais à des doses de 500 mg à 1 g par jour." Soit des teneurs 100 000 à 200 000 fois supérieures aux concentrations relevées dans les captages d'eau potable !

Mais chercheurs et médecins semblent avoir moins de certitudes quant aux effets à long terme de ces perturbateurs endocriniens, même à faibles doses... Ainsi l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail reste-t-elle prudente. Par principe de précaution, elle a formulé en 2011 et 2012 deux avis déconseillant au niveau national la consommation d'eau du robinet pour les nourrissons de moins de 6 mois (au-delà de 4 µg/l) et

pour les femmes enceintes et allaitantes (au-delà de 15 µg/l). Des préconisations qui ont conduit les préfets du Nord et du Pas-de-Calais à prendre des arrêtés de restriction d'usage en octobre 2012.

### UNE ÉVACUATION TRÈS LENTE

L'Agence régionale de santé de Picardie a également formulé en mai dernier des recommandations. "Les solutions existent, indique Olivier Thibault, directeur de l'Agence de l'eau Artois-Picardie. Par un jeu d'interconnexions et de canalisations de transfert, les captages problématiques sont dilués, voire remplacés par des ressources non contaminées. Des traitements de potabilisation pourront être localement nécessaires – les technologies adéquates attendent l'agrément des autorités sanitaires, prévu pour cette année."

Des travaux d'autant plus indispensables que si l'étendue et l'origine du problème sont maintenant caractérisées, estimer sa durée est pour l'instant impossible. "La propagation d'une pollution fait intervenir de nombreux facteurs, qui sont encore mal connus. De plus, l'écoulement de l'eau dans les nappes est très lent. Dans la craie, principal aquifère touché par les perchlorates, les vitesses de transfert sont de l'ordre du mètre par an", signale François Crastes de Paulet, hydrogéologue à la direction régionale Nord-Pas-de-Calais du BRGM. L'évacuation ou la dilution des polluants devrait donc prendre des dizaines d'années, peut-être même des centaines.

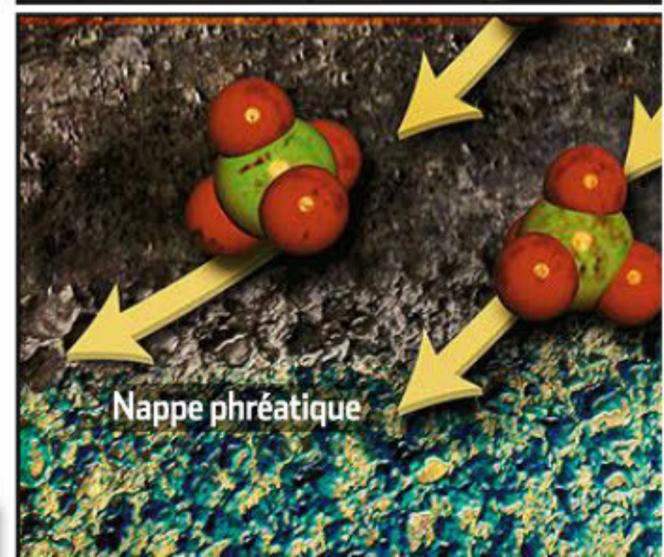
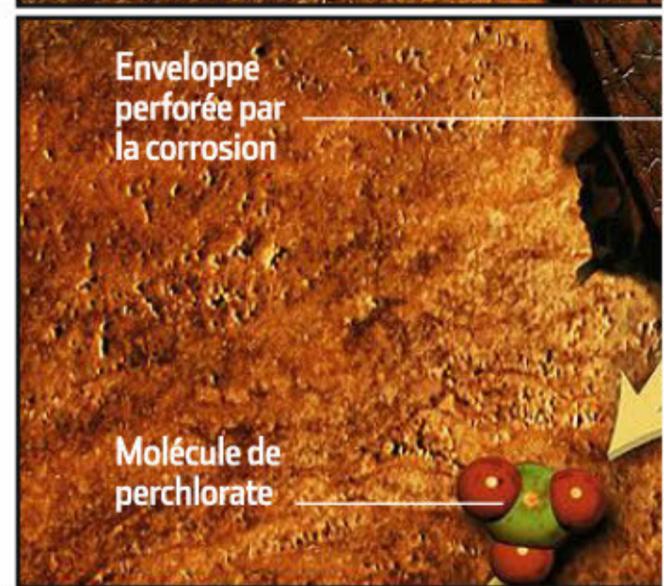
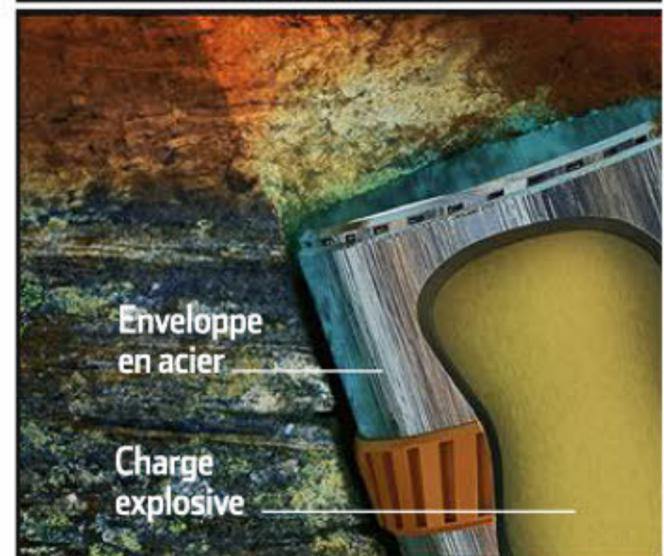
D'autres questions restent en suspens. Quel est le stock de polluants encore contenus dans les obus ? Sommes-nous au début ou à la fin d'un pic

### JARGON

Le **perchlorate** est un composé chimique de formule  $\text{ClO}_4^-$ , qui s'associe généralement à des atomes de potassium, de magnésium ou de sodium. Cet oxydant puissant est utilisé dans le domaine militaire, pour ses propriétés explosives ou propulsives. Il agit comme perturbateur endocrinien en empêchant la thyroïde de capter l'iode qui lui est nécessaire.



## Perchlorates : les 5 étapes d'une pollution à retardement





## 1 La zone de combats est bombardée

Le taux de raté des obus lancés durant la Grande Guerre est évalué entre 25 et 50 %. Sur des sédiments meubles (terres boueuses, zones humides), ce taux monte à 80 % d'obus intacts.



## 2 Les obus non explosés s'enfoncent sous terre

Les projectiles non explosés ont plongé jusqu'à 15 m de profondeur dans des sols même relativement durs, et bien plus profondément dans les terrains meubles.



## 3 La corrosion dégrade leur enveloppe d'acier

Les obus perdus sont restés enterrés et, avec le temps, leur enveloppe d'acier s'est corrodée. Suivant le degré d'oxydation du milieu, cette corrosion s'est étalée sur dix à cent ans.



## 4 Le contenu explosif est lessivé par l'eau de pluie

La dégradation de l'enveloppe d'acier expose le contenu explosif de l'obus, principalement composé de perchlorate de potassium. Ce composé chimique, extrêmement soluble, va être facilement dissous et transporté par l'infiltration de l'eau de pluie.



## 5 L'eau des nappes phréatiques est polluée

Peu à peu, les perchlorates sont transportés jusque dans les nappes phréatiques. Dans le cas de la nappe de la craie (Nord-Pas-de-Calais), cette migration se fait lentement, de l'ordre du mètre par an. L'eau polluée est ensuite pompée, puis consommée.



**OLIVIER THIBAULT**

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE

*Des technologies efficaces existent pour diluer l'eau contaminée, la remplacer ou la rendre potable*

de pollution? Combien de générations ont-elles été exposées à cette eau contaminée? Autrement dit, le pire est-il derrière nous ou à venir? Sans compter qu'il faut maintenant considérer la possible présence d'autres polluants, associés aux perchlorates dans les obus. Car plus de 200 constituants chimiques ont été répertoriés dans les munitions de guerre: mercure, arsenic, plomb, nitrotoluènes (TNT), acide picrique, nitrobenzènes... dont les caractères CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques) sont avérés dès les premiers microgrammes par litre. Pour l'instant, aucune campagne d'analyses n'a été menée, aucune étude ne s'y est intéressée... Alors que les commémorations du centenaire se préparent, il serait grand temps d'examiner sérieusement ce lugubre héritage des violences du passé. ■

# Un regard engagé sur la photo d'aujourd'hui

RÉPONSES PHOTO

**HORS  
SERIE  
N° 16**

RÉPONSES  
**PHOTO** MONDADORI FRANCE

## PORTFOLIOS

Cédric Delsaux  
*Fiction du réel*

Guillaume Zuili  
*L.A. Chromos*

Vee Speers  
*"Immortal"*

Gilles Desrozier  
*Le monde fusionnel*

J-Michel Fauquet  
*Huis clos*

Marc Chostakoff  
*Horizons*

Michael Jasmin  
*Le désert du Négev*

Thibaut Brunet  
*Vice city*

## FORUM

Anne Biroleau

Didier Brousse

Armelle Canitrot

François Cheval

Arnaud Claass

J-C Gautrand

François Hebel

Bogdan Konopka

Bernard Marcelis

Françoise Paviot

## Où s'arrête la Photographie?



Convergence technique, hybridation artistique, retouche numérique...  
Peut-on savoir ce qui est (encore) de la photo et ce qui n'en est (déjà) plus?

Concours Picto/RP: Faites tirer gratuitement, en grand format, votre photo préférée!

**EN VENTE ACTUELLEMENT**

HORS-SERIE N° 16: OÙ S'ARRÊTE LA PHOTOGRAPHIE?

100 ANS

SCIENCE & VIE

7 IDÉES NEUVES  
pour le XXI<sup>e</sup> siècle

Quand les nouveaux savoirs bousculent les anciens dogmes.  
Une grande série de "Science & Vie", à retrouver chaque mois.  
Ce mois-ci : **La thermodynamique**

Leçon n°4

# Penser **exergie** plutôt qu'**énergie**

PAR VINCENT NOUYRIGAT

*"Rien ne se crée, rien ne se perd."* C'est en vertu de la première loi de la thermodynamique que, depuis deux cents ans, le développement industriel mondial exploite les ressources de la planète, en cherchant à maximiser toujours plus les rendements... Or, ce dogme occulte étrangement la deuxième loi de la thermodynamique, qui stipule que si l'énergie se conserve, sa qualité – baptisée exergie –, elle, se dégrade... et doit donc être prise en compte. Par exemple, un bol d'eau chaude au pôle Nord possède la même énergie mais pas la même exergie que s'il se trouve au Sahara! A la clé? Un incroyable gaspillage! Et une chance pour le XXI<sup>e</sup> siècle... Car là où le monde se croit en proie à une crise énergétique, il va devoir apprendre qu'il souffre d'abord d'une crise exergétique! Et en identifiant le mal, en déduire des remèdes réellement appropriés...

**B**oum, vroum, psschhhh! Dans l'atmosphère saturée de vapeur brûlante d'un atelier de la ville de Birmingham, Matthew Boulton, associé d'un certain James Watt, accueille un journaliste. Il lui lance: *"Ce que je vends ici, monsieur, c'est ce que le monde désire le plus: la puissance!"* Nous sommes en 1776 et une révolution industrielle se prépare. Les machines à vapeur encore expérimentales de Boulton & Watt sont sur le point de remplacer les maigres forces des bêtes de somme, des chutes d'eau ou des courants d'air. Des réserves incommensurables d'énergie s'offrent désormais à l'humanité. La Terre ne semble plus avoir de limites...

Quelques décennies plus tard, en 1824, dans l'ouvrage fondateur de la thermodynamique, cette science naissante censée décrire la façon dont l'énergie se transfère d'un système à l'autre, le savant français Sadi Carnot décrit en effet un pays de Cocagne: *"La nature, en nous offrant de toutes parts le combustible, nous a donné la faculté de faire naître en tous temps et en tous lieux la chaleur et la puissance motrice qui en est la suite."* Pour preuve, ajoute-t-il, *"déjà la machine à feu exploite les mines, fait mouvoir nos navires, creuse nos ports et nos rivières, forge le fer, façonne le bois, écrase les grains, file et ourdit nos étoffes, transporte les plus pesants fardeaux, etc."*

Nous vivons depuis deux siècles sous les auspices de cette puissance révélée par Watt et de cette science fondée par Carnot. Deux siècles que cette notion d'énergie occupe tous les esprits, des grands organismes internationaux jusqu'au citoyen lambda, en passant par l'industriel besogneux. De l'énergie, encore de l'énergie, toujours plus d'énergie! Et toujours plus de combustible mobilisé pour nourrir cette demande gargantuesque: charbon, pétrole, gaz, uranium... Une fuite

en avant dont les effets se font cruellement sentir aujourd'hui à travers l'épuisement des ressources planétaires, sans parler du réchauffement climatique provoqué par les rejets massifs de CO<sub>2</sub> et autres pollutions issues de nos consommations frénétiques.

### L'ÉNERGIE NE SE CONSOMME PAS!

Or, cette impasse repose, en grande partie, sur un affreux malentendu. Qui se résume en un incroyable paradoxe. Jugez plutôt: tout un chacun est persuadé de consommer de l'énergie, et tente désormais fébrilement de l'économiser, alors que, dès son premier principe, la thermodynamique stipule justement que... l'énergie se conserve. *"Rien ne se perd, rien ne se crée"*, dit l'adage. Cette loi fondamentale de la nature a été énoncée pour la matière dès l'Antiquité, avant d'être reprise par le chimiste Antoine Lavoisier. Ce faisant, s'exclame Jacques Grinevald, historien du développement technologique à l'université de Genève, *"si l'on s'en tient à ce premier principe, il ne peut y avoir de crise de l'énergie, puisque celle-ci se conserve et n'est donc pas consommée!"* Alors quoi? Ce paradoxe – on ne peut consommer quelque chose qui se conserve – serait

amusant si ses conséquences n'étaient pas si graves. Car la confusion continue encore aujourd'hui de régner autour de cette notion fondatrice de la révolution industrielle. Non! L'énergie ne se consomme pas! Et le problème énergétique n'est donc pas celui que l'on croit. *"Nous vivons bel et bien une crise majeure, rétablit Jacques Grinevald, mais ce que nous subissons est une crise liée à la consommation d'exergie."*

Exergie... Ceci n'est ni un jeu de mot ni un néologisme creux. Il s'agit d'une grandeur physique bien réelle sur laquelle un nombre croissant de scientifiques et d'industriels misent pour surmonter les redoutables défis environnementaux du XXI<sup>e</sup> siècle! →

**Alors que l'énergie, en**



**^ AU XX<sup>e</sup> SIÈCLE, L'HUMANITÉ A VÉCU UNE PÉRIODE D'ABONDANCE...**

Charbon, pétrole, gaz, uranium: la découverte au cours du XX<sup>e</sup> siècle de gisements mirifiques et accessibles entretient l'idée d'une Terre infinie, aux ressources inépuisables. Pour répondre à la demande galopante, il suffirait simplement d'accélérer l'extraction (ici, de pétrole).



*grande quantité, a guidé notre développement...*



**✓ ... QUI L'A CONDUITE À DE GRANDS GASPILLAGES...**

Bien que la production d'électricité engendre d'immenses pertes sous forme de chaleur (comme ici cette tour de refroidissement), nul ne se soucie de la valoriser au sein, par exemple, des réseaux de chauffage. Au contraire, en France, EDF encourage le chauffage électrique !



**^ ... ET A CONDITIONNÉ SES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES**

Politiques et industriels suivent le 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique selon lequel rien ne se perd. Leurs décisions se fondent sur la notion de rendements.

→ Un concept qui devrait, en toute logique, supplanter la notion familière d'énergie d'ici quelques décennies. Jocelyn Bonjour, directeur du Centre de thermique de Lyon, en est persuadé: *"Chaque année, je conclus mon premier cours par cette annonce à mes étudiants: 'Contrairement à tout ce que vous pouvez lire ou entendre, ce n'est pas l'énergie qu'il faut économiser, mais bien l'exergie'."* Au sens où l'exergie représente la qualité d'une énergie, autrement dit sa fraction utilisable par les humains.

### IL Y A URGENCE À SORTIR DU DOGME

Le message adressé aux nouvelles générations de thermiciens est ferme: il faut de toute urgence s'extirper du dogme énergétique actuel, changer les concepts qui fondent notre relation avec cette puissance promise par Boulton et Watt. Car, en restant englués dans la notion d'énergie qui abreuve tous les rapports officiels et s'affiche sur les brochures de nos appareils, notre civilisation industrielle et ses ingénieurs assoiffés de puissance ont façonné une vision du monde incomplète, grossière, trompeuse, voire carrément malhonnête.

Le constat est d'une rare violence. C'est que le mal est profond. Ce qui est en cause ici va au-delà de l'absurde illusion de disposer de ressources qui se conserveraient éternellement, bercés que nous serions par le premier principe de la thermodynamique. Le problème est plus grave: contrairement à la façon dont elle est présentée depuis deux cents ans, cette notion d'énergie est incapable de mesurer proprement la capacité de nos machines à fournir un travail utile. La preuve? Considérez deux réservoirs remplis chacun d'un litre d'eau chauffée à 40 °C, l'un se trouvant au pôle Nord, l'autre sous les tropiques. Puisqu'ils sont identiques, ces deux réservoirs contiennent exactement la même quantité d'énergie. Pourtant, il est évident qu'ils n'ont pas du tout la même valeur utilitaire! Alors

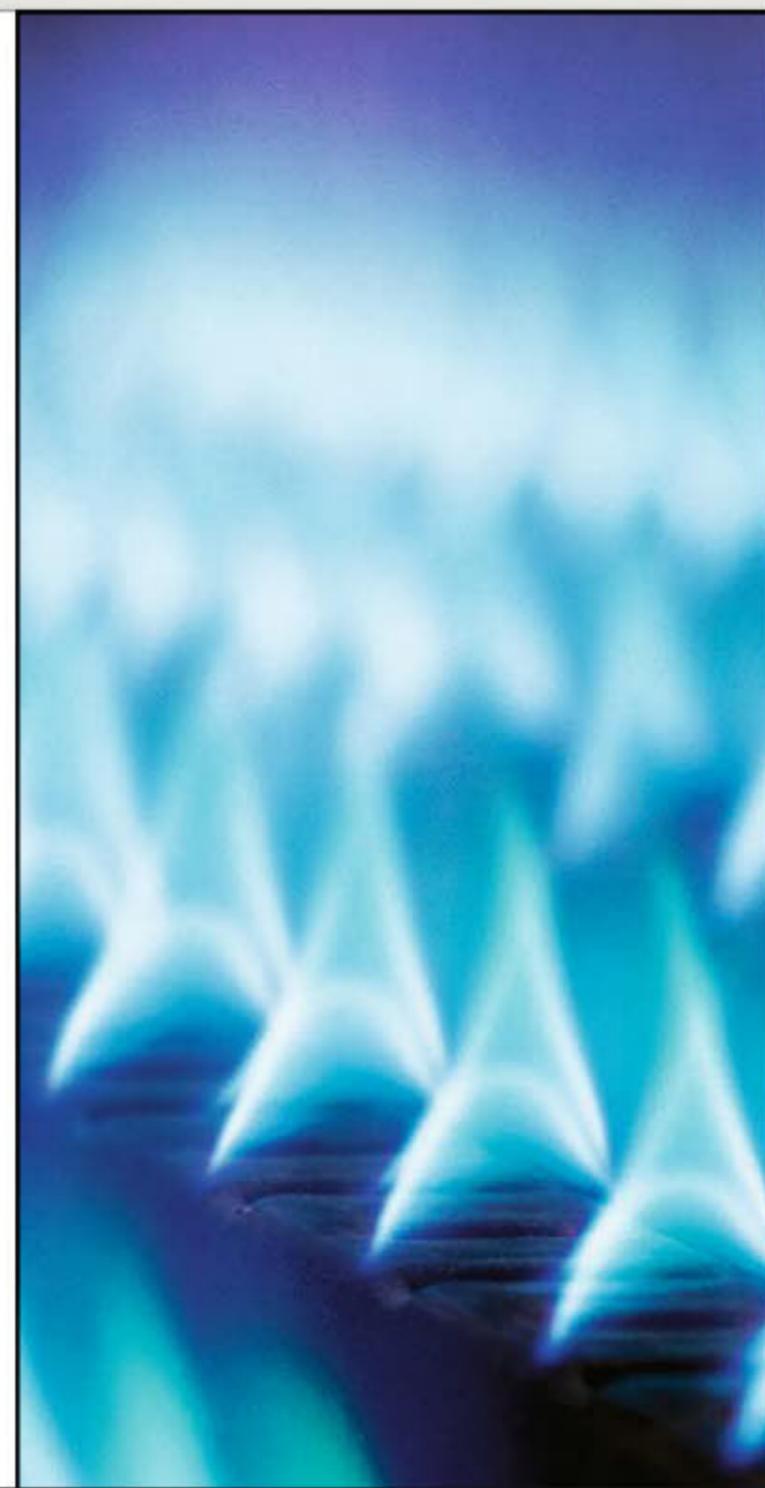
que le réservoir des tropiques est à température ambiante et ne peut donc fournir aucun travail spécifique, celui du pôle Nord est une source appréciable de chaleur, capable de réchauffer celui qui la boit, de faire fondre la glace... La notion d'énergie rate donc totalement la mesure de la quantité de travail qu'il est possible d'extraire de ces stocks d'eau – ce qui est pourtant le but affiché par la science thermodynamique.

*"L'utilité d'une énergie repose sur sa capacité à faire naître un changement: plus un système est loin de l'équilibre ambiant, plus cette capacité est grande, rappelle Alexandru Dobrovicescu, chercheur à l'université polytechnique de Bucarest (Roumanie). Un système à l'équilibre thermomécanique ou chimique n'a plus aucune valeur, à l'image d'une chaleur délivrée à la température ambiante. Pourtant, la conception énergétique actuelle ignore totalement les interactions du système avec son environnement."* En sachant aussi que *"l'approche énergétique ne fait pas la différence entre un joule de chaleur délivré à 500 °C et un autre fourni à 50 °C"*, vitupère Michel Feidt, chercheur au Laboratoire d'énergétique

## ... C'est maintenant la qualité

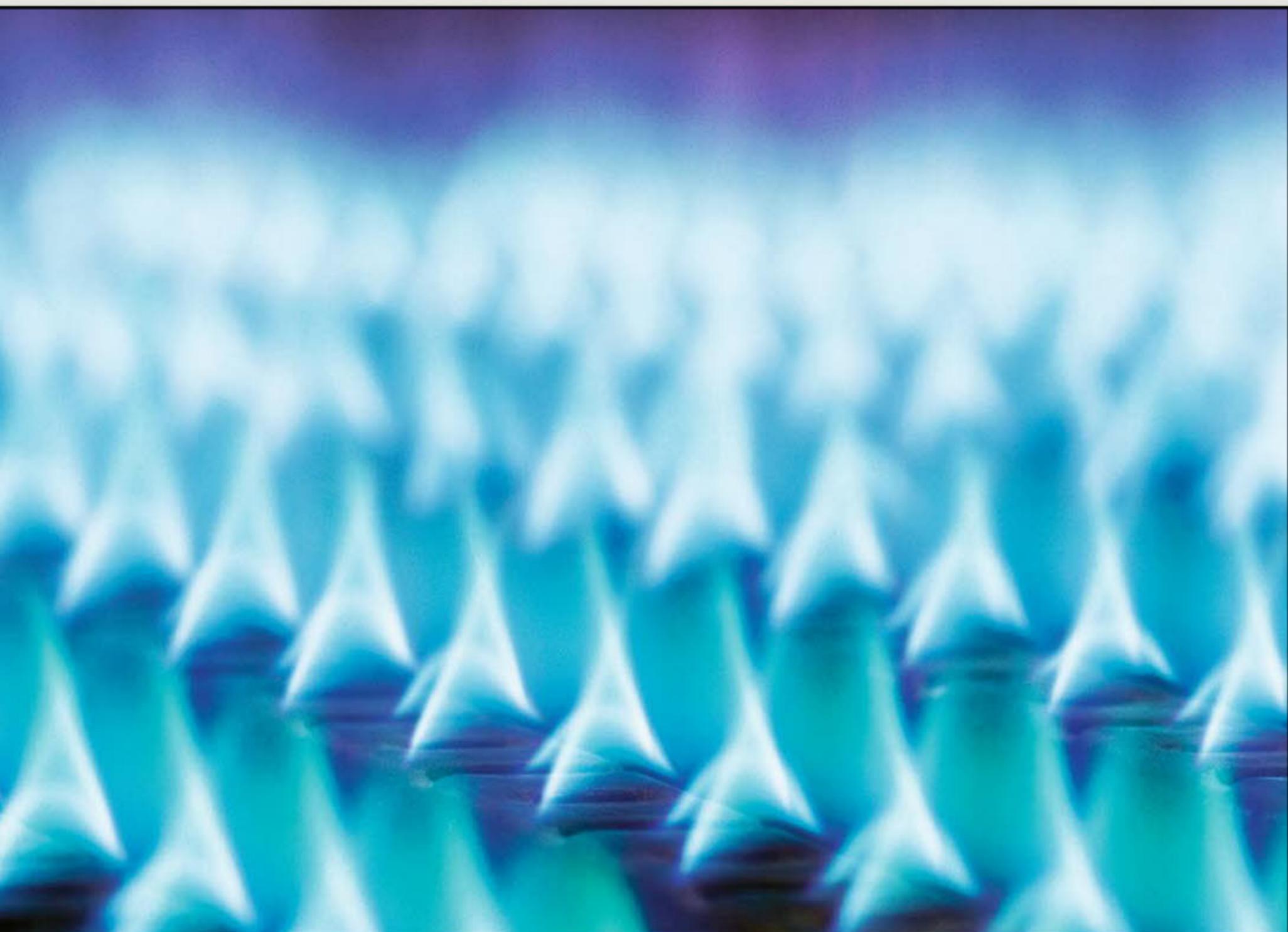
et de mécanique théorique et appliquée (Nancy). Cette température, à laquelle la chaleur est fournie, modifie pourtant radicalement l'utilisation que l'on peut en faire, les métallurgistes en savent quelque chose... Alors, comment en est-on arrivé à mesurer les capacités de nos appareils avec une notion aussi trompeuse que l'énergie?

Le problème est que l'on ne mesure ici qu'une quantité, sans prendre en compte la qualité. Or – et c'est le point clé de toute l'histoire – toutes les formes d'énergie ne se valent pas! La capacité d'une énergie à fournir un service utile aux humains varie selon sa nature thermique, mécanique, électrique ou chimique. →



### ▲ LE XXI<sup>e</sup> SIÈCLE SE HEURTE À LA RARETÉ DES RESSOURCES...

Les gisements de combustibles sont moins riches et plus difficiles d'accès; l'extraction des ressources réclame des efforts colossaux et les cours des matières premières s'envolent.



## de l'énergie, l'exergie, qui en est la clé

### ✓ ... CE QUI EXIGE UN USAGE PLUS RATIONNEL...

Les centrales à cogénération (photo) valorisent la chaleur perdue au cours du processus de production de l'électricité. Raisonner sur la qualité des différentes formes d'énergie, à savoir leur exergie, permet de révéler le potentiel d'utilisation de ces pertes.



Loi  
(8426)  
modifiant la loi sur l'énergie (L. 230)

Le GRAND CONSEIL de la République et canton de Genève  
décide ce qui suit :

Art. 1. Modification de la loi sur l'énergie  
La loi sur l'énergie, du 18 septembre 1986, est modifiée comme suit :

Art. 4, al. 2 (nouvelle teneur)  
<sup>3</sup> La présente loi s'applique sans préjudice des dispositions sur l'énergie  
figurant dans d'autres textes légaux et réglementaires cantonaux.

Art. 6, al. 3 Producteurs indépendants (nouvelle teneur)  
<sup>1</sup> On appelle producteurs indépendants les détenteurs d'installations  
productrices d'énergie électrique...

<sup>3</sup> Pour les bâtiments neufs et les rénovations lourdes d'une certaine  
importance, un concept énergétique est exigé par l'autorité compétente. Ce  
concept, incluant une approche exergétique, vise à économiser autant que  
possible les consommations d'énergie à des coûts qui ne soient pas

<sup>1</sup> On appelle producteurs indépendants les détenteurs d'installations  
productrices d'énergie électrique...

<sup>2</sup> La présente loi s'applique par voie de procédure en vue d'une décision  
prévue par la présente loi.

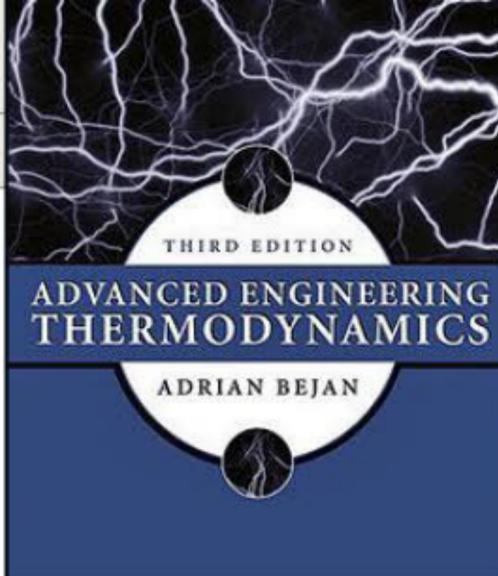
### ▲ ... ET LA CRÉATION DE NOUVELLES RÉGLEMENTATIONS

Il faut prendre en compte la consommation d'exergie correspondant à la perte de qualité de l'énergie. Le canton de Genève a le premier intégré cette notion dans sa loi sur les logements neufs.

## v ANNÉES 1970

**Le premier choc pétrolier**

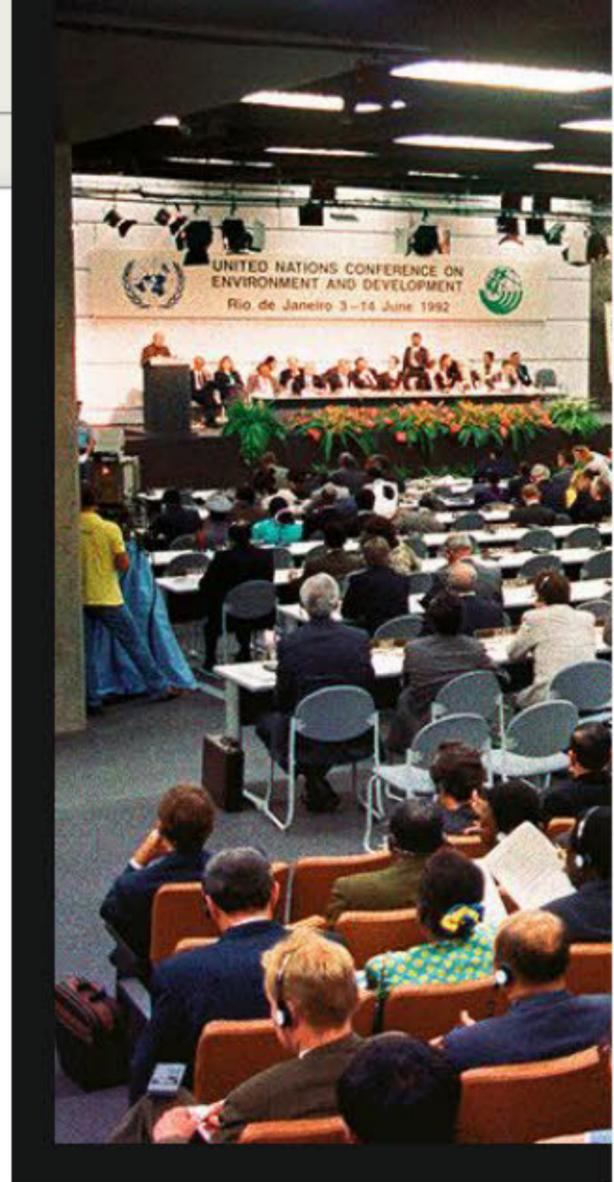
Un embargo sur les livraisons de pétrole des pays arabes, associé au déclin de la production américaine d'or noir, provoque un quadruplement des prix du baril. Le spectre de la pénurie provoque une brutale prise de conscience de l'ampleur du gaspillage énergétique.



## ^ ANNÉES 1980

**L'exergie en équations**

Les thermodynamiciens, comme l'Américain Adrian Bejan, ressortent les équations de l'exergie: défrichée depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, cette notion est désormais opérationnelle pour l'ingénieur.

**Ce changement de perspective fait suite à l'émergence d'une nou**

→ L'énergie mécanique, par exemple, est une énergie noble capable de se transformer complètement, sans aucune perte, en toute autre forme d'énergie: c'est l'eau relâchée à grande hauteur des barrages hydrauliques. L'électricité est également une énergie d'une qualité parfaite: la nature autorise 1 kW d'électricité à se convertir intégralement en chaleur – pour peu que le convertisseur soit bien “huilé”. Mais l'inverse n'est pas vrai: seule une partie de la chaleur contenue dans un nuage de vapeur brûlante sera convertie en électricité ou en travail mécanique. Les pertes sont inévitables, la conception des machines n'y est pour rien. Simplement, explique Michel Feidt, “la chaleur est une forme d'énergie de qualité inférieure, car elle est incohérente, c'est-à-dire liée aux mouvements désordonnés des molécules”. En négligeant ces différences fondamentales de qualité, la notion d'énergie passe donc à côté de l'essentiel.

La notion de rendement énergétique, qui obsède à peu près tout le monde,

illustre cette confusion. Certains se souviennent peut-être d'avoir griffonné, en cours de physique, au lycée, une grosse boîte (le “système”) transpercée de flèches figurant les différents flux d'énergie qu'il fallait additionner pour dresser le bilan... et calculer sagement ce fameux rendement censé mesurer la qualité de la machine. Le simple fait d'additionner des énergies différentes (chaleur et travail mécanique, par exemple) fait soupirer Michel Feidt: “Cela revient à additionner des pommes et des poires.” Selon Jocelyn Bonjour, le rendement ne donne qu'une piètre représentation de la réalité thermodynamique: “Ce chiffre ne livre en vérité que peu d'informations intéressantes: il permet seulement de juger si un système est un bon convertisseur d'énergie. Or, avec un peu de lubrifiant et une bonne isolation, vous pouvez souvent flirter avec l'efficacité impressionnante de 100 %.” A contrario, un rendement peut être épouvantablement médiocre sans raison thermodynamique valable,

discréditant ainsi une technologie. Les yeux rivés sur le mauvais indicateur depuis plus d'un siècle, les ingénieurs ont eu tendance à se satisfaire de certaines performances faussement idylliques, comme les 90 % affichés par les chaudières. Ce qui n'incite guère à améliorer radicalement un dispositif, même s'il continue d'engloutir des montagnes de ressources et de cracher ses flots de gaz à effet de serre. Une situation devenue inacceptable pour tout thermodynamicien un peu soucieux de l'état actuel de la planète...

**NOUS CONSOMMONS DE L'EXERGIE**

Une situation à laquelle, justement, l'exergie promet de mettre fin! Car l'exergie n'est autre que la mesure de la qualité d'une énergie. C'est la partie utilisable d'un joule, sa capacité à créer un service utile aux humains. Cette grandeur, qui est une fraction de l'énergie du système, s'exprime également en joules et les équations qui permettent de la calculer sont bien établies. Les scientifiques parlent de



## < ANNÉES 1990

### Les alertes environnementales

En réunissant en 1992, à Rio, une centaine de chefs d'Etat et de gouvernement, le sommet de la Terre témoigne d'une inquiétude mondiale pour l'environnement. La lutte contre les émissions de gaz à effet de serre est lancée.



## ^ ANNÉES 2010

### Le développement de nouvelles technologies

Les ingénieurs mettent au point de nouveaux procédés thermodynamiques (ici, le cycle de Rankine à fluide organique) capables d'exploiter les moindres pertes thermiques de leurs usines. Résultat : une baisse de la consommation et des rejets de CO<sub>2</sub>.

## ouvelle prise de conscience énergétique...

l'exergie comme de la "fraction théoriquement mécanisable" de l'énergie, le travail mécanique étant l'étalon-or de la thermodynamique, de l'exergie pure, d'une qualité parfaite, intégralement exploitable. L'exergie de la chaleur, elle, ne vaut qu'une fraction de son énergie, et dépend de la température à laquelle elle est fournie et de la température ambiante: l'exergie d'un litre d'eau à 40 °C est nulle sous les tropiques et s'élève au pôle Nord, de quoi résoudre le paradoxe précédent.

Mais la différence fondamentale entre énergie et exergie est ailleurs: l'une se conserve, l'autre pas. Ce n'est plus le premier principe de la thermodynamique qui parle ici, mais le second, entrevu par Sadi Carnot. Dont le message tonitruant tient en une phrase: tout est voué à se dégrader de manière irréversible. On dit alors que l'entropie augmente, ou que son pendant méconnu, l'exergie, diminue. Voilà la clé de cette nouvelle représentation du monde: si la quantité d'énergie se conserve lors d'une transformation, la qualité de

cette énergie, son exergie, elle, ne se conserve pas. A cause des frottements, des transferts de chaleur, des mélanges de matière, des turbulences... "Toute forme d'énergie noble se dégrade, tôt ou tard, en chaleur à basse température", résume Alicia Valero, du département des ressources naturelles de l'université de Saragosse (Espagne). Bref, l'exergie se perd. Et ce sont précisément ces pertes de qualité que les ingénieurs doivent traquer et minimiser; c'est ce combat, et pas un autre, qui vaut la peine d'être engagé.

#### UN PARAMÈTRE NEUTRE ET OBJECTIF

"Comprendre que c'est l'exergie qui est consommée revient à entrer, enfin (!), dans l'ère du second principe de la thermodynamique", s'enthousiasme Diogo Queiros-Conde, physicien au Laboratoire énergétique mécanique électromagnétisme (Leme) à l'université Paris-X. Vous voulez économiser les ressources? Epargner la planète? Alors arrêtez de regarder ce que vous croyez consommer en énergie: mesu-

rez ce que vous consommez en exergie! Tel est le message que la communauté des exergéticiens envoie à la planète. "L'exergie est la véritable expression thermodynamique de la puissance motrice", assène Alicia Valero. "L'une de ses grandes forces est aussi de mettre en relation l'énergie et l'environnement dans lequel elle baigne; l'eau, l'air, la terre", complète Michel Feidt. Une manière de faire le lien entre crise énergétique et dégâts environnementaux.

En s'armant de ce concept et en se focalisant sur le second principe thermodynamique, le calcul des rendements prend alors tout son sens. Car il s'agit maintenant de calculer des "rendements exergétiques" (soit l'exergie utile divisée par l'exergie consommée). Et ces calculs apportent un regard très instructif sur notre société. "Alors que le rendement énergétique utilisé par les organismes officiels laisse penser que l'économie américaine affiche une efficacité de 50 %, le rendement exergétique signale en réalité une performance de seulement →

→ 8 %, estime Robert Ayres, expert en métabolisme industriel à l'Institut européen d'administration des affaires (Insead). *C'est dire si les Etats-Unis disposent d'une grande marge de progrès pour réduire leur consommation et leurs émissions ! Au lieu de quoi, l'industrie a préféré considérer que ses performances étaient satisfaisantes, qu'il n'y avait pas d'effort particulier à engager dans le sens de l'efficacité*", qu'il fallait donc continuer à construire des centrales, nucléaires ou à charbon, pour répondre à la demande galopante.

Sous le flambeau de l'exergie, nos appareils domestiques affichent aussi leur visage authentique. Prenez le radiateur électrique, qui équipe un tiers des logements en France: *"Cet appareil consiste ni plus ni moins à transformer une énergie de très haute qualité, l'électricité, en énergie totalement dégradée, de la chaleur proche de la température ambiante: un gâchis effarant, une véritable catastrophe exergétique"*, rumine Michel Feidt. Si le rendement énergétique d'un tel appareil atteint près de 100 %, son efficacité exergétique ne dépasse, elle, jamais les... 7 %. Voilà le seul chiffre valable, cohérent et pertinent à retenir à propos de ce radiateur électrique! Au lieu d'être dévoyée en chaleur à basse température, l'électricité ferait mieux d'être destinée au travail mécanique ou à l'éclairage... quand un dispositif de géothermie ou un système s'appuyant sur des résidus de chaleur industrielle pourrait tout à fait réchauffer nos immeubles.

Dans une société de l'exergie, chaque usage bénéficierait de la juste qualité d'énergie correspondante, ni trop élevée ni trop faible. Il en va de la

lutte contre le gaspillage exergétique. Avec ce nouveau mode de raisonnement, poursuit Michel Feidt, *"le solaire s'impose comme une évidence pour assurer les besoins d'un logement en eau chaude sanitaire, y compris dans des zones à ensoleillement diffus. Je m'étonne tous les jours que cela ne se soit pas encore généralisé"*.

### MULTIPLIER LES EFFETS UTILES

Solaire, géothermie, éolien... Tous ces dispositifs ont longtemps été moqués et délaissés par les industriels. De fait, *"le classique rendement énergétique ne leur rend pas forcément justice, suggère Lavinia Grosu, directrice adjointe du Leme. Mais l'analyse exergétique permet de rétablir la vérité thermodynamique de certaines technologies vertes, offrant ainsi un argument scientifique pour les promouvoir"*. L'exergie est une grandeur universelle qui traite, elle, de manière équitable les technologies les plus diverses. Ce qui permet de raisonner à l'échelle d'un pays entier.

Diogo Queiros-Conde n'en démord pas: *"Nous tenons là un paramètre objectif, neutre et à l'abri de la pression des lobbies de toutes sortes qui ont pu entretenir le grand flou sur les rendements"*. *"Le bilan exergétique est le véritable reflet de la qualité du travail de l'ingénieur"*, renchérit Daniel Favrat, professeur au laboratoire d'énergétique industrielle, à Lausanne (Suisse). Jocelyn Bonjour remarque d'ailleurs que *"cette analyse redonne des couleurs à certains cycles thermodynamiques tombés en désuétude"*. A l'image du moteur Stirling, mis au placard depuis plus d'un siècle, et pourtant

susceptible de fonctionner à partir de la chaleur de la main. Mieux: le chercheur suédois Goran Wall, grand avocat du concept, pense qu'en *"changeant notre représentation du monde, l'exergie permettra à des idées radicalement nouvelles d'émerger en thermodynamique"*.

D'ores et déjà, l'exergie nous force à ne plus regarder de la même manière les résidus de chaleur qui s'échappent de la chaudière d'une maison, des pots d'échappement d'une voiture, des freins d'une rame de métro, des cheminées d'usines, des centrales électriques. Tel four d'une usine de production de

## ... qui devrait bouleverser

verre (1500 °C) laisse échapper des gaz à 500 °C susceptibles de faire tourner une turbine à vapeur pour produire de l'électricité, laquelle turbine déverse des flots d'énergie thermique à 120 °C pouvant à leur tour servir à un autre usage, et ainsi de suite...

*"Cette valorisation tous azimuts va dans le sens de l'histoire, car l'idée aujourd'hui est de créer plusieurs effets utiles à partir d'un même processus, selon les différentes qualités d'énergies disponibles"*, précise Michel Feidt. Après la cogénération, qui est la production conjointe d'électricité et de chaleur, les chercheurs travaillent aujourd'hui sur la trigénération, qui est la production d'électricité, de chaleur et de travail, et plus généralement sur la polygénération. *"Autant au XIX<sup>e</sup> et au XX<sup>e</sup> siècles, les services thermodynamiques rendus étaient assez simples, autant cette nouvelle complexité exige maintenant de faire appel à la notion d'exergie"*, analyse Daniel Favrat. Oui, mais à condition de sortir de l'impasse actuelle dans laquelle nous a précipités le dogme de l'énergie, de penser qualité plutôt que quantité, et de garder à l'esprit que "tout se disperse" plutôt que "rien ne se perd"...

Une question brûle les lèvres: com-

## EN SAVOIR PLUS

Les ouvrages récents sont rares, ou en anglais, comme *Exergy-Energy, Environment and Sustainable Development* d'Ibrahim Dincer et Mark Rosen (Elsevier). Mais les textes plus anciens sont toujours disponibles: *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* de Sadi Carnot (sur Internet) ou *La dégradation de l'énergie* de Bernard Bruhnes, qui date de 1909 (Flammarion, 1993).



## < DANS L'HABITAT

### *Faire appel aux bonnes sources d'énergie*

Certains choix désastreux peuvent être évités : comme utiliser un chauffe-eau électrique pour chauffer l'eau d'une douche, ce qui revient à dilapider une énergie de haute qualité – l'électricité – pour un usage qui pourrait très bien se contenter des rayons du soleil... Réfléchir sur la qualité de l'énergie, c'est-à-dire l'exergie, ouvre la porte à des options jusqu'ici marginales.

## nos modes de consommation

ment expliquer un tel aveuglement ? Pourquoi ose-t-on encore parler de rendements énergétiques jusque dans les instances internationales les plus respectées ? En un mot, pourquoi l'exergie ne s'est-elle pas encore imposée dans notre quotidien ? Ce blocage est d'autant plus étonnant que les pionniers de la thermodynamique avaient pleinement conscience de cette perte de qualité de l'énergie : depuis Sadi Carnot, en passant par Joseph Fourier, Lord Kelvin, Willard Gibbs, James Maxwell, Georges Gouy... Elle a porté toutes sortes de noms : énergie utilisable, travail disponible, essergie (l'essence de l'énergie)... Jusqu'à ce qu'en 1956, le thermodynamicien yougoslave Zoran Rant parle d'exergie (du grec *exo*, "hors de"). Mais il faudra attendre le premier choc pétrolier pour que l'idée sorte de l'anonymat, avec les premières réflexions sur la chasse au gaspillage.

Las, cette prise de conscience s'évanouira avec l'effondrement des prix du pétrole. *"L'absence d'intérêt pour l'environnement combinée aux coûts dérisoires de l'énergie n'a pas incité à lancer de nouvelles recherches"*, souligne Jocelyn Bonjour. Les mauvaises habitudes avaient été prises depuis plus d'un siècle. Il est vrai aussi →

## > POUR L'INDUSTRIE

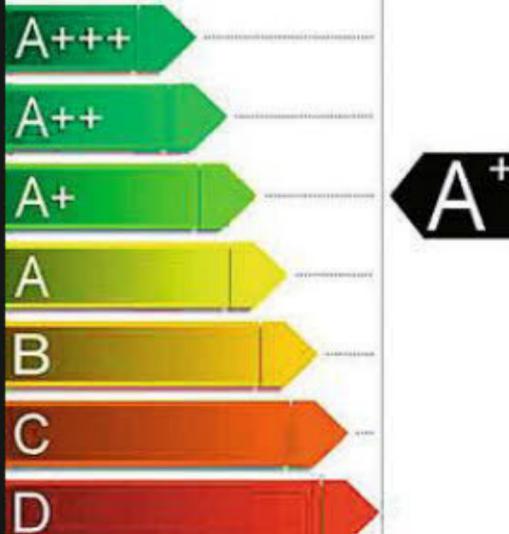
### *Identifier toutes les causes d'inefficacité*

Cette nouvelle approche permet de pénétrer au cœur des systèmes industriels, que ce soit une simple voiture ou une monstrueuse raffinerie. Les sources de pertes sont localisées et quantifiées. Les gains possibles apparaissent au grand jour.



### Energy

Manufacturer  
Model



## < EN ÉCONOMIE

### *Associer l'environnement au développement*

Les théories économiques développées dans les années 1970 ont établi le lien entre développement industriel, exergie et dégradation irréversible des ressources naturelles. Attribuer à chaque produit un prix fondé sur sa consommation d'exergie est le meilleur moyen de préserver l'environnement.

→ que les calculs exergétiques réclament une compréhension profonde de la thermodynamique, à la portée seulement des experts rodés. Oui, mais voilà : une fois au pied du mur, l'humanité n'aura d'autre choix que de se convertir à l'exergie.

Déjà, la notion est devenue incontournable dans les grandes conférences internationales de thermodynamique, et une revue scientifique (*International Journal of Exergy*) lui est dédiée depuis

*de refroidissement du moteur : l'analyse exergétique permet d'opérer les bons choix*", relève Michel Feidt. En revanche, "les grandes agences internationales restent encore attachées à leurs outils primitifs", regrette Daniel Favrat. Diogo Queiros-Conde travaille justement "sur des méthodes pédagogiques, des représentations graphiques afin d'inculquer la notion d'exergie aux décideurs. Et pour conquérir le grand public, pourquoi ne pas remplacer le

Energie, matière, environnement... "Il n'existe pas d'activité humaine qui ne comprenne de dimension matérielle ou énergétique : l'exergie offre ainsi la vision la plus fidèle et concrète de notre existence", résume Jacques Grinevald. Bien sûr, l'exergie n'est pas omnisciente : "Cette grandeur ne dit rien sur la toxicité des rejets polluants", reconnaît Daniel Favrat. Bien sûr, confie Michel Feidt, "il reste encore des questions à trancher sur le bon choix des conditions ambiantes à prendre en compte dans les calculs d'exergie". Mais la seule évocation de ce concept a déjà l'immense intérêt de révéler dans toute sa crudité le gouffre dans lequel nous ont plongés les politiques du XX<sup>e</sup> siècle. Un siècle où les hommes n'ont fait qu'additionner des grandes masses d'énergies nébuleuses sans en percevoir les contrastes. Au point d'être incapables de définir précisément ce que serait un "développement durable", joli terme apparu en 1987 au sein d'un rapport de l'ONU intitulé "Notre avenir à tous".

Le mode d'emploi de l'avenir devient limpide sous les auspices de l'exergie. Pour Adrian Bejan, éminent thermodynamicien de l'université Duke (Etats-Unis), "la grande idée pour le XXI<sup>e</sup> siècle, le cri de ralliement de l'humanité, sera d'éviter la destruction de l'exergie... Partout, tout le temps et par tous les moyens envisageables!". Le développement durable ne tient au bout du compte qu'à un seul commandement, un seul : réduire sa consommation d'exergie. Reste à l'appliquer. ■

## L'exergie est une grandeur universelle qui permet de traiter toutes les technologies et de raisonner à l'échelle d'un pays

2004. Très concret, le concept d'exergie est aujourd'hui enseigné dans les écoles d'ingénieurs et une poignée d'universités. Quant aux industriels, face à l'envolée des coûts de l'énergie, ils commencent à comprendre tout l'intérêt de cette analyse. D'autant que l'outil est opérationnel : quelques précurseurs s'y essaient depuis plus de dix ans avec profit. En effet, "l'exergie permet de localiser et de quantifier les sources de pertes au sein d'un système, puis de constater dans quelles proportions elles peuvent être évitées", expose Jocelyn Bonjour. Dès lors, l'ingénieur découvre immédiatement le maillon faible d'un ensemble aussi complexe qu'une raffinerie de pétrole : il sait sur quel composant porter ses efforts".

Aucune autre grandeur physique ne laisse pénétrer aussi profondément dans l'intimité de ces machines. Plusieurs études ont été menées sur des raffineries de pétrole, de cuivre et des usines d'engrais. Ce seront autant d'économies de combustible et de rejets. Si bien que l'analyse exergétique devrait bientôt devenir un passage obligé dans l'industrie lourde. Elle l'est déjà dans l'automobile, où Renault s'est livré à des travaux poussés sur le sujet, même si les détails restent secrets. "Une voiture est une véritable petite centrale thermique où l'on peut valoriser la chaleur des gaz d'échappement ou celle, de moindre qualité, de l'eau

watt par le 'watt X', le watt d'exergie? Cela peut paraître symbolique, mais il faut frapper l'imaginaire pour changer les mentalités". Pour l'instant, la seule percée au grand jour de l'exergie a été effectuée au milieu des années 2000 dans le canton de Genève, en Suisse : "La loi locale sur l'énergie, votée par référendum, intègre le critère de l'exergie pour la construction de logements neufs et les rénovations, se félicite Daniel Favrat. Une première mondiale, dont il est toutefois un peu tôt pour mesurer les effets."

### LE MODE D'EMPLOI DE L'AVENIR

Une chasse au gaspillage d'un genre nouveau s'organise. Qui vaut aussi pour la matière. Car l'exergie peut aussi représenter la qualité d'une ressource minière (charbon, pétrole, cuivre...), suivant la plus ou moins grande concentration d'un filon. Pour Alicia Valero, "l'exergie va pouvoir quantifier, à l'abri des spéculations des marchés, la vitesse d'épuisement des ressources planétaires". Une discipline baptisée exergo-économie propose de sensibiliser les consommateurs en définissant la valeur des produits du quotidien en fonction de leur consommation en exergie primaire. "L'exergie est la seule manière rationnelle de faire le lien entre économie et monde physique", songe Alexandru Dobrovicescu.

Le mois prochain  
**Leçon n° 5**

PHYSIQUE FONDAMENTALE

*Penser  
information  
plutôt que  
réalité*

# EN PRATIQUE

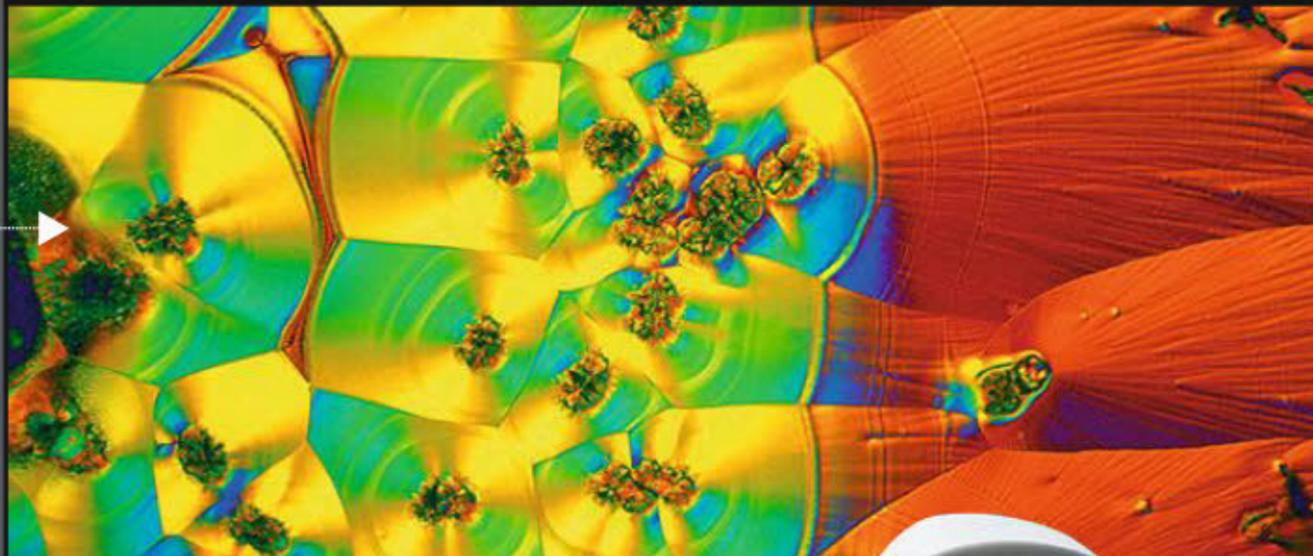
**126** **BON À SAVOIR**  
 En direct des publications scientifiques et autres rapports et études.

**128** **ZOOM DU MOIS**  
 Dengue, chikungunya, virus du Nil...  
**Les 5 moustiques qui menacent vos vacances d'été**

**132** **QUESTIONS/RÉPONSES**  
 Envoyez-nous vos questions et gagnez un abonnement d'un an à *Science & Vie*.

**138** **TECHNOFOLIES**  
**Les premières lunettes à réalité augmentée...** et les dernières innovations technologiques

**144** **LE CIEL DU MOIS**



**LA SALIVE NETTOIE BIEN LES TÉTINES**

Nettoyer la tétine de bébé en la suçotant plutôt qu'en la rinçant ou la stérilisant réduirait le risque d'allergies (eczéma, asthme, aliments ou poussières). La salive des parents stimulerait le système immunitaire de leur enfant. "Pediatrics", juin 2013

**ON FAIT DE MEILLEURES AFFAIRES EN MANGEANT**

Si vous avez quelque chose à négocier, faites-le lors d'un repas. C'est le conseil que donne une chercheuse américaine, après avoir observé 132 étudiants lors d'une négociation économique. Les profits combinés des deux parties étaient plus importants de 12 % lorsque les négociateurs mangeaient. L'effet ne viendrait pas de l'activité conviviale elle-même, car aucun changement n'a été observé lorsque le repas était remplacé par la résolution commune d'un puzzle. Les bénéfices seraient dus à l'apport de glucose, qui accroît l'activité cérébrale et régule les comportements agressifs. "Harvard Business Review", janv. 2013



**AU VOLANT AUSSI, LE SOLEIL NUIT À LA PEAU**

Les cancers de la peau sont plus fréquents sur le côté gauche des conducteurs, dans les pays où l'on roule à droite. Et inversement dans ceux où l'on roule à gauche. Ne pas oublier, là aussi, la crème solaire. "J. Am. Acad. Dermatol.", fév. 2013

**LA GUITARE ET LA BARBE RENDENT PLUS SÉDUISANT**

La séduction des hommes est plus importante avec une guitare sur le dos, et leur visage est jugé plus beau par les jeunes Européennes avec une barbe d'au moins 10 jours. "Psychology of Music", mai 2013, "Evol. Hum. Behav.", avril 2013

**LES SITES POLLUÉS AUX PCB SONT SUR INTERNET**

L'association Robin des bois vient de mettre en ligne la carte des cours d'eau et des sites terrestres français contaminés aux PCB. Ces perturbateurs endocriniens, nocifs pour la santé, sont interdits en France depuis 1987. Mais, ils persistent dans l'environnement à cause de la circulation de produits anciens (peintures, adhésifs, lubrifiants...), qui en contiennent toujours. Pour établir cet atlas, mis à jour chaque année, l'association a compilé mesures environnementales officielles et données locales produites par des particuliers. [www.robindesbois.org](http://www.robindesbois.org)





## UN IMPLANT PEUT MASQUER UNE TUMEUR DU SEIN

L'augmentation mammaire n'est décidément pas sans danger. Après le scandale lié aux prothèses PIP, voilà que, selon une synthèse d'études faites sur le sujet, tous les implants mammaires augmenteraient le risque de décéder du cancer du sein ! Les prothèses rendent en effet plus difficile le dépistage des tumeurs sur les mammographies, en masquant une partie des tissus. Du coup, les cancers sont diagnostiqués plus tardivement, ce qui rendrait les traitements moins efficaces, et augmenterait le risque de décès de 38 %.

"BMJ", avril 2013

### LES INFECTIONS NOSOCOMIALES SONT NETTEMENT EN BAISSSE

Une étude menée entre mai et juin 2012 dans 1938 établissements de santé indique qu'environ un patient sur vingt présentait une infection nosocomiale. Soit une diminution de 21 % par rapport à 2006. "INVS", mai 2013

### ALZHEIMER : UN SITE WEB POUR LES AIDANTS

Alimentation, aménagement du domicile, toilette matinale... un site met à disposition des aidants de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer des vidéos sur les bonnes pratiques à adopter, et des conseils pour gérer le quotidien. [www.conseilsauxaidants.org](http://www.conseilsauxaidants.org)

### LE POTASSIUM EST BON EN CAS D'HYPERTENSION

Pour maintenir une bonne pression artérielle, réduire sa consommation de sel ne suffit pas : il faut aussi augmenter son taux de potassium, présent dans de nombreux fruits et légumes, en particulier les haricots et les petits pois. OMS, avril 2013

## VAPOTER AFFECTE PEU L'ENTOURAGE

Absence de monoxyde de carbone, formaldéhyde de 5 à 10 fois moins concentré que dans la fumée de cigarette, vapeurs persistant 100 fois moins longtemps dans l'air... Dans l'ensemble, les fumeurs d'e-cigarette exposent leurs voisins à un risque faible : "Les conséquences pour la santé du vapotage passif sont moins importantes que l'exposition passive à la fumée de tabac, voire à la limite de la signification clinique", rapporte l'Office français de prévention du tabagisme (OFT). Seuls sont notées une absorption passive de nicotine et une possible irritation des bronches. "Rapport et avis d'experts sur l'e-cigarette", mai 2013





Par Coralie Hancock

## Dengue, chikungunya, virus du Nil...

# Les 5 moustiques qui menacent vos vacances d'été

Alors que de nouvelles espèces de moustiques porteurs de virus mortels arrivent en Europe, leur suivi est aujourd'hui devenu un véritable enjeu sanitaire. Signalement, agressivité, mobilité: voici comment se garder d'eux cet été.

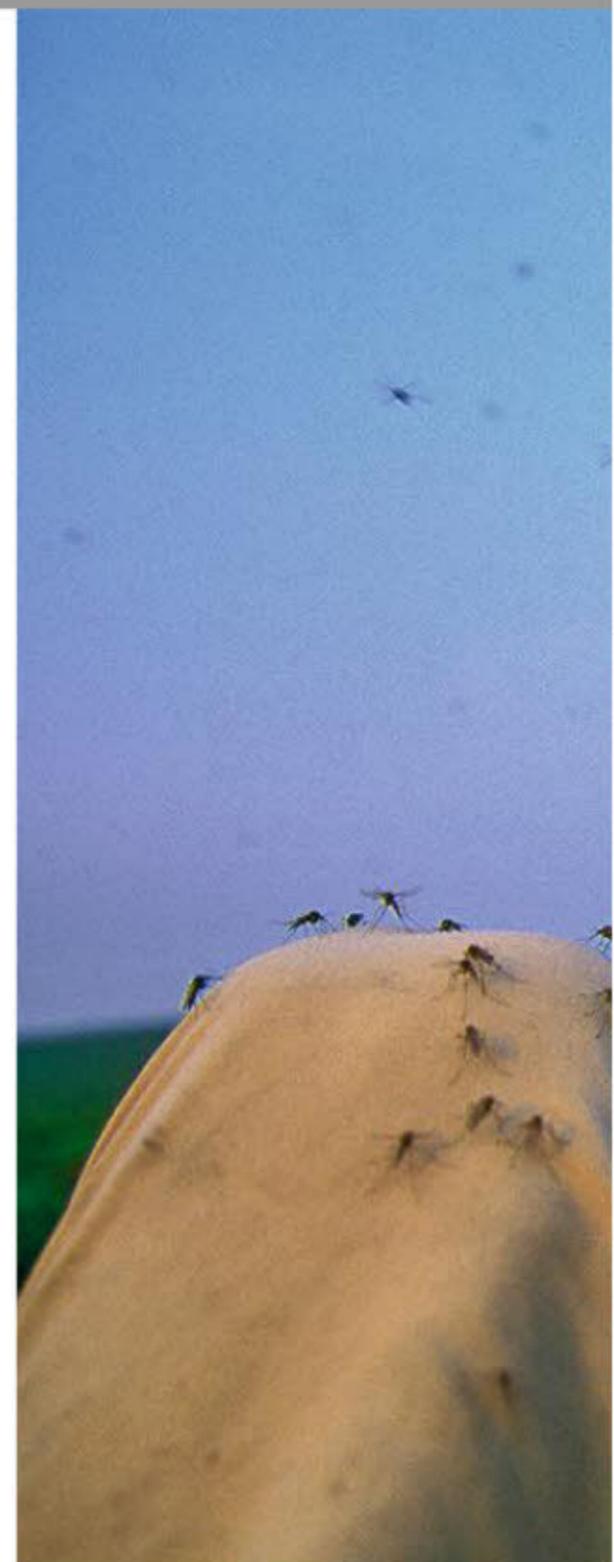
Bzzz... Qui dit période estivale, dit longues soirées passées à l'extérieur et, une fois la nuit tombée, des fenêtres ouvertes pour rafraîchir un intérieur surchauffé. Des moments malheureusement perturbés par l'insupportable vrombissement de satanés moustiques. Ce groupe d'insectes ne compte pas moins de 3500 espèces dans le monde! Dont 105 présentes en Europe et 67 en France métropolitaine. Si, parmi ces dernières, seules dix à quinze piquent l'homme, elles n'en sont pas moins activement

surveillées et régulées, non tant dans un souci de tranquillité que pour une question de santé. Parmi les espèces qui s'attaquent à nous, certaines peuvent en effet provoquer des réactions allergiques, voire transmettre de graves maladies. Paludisme, dengue, chikungunya, fièvre jaune, encéphalite japonaise... la liste est longue et, contrairement aux idées reçues, ces pathologies ne touchent pas uniquement les régions tropicales. Certes, le paludisme, qui a tué l'an dernier près d'un million de

personnes à travers le monde, a été éradiqué en France métropolitaine dans les années 1950... mais il est réapparu en Grèce en 2009! Quant à la dengue (au moins 50 millions de cas par an dans le monde), cette "fièvre tropicale" n'est plus si tropicale que ça puisqu'une première épidémie a touché Madère en 2012, et que deux cas autochtones (c'est-à-dire non importés par des voyageurs ou des immigrants) sont apparus en France en 2010.

### LE MOUSTIQUE TIGRE EST LÀ

Même inquiétude du côté du chikungunya (2 millions de cas par an) qui, après une importante épidémie en 2006 à La Réunion, a fait son apparition en 2007 en Italie du Nord (300 cas autochtones) puis, en 2010, dans les Alpes-Maritimes où deux Français l'ont contracté. Le moustique qui se cache derrière ces deux pathologies? *Aedes albopictus*, le "moustique tigre". Inconnu en dehors des jungles asiatiques il y a trente ans, il est apparu en métropole en 1999, s'est implanté dans 17 départements du sud de la France, et est aujourd'hui en passe de coloniser tout le territoire. La faute au changement climatique? Pas



vraiment. Selon les spécialistes, c'est la mondialisation des échanges commerciaux qui favoriserait sa dissémination. Sans pour autant s'alarmer, il ne faut donc pas minimiser le risque et, pour mieux le contrôler, mieux vaut être informé. Parmi les moustiques présents en France, S&V a donc sélectionné ceux qui, en fonction de leurs caractéristiques (agressivité, abondance, mobilité et compétences vectorielles), sont le plus susceptibles de perturber vos nuits, voire de nuire à votre santé.

## La lutte antimoustique est confiée aux départements

En application de la loi du 16 décembre 1964, la lutte contre les moustiques relève de la compétence des départements. Si certains (Corse, Nord, par exemple) ont choisi d'organiser eux-mêmes la surveillance et la régulation des moustiques, d'autres ont transféré cette compétence à un organisme public: soit des Ententes interdépartementales de démoustication (EID Méditerranée, EID Atlantique, EID Rhône-Alpes) qui s'occupent exclusivement de ce problème, soit des syndicats mixtes intercommunaux, souvent liés à la gestion de l'eau.



◀ On dénombre aujourd'hui 67 espèces de moustiques en France, mais seules 10 à 15 familles piquent l'homme, et 5 peuvent se révéler dangereuses.

## ANOPHÈLES

# Les moustiques des campagnes

► **Localisation :** Les anophèles pondent leurs œufs directement sur l'eau dans les milieux naturels aquatiques stagnants comme les rizières ou les roseières (en France, on les trouve notamment en Camargue). On les reconnaît à leurs ailes tachetées et à la position de leur corps au repos, abdomen relevé.

► **Risques pour la santé :** Certains de ces anophèles sont des vecteurs du paludisme. Même si la maladie a été éradiquée en métropole dans les années 1950, les moustiques capables de la transmettre sont, eux, toujours bien présents dans nos contrées. Les spécialistes parlent d'"anophélisme sans paludisme".

► **Moyens de lutte :** En raison de leur faible mobilité, les anophèles ne font pas partie des espèces ciblées par les plans de régulation des moustiques. Ils sont néanmoins très surveillés, en particulier en Corse et dans les territoires d'Outre-Mer, afin d'anticiper une réapparition de la maladie. En effet, la survenue, depuis



trois ans, de nouveaux cas de paludisme en Grèce inquiète les autorités sanitaires.



## CULEX PIPIENS

## Le moustique des maisons

► **Localisation :** C'est le moustique le plus connu du grand public, celui qui entre dans les maisons et pique toute la nuit. Très large, son aire de répartition s'étend de l'Europe aux Etats-Unis, et il est présent sur l'ensemble du territoire français. Très inféodé à l'homme, il vit à proximité, et même au cœur des agglomérations. Les femelles pondent leurs œufs directement sur l'eau stagnante, dans les fossés, les mares, les bassins et même dans les fosses septiques ou les bacs des pots de fleurs. Il aime particulièrement l'eau chargée en matière organique, au point que son agressivité vis-à-vis de l'homme augmente avec le niveau de pollution.

► **Risques pour la santé :** Il peut transmettre le virus du Nil occidental (*West Nile virus*). La maladie est la plupart du temps asymptomatique mais peut se manifester par une fièvre brutale, des maux de tête et des douleurs musculaires, parfois associées à des complications neurologiques qui peuvent être sévères voire, dans 15 % des cas, mortelles. Cette maladie est en expansion : la Grèce a connu une épidémie en 2010 (262 cas) et les Etats-Unis en 2012 (5400 cas, dont 243 décès).

► **Moyens de lutte :** Contrairement à la lutte contre les moustiques ruraux, qui est organisée à vaste échelle par les pouvoirs publics et



qui se fait par épandage de larvicide biologique, la lutte contre *Culex pipiens* se joue surtout chez les particuliers. Les opérateurs publics organisent donc des actions de prévention et de communication afin d'inciter chacun à supprimer les lieux de ponte du moustique (voir nos conseils).

## ÆDES ALBOPICTUS

► **Localisation :** Comme *Culex pipiens*, *Ædes albopictus* est un moustique très inféodé au milieu urbain. Sa capacité de dispersion ne dépasse guère les 150 m, mais qu'importe, puisqu'il vit à proximité de sa cible. Facilement reconnaissable à son abdomen rayé noir et blanc et à ses anneaux blancs sur les pattes, il est actif tout au long de la journée et poursuit l'homme jusque dans son véhicule et dans son habitation (y compris dans les immeubles à étages, en prenant l'ascenseur !). D'origine asiatique, cette espèce invasive a désormais conquis une large partie du monde. Elle est présente dans le sud de la France depuis les années

## ÆDES CASPIUS ET DETRITUS

## Les moustiques des marais salés...

► **Localisation :** Ces deux espèces de moustiques très abondantes sont inféodées aux zones humides salées (étangs salés ou saumâtres, marais salants, rizières...), d'où leur répartition le long du littoral méditerranéen et atlantique. Les femelles



pondent leurs œufs au sec sur la végétation ou sur la vase, mais ils n'éclosent que lorsque celles-ci sont inondées (pluies, marées ou mises en eau artificielles). Bien qu'ils soient à l'origine ruraux, *Ædes caspius* et *Ædes detritus* ont une forte capacité de dissémination : ils peuvent parcourir de 15 à 20 km en moyenne, et jusqu'à 30 ou 40 km, conquérant ainsi des agglomérations comme Montpellier ou Nantes. Ils sont actifs au lever et surtout au coucher du soleil, essentiellement à l'extérieur des habitations.

► **Risques pour la santé :** Bien qu'ils aient démontré en laboratoire leur capacité à transmettre certains virus (comme la dengue, le chikungunya ou le virus Tahyna responsable de la "grippe d'été"), leur capacité vectorielle réelle, c'est-à-dire celle observée jusqu'à présent sur le terrain, est relativement faible.

► **Moyens de lutte :** Compte tenu de l'absence d'enjeu sanitaire fort, la lutte contre ces deux moustiques ressort davantage d'une lutte de "confort" destinée à préserver les agglomérations de ces

moustiques dont l'abondance, l'agressivité et la mobilité sont élevées. Elle se fait à l'aide du larvicide biologique Bti (un insecticide développé à partir du *Bacillus thuringiensis* qui cible uniquement les larves du moustique). Son épandage sur les lieux d'éclosion de ses larves peut se faire de façon aérienne (c'est particulièrement le cas dans la région méditerranéenne vu la superficie des zones à traiter et leur faible accessibilité), mais aussi de façon terrestre, soit à l'aide d'engins motorisés, soit à pied.

## Le moustique des villes

2000 (elle remonte le Rhône et la Garonne) et fait l'objet d'une surveillance accrue.

► **Risques pour la santé :** *Aedes albopictus* est le principal vecteur de la dengue et du chikungunya, deux maladies dont la déclaration par les médecins est devenue obligatoire dans les départements touchés. Il peut aussi transmettre le virus du Nil

occidental et l'encéphalite de Saint-Louis.

► **Moyens de lutte :** On prévient sa dissémination en limitant les réservoirs d'eau stagnante. On détruit les moustiques adultes à l'aide d'un insecticide lorsqu'un cas de dengue ou de chikungunya a été signalé (dans un périmètre de 150 m autour du domicile du malade).



## Conseils pratiques

► **Pour éviter la prolifération des moustiques chez vous :**

- Jetez ou rangez à l'abri tout ce qui peut contenir de l'eau (même les jouets d'enfants);
- Videz ou renouvelez tous les 3 ou 4 jours les coupelles et dessous de pots de fleurs, ou remplissez-les de sable pour empêcher la survie des larves tout en préservant l'humidité des plantes;
- Couvrez les réservoirs d'eau pluviale avec une moustiquaire ou un grillage très fin;
- Nettoyez régulièrement gouttières, regards et caniveaux, et vérifiez leur bon écoulement.

► **Pour éviter de vous faire piquer :**

- Portez des vêtements longs et clairs éventuellement imprégnés de perméthrine;
- Branchez un ventilateur ou une climatisation, le flux d'air perturbera le vol des moustiques;
- Branchez des diffuseurs antimoustiques électriques;
- Utilisez des répulsifs: si la citronnelle a ses adeptes, seuls quatre répulsifs ont reçu un avis favorable de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). Il s'agit du citridiol, un composé naturel dérivé de l'eucalyptus, du DEET, de l'IR35/35 et de l'icaridine (appelée aussi KBR3023). Ils sont présents en concentrations variables dans les répulsifs du commerce. L'utilisation de l'IR35/35 est préférable chez les femmes enceintes;
- Pour les enfants de moins de 30 mois, préférez la moustiquaire.

► **Si vous voyagez (en plus des conseils ci-dessus) :**

- Dans les zones impaludées, faites vous prescrire un traitement préventif adapté au contexte de séjour;
- Dans les zones où la fièvre jaune est endémique, la vaccination est indispensable, voire obligatoire. Rendez-vous dans un centre de vaccination habilité à pratiquer la vaccination anti-marielle (liste disponible sur le site du ministère de la Santé);
- Dans les zones où l'encéphalite japonaise est endémique, la vaccination n'est recommandée que pour les adultes séjournant plus de trente jours ou, quelle que soit la durée du séjour, s'ils sont amenés à effectuer des activités extérieures dans des rizières ou marécages, en particulier pendant la période des pluies. Consultez dans un centre de vaccination.

### GENRE *AEDES*

## ...et ceux d'eau douce

► **Localisation :** Ce sont des moustiques ruraux présents sur tout le territoire dans les milieux naturels humides (mares, étangs, prairies inondables, rives...) de faible ou de moyenne altitude. Si les femelles pondent au sec, sur la végétation, les œufs ont besoin, pour éclore, que celle-ci soit inondée (pluies, débordements...). Si leur niveau d'agressivité est élevé, leur mobilité n'excède pas 5 à 10 km. Ils sont surtout actifs au lever et au coucher du soleil, et essentiellement à l'extérieur des habitations.

► **Risques pour la santé :** Ils peuvent transmettre le virus

du Nil occidental (*West Nile virus*) ou le virus Tahyna, responsable de la "grippe d'été", mais ce risque est très faible car leur capacité vectorielle est peu élevée.

► **Moyens de lutte :** On peut épandre le larvicide biologique Bti sur les zones, préalablement définies, d'éclosion des larves. Ou en combler d'autres avec du sable.





EN PRATIQUE

# QUESTIONS RÉPONSES



# Qu'apporte de plus la 4G au réseau de téléphonie mobile ?

De Pierre Martin, Villemoisson-sur-Orge (91)

Quatrième génération de téléphonie mobile, la 4G correspond à une nouvelle vague de progression technologique après la 1G, mise en service en France en 1986, la 2G, en 1992, et la 3G, en 2004. Lancée pour la première fois dans le monde en décembre 2009 à Stockholm (Suède) et Oslo (Norvège), elle s'étend progressivement dans l'Hexagone depuis juin 2012, date à laquelle l'opérateur Orange l'a rendue accessible dans quelques villes. Elle est actuellement disponible dans une vingtaine d'agglomérations (Marseille, Lyon, Bordeaux,

Dunkerque...) et quatre arrondissements de Paris (1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup> et 9<sup>e</sup>). Et a toutes les chances de poursuivre sa conquête (la couverture totale est prévue en 2015-2016), car elle profite d'une nouvelle technologie d'encodage et de transfert des données, ainsi que d'une réorganisation du réseau qui lui donnent un avantage essentiel sur les générations précédentes : le très haut débit.

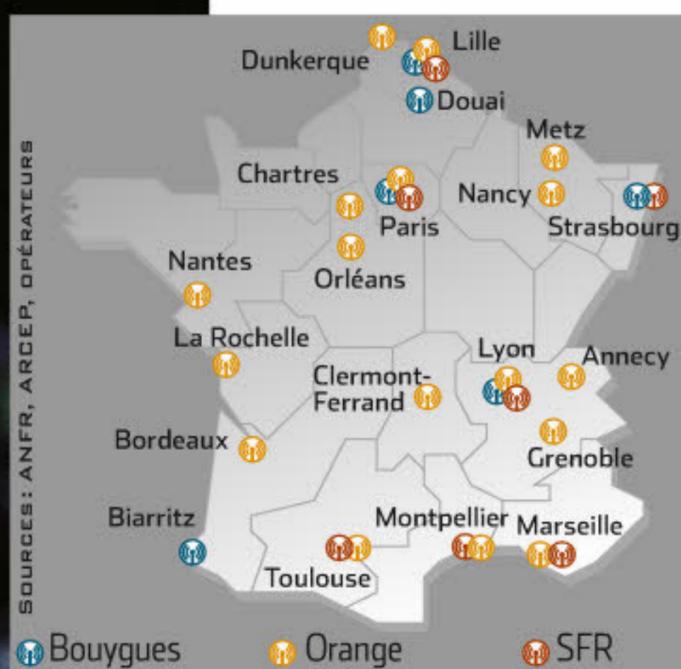
## JUSQU'À 150 MÉGABITS/S !

Si elle ne rivalise pas encore en rapidité avec la fibre optique, la 4G coiffe déjà au poteau le "haut débit" de l'ADSL de la maison. Des chiffres ? Au vu des caractéristiques techniques annoncées par les opérateurs, sur un téléphone 4G, le partage d'un album photo de 50 Mo sur Facebook prend moins d'une minute ; lancer une vidéo sur Dailymotion, moins de deux secondes ; télécharger un film (700 Mo), moins de dix minutes. Et la 4G rend possibles des applications jusque-là réservées aux appareils connectés à un réseau fixe (wi-fi ou câble) : regarder des vidéos en HD sur YouTube, jouer en réseau, organiser des vidéoconférences...

La 4G signe bien l'arrivée de l'Internet à très grande vitesse pour les mobiles.

Mesuré sur le terrain, le débit (du réseau vers le mobile) tourne autour de 15 à 20 mégabits/seconde (Mbps). Mais, en théorie, la 4G peut aller encore plus vite : elle permettrait d'atteindre des débits descendant (de l'antenne vers le mobile) de plus de 150 Mbps, voire, à terme, de 1 000 Mbps, contre 1,4 Mbps pour la 3G, 30 Mbps pour l'ADSL ou 200 Mbps pour la fibre optique. Le débit montant (du mobile vers l'antenne) devrait, lui, atteindre 50 Mbps. Ceci dit, ces débits théoriques sont relatifs puisqu'ils se répartissent entre tous les utilisateurs connectés simultanément à une même antenne-relais, et varient quand on bouge... Le débit descendant réel maximum annoncé par les opérateurs n'est donc "que" de 30 Mbps.

La 4G tire ses performances inédites d'une "technique de codage des données entre l'antenne-relais et les mobiles appelée OFDMA [Orthogonal Frequency Division Multiple Access], qui permet de transporter 3 fois plus d'informations sur →



<^ L'Internet haut débit pour les mobiles exige un réseau spécifique : seules vingt villes sont déjà couvertes en France.



→ un canal donné, par rapport à la technologie de codage CDMA [Code Division Multiple Access] de la 3G”, précise Jean-Luc Vuillemin, chargé des réseaux et services chez Orange. Mais c’est aussi toute l’architecture du réseau (connexions entre les serveurs, commutateurs, antennes) qui a été revue, devenant “plus simple que celle du réseau 3G, puisqu’elle abandonne la notion de hiérarchie en nœuds de communication; d’où un temps de traversée des données plus court”, détaille le directeur technique.

### LE NET, PAS LE TÉLÉPHONE!

Autant de nouvelles possibilités qui impliquent de transformer les installations en profondeur. Les opérateurs s’activent ainsi à implanter des antennes spécifiques – ou à ajouter des équipements aux antennes 3G existantes – et à modifier le pilotage du réseau. Un travail de longue haleine: au 1<sup>er</sup> avril, selon l’Agence nationale des fréquences (ANFR), moins de 2 % des antennes installées étaient adaptées à la 4G. Or, paradoxalement, celle-ci

ne permet pas de passer un appel téléphonique! Car il s’agit d’abord d’une technologie dédiée à l’Internet haut débit. Bien sûr, on peut téléphoner avec un mobile 4G, mais l’appel transite alors sur le réseau normal... Les opérateurs travaillent actuellement à une technologie dite “Voice Over LTE”, qui permettra, dans quelques années, de traiter la voix en 4G.

Reste que profiter des avantages de la 4G a un prix... Il faut non seulement souscrire une offre spécifique 4G, en moyenne de 10 €/mois plus chère chez Orange, mais aussi s’équiper d’un terminal mobile compatible. Car ce nouveau réseau fonctionne avec des antennes et des fréquences spécifiques (autour de 800 MHz, de 2,6 GHz et de 1800 MHz) que ne peuvent adopter les mobiles 3G grâce à une simple mise à jour. Or, un portable 4G acheté sans forfait revient à plusieurs centaines d’euros. Ainsi, le Samsung Galaxy S III 4G peut atteindre 650 €. Certes, certains opérateurs l’offrent à 1 €... mais à la condition de souscrire le forfait le plus coûteux. **K.B.**

# Pourquoi on n’entend plus rien quand on bâille?

Question de F. Lorriaux, Saint-Yzans (33)

En fait, “quand on bâille, on entend d’abord un petit claquement. Il indique l’ouverture des trompes d’Eustache, qui provoque une baisse momentanée de l’audition”, explique Olivier Walusinski, médecin généraliste et spécialiste du bâillement. Car l’ouïe est d’abord une affaire de résonance: les sons cheminant dans le conduit auditif jusqu’à une membrane située dans l’oreille moyenne, le tympan, qui vibre comme la peau d’un tambour, transmettant ainsi les ondes acoustiques à l’oreille interne, où siège le sens de l’ouïe.

### CE SONT LES SONS GRAVES QUI PASSENT MAL

Or, quand on déglutit ou quand on bâille, la trompe d’Eustache s’ouvre. Habituellement fermé au repos, cet étroit conduit de quelques centimètres de longueur met alors en relation l’oreille moyenne avec le nez et la gorge, équilibrant ainsi la pression de part et d’autre du tympan. Un mécanisme qui permet d’éviter sa rupture en cas de grande différence de pression entre le milieu extérieur et

l’oreille moyenne: en plongée, en altitude ou en avion... Le fait de monter rapidement en altitude ou de descendre de 300 à 400 m va ainsi provoquer des bâillements prolongés et répétés. Au-delà du lien avec la faim, l’ennui ou la fatigue, le bâillement constitue donc également un véritable réflexe de protection du tympan.

Mais pourquoi entend-on moins bien? Parce que l’ouverture de la trompe d’Eustache, combinée aux mouvements des os et des muscles maxillo-faciaux, provoque un appel d’air dans l’oreille moyenne. Il entraîne une brève augmentation de pression dans la caisse du tympan, qui freine sa vibration et explique cette baisse de l’audition, notamment pour les sons graves et intermédiaires. “De plus, la contraction de tous les muscles de la face entrave le libre mouvement des osselets, ajoute le docteur Walusinski. Nous n’entendons plus que par conduction osseuse des sons qui

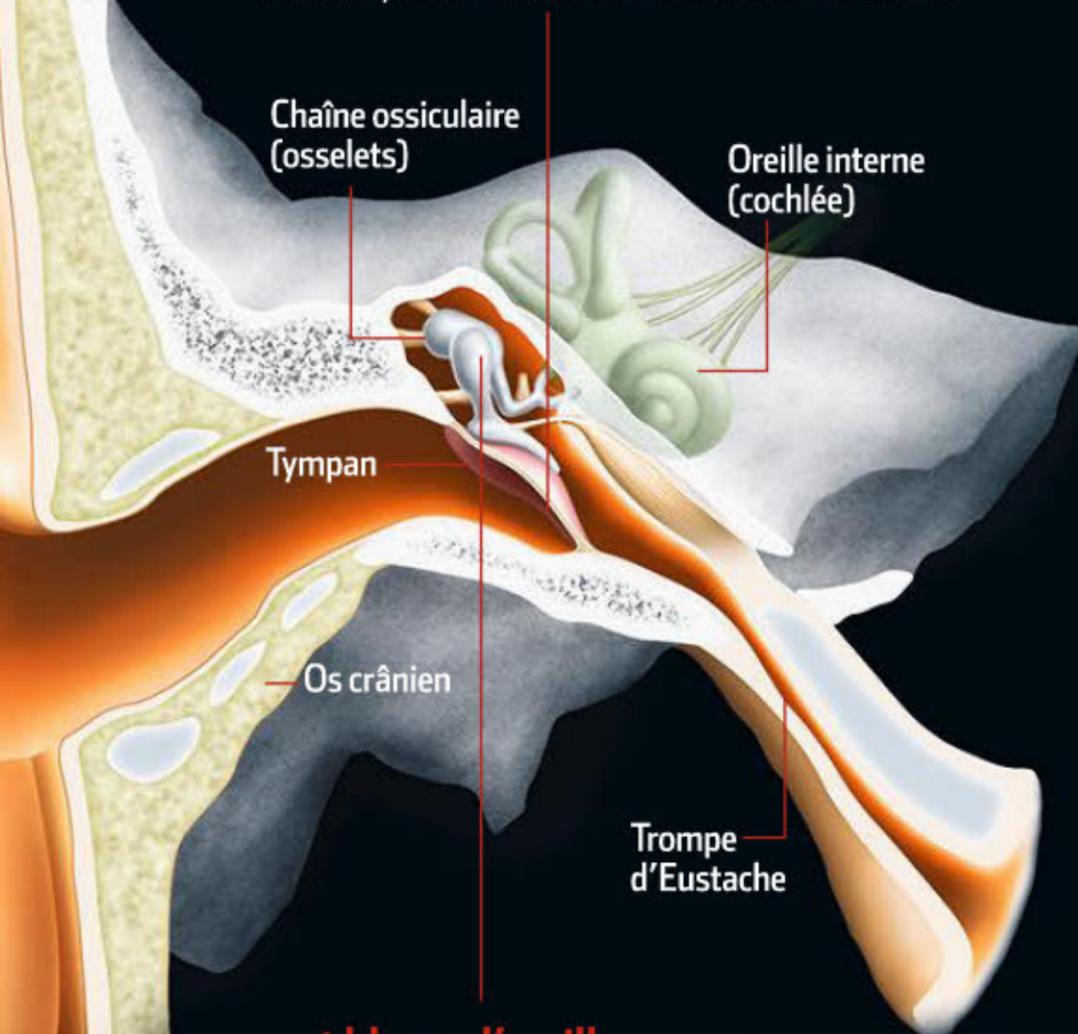


## DES EFFETS SUR LA SANTÉ À L’ÉGAL DE CEUX DE LA 3G

“A ce jour, aucune étude ne permet de savoir si la 4G est dangereuse pour la santé à cause du manque évident de recul; mais il est très probable que ses effets biologiques, s’il y en a, soient équivalents à ceux de la 3G”, répond Yves Le Dréan, biologiste à l’Institut de recherche sur la santé, l’environnement et le travail (Irset), à Rennes. Les ondes électromagnétiques porteuses de la 4G ont des fréquences assez similaires à celles porteuses de la 3G (900 MHz et 2,1 GHz). “Si la modulation du signal est différente, là encore, aucune étude ne montre clairement que cela accroît les risques...”, continue le chercheur. En l’absence de données, le rapport BioInitiative, publié en décembre 2012 par des scientifiques internationaux, préconise le principe de précaution.

## Le bâillement provoque un appel d'air qui empêche le tympan de vibrer...

Quand on bâille, la trompe d'Eustache s'ouvre afin de compenser la différence de pression de part et d'autre du tympan. Cet appel d'air freine alors sa vibration, et donc la transmission de certains sons.



## ... et bloque l'oreille moyenne, étouffant les sons extérieurs

Les muscles de la face avant contractés par le bâillement figent les osselets de l'oreille moyenne. Chargés d'amplifier le signal sonore, ces petits os ne pouvant plus vibrer librement ne transmettent plus correctement le son.

se propagent via les os du crâne directement dans l'oreille interne, d'où une perception 'étouffée' de notre environnement sonore." Ces osselets (le marteau, l'enclume et l'étrier) sont les plus petits os de notre squelette. Ils amplifient le signal sonore et stimulent la fenêtre ovale, une deuxième membrane, porte d'entrée de la cochlée, un organe creux rempli de liquide tapissé de cellules ciliées. C'est le mouvement de ces cils qui se transforme en influx nerveux relayé

par le nerf auditif vers le cerveau, lequel interprète le signal.

Pendant le bâillement, la chaîne ossiculaire, gênée dans ses mouvements, transmet plus difficilement les vibrations sonores. Mécaniquement, les cils bougent moins, et le signal nerveux transmis au cerveau est plus faible. Résultat : lorsqu'on bâille – ce qui arrive environ 250 000 fois au cours de notre vie –, notre bouche s'ouvre toute grande, et nos oreilles... se ferment!

D.H.

# Le vin vieillit-il mieux en mer?

Question de M<sup>me</sup> Siraudin, Narbonne (11)

Vous avez sans doute en tête ces histoires de navires qui ont sombré corps et biens, leurs cales pleines d'amphores. Le raisin fermenté gagne-t-il à séjourner sous les vagues? Figurez-vous que des vigneron se sont récemment posé la question, au point d'immerger des barriques dans le bassin d'Arcachon. Verdict? Après six mois au fond de l'eau, les œnologues ont constaté, par rapport à une barrique identique conservée en chai, des évolutions plutôt favorables.

## IL VIEILLIT... PLUS VITE

Pour Gilles de Revel, professeur en chimie analytique et doyen de la faculté d'œnologie de Bordeaux, "placé dans des conditions différentes, il est logique que le vin vieillisse différemment. La stabilité de la température, l'obscurité et éventuellement l'absence d'échange avec l'atmosphère jouent. Un suivi scientifique de ces essais serait cependant nécessaire pour mieux comprendre l'aspect physico-chimique de la question".

Mais la vigne et la mer n'ont pas besoin que les navires coulent pour se rencontrer. Les marines marchandes des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles ont donné naissance au bordeaux "retour des Indes" ou au madère "Vinho da Roda" (vin du roulis): des vins exportés par bateau aux quatre coins du globe et qui, revenant dans leurs pays après de longues semaines de mer faute d'acheteurs, furent réputés pour leur souplesse, leurs tanins soyeux et leurs saveurs épanouies.

Réalité gustative ou argument commercial? "Difficile de dire si le vin vieillit mieux en mer, mais il vieillit plus vite: le roulis et le tangage brassent le breuvage et accélèrent son vieillissement, comme les variations de température tout au long du voyage", précise Gilles de Revel. Plus ronds et complexes, ces vins sont-ils meilleurs? C'est subjectif: si à l'époque de la route des Indes les amateurs appréciaient les vins vieux, aujourd'hui, on préfère les vins jeunes, tanniques et fruités. D.H.

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.



## Les animaux sont-ils sensibles aux chatouilles ?

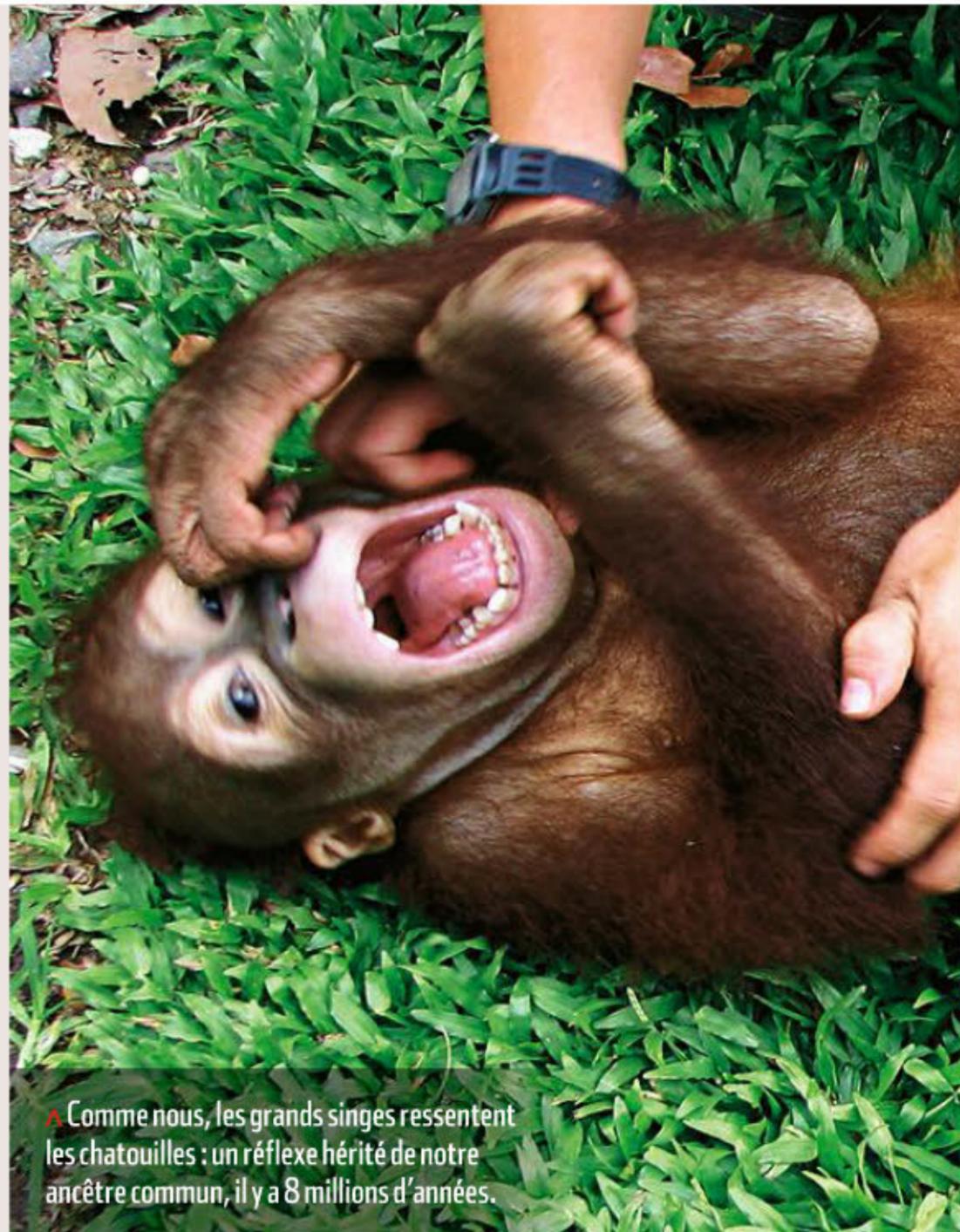
Question de Thibault Noel-Artaud, Paris 18<sup>e</sup>

C'est le cas pour certains d'entre eux ! Une étude britannique, dirigée par la primatologue et psychologue Marina Davina Ross, de l'université de Portsmouth, a prouvé que les grands singes sont susceptibles de rire après une bonne séance de guili-guili.

L'expérience, publiée en juin 2009, a porté sur des bébés humains et de jeunes gorilles, bonobos, chimpanzés et orangs-outans soumis à une série de chatouilles sur la paume de la main, la voûte plantaire, les aisselles et le cou. Résultat : plus de 800 rires enregistrés. Le réflexe qui rend les organes

concernés particulièrement réceptifs à certains stimuli extérieurs remonterait à notre ancêtre commun, il y a 8 millions d'années. Voire plus loin encore : ainsi les rats n'y seraient pas non plus indifférents.

Jaak Panksepp et Jeff Burgdorf, deux psychologues américains, ont démontré en 2000 que le rongeur chatouillé émet une sorte d'ultrason proche du rire. Ils considèrent que *"ces vocalisations reflètent un type d'affect positif qui pourrait être en relation, au niveau de l'évolution, avec la joie du rire d'un enfant pendant ce type de jeux sociaux"*. J.C.



▲ Comme nous, les grands singes ressentent les chatouilles : un réflexe hérité de notre ancêtre commun, il y a 8 millions d'années.

## Combien de temps peut-on vivre sans manger ?

Question d'Emilie Gillet, Paris 3<sup>e</sup>

Un adulte moyen pourrait tenir entre soixante-dix et quatre-vingts jours sans manger, à condition de boire. Sans boire, il ne peut plus espérer vivre que trois jours. C'est ce que rapporte un groupe de médecins qui a suivi des grévistes de la faim entre 2003 et 2004. Mais cette durée peut varier largement en fonction des individus, puisque nous n'avons pas tous les mêmes

réserves au départ. Ainsi, dans ce même rapport, les médecins rappellent que des patients obèses soumis à un jeûne thérapeutique sont capables de résister cent jours. Alors que chez un sujet lambda, la mort peut survenir dès le quarantième jour.

La privation de nourriture soumet en effet le corps à toute une série de problèmes. Dans un premier temps,

l'organisme puise dans ses réserves classiques : les sucres d'abord, les graisses ensuite. S'il supporte bien l'absence de nourriture, il va quand même rechigner un peu. En trois jours environ, les réserves en sucres sont épuisées. Après deux semaines, ce sont celles de graisses qui subissent le même sort.

Au programme de ces dix premiers jours : une sensation de faim bien sûr, une perte de poids, mais aussi des crampes d'estomac.

Jusque-là, à condition d'être de constitution robuste, il est encore possible d'acheter son billet retour...

### APRÈS 10 JOURS : DANGER

Entre le dixième et le trentième jour, quand les stocks de sucres et de graisses sont épuisés, le corps n'a d'autre choix que de piocher dans les protéines... et donc de dégrader les tissus. La liste des désagréments s'allonge alors considérablement. L'affamé se sent faible, sa concentra-



# Est-il vrai qu'un jus de fruit pressé perd vite ses vitamines ?

Question de Lionel Arnaud, Paris 10<sup>e</sup>

Non : la teneur vitaminique d'un jus de fruit ne descend pas si vite qu'on le dit. Les fruits contiennent différentes sortes de vitamines, des molécules cruciales pour le fonctionnement de notre organisme. L'orange renferme ainsi de la vitamine C (acide ascorbique), nécessaire à la synthèse des globules rouges ou l'absorption du fer, mais aussi les vitamines A, B1, B2, B3, B5, B6 et E. Problème : même si le jus fraîchement extrait est aussi riche en vitamines que le fruit lui-même, ces substances peuvent être détruites par les ultraviolets, l'oxygène de

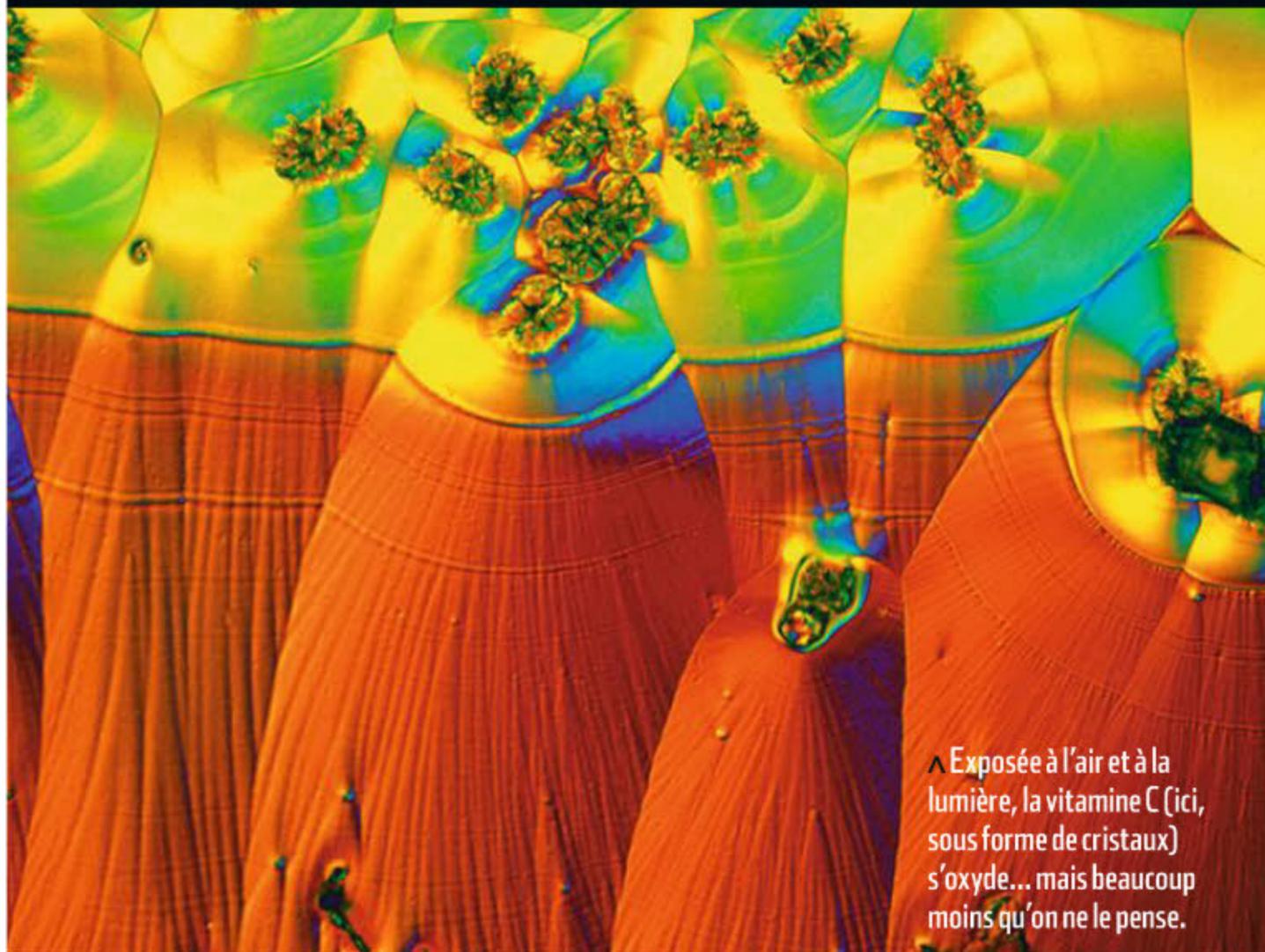
l'air et la chaleur. Ainsi, la vitamine C se combine facilement à l'oxygène, passant de sa forme active (vitamine C "réduite") à sa forme inactive (oxydée). Or, cette oxydoréduction est favorisée dans le jus de fruit car les vitamines sont directement exposées à l'oxygène.

## IL EN FABRIQUE AUSSI !

Des chercheurs de l'université de médecine de Rennes ont étudié pendant cinq jours la teneur en vitamine C de jus d'orange conservé à la lumière du jour à 25 ou 4 °C. Ils ont noté que si le jus contient à l'origine 528 mg de vitamine C

par litre, cette teneur passe en une journée à 510 mg/l (à 25 ou 4 °C) ; puis à 470 mg/l le deuxième jour. Fait étonnant : le troisième jour, la teneur en vitamine remonte à 550 mg/l et progresse jusqu'au cinquième jour, où elle est alors supérieure de 7 % à la teneur d'origine. La pulpe intacte du jus contient en effet encore des systèmes cellulaires fonctionnels qui continuent de produire de la vitamine C. Reste qu'au bout de trois jours la fermentation commence aussi... Quoi qu'il en soit, un jus maison est plus riche que le jus du commerce : celui-ci renferme seulement 66 % de la vitamine C d'un jus fraîchement pressé. **K.B.**

tion diminue, il a de plus en plus de mal à communiquer. Il a des vertiges, des maux de tête. Ses muscles le font souffrir, sa température baisse. Les douleurs abdominales continuent. Passé un mois, cela devient littéralement invivable. Les complications sévères font leur entrée : insuffisance rénale, hémorragie digestive, ictère... Le corps lâche de partout. Puis l'individu sombre finalement dans le coma. La situation est irréversible. Quant à ceux qui n'ont pas été aussi loin et qui veulent sortir d'un jeûne prolongé, attention au moment de repasser à table : une réalimentation mal gérée peut, elle aussi, être fatale. **C.L.**



^ Exposée à l'air et à la lumière, la vitamine C (ici, sous forme de cristaux) s'oxyde... mais beaucoup moins qu'on ne le pense.



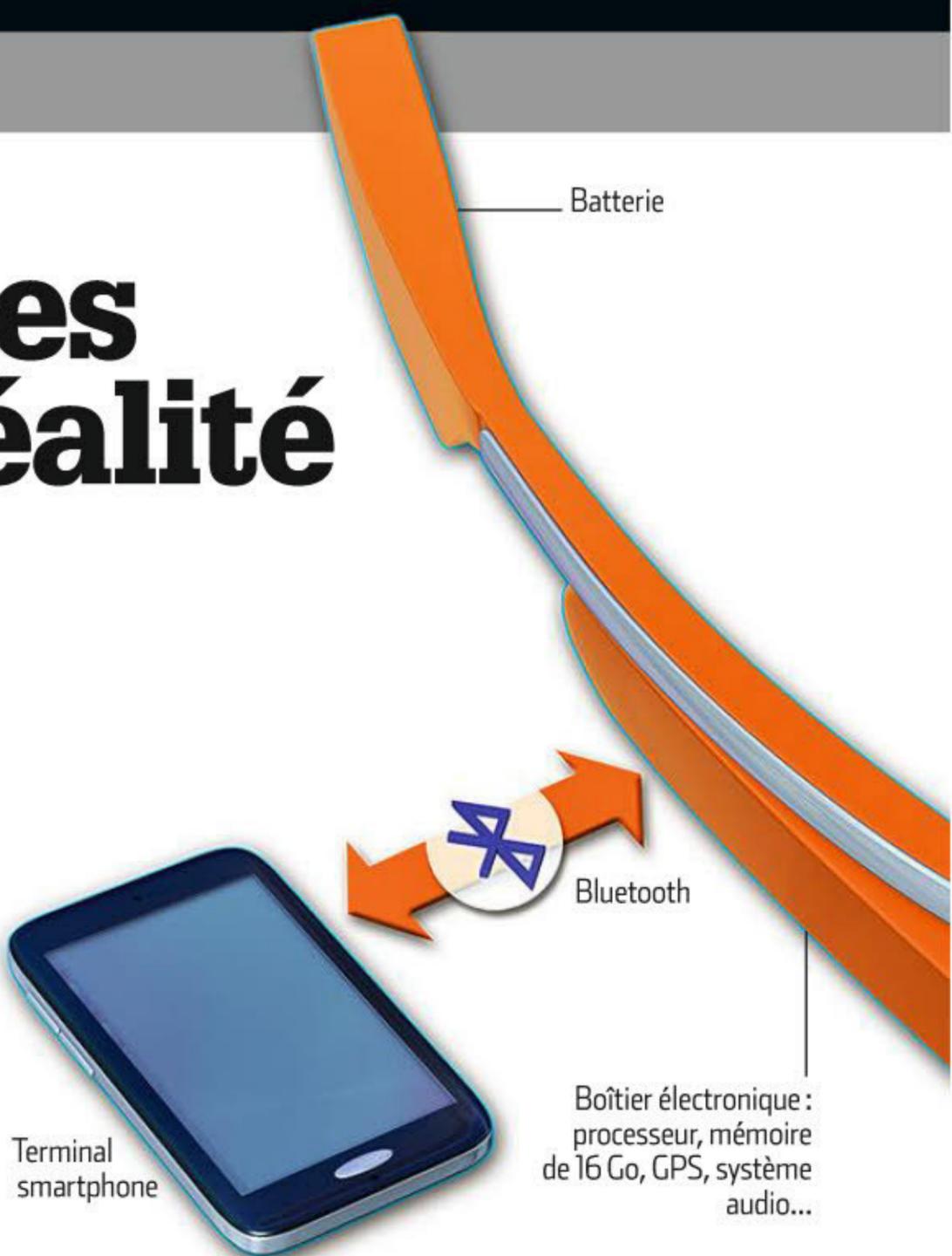
# Les premières lunettes à réalité augmentée

Commander oralement à ses lunettes d'afficher en surimpression toutes sortes d'informations que l'on désire : tel est l'exploit d'un système révolutionnaire de lunettes "intelligentes", dont Google se fait le chantre. Explication.

Plus besoin de se couper de son environnement direct pour consulter son smartphone... Ces toutes nouvelles montures intelligentes, entièrement pilotables grâce à la voix, sont capables d'afficher

des informations en temps réel dans notre champ de vision. Dignes héritières des casques de réalité virtuelle issus du monde de la recherche et des jeux vidéo, ces lunettes à vision augmentée dotées d'écouteurs sortent aujourd'hui des laboratoires grâce aux travaux de plusieurs entreprises (Laster, Sony...), et notamment de Google qui prépare, pour le grand public, le lancement imminent de Google Glass.

Il aura fallu presque trois ans de développement à l'entreprise californienne pour sortir de ses cartons cet objet curieux. A l'origine du projet : Babak Parviz, de l'université de Washington, spécialiste de l'interface entre technologie et biologie, qui s'est notamment illustré par ses travaux sur les lentilles de contact. Son idée : concevoir des lunettes qui, une fois visées sur le nez, permettraient d'accéder à des informations, géolocalisées ou non, sans avoir à dégainer son smartphone. Il serait ainsi possible d'afficher un itinéraire,



## 3 DATES CLÉS

**1966**

L'Américain Ivan Sutherland, du MIT, expérimente un visiocasque de réalité augmentée qui fonctionnera, en 1968, avec des minitubes cathodiques.

**1997**

La Touring Machine de Steven Feiner est un prototype nomade combinant affichage sur lunettes à vue réelle, Internet et GPS.

**2010**

Pour les professionnels, l'entreprise française Laster Technologies développe les premières lunettes de réalité augmentée à verres transparents.

## 1 Le smartphone envoie aux lunettes les informations...

Ces lunettes fonctionnent avec Android. Elles projettent des images et en capturent, mais la valeur ajoutée est apportée par le smartphone relié à Internet.

de consulter son agenda, de répondre au téléphone, d'effectuer une recherche sur Google en fonction de ce qui se présente dans son champ de vision (emplacement d'un restaurant, météo, horaires d'avion...). Ou encore de demander et d'écouter la traduction de mots dans une langue étrangère.

### CONNECTÉ EN PERMANENCE

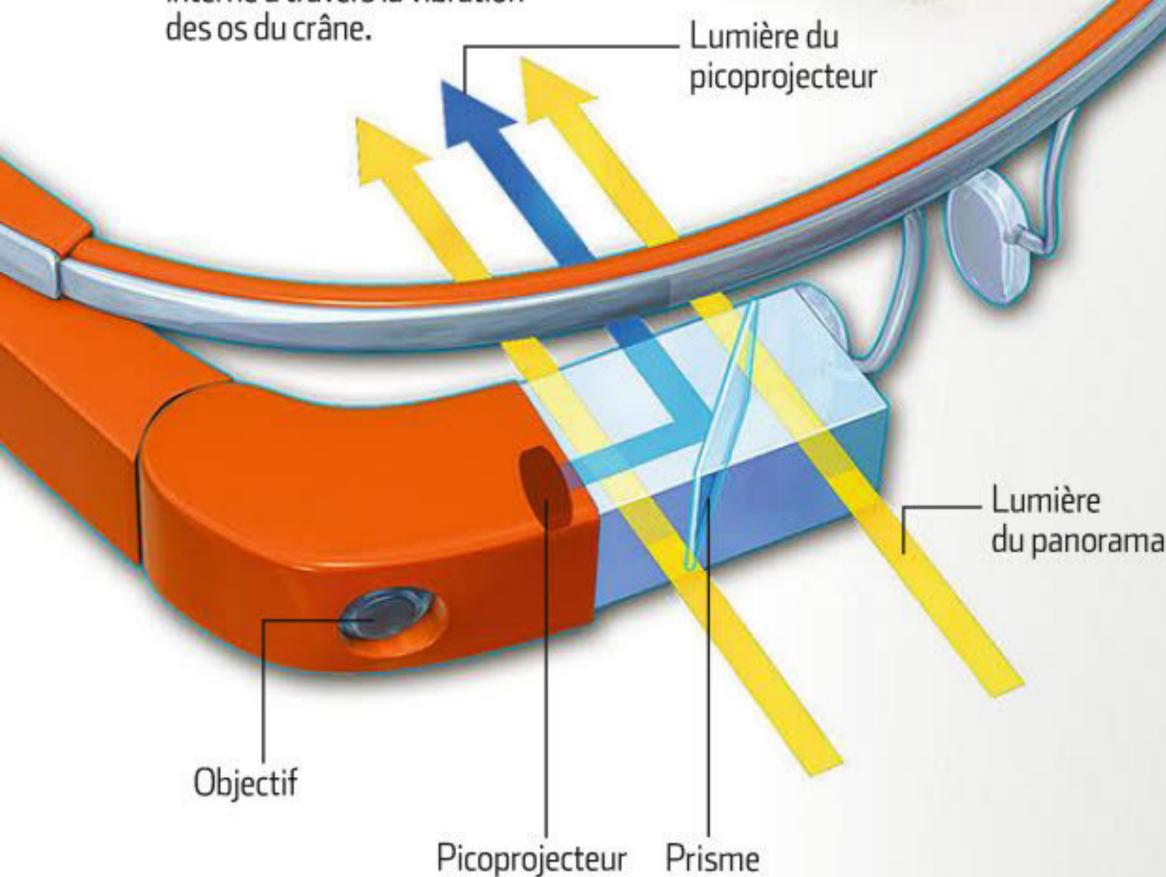
Pour mettre au point ce système, les ingénieurs ont conçu un dispositif capable d'interpréter une requête vocale, à condition de faire

précéder celle-ci d'un simple "Ok Glass!" qui lui indique le début d'une commande. Pour faire ensuite apparaître les données, les lunettes sont dotées d'un minibloc d'affichage, dans le coin supérieur droit du champ de vision. Les informations y sont envoyées par l'intermédiaire d'un picoprojecteur, gros comme un ongle, situé dans la branche droite de la monture (voir infographie).

L'engin fonctionne grâce à une version du système d'exploitation maison, Android, couplé à un

## 2 ...correspondant à une requête vocale...

Le pilotage des lunettes se fait par commande vocale. Toute demande doit être précédée de la formule "Ok Glass", qui permet de les activer. Exemple: "Ok Glass, de quel côté va le GR20." Par ailleurs, les informations audio (appel téléphonique) qui parviennent au porteur de lunettes sont, elles, transmises directement à l'oreille interne à travers la vibration des os du crâne.



## 3 ...qu'elles vont ensuite diriger vers le fond de l'œil

L'utilisateur voit apparaître dans son champ de vision une sorte d'écran virtuel équivalant à une dalle de 25 pouces (la taille d'une télé moyenne) posée à 2,4 m de distance.

## Google Glass : comment ça marche ?

Pour surexposer des images de synthèse au panorama tel qu'il est vu par une personne, Google a recours à un prisme placé juste devant l'œil droit. Ce prisme est transparent aux rayons qui arrivent de face : le panorama. En revanche, il dévie à 90°, vers le fond de l'œil, la lumière qui arrive de la droite : les images diffusées par un picoprojecteur vidéo. Les deux images, celle du panorama et celle du projecteur, s'additionnent donc sur la rétine.

processeur "double cœur", un accéléromètre, un gyroscope, une puce GPS, un micro... et 16 Go de mémoire flash, dont 12 Go rien que pour stocker les photos ou les vidéos (720 pixels) prises à l'aide du capteur de 5 mégapixels. Bref, un vrai concentré de technologies inséré dans un poids plume (moins de 40 g). Pour ceux qui aiment être connectés en permanence, ces lunettes ont même l'avantage d'être reliées au reste du monde grâce au wi-fi ou, plus souvent, grâce à la connexion

3G ou 4G du smartphone *via* Bluetooth. Le tout, selon le constructeur, avec une autonomie d'une journée.

Reste encore à développer de nouvelles applications qui permettront de profiter au mieux de l'objet. Pour cela, 8 000 développeurs-testeurs se sont déjà portés candidats dans le monde depuis le printemps (moyennant quelque 1 500 \$ tout de même) pour se promener avec leurs Google Glass sur le nez et suggérer de nouveaux usages (flux d'actus, Twitter, reconnaissance de lieux...).

Pour la commercialisation grand public, prévue au mieux avant la fin de l'année, Google assure que le tarif devrait pourtant être revu à la baisse. Est-ce que cette chute de prix sera suffisante pour que ce type d'accessoire séduise un large public, sachant que les porteurs de lunettes de vue ne pourront pas encore utiliser cette monture sur la leur? Verdict dans quelques années...

**Etienne Thierry-Aymé**

Rens. : [www.google.com/glass/start/](http://www.google.com/glass/start/)  
Prix : non communiqué.





▲ Ici, les couleurs du cube sont produites par des diodes multicolores.

## Le Rubik's Cube à la mode électronique

Aussi gros que le célèbre Rubik's Cube auquel il ressemble, le Futuro Cube est un nouveau jeu purement électronique, sans autocollants de couleur ni de parties mobiles. Chaque face est couverte de 9 diodes multicolores. Le joueur tapote du doigt les faces du cube. Celles-ci ne sont pas tactiles: un accéléromètre, à l'intérieur, détecte les mouvements qui résultent des tapotements. Sonorisé, le cube est livré avec 11 jeux, dont des adaptations du Snake, du

Rubik's Cube et du Gomoku (consistant à aligner 5 pions). Certains jeux "multijoueurs" peuvent être partagés simultanément par deux joueurs sur deux cubes, grâce à une connexion sans fil qui les relie. Et si ça ne suffit pas, un kit de développement est disponible sur le site pour créer ses propres jeux. Quant à la batterie, rechargeable *via* une prise micro USB, elle offre huit heures non-stop de détente. **O.L.**

Prix: env. 90 €.

Rens.: [www.futurocube.com](http://www.futurocube.com)

## Le véhicule qui détecte et protège

Repérer les piétons et freiner automatiquement en cas d'urgence tout en déployant un airbag spécial sur le capot, 90 % des voitures Volvo le font depuis 2010. Mais, pour la première fois au monde, cette technologie s'étend aux vélos. Selon le constructeur, 50 % des cyclistes tués sur les routes d'Europe sont entrés en collision avec une voiture. L'équipement est le même: un radar placé dans la calandre détecte tous les objets se trouvant devant le véhicule, et une caméra logée derrière le pare-brise les identifie. Sauf que, dans cette nouvelle version, le logiciel utilisé traite plus rapidement les images. La caméra peut donc aussi "voir" les cyclistes qui, par définition, bougent plus rapidement. Et si l'un d'eux fait une embardée, la commande centrale avertit le conducteur *via* un signal lumineux et sonore,



puis déclenche au besoin le freinage automatique à pleine puissance. Le système surveille tous les deux-roues (scooters, motos...) dès lors qu'ils circulent à moins de 30 m du véhicule et à 80 km/h maximum. Sept modèles Volvo peuvent être équipés en option. **L.B.**

Prix: env. 2000 € (pack "Aide à la conduite"). Rens.: [www.volvocars.com/fr](http://www.volvocars.com/fr)



## LE PRESSE-FRUILS HYPER EFFICACE

Pour extraire le jus de toutes sortes de fruits et légumes, Moulinex s'inspire de la technique du pressoir utilisée par les vignerons. L'Infiny Press Revolution intègre en effet une vis sans fin, alimentée par un moteur électrique de 300 W, qui tourne à 80 tours/min (10 000 tours/min pour les centrifugeuses). Doublée d'un filtre en inox, elle écrase les aliments pour extraire 30 % de jus et de vitamine C en plus. En outre, la machine trie le liquide des déchets (peau, pépins...). Selon le fabricant, les textures seraient légèrement moins liquides et plus homogènes. L.B.

Prix : env. 250 €.

Rens. : [www.moulinex.fr](http://www.moulinex.fr)



## LE COIN DES PROTOTYPES

### UN INSTRUMENT POUR COMPOSER SANS SOLFÈGE

Sous ses airs d'accordéon high-tech, le Du Touch est un instrument de musique d'un genre nouveau. Imaginé par le Français Jules Hotrique, mathématicien et fondateur de la start-up Dualo, ce prototype est basé sur le principe suivant : il répartit sur deux claviers les différentes notes de musique, en plaçant celles qui "sonnent juste" les unes à côté des autres. Comme sur un synthétiseur, on peut choisir un fond musical et on joue ensuite des notes par-dessus, parmi les 116 instruments proposés. Ses concepteurs l'assurent, même un profane pourra maîtriser une mélodie en quelques minutes. Outre ce principe, le Du Touch embarque des technologies originales, parmi lesquelles des pavés tactiles et des accéléromètres permettant d'ajouter des effets en penchant l'instrument (distorsion, réverbération, etc.). F.G.

Rens. : <http://dualo.org/instruments/>



## ge les cyclistes

✓ En cas de menace de choc, le véhicule freine automatiquement et déploie un air-bag sur le capot.



### UNE CHAISE EN MOUSSE À DÉCOMPACTER CHEZ SOI

Le designer belge Carl de Smet a imaginé une chaise qui se déploie toute seule, à partir d'un bloc compact en mousse de polyuréthane. Ce matériau habituellement utilisé dans la fabrication des matelas est ici "programmé" pour prendre un aspect précis quand on le chauffe à 70 °C. Il se présente sous la forme d'un bloc de mousse (50 x 50 x 9 cm), dix fois plus compact qu'une chaise, que l'on branche sur une prise électrique : sous l'action de la chaleur, il s'étend, pour prendre en une dizaine de minutes la forme d'un petit fauteuil original. Il suffit ensuite de le débrancher : le siège garde sa forme finale et il peut supporter jusqu'à 130 kg. Ce procédé a un avantage : les éventuels chocs sont automatiquement effacés en chauffant à nouveau le matériau, la chaise se compacte, puis reprend sa forme. On peut aussi la compacter pour la ranger... L.B.

Rens. : [www.noumenon.eu](http://www.noumenon.eu)





# Le robot qui veut qu'on l'essaye

Pour ceux qui voudraient s'initier à la robotique de manière ludique, voici RQ-Huno. Livré en kit, ce robot de la société coréenne Robobuilder se monte et se démonte facilement. Seize servomoteurs, combinant moteurs et capteurs, offrent à ce petit nerveux (19 cm de hauteur, 620 g) autant de possibilités de bouger ses membres: genoux, hanche, poignets... Une fois sur pied, il suffit ensuite de programmer le robot pour le mettre en mouvement ou d'utiliser les 11 séquences préprogrammées par le constructeur. RQ-Huno réagit alors aux ordres vocaux, à la musique, évite les obstacles, danse... en fonction précisément des envies de son propriétaire. Avec son module bluetooth intégré (en option), il est également possible de commander l'humanoïde *via* un smartphone Android. Un bémol, toutefois: la batterie intégrée n'offre qu'une heure d'autonomie. **X.T.**

Prix: à partir de 400€ env.  
Rens.: [www.robobuilder.net/eng](http://www.robobuilder.net/eng)



> Haut de 19 cm, RQ-Huno est idéal pour s'initier à la robotique.



## Ce lecteur purifie le son de vos CD par ordinateur

Conçu par la société américaine Parasound en collaboration avec le danois Holm Acoustics, le lecteur CD1 élimine automatiquement les erreurs de lecture d'un disque (dus à des vibrations, des saletés...). L'appareil tourne quatre fois plus vite qu'un lecteur normal, tout en restant silencieux, ce qui permet à un ordinateur (opérant sous Linux) de lire plusieurs fois les mêmes sec-

tions d'un disque et de les comparer. Si deux lectures d'une même section sont identiques, c'est qu'il n'y a pas d'erreur. Les données sonores sont alors envoyées vers une mémoire tampon qui les stocke 30 secondes avant de les diffuser. Si malgré les lectures répétées d'une même section, celles-ci ne sont pas identiques, cela signifie qu'une erreur a été détectée. La section est dans ce cas transférée

vers un analyseur qui va rechercher l'emplacement exact où se situe l'erreur et réaliser une interpolation pour en minimiser l'effet négatif sur le son. Après ce traitement, la section est transmise pour diffusion. De cette manière, le son approche la qualité que l'on peut attendre d'un CD numérique. **S.F.**

Prix: env. 3440 €.  
Rens.: [www.parasound.com/halo/cd1.php](http://www.parasound.com/halo/cd1.php)

## DES LED POUR VOIR ET ÊTRE VU À VÉLO

Conçus par l'américain Revolight, ces anneaux de 12 LED se fixent sur les roues afin d'éclairer et d'être vu. Un aimant et un accéléromètre déterminent vitesse et accélération du vélo afin que les LED, qui tournent avec les roues, ne s'allument que pour éclairer l'avant ou l'arrière. Les batteries durent 4 heures et peuvent être rechargées *via* un port USB. **S.F.**

Prix: env. 175 €.  
Rens.: <http://revolights.com/>





Fan du nouveau  
Science & Vie Junior



SCIENCE & VIE  
**JUNIOR**

LA NOUVELLE FORMULE + UN HORS-SÉRIE OFFERT



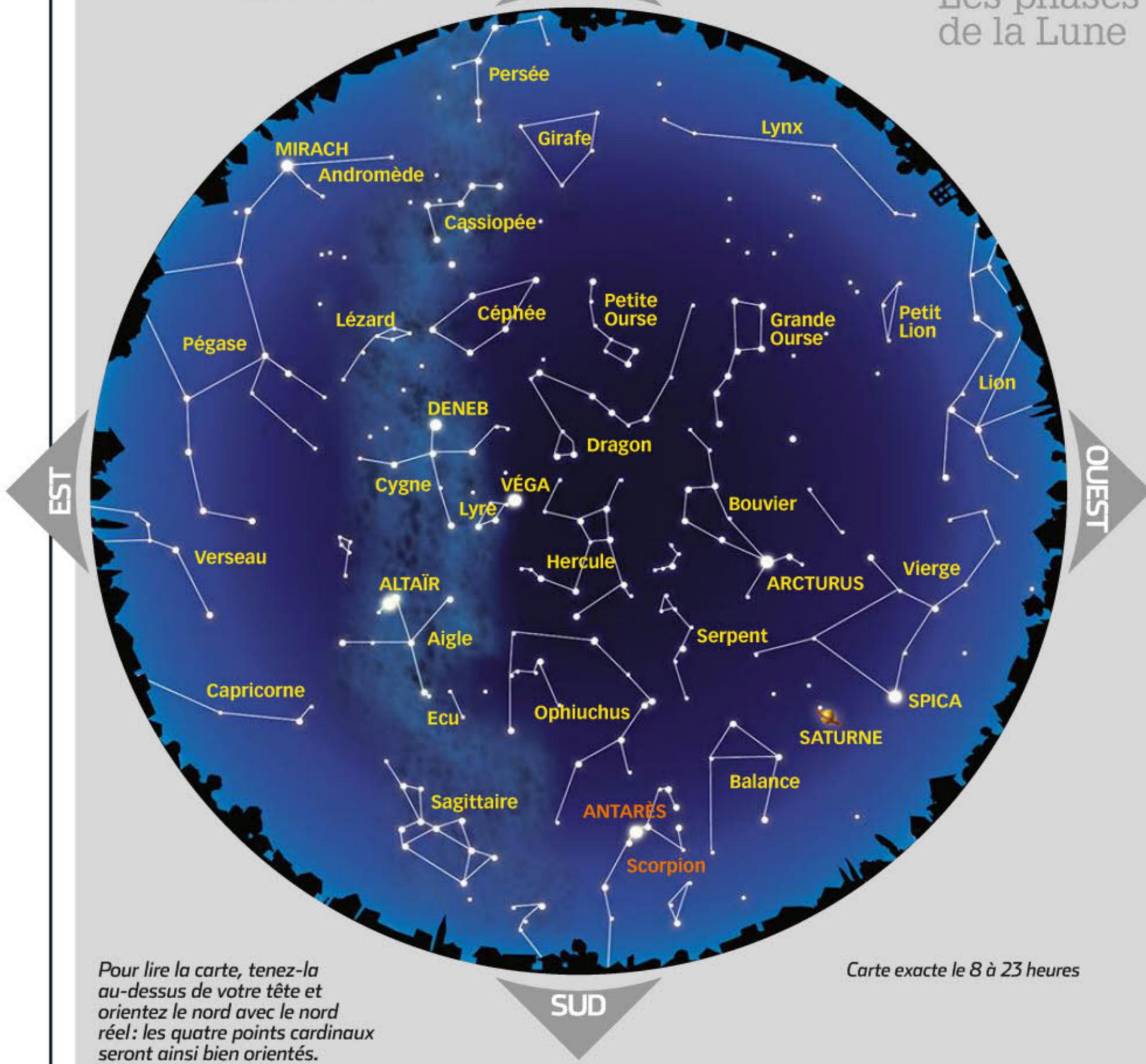
EN PRATIQUE

# CIEL DU MOIS

Par Serge Brunier

NORD

Les phases de la Lune



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 23 heures

## À NE PAS MANQUER... LE 18

Ce soir-là, la Lune s'approche du Scorpion et de sa supergéante Antares. Entre premier quartier et pleine lune, sa phase est dite gibbeuse. C'est la soirée idéale pour la découvrir aux jumelles ou dans une longue-vue. Le long de son terminateur (la ligne qui la traverse du nord au sud et qui sépare son jour de sa nuit), le Soleil se lève sur le cratère Copernic... Magnifique spectacle que cette arène de 90 km de diamètre, profonde de près de 4 000 mètres, se dévoilant progressivement aux premiers rayons du Soleil.

< Le Soleil va se lever sur l'arène immense du cratère lunaire Copernic.



W.PACHOLKA/NOVAPIX - P.LAZZAROTTI/NOVAPIX



▲ L'étoile Antarès du Scorpion brille d'un rouge flamboyant juste au-dessus de l'horizon sud.

## UN SCORPION À L'HORIZON

Le Scorpion est sans conteste l'une des plus belles et brillantes constellations. Antarès, son étoile principale, brille d'un éclat rouge flamboyant, et l'immense arthropode céleste est dessiné par des étoiles brillantes, la plupart des supergéantes bleues, depuis ses pinces – Grafias, Dschubba – jusqu'à sa queue – Sargas – et son dard – Shaula. Aux latitudes européennes, le Scorpion n'est visible que quelques heures, autour de 23 heures. C'est sous les tropiques qu'on l'apprécie vraiment, il y navigue des mois durant non loin du zénith... En Europe, pour le découvrir, très bas sur l'horizon, il faut se trouver sous un ciel pur, bien dégagé vers le sud. Le guide, c'est l'œil de l'arthropode, Antarès, immédiatement reconnaissable par son éclat rouge scintillant.



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

tous les samedis et sur [www.france-info.com](http://www.france-info.com)

# LES AILES DE 2013



En vente actuellement

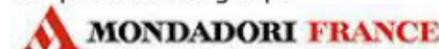
# CONTRE-SOMMAIRE

Petit florilège des mots de ce numéro... par A.G.

Abdomen relevé ..... p. 129	Fenêtres ouvertes..... p. 128
Additionner des pommes et des poires..... p. 120	Fuite en avant..... p. 116
Affreux malentendu ..... p. 116	Gargantuesque..... p. 116
Agent orange ..... p. 110	Géants..... p. 102
Aimables plaisantins..... p. 102	Industriel besogneux ..... p. 116
Air vicié ..... p. 104	Irréversible..... p. 121
Apocalypse..... p. 111	Jouets d'enfants..... p. 131
Arbitre ..... p. 106	L'œil de l'arthropode ..... p. 145
Arsenic..... p. 113	La férocité des combats.. p. 108
Autour de 23 heures..... p. 145	La preuve?..... p. 118
Baleines bleues ..... p. 106	La puissance! ..... p. 116
Ballons de foot ..... p. 103	La raison du plus fort ..... p. 102
Bataille de Verdun ..... p. 113	La tension monte ..... p. 110
Béhémoth ..... p. 104	Le secret d'une rupture réussie ..... sp. 81
Bombes..... p. 111	Lentement mais sûrement..... p. 111
Boum, vroom, psschhhh!..... p. 116	Les métallurgistes ..... p. 118
C'est le point clé de toute l'histoire ..... p. 118	Leurs cousins poilus ..... p. 106
Caniveaux ..... p. 131	Long cou et longue queue..... p. 102
Carrément malhonnête ... p. 118	Mis à nu ..... p. 30
Ce que le monde désire le plus ..... p. 116	No man's land..... p. 111
Cercles de fées..... p. 30	Nous sommes en 1776 .... p. 116
Citoyen lambda ..... p. 116	Pas si sûr ..... p. 108
Colonnes doriques..... p. 102	Pays de Cocagne ..... p. 116
Côte 304 ..... p. 111	Perturber vos nuits ..... p. 128
Coup de folie ..... p. 102	Plus qu'un souvenir ..... p. 108
Culex pipiens ..... p. 130	Pour arriver à ses fins ..... p. 82
De toutes leurs forces ..... p. 81	Qui fait figure de nain .... p.102
Désert du Namib..... p. 30	Satanés moustiques ..... p. 128
Des voyageurs ..... p. 128	Soupirer ..... p. 120
Deux cellules filles ..... p. 81	Sous un ciel pur ..... p. 145
Dragon..... p. 144	Stratagèmes ..... p. 82
En prenant l'ascenseur.... p. 131	Titanosaures ..... p. 104
Encore et toujours ..... p. 102	Tonitruant..... p. 121
Ennemi public n° 1..... p. 131	Tours de passe-passe ..... p. 104
Entre une salade et un steak..... p. 102	Un déluge de fer, de feu et de plomb ..... p. 110
	Vacances d'été..... p. 128

## SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



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),  
François Lassagne

### DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

### CHEF DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités)

### CHEF DE RUBRIQUE

Caroline Tourbe (médecine)

### RÉDACTEURS

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

### SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Clock

### SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

### MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1<sup>re</sup> 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

### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

K. Bettayeb, L. Blancard, B. Bourgeois, R. Brillaud,  
S. Brunier, O. Capronnier, L. Cavicchioli, G. Cirade,  
J. Corbin, A. Dagan, A. Debroise, S. Dessert,  
O. Donnars, E. Dorey, V. Etienne, S. Fay, F. Goubert,  
M. Grousson, E. Haentjens, C. Hancock, J. Hocine,  
D. Humbert, Illustrer.fr, M. Kontente, O. Lapirot,  
E. Leburgue, P. Lefèvre, C. Lembezat, C. Loiseau,  
P. Pajot, A. Rambaud, A. Rebmann, J.-M. Sabatié,  
M. Saemann, G. Siméon, X. Terrien, E. Thierry-  
Aymé, S. Tritz

### DIRECTION-ÉDITION

### DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

### DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

### DIFFUSION

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

### MARKETING

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

### PUBLICITÉ

Valérie Camy (directrice exécutive), Caroline Soret  
(directrice de groupe commercial titres Automobile  
et Science), Virginie Commun (directrice de

publicité adjointe), Lionel Dufour (directeur de  
clientèle), Christine Chesse (assistante), Stéphanie  
Guillard, Angélique Consoli, Sabrina Rossi-Djenidi  
(planning), Stéphane Durand (trafic), Jean-Jacques  
Benezech, Grégory Gounse, Anne-Sophie Chauvière  
(opérations spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD (infododon@  
publieurope.com - 44 (0)20 7927 9800  
Allemagne : Publieurope Munich (infomunich@  
publieurope.com - 0049 89 2908150);  
Suisse : Publieurope Lausanne (infolausanne@  
publieurope.com - 0041 21 323 3110);  
Espagne : Publimedia Madrid (infomadrid@  
publim-gestion.es - 0034 91 212 83 00)

### FABRICATION

Cérard Greck, Valérie Brunehaut, Nathalie Lemaure

### FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

### DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon, Murielle Luche

### ÉDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

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

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carmine Perna

### ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

### IMPRIMEUR : Mondadori Printing S.p.A.,

Via Luigi e Pietro Pozzoni, 11  
24034 Cisano Bergamasco (Bergamo)  
N° ISSN : 0036-8 369

### N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :  
1 an, 12 numéros : 42,80 € ;  
1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.  
Dépôt légal juillet 2013

### RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail : relations.clients@mondadori.fr

Par téléphone : 01 46 48 48 96.

Par courrier : Science & Vie Abonnements  
B341, 60643 Chantilly Cedex.

Par internet : <http://www.kiosquemag.com>

Etats-Unis et Canada : Express Mag, Tél. : 1 800  
363-1310 (français) et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50 - mondadori-  
suisse@edigroup.ch. Belgique : Edigroup Belgique,  
070 233 304 - mondadori-belgique@edigroup.be  
Autres pays : nous consulter.

### À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abon-  
nement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre  
dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses sont  
communiqués à nos services internes et organismes  
liés contractuellement avec S&V sauf opposition  
motivée. Les informations pourront faire l'objet  
d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre  
légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

### À NOS LECTEURS

#### RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue François-Ory,  
92543 Montrouge Cedex.

Par mail : [sev.lecteurs@mondadori.fr](mailto:sev.lecteurs@mondadori.fr)

#### COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES ET VPC

tél. : 01 46 48 48 97

[relations.clients@mondadori.fr](mailto:relations.clients@mondadori.fr)



## EN KIOSQUE CE MOIS-CI





ON PARDONNE TOUT  
À LEUR CRÉATIVITÉ

GREY paris LEGO et le logo LEGO sont des marques déposées du Groupe LEGO. © 2013 The LEGO Group.

Explorez la liberté créative sur  
[LEGOcreativite.fr](http://LEGOcreativite.fr)

LEGO® France et L'agence GREY PARIS ont remporté le 28<sup>ème</sup> Grand Prix de la Publicité Presse Magazine.

**sepm**  
Marketing & Publicité  
[www.pressemagazine.com](http://www.pressemagazine.com)

Le choix de la presse magazine : créativité et efficacité.



**Heineken**<sup>®</sup>  
open your world<sup>\*</sup>



PUBLICIS CONSEIL RCS Nanterre 414 942 082

**NOUVEAU**  
— SYSTÈME PRESSION —  
**EXTRA COLD**<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Ouvrir une Heineken, c'est consommer une bière vendue dans le monde entier. <sup>\*\*</sup> Système pression pour le service d'une bière extra fraîche, entre 0°C et 3°C.

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