

GREFFESDES ORGANES
SUR MESURE**SOLEIL**SA NAISSANCE
ÉLUCIDÉE**JOCONDE**LA TECHNIQUE
DE LÉONARD
RECONSTITUÉE

GRAVITATION

Elle ne serait qu'une illusion

**VOITURES
VOLANTES**ELLES PRENNENT
ENFIN LEUR ENVOL**ÉOLIENNES**LEUR AVENIR
EST COMPROMIS



Aujourd'hui

Ma fille me demande toujours "pourquoi?"

Demain

Ma fille est chercheur en génétique

Vous, Aujourd'hui et Demain

www.hsbc.fr/hsbcadvance

Avec HSBC Advance* nous avons imaginé une banque qui s'adapte à votre style et à votre rythme de vie. Nous vous proposons une relation privilégiée, en agence, par Internet ou par téléphone pour construire votre avenir en toute liberté.

HSBC Advance vous simplifie la vie aujourd'hui et vous accompagne dans vos projets de demain.

HSBC Advance

HSBC 

Votre banque, partout dans le monde

* Voir les modalités de constitution de l'offre auprès des représentants locaux HSBC France. Société Anonyme au capital de 327 196 426 000 € - SIREN 775 670 234 RCS Paris
Siège social : 103 Avenue des Champs-Élysées - 75008 Paris. Banque et Société de Courtage et d'Assurance et membre du groupe de la HSBC Corporation pour le Programme des Intermédaires de
Acceptance : www.hsbc.fr ou au n° 07 105 954 07/10

Avant-propos



▲ Si la gravitation n'est pas une force fondamentale, c'est toute la réalité, des pommes qui tombent aux planètes qui tournent, qui est remise en question.

Accrochez vos ceintures, le sujet de couverture de ce numéro de S&V va vous conduire aux plus hauts sommets de la réflexion de la physique fondamentale. Trop haut, trop difficile? Nous prenons le pari du contraire. Notre ambition n'est pas de faire de chacun de nos lecteurs un prix Nobel en puissance, mais de parvenir à expliquer aux esprits curieux, et en termes aussi simples que possible, les raisonnements des plus éminents spécialistes pour penser le monde. Venons-en au fait.

En ce monde, chaque chose a une masse qui, sujette à la gravité, pèse incontestablement de tout son poids. Un poids variable selon que l'on se trouve sur le plancher des vaches (tout y est plus lourd), au sommet des montagnes (la gravité y est moindre), ou ailleurs. Tout le monde le sait depuis toujours, ou presque, et mieux encore depuis que Newton l'a théorisée en termes on ne peut plus formels: la gravité s'impose à tout et à tous, des pommes qui chutent aux planètes qui tournent, avec une force inversement proportionnelle au carré de la distance des corps qui s'attirent inmanquablement. Gravité oblige. Voilà qui est dit et bien dit. Personne ne trouvera d'ailleurs à y redire, pas plus Einstein avec sa relativité que tous ceux qui tenteront de représenter le monde au sein d'un modèle unifié: la gravitation est inscrite au cœur de la matière qui lui est congénitalement liée. Fermez le ban.

Tout irait pour le mieux dans cet élégant ballet cosmique si les derniers développements de la physique ne demeuraient pas incapables d'intégrer cette mystérieuse force dans une vision cohérente du monde. Faut-il s'en affranchir? L'un des plus éminents théoriciens vient de franchir le pas. Au nez et à la barbe de ses illustres prédécesseurs, il soutient que la gravitation n'émane pas de la matière, n'a pas d'existence en elle-même et que l'on se trompe en la considérant comme une force fondamentale. Les conséquences? Elles sont énormes. Oubliez la gravitation et vous verrez alors le monde se désagréger devant vos yeux. Vous n'aurez alors plus accès qu'à son image, à la manière des hommes enchaînés dans la caverne imaginée par Platon. Un voyage vertigineux qui conduit au-delà du réel.

S&V

Pas
de **gravité**
dans ce **monde?**

30

Les points chauds volcaniques exhument des diamants!

24

La douceur de la Joconde dévoilée aux rayons X



42

Actualités

A la une

7

FORUM

Réactions, critiques, remarques... nos lecteurs prennent la plume.

8

ILS L'ONT FAIT

Retour en images sur les derniers événements scientifiques.

12

EN DIRECT DES LABOS

Le proton est trop petit pour la théorie; Le développement cérébral est d'abord lié à la mère, etc.

24

L'EXPLOIT

La douceur de la Joconde dévoilée aux rayons X.
Une stratigraphie du tableau a été effectuée sans prélèvement. Une première.

28

PLANÈTE TERRE

Environnement

Les points chauds volcaniques exhument des diamants; Les cyclones obéissent à une loi mathématique, etc.

34

Santé

Des caresses préviendraient les AVC; Vache folle: la fin de l'histoire se profile, etc.

40

Technos

Un robot androïde débarque dans l'espace, etc.

42

GRAVITATION

En affirmant que la gravitation n'est pas une force fondamentale, un chercheur néerlandais lance un énorme pavé dans la mare de la physique théorique. Dans la lignée de physiciens qui tentent depuis un siècle et demi de s'affranchir de la réalité, il relance un débat plus houleux que jamais.

SCIENCE & VIE

1 rue du Colonel-Pierre-Avia
75503 Paris Cedex 15
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

Recevez *Science & Vie* chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 95. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro : diffusion France métropolitaine, Suisse et Belgique. Un encart "Ademe" est jeté sur tous les exemplaires de la diffusion.



62

Éoliennes en France : pourquoi leur avenir est compromis

88

Cultures d'organes : elles vont révolutionner les greffes



124

Un drone télécommandé par téléphone

Science & Vie d'aujourd'hui

Fondamental

En pratique

62

L'AVENIR DES ÉOLIENNES

Si, en France, l'Etat défend son important programme de développement du parc éolien – avec l'implantation prévue de 5000 nouveaux mâts d'ici à 2020 –, pas moins de six obstacles risquent de compromettre ce déploiement ambitieux. Enquête, point par point.

74

LA VOITURE VOLANTE N'EST PLUS UN RÊVE

Après un siècle d'échecs, la voiture volante affiche désormais sa confiance en un décollage imminent. Mais restera-t-elle un fantasme d'ingénieurs ou va-t-elle ouvrir la voie à un nouveau mode de locomotion ? Un pari audacieux.

82

Naissance du Soleil : enfin un scénario convaincant. Des astronomes français affirment, d'après des météorites, que notre Soleil aurait été engendré par une étoile fugueuse.

88

Cultures d'organes : elles vont révolutionner les greffes. Des organes de rongeurs recréés à partir de leur structure naturelle ont été transplantés... avec succès !

96

Climat : à la recherche des températures du passé. Stalagmites, coquillages, forages et archives se révèlent être des indicateurs inédits très utiles aux paléoclimatologues.

106

Le cri des animaux a été mis en équation. L'extrême diversité des sons produits par les animaux est en fait déterminée par... leur métabolisme !

110

Q&R
Le tabagisme passif est-il aussi nocif qu'on le dit ? Pourquoi la bière est-elle si diurétique ? A quoi sert la crête du coq ?

118

LE POINT SUR...
Le scooter à trois roues

124

TECHNOFOLIES
Un drone télécommandé par téléphone ; Un vélo électrique bien gardé ; Un punching-ball qui joue les coaches ; Des panneaux solaires deux fois plus performants, etc.

130

A LIRE / À VOIR / .NET
Tout sur les livres, expositions, films, sites web, etc., de l'actualité des sciences. Et toujours "le ciel du mois".

138

NOS 3 QUESTIONS À...
Un chercheur répond à nos questions. Ce mois-ci, la paléontologue **Brigitte Senut**.



**Sur BlackBerry® Messenger,
plus on est nombreux à discuter
entre amis et mieux on s'entend.**

Sur BBM™, vous et vos amis pouvez discuter en tant que groupe, sur une seule et même page. Personne n'est oublié et personne ne pourra dire : "pourquoi tu l'as dit à Charlotte avant de me le dire ?" Tout le monde est le premier à savoir. Alors si c'est un conseil que vous cherchez, attention : vous pourriez bien en avoir deux, trois, quatre ou même cinq.

LIVE what you do on **BBM**

BlackBerry

blackberry.fr/bbm

*Aimez ce que vous faites sur BlackBerry® Messenger. © 2010 Research In Motion Limited. Tous droits réservés. BlackBerry®, RIM®, Research In Motion®, SureType®, SurePress™ ainsi que les marques déposées, les noms et les logos qui leur sont associés sont la propriété de Research In Motion Limited et sont enregistrés et/ou utilisés aux États-Unis et dans les pays du monde entier.

ENTOMOLOGIE

CET INSECTE POUSSE PLUS DE 1 000 FOIS SON POIDS!

L'insecte le plus fort du monde est un... bousier!
L'Anglais Rob Kneil et l'Australien Leigh Simmons ont calculé que le coléoptère *Onthophagus taurus* peut pousser 1 141 fois son poids - l'équivalent de 80 tonnes pour une personne de 70 kilos. Il utilise cette force étonnante pour éloigner ses rivaux des galeries où il se reproduit. Et, pour augmenter leur chance de procréer, les bousiers plus faibles sont dotés de gros testicules! R.B.



Un effet d'échelle négligé

Dans votre article sur la force du bousier (S&V n° 1113, p. 30), vous dites que cet insecte est capable de pousser 1 141 fois son poids et que, pour l'égaliser, l'homme devrait pousser 80 tonnes. Mais la règle

du jeu est-elle équitable? Les organismes de petites tailles ne sont-ils pas avantageés? N'y a-t-il pas un problème d'échelle mal pris en compte?

Gérard Dussarat,
Castelnau-le-Lez (34170)

S&V Votre remarque est tout à fait pertinente et nous n'aurions pas dû reprendre la comparaison proposée par les chercheurs sans intégrer cet effet d'échelle. Cette comparaison entre un bousier pesant 1 gramme et un homme de 70 kg partait du principe que la force d'un individu est proportionnelle à sa masse. Or ce principe est erroné: la physique a en effet démontré que la force d'un organisme est proportionnelle à la puissance $2/3$ de sa masse (car la force varie suivant le carré de la taille alors que la masse varie

suivant le cube de la taille). Autrement dit, l'homme étant environ 70 000 fois plus lourd que le bousier, il devrait être capable de pousser une boule d'excréments, non pas 70 000 fois plus lourde, mais seulement $70\,000^{2/3}$, soit 1 700 fois plus lourde. Cela représente une boule d'excréments de moins de 2 tonnes, avec un diamètre inférieur à 2 mètres. Si la poussée d'un tel objet semble un petit peu au-dessus de nos forces, l'homme n'a pas en tout cas à rougir devant le bousier: sa force est du même ordre de grandeur...

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

PRÉSIDENT: Ernesto Mauri

RÉDACTION

1, rue du Colonel-Pierre-Avia,
75503 Paris CEDEX 15.
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
Matthieu Villiers

RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS
Philippe Chambon, François Lassagne,
Hervé Poirier, Grégoire Bouillier (édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE
Yvonne Diraison

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

RÉDACTEURS
Boris Bellanger, Germain Chambost,
Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher,
Muriel Valin

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION
Jean-Luc Glock

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION
Catherine Robert

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

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

DOCUMENTATION
Marie-Anne Guffroy

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

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

Anyforms Design, E. Abdoun, V. Béclin,
L. Blancart, J. Bourdet, R. Brillaud, S. Brunier,
V. Buron, O. Capronnier, G. Cirade,
M. Corniou, A. Dagan, R. De La Rua Martin,
D. Delbecq, V. Etienne, L. Farcy, S. Fay,
L. Fery, D. Florentz, F. Goubet, M. Grousson,
P. Grumberg, V. Guillon, E. Haentjens,
E. Hamonou, C. Hancock, R. Ikonikoff,
J. Jongwane, M. Kontente, M. Kergoat,
E. Lecomte, P. Lefevre, M. Lestelle,
S. Mariaccia, D. Maume, M.-C. Méral,
P. Otzenberger, R. Persiaux, C. Poisson,
P. Richard, J.-M. Sabatié, R. Sanchez,
E. Thierry-Aymé, N. Videau, www.illustrer.fr

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE
Jean-Luc Breyse

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ
Vincent Cousin

DIFFUSION

site: www.vendezplus.com

DIRECTEUR DIFFUSION
Jean-Charles Guérault

RESPONSABLE DIFFUSION MARCHÉ
Siham Daassa

MARKETING

DIRECTEUR MARKETING
Sébastien Petit

CHARGÉE DE PROMOTION
Michèle Guillet

ABONNEMENTS
Nathalie Carrère

PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF DE MONDADORI
FRANCE PUBLICITÉ
Valérie Camy

DIRECTRICE COMMERCIALE
Francesca Colin

DIRECTRICE DE PUBLICITÉ
Valérie Leclère

DIRECTEUR DE CLIENTÈLE
Lionel Dufour

DIRECTRICE DE CLIENTÈLE
Virginie Commun

CHARGÉE DE PLANNING
Sylvia Apodaca

TRAFFIC
Véronique Alex

Grande-Bretagne: Publieurope LTD
(info@publieurope.com)
- 44 (0)20 7927 9800; Allemagne:
Publieurope Munich (info@publieurope.com) - 0049 89 2908150;
Suisse: Publieurope Lausanne
(info@publieurope.com)
- 0041 21 323 3110; Espagne: Publimedia
Madrid (info@publimgestion.es)
- 0034 91 212 83 00

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Alexandra Millet
(chefs de fabrication)

FINANCE MANAGER
Géraldine Pellerin-Faux

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Marie-Ange Dezellus de Narbonne
(marieange.dezellus@mondadori.fr)

RELATIONS EXTÉRIEURES
Michèle Hilling

ÉDITEUR: Mondadori Magazines France

Siège social: 48, rue Guynemer
92865 Issy-les-Moulineaux Cedex 9

Président et directeur de la publication:
Jean-Luc Breyse

Actionnaire principal:
Mondadori France SAS

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

N° ISSN: 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE:

1010 K 79977. Tarif d'abonnement légal:

1 an, 12 numéros: 42,80 €; 1 an,

12 numéros + 4 HS: 52,80 €.

DÉPÔT LÉGAL septembre 2010

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par Internet: relations.clients@mondadori.fr
par téléphone: 01 46 48 47 08 (de 9 h à
12 h et de 13 h à 17 h 30, mercredi et
vendredi, 16 h 30), par courrier: service
abonnements, 1, rue du Colonel-Pierre-
Avia, 75503 Paris Cedex 15.
Vous pouvez aussi vous abonner sur
<http://www.kiosquemag.com>
Etats-Unis et Canada: Express Mag,
8155, rue Larrey, Anjou (Québec),
H1J 2L5. Tél.: 1 800 363-1310 (français)
et 1 877 363-1310 (anglais); fax: (514)
355-3332. Suisse: Dynapresse, case postale
1211, Genève 1.
Belgique: Excelsior Publications,
PB 23, Poste 6, 1050 Bruxelles.
Tél.: 02 62614 26.
Autres pays: nous consulter.

À NOS ABONNÉS

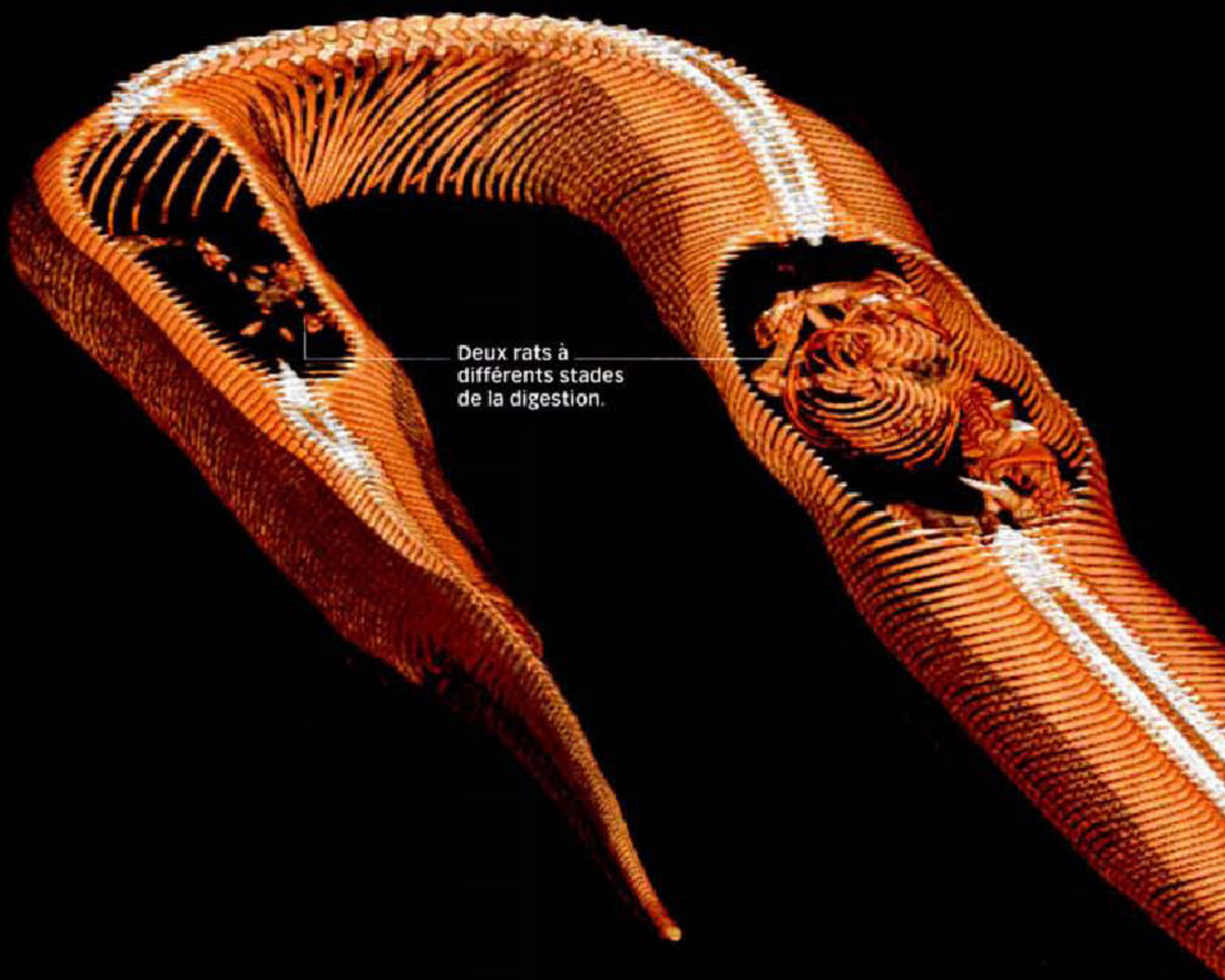
Pour toute correspondance relative à votre
abonnement, envoyez-nous l'étiquette
collée sur votre dernier envoi. Les noms,
prénoms et adresses de nos abonnés sont
communiqués à nos services internes et
organismes liés contractuellement avec
S&V sauf opposition motivée. Dans ce cas,
la communication sera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

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS
Par courrier: 1, rue du
Colonel-Pierre-Avia
75015 Paris. Par mail:
sv.lecteurs@mondadori.fr
COMMANDE D'ANCIENS
NUMÉROS ET DE RELIURES
Carole Zaragoza,
tél.: 01 46 48 47 18



Ils l'ont fait...



Deux rats à différents stades de la digestion.

LA DIGESTION D'UN PYTHON A ÉTÉ OBSERVÉE ÉTAPE PAR ÉTAPE

Prague, le 30 juin. Ces images exceptionnelles ont été présentées au meeting annuel de la Société de biologie expérimentale. Elles permettent, pour la première fois, de visualiser le cycle complet de la digestion d'un rat par un python. Henrik Lauridsen et Kasper Hansen, de l'université Aarhus (Danemark), les ont obtenues en appliquant les techniques

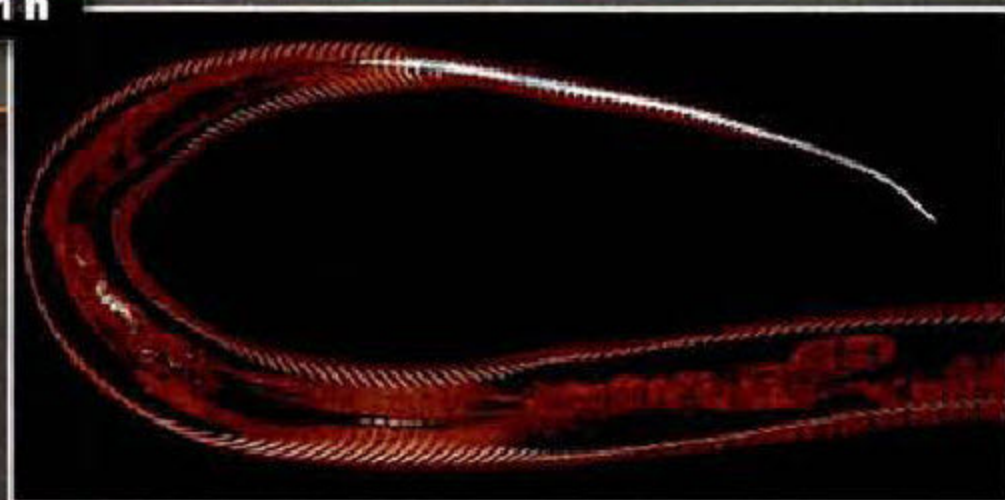
classiques d'imagerie en rayons X et d'imagerie par résonance magnétique (IRM) à un python de Birmanie vivant. Anesthésié, *Python molurus bivittatus* a été régulièrement scanné avant, puis après son repas, jusqu'à la disparition de sa proie au bout de 132 heures (voir ci-contre). Les biologistes ont pu observer comment l'animal adaptait ses

organes aux contraintes digestives : les intestins grossissent, la vésicule biliaire diminue et le volume cardiaque croît de 25 %. Les scientifiques danois, persuadés que cette méthode pourrait remplacer les habituels croquis et éviter nombre de dissections, ont aussi dévoilé l'anatomie en 3D d'un alligator, d'une tortue, d'un lézard, d'une grenouille... R.B.



Tête du python

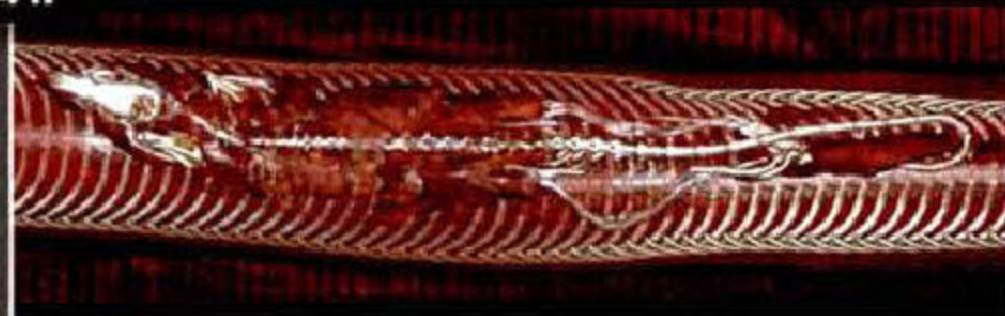
- 1 h



2 h



24 h



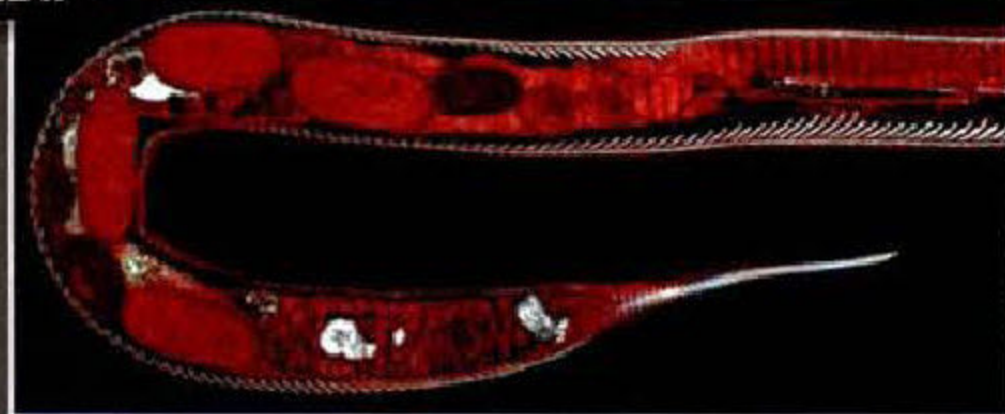
48 h



72 h



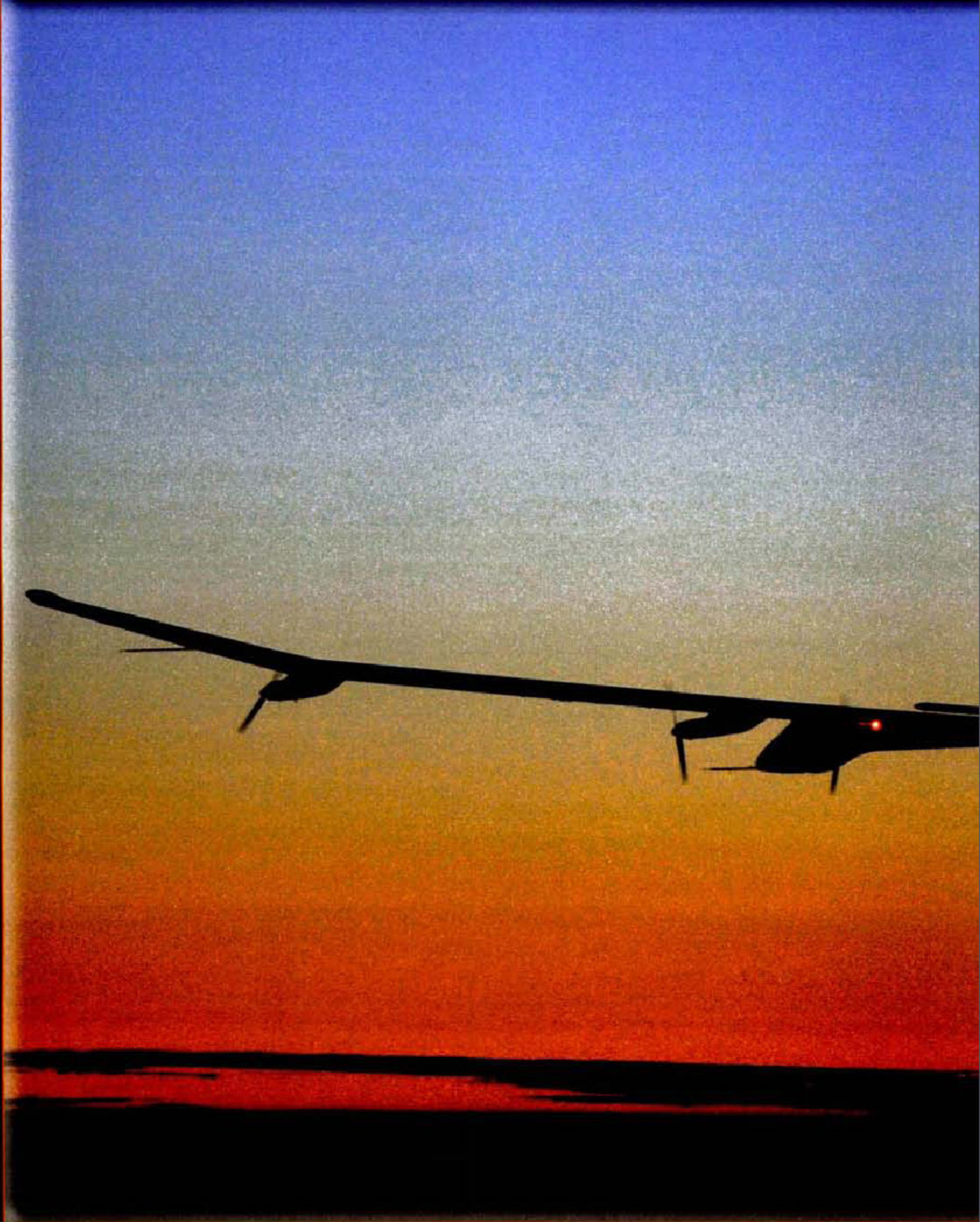
132 h



▲ 1 heure avant son repas, l'intestin du python est vide. Entre 2 heures et 72 heures plus tard, le rat est réduit en morceaux dans l'estomac, jusqu'à son arrivée dans l'intestin, 132 heures après.

Ils l'ont fait...

D. FAVRE/KEYSTONE POOL/SOLAR IMPULSE



UN AVION SOLAIRE A VOLÉ UN JOUR ET... TOUTE UNE NUIT!



8 juillet, à Payerne (Suisse). Mission accomplie!

La démonstration spectaculaire que l'on peut voler 24 heures sur 24 à l'aide du seul Soleil vient d'être réussie par *Solar Impulse*, l'avion électro-solaire suisse construit à l'initiative de Bertrand Piccard. Il aura fallu pas moins de 11 628 cellules solaires, alimentant 400 kg de batteries, pour maintenir en vol, pendant un peu plus de 26 heures, les 1 600 kg de ce grand oiseau de 63,40 m d'envergure.

Le 7 juillet, à 6 h 51, l'appareil a décollé de sa base de Payerne, piloté par André Borschberg, le PDG de la société patronne du projet.

Toute la journée, *Solar Impulse* est monté, pour atteindre 8 700 m en fin d'après-midi, remplissant ses batteries. Puis, privé de son énergie naturelle, l'avion solaire a échangé l'altitude gagnée durant la journée en autonomie, en planant lentement. Descendu à 1 500 m d'altitude vers 23 heures, il a ensuite volé jusqu'au matin sur ses batteries. Avant de se poser à 9 heures pile – admirez la précision toute suisse – sur sa base, encore nanti d'une solide réserve d'énergie. Sa vitesse moyenne a été de 20 nœuds (soit 38 km/h), avec une pointe à 68 nœuds (125 km/h).

Au-delà de l'exploit technologique, ce vol de nuit d'un avion solaire est un symbole, une borne dans l'histoire de l'aviation : pour la première fois, un aéronef piloté a démontré qu'il était possible de se maintenir dans le ciel indéfiniment en y puisant l'énergie nécessaire. Extraordinaire et riche de promesses futures.

P.G.

◀ L'avion *Solar Impulse*, développé en Suisse, est resté plus de 26 heures dans le ciel grâce à ses moteurs électriques et ses cellules solaires.

PHYSIQUE

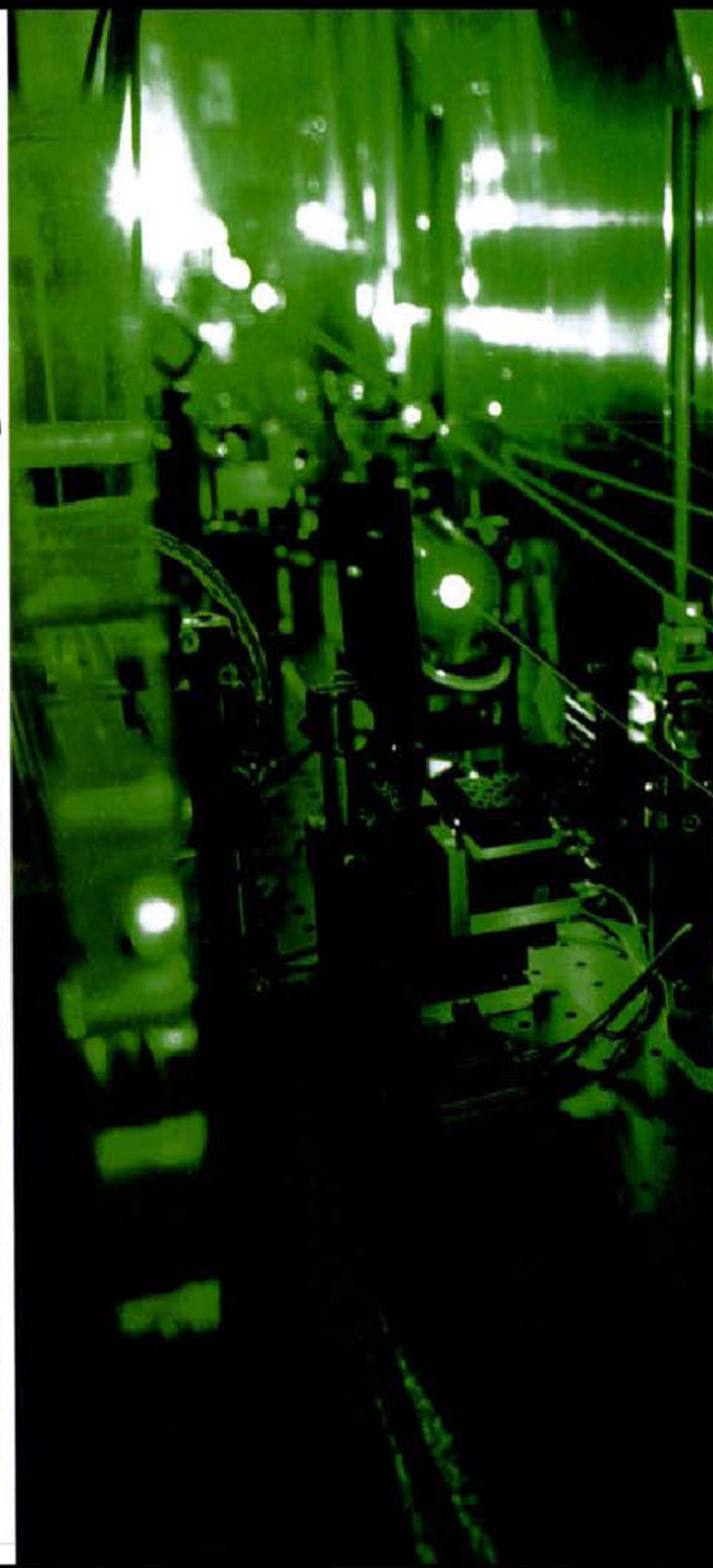
Le proton est trop petit pour la théorie

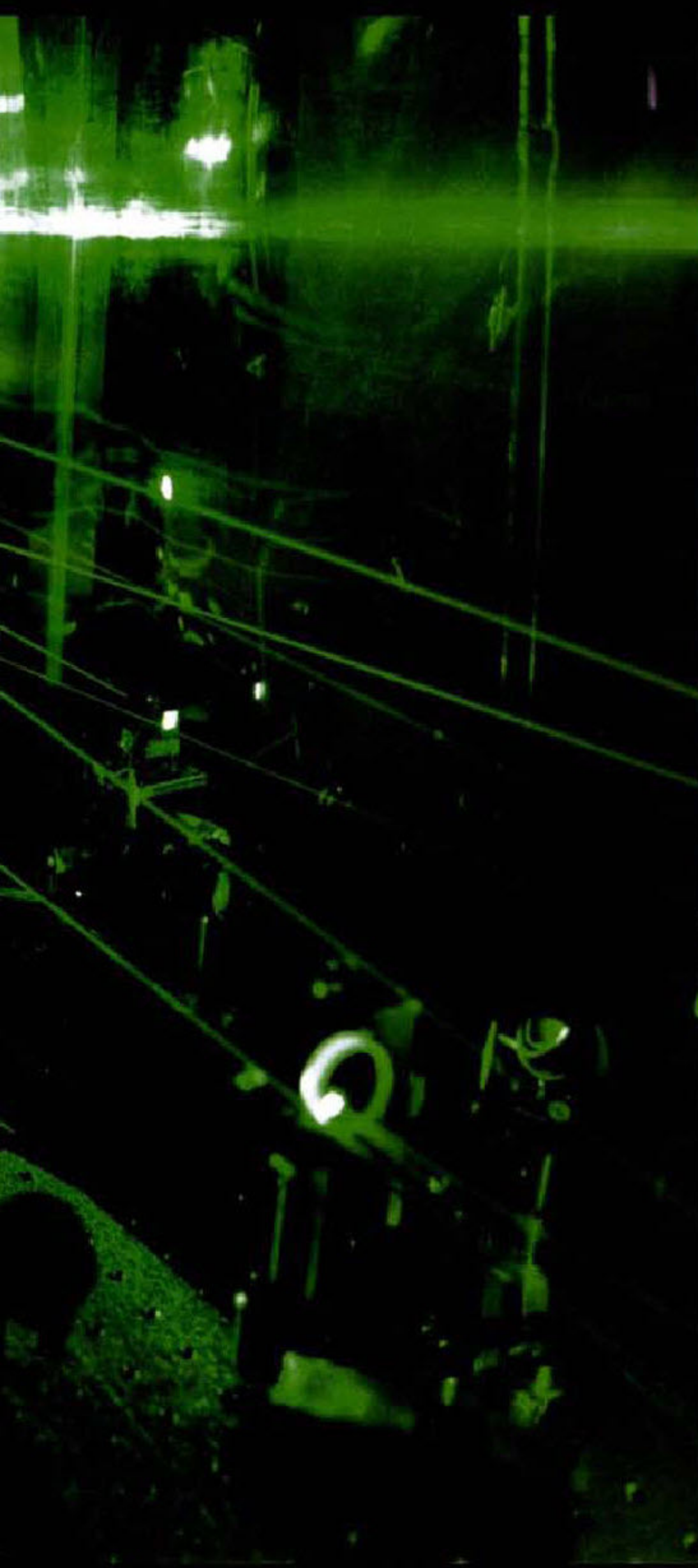
Une équipe internationale a obtenu une mesure inattendue de la taille du proton. Ce résultat pourrait ouvrir la porte d'une physique inconnue.

Des physiciens de l'Institut Paul Scherrer, en Suisse, ont mesuré le diamètre du proton (constituant, comme le neutron, du noyau atomique) avec une précision jamais atteinte. Mais, étrangement, la valeur obtenue est incompatible avec les résultats antérieurs. La différence n'est que de quelques centièmes de femtomètre (10^{-12} mètre)... mais suffisante pour embarrasser les théoriciens. Pour en arriver là, les chercheurs ont utilisé des atomes d'hydrogène dans lesquels l'électron (qui orbite autour du noyau) avait été remplacé par un muon. *"Plus massif que l'électron, le muon 'orbite' plus proche du proton. Il est donc plus sensible à la taille de ce dernier"*, explique François Biraben, du Laboratoire Kastler Brossel (LKB), à Paris, qui a participé à l'expérience. En mesurant l'écart entre deux niveaux d'énergie de ces atomes d'hydrogène "modifiés", puis en reportant

cette valeur dans les équations de l'électrodynamique quantique (qui décrit les interactions entre particules chargées au sein de l'atome), les physiciens en ont déduit le diamètre du proton: *"Nous nous attendions à préciser la valeur admise, d'où notre surprise!"* S'agirait-il d'une erreur expérimentale? Personne n'y croit. Les équations de l'électrodynamique quantique seraient-elles incomplètes? *"Peut-être avons-nous négligé des termes qui ne devaient pas l'être"*, analyse Paul Indelicato, lui aussi au LKB. *Même si ça paraît étonnant.* Reste la possibilité d'avoir mis le doigt sur une physique inconnue, non prise en compte par les théories actuelles. *"On n'en est pas là"*, poursuit le physicien. *Mais si tout le reste est confirmé, il faudra se poser la question.* Le mystère est total. **M.G.**

> C'est grâce à ce dispositif laser que le diamètre du proton a été calculé.





PALÉONTOLOGIE

DES MUSÉES ONT LIVRÉ UN NOUVEAU DINOSAURE

Mojoceratops perifania: c'est le nom donné par l'Américain Nicholas Longrich, au dinosaure qu'il a découvert en fouillant les ossements conservés dans des musées. Comme les autres cératopsidés, de la famille du tricératops, "il a une grande collerette osseuse [photo] à l'arrière de la tête. Mais la sienne, en forme de cœur, est la plus ostentatoire", explique le chercheur. Mojoceraptos vivait dans le sud du Canada, il y a 75 millions d'années. C.H.



GÉNÉTIQUE

Le développement cérébral est d'abord lié à la mère

Le cerveau de la souris se construit d'abord sous l'influence des gènes maternels tant qu'elle est au stade embryonnaire, puis passe sous l'emprise des gènes paternels à l'âge adulte. C'est l'étonnante conclusion d'une étude menée par l'équipe de Christopher Gregg, de l'université de Harvard. Normalement, chaque gène est présent en deux exemplaires, appelés allèles, chacun hérité d'un parent, et s'exprimant à part égale. Mais il arrive que l'allèle transmis par l'un des parents soit rendu silencieux. Un phénomène, dit d'"empreinte parentale", que l'on pensait rare... jusqu'à cette découverte. Car ce sont plus de 1 300 gènes qui sont ainsi concernés rien que dans le cerveau, sur environ 20 000 gènes actifs! "D'un point de vue évolutif, cela paraît logique que la mère trouve un avantage à contrôler le développement de l'embryon, qui se déroule dans son utérus", commente la biologiste Catherine Dulac, qui a supervisé l'étude. Reste à savoir si c'est le cas chez l'homme.

V.E.

Les hormones secrétées par les chimpanzés avant la confrontation sont différentes.



ÉTHOLOGIE

On sait pourquoi les chimpanzés sont plus agressifs que les bonobos

En situation de compétition, le comportement pacifique des bonobos tranche avec celui, plus agressif, des chimpanzés. Selon Victoria Wobber et Peter Ellison de l'université de Harvard, cela s'explique par une différence d'hormones secrétées avant l'affrontement. Alors que les

chimpanzés produisent davantage de testostérone, les bonobos augmentent leur sécrétion en cortisone, une hormone associée au stress et à des stratégies sociales plus passives. Les chercheurs ont constitué des paires de congénères et ont placé les singes face à de la nourriture qu'ils devaient

partager. En prélevant leur salive avant et après le repas, ils ont pu mesurer leur taux hormonal. L'augmentation hormonale observée avant la confrontation pourrait témoigner d'une perception différenciée de la situation : à éviter pour les bonobos, à dominer pour les chimpanzés. **V.B.**

BOTANIQUE

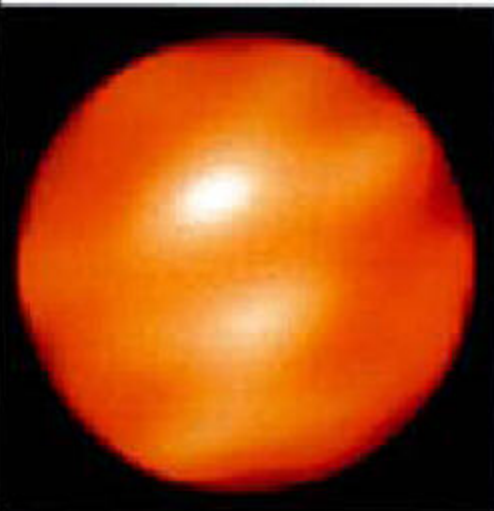
LE GÈNE DU TRÈFLE À QUATRE FEUILLES EXISTE BIEN !

L'équipe de l'Américain Wayne Parrott a localisé le gène qui contrôle le nombre de feuilles chez le trèfle blanc *Trifolium repens* L. ! Celui-ci existe en deux versions : l'une, dominante, inhibe la formation de la quatrième feuille. L'autre, récessive, la déclenche. Le trèfle doit hériter des deux versions récessives du gène pour développer quatre feuilles, d'où sa rareté. **E.H.**



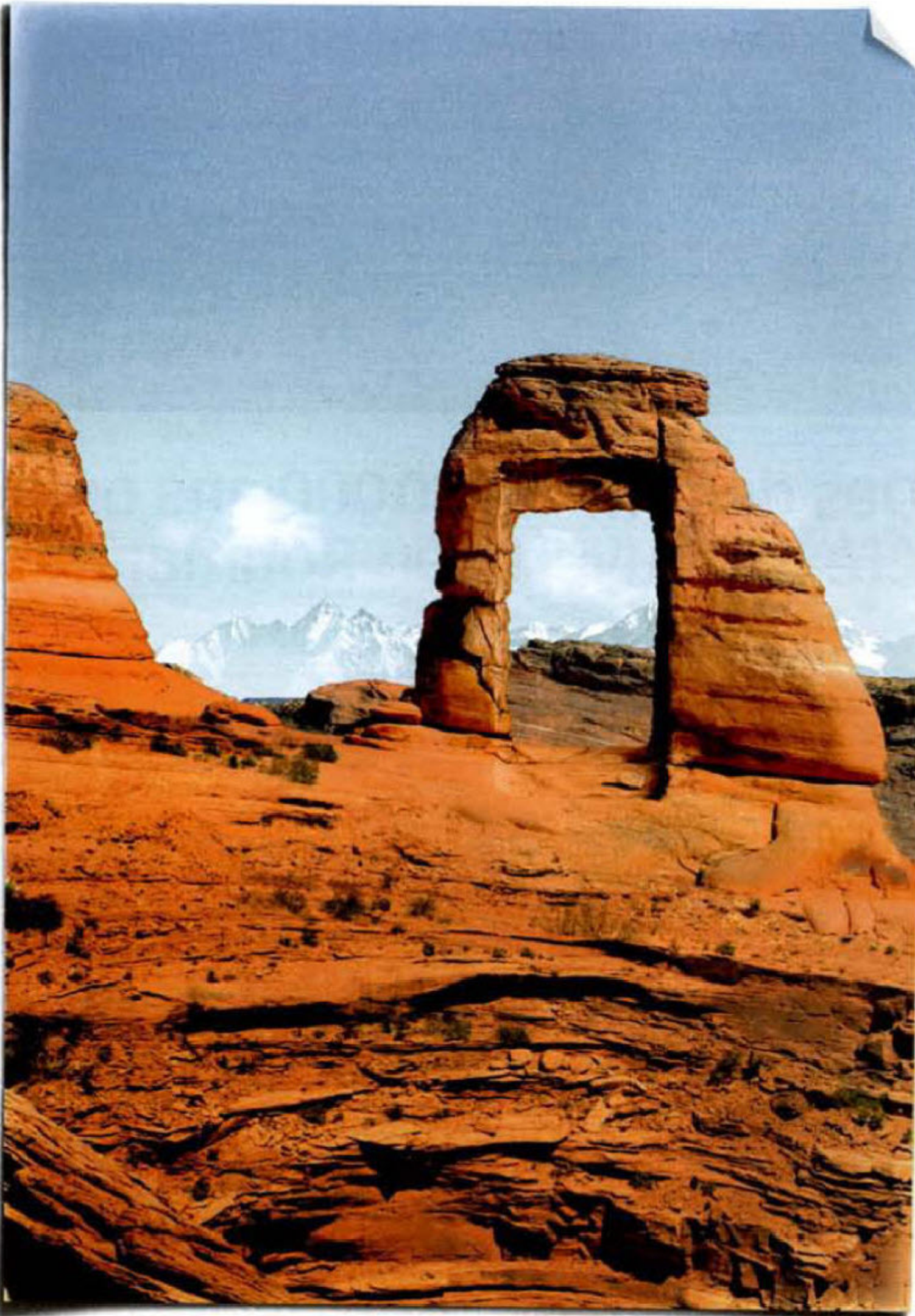
PHYSIQUE STELLAIRE

Le champ magnétique des étoiles ne vient pas de leur rotation. Exit, la théorie de l'étoile-dynamo ? Selon des chercheurs du Laboratoire d'astrophysique de Toulouse-Tarbes, les étoiles n'ont pas besoin de tourner sur leur axe pour engendrer un champ magnétique. Voilà une découverte qui remet en question un dogme vieux de plus de cinquante ans. Pour parvenir à cette conclusion, les astrophysiciens ont observé Bételgeuse – une étoile supergéante dont



▲ Ce sont les mouvements de convection à la surface de Bételgeuse qui créeraient son champ magnétique.

la rotation est très lente – à l'aide de Narval, un instrument installé au sommet du pic du Midi. Ils ont découvert que, bien qu'il lui faille plusieurs années pour faire un tour sur elle-même, cette étoile possédait un champ magnétique de surface. Selon les chercheurs, celui-ci serait produit par des mouvements de convection de matière ionisée, qui se déplace en boucle du centre vers la surface. Ces zones de mouvement constituent autant de petites dynamos qui, additionnées, forment le champ magnétique de l'étoile. Ce phénomène à petite échelle pourrait expliquer notamment pourquoi le Soleil a un champ magnétique résiduel, même lors de ses périodes de moindre activité. **F.G.**



NOUVELLE
GÉNÉRATION DE
PORTABLE AVEC
CHARGEUR DE
BATTERIE
SOLAIRE.

Compatible avec le mobile LG GD510, le cache batterie solaire fonctionne comme un panneau photovoltaïque en transformant la lumière du jour en électricité. Il vous permet ainsi d'alimenter votre appareil pour obtenir plus de minutes de conversation. Utilisé en complément du chargeur, il vous offre plus de mobilité et vous permet de communiquer plus tout en consommant moins. LG, innover aujourd'hui en pensant à demain.



Chargeur de batterie solaire
PCB-100 à clipser au dos
du mobile LG GD510.

www.lg.com/fr

 **LG**
Life's Good

Des innovations qui rendent votre consommation
d'énergie aussi discrète que possible.

PHYSIQUE

Un neutrino a été observé en pleine transformation.

Situé à 1 400 m de profondeur dans la région de Rome, le détecteur de l'expérience Opera a pour la première fois piégé un neutrino (particule de très faible masse qui existe sous trois formes différentes), en train de passer de sa forme "muonique" à sa forme "tauique". "Observer cette transformation prouve de façon directe un phénomène que nous soupçonnions,



▲ Le détecteur Opera reçoit les neutrinos venant du Cern, éloigné de... 730 km!

mais que nous n'avions jamais vu, se réjouit Henri Pessard, physicien au Laboratoire de physique des particules d'Annecy et codécouvreur de l'événement. C'est l'aboutissement d'années de travail." Une prouesse, d'autant que le neutrino a été émis, avec des milliards d'autres, du Cern près de Genève, à... 730 km de là! Au cours du long voyage que ces particules effectuent sous terre en tout juste 2,4 millisecondes, une poignée d'entre elles se transforme: c'est ce phénomène qu'a détecté Opera. L.Fa.



Pour les préhistoriens, l'authenticité de cette tête de rhinocéros ne fait aucun doute.

ARCHÉOLOGIE

Des dessins de 30 000 ans ont été découverts en Roumanie

Une dizaine de dessins d'animaux ont été découverts dans une salle jusqu'ici inconnue, car isolée par une rivière souterraine, de la grotte roumaine de Coliboaia. "Le bestiaire, représenté au charbon, comprend un bison, un cheval, deux têtes de rhinocéros et d'ours, peut-être un mammoth ou un félin, et des gravures",

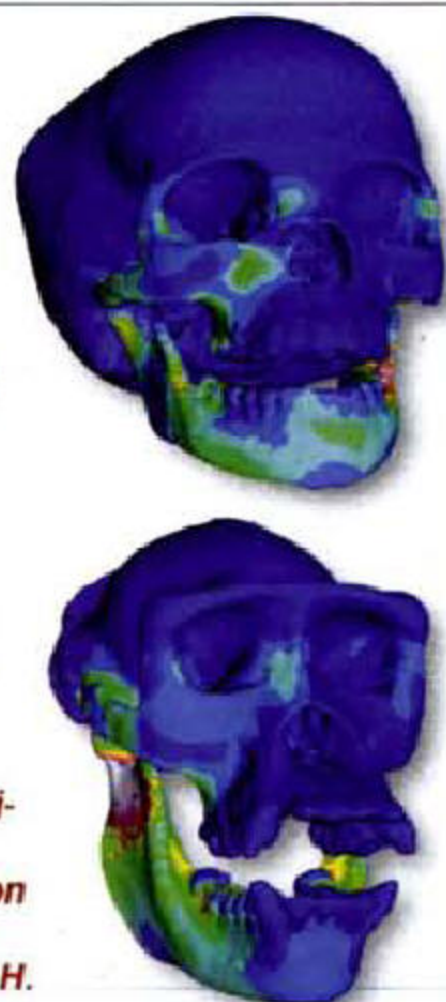
décrit Jean Clottes. Le préhistorien français a supervisé les premières estimations de leur âge, qui monterait à 25 000 ou 35 000 ans. "L'évaluation a été faite sur la base des sujets représentés et des techniques utilisées, indique-t-il. Il reste des interrogations, mais leur authenticité ne fait aucun doute", vu l'accès difficile et les griffures d'ours

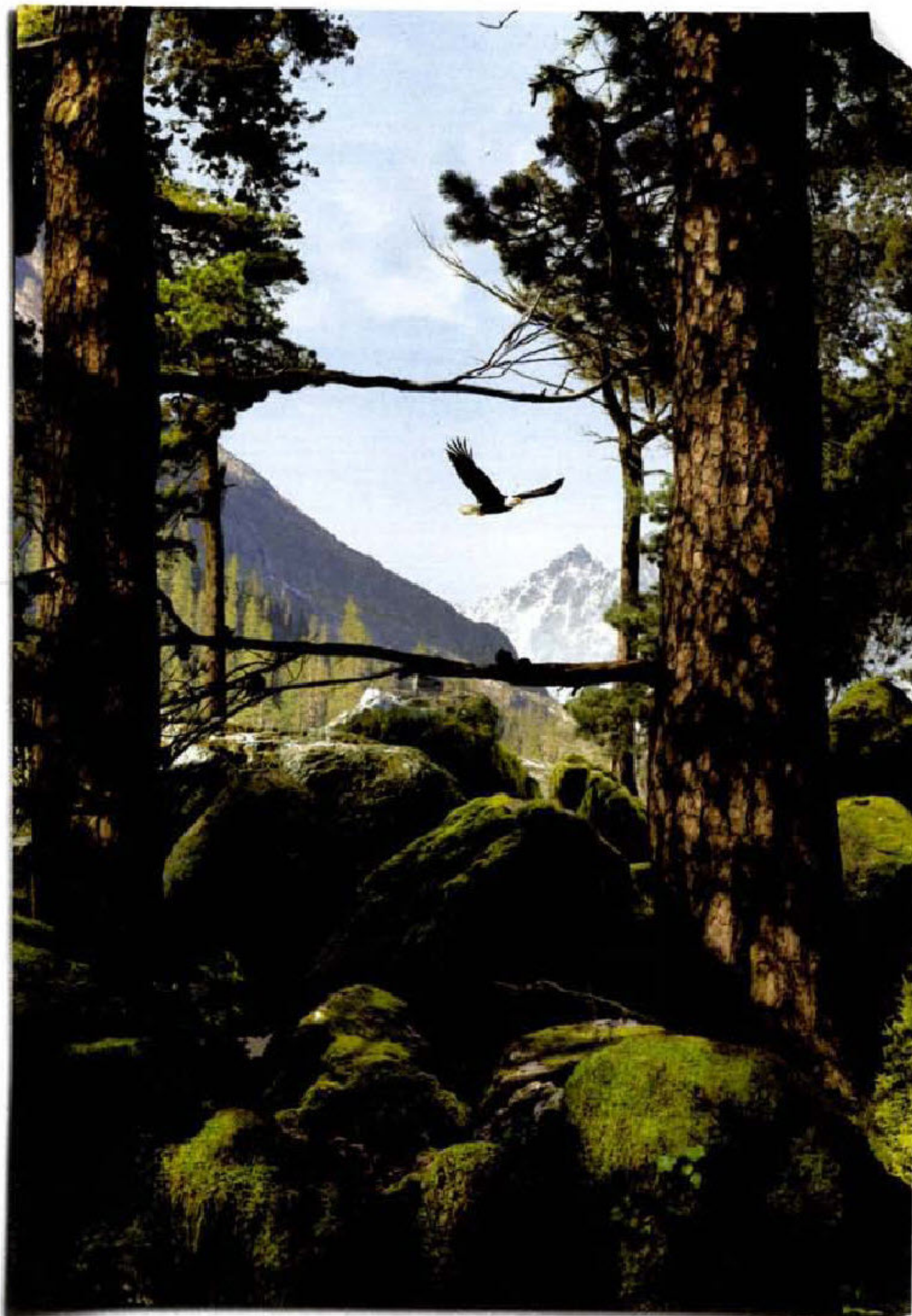
venues les rayer après leur exécution. Ce qui en fait la plus vieille grotte ornée de l'Europe centrale et de l'Est, voire la contemporaine de la grotte française de Chauvet, la plus ancienne connue. Une avancée majeure pour comprendre l'art pariétal et les modes de croyance de cette région charnière, entre l'Ouest et l'Asie. E.R.

PHYSIOLOGIE

LA MÂCHOIRE DE L'HOMME EST AUSSI PUISSANTE QUE CELLE DE SES COUSINS

En dépit d'une mâchoire et de dents plus petites, l'homme a une morsure aussi puissante que celle d'hominidés de même taille. C'est en comparant au scanner des crânes humains (en haut) à ceux de gorilles (en bas), chimpanzés et autres grands singes, que Stephen Wroe, biologiste à l'université de Sydney, est arrivé à cette conclusion. La petitesse de la mâchoire humaine serait contrebalancée par son efficacité, la pression (en vert) y étant mieux répartie. C.H.





AVEC LA
TECHNOLOGIE
FULL LED,
RÉALISEZ
JUSQU'À 45%
D'ÉCONOMIE
D'ÉNERGIE*.

Au-delà de restituer une image de très haute qualité, la technologie Full LED Slim* permet à ce téléviseur ultra fin de consommer jusqu'à 45% d'énergie de moins qu'un écran LCD classique LG. Mais l'économie ne s'arrête pas là : grâce au système Intelligent Sensor, un capteur photosensible adapte automatiquement l'image à la luminosité de la pièce, utilisant ainsi l'électricité au plus juste. LG, innover aujourd'hui en pensant à demain.



Écran Infinia LE8500.



www.lg.com/fr



Des innovations qui rendent votre consommation d'énergie aussi discrète que possible.

Life's Good = La vie est belle

* Ces données sont basées sur des tests internes comparant les consommations réalisées par un écran Full LED Slim LG (le 47 LE8500) et un écran LCD classique LG (le 47 LD650) - calcul fait selon la norme IEC. Full LED Slim : Écran LCD Full LED ultra fin.



**On tenait
à vous
le dire**

Le projet génome humain est une formidable réussite !

"Désillusion", "masse de données incompréhensibles", "pas de révolution médicale", "gabegie financière"... les esprits chagrins ont exprimé tout leur dépit à l'occasion du dixième anniversaire de la publication de la première séquence complète de l'ADN humain (c'était le 26 juin 2000). Leur ressentiment serait à la hauteur des espoirs fous qu'ont fait naître les promoteurs du projet génome humain. Mais qu'on se replonge dans les déclarations des initiateurs de ce qui fut le plus grand projet (et le premier) de la biologie: rien n'apparaît survenu.

Une première étape

Il a toujours été clair qu'il s'agissait d'une première étape sur le long chemin d'une meilleure compréhension de la biologie humaine, de la vie en général et d'une médecine appuyée par la génétique.

En réalité, la révolution tant attendue est en cours. Elle est juste plus lente que ne le souhaitent les impatients. Et pour cause: le projet génome a révélé l'extraordinaire complexité de notre biologie... et l'étendue de notre ignorance. Le séquençage a définitivement explosé le dogme central de la biologie de grand-papa, qui affirmait la relation simpliste "un gène, une protéine". On sait aujourd'hui que ce sont environ 21 000 gènes – à peine plus que ceux d'un ver de terre – qui produisent les centaines de milliers de protéines qui nous constituent. L'ADN ne suffit donc pas à expliquer le vivant... mais sa connaissance reste un préalable nécessaire. Et que ceux qui se plaignent de la lenteur de la révolution génomique se consolent en songeant à la vitesse avec laquelle la technologie a évolué sous la pression de ce projet.

Les séquenceurs automatiques ont réduit les coûts du séquençage par 10 000, et multiplié sa puissance par 10 millions par rapport aux opérations manuelles.

Un outil très précieux

Plus de 25 000 milliards de paires de bases constituant les génomes de milliers d'espèces ont ainsi été déposées dans les banques de données publiques. Sans compter les génomes de tumeurs cancéreuses et autres cellules déviantes. Car, oui, les retombées médicales existent. Et s'il n'y a encore qu'une dizaine de médicaments dont la prescription s'appuie sur des tests génétiques qui en prédisent l'efficacité ou la tolérance, ils seront bientôt une centaine. Sans compter la comparaison des génomes, précieux outil pour comprendre la genèse de nombreuses maladies, dont les cancers. L'usage en

deviendra d'autant plus fréquent que le séquençage d'un génome humain coûte de moins en moins cher (45 000 dollars l'an dernier, à peine plus de 2 000 avant fin 2011), et est de plus en plus rapide (une semaine l'an dernier, trois jours dès l'an prochain). Une nouvelle médecine est en train de prendre un formidable essor. Et tout cela, pour un investissement initial de 3 milliards de dollars sur quinze ans. Beaucoup trop cher? Mais qu'est-ce donc par rapport aux presque 6 milliards de dollars de l'accélérateur de particules LHC dont on attend des informations clés sur la nature de la matière, ou aux quelque 10 milliards du télescope spatial *Hubble* qui nous fournit de formidables images de l'Univers? Avec le projet génome, il s'agit de comprendre la vie, et de la réparer quand elle va mal. P.C.

PHYSIOLOGIE ANIMALE

LA FORCE DU TIGRE À DENTS DE SABRE RÉSIDAIT DANS... SES PATTES !

En comparant aux rayons X le diamètre des os de 28 espèces de félins actuels ou disparus, dont le *Smilodon*, plus connu sous le nom de tigre à dents de sabre, Julie Meachen-Samuels, chercheuse à l'université de Californie, a montré que, à taille égale, l'humérus des tigres à dents de sabre était bien plus épais, et donc plus résistant. Grâce à ses pattes puissantes, le *Smilodon* immobilisait d'abord ses proies avant de leur trancher la gorge. Une stratégie qui préservait de la cassure ses fameuses dents qui, bien qu'impressionnantes, étaient aussi fragiles. C.H.





AVEC LA
TECHNOLOGIE
TRUE STEAM
DIRECT DRIVE,
RÉALISEZ JUSQU'À
30% D'ÉCONOMIE
D'ÉNERGIE*.

Le nouveau lave-linge LG accueille jusqu'à 9kg de linge dans un format standard, tout en consommant moins d'eau et d'électricité. Une efficacité rendue possible par trois technologies innovantes : le système d'entraînement sans courroie ni poulie Direct Drive qui limite les pertes d'énergie ; la technologie vapeur qui permet une montée en température rapide de l'eau et enfin la pesée électronique qui adapte les consommations à la charge du linge. Résultat : jusqu'à 30% d'énergie de moins qu'un appareil de classe A. LG, innover aujourd'hui en pensant à demain.



Lave-Linge Vapeur
Direct Drive 9 kg.
F14953WHS

Des innovations qui rendent votre consommation
d'énergie aussi discrète que possible.



www.lg.com/fr



Life's Good = La vie est belle. Technologie True Steam Direct Drive = Technologie vapeur et moteur à induction Direct Drive sans courroie ni poulie.

*Correspond à une économie d'énergie de 30% par rapport à la classe énergétique A.

ASTRONOMIE

Des exoplanètes rétrogrades ont été repérées

Des astronomes ont découvert six planètes, situées dans six systèmes planétaires différents, qui tournent en fait en sens inverse de celui de leur étoile ! Explications.

Elles sont six. Six planètes lointaines en orbite autour de leur propre étoile, à des années-lumière de notre système solaire. Certes, on en connaissait déjà plus de 450 autres... sauf que celles-ci tournent en sens inverse de celui de leur étoile ! Ces six planètes "rétrogrades" – c'est ainsi qu'on les appelle – viennent d'être repérées dans six systèmes planétaires différents par une équipe d'astronomes conduite par Didier Queloz, de l'université de Genève (Suisse), découvreur en 1995 avec Michel Mayor de la première exoplanète (extérieure

au système solaire) de l'histoire. Avec cette nouvelle découverte, l'exoplanétologie vit une petite révolution. Déjà, en août 2009, l'équipe suisse avait déniché le premier système à planète rétrograde (voir "Retour sur image"). Mais elle l'avait pris pour un cas isolé. Or, six systèmes abritent une planète rétrograde, sur les vingt-six systèmes planétaires étudiés à l'aide de plusieurs télescopes terrestres. Il ne s'agit donc plus de cas isolés, mais d'une épidémie... Une épidémie qui touche exclusivement des systèmes renfermant une exoplanète de type "Jupiter-chaud", c'est-à-dire une boule de gaz à la fois très grosse (300 fois plus que la Terre) et très proche de son étoile (à peine 2 à 5 fois plus éloignée que la Terre ne l'est du Soleil). Autrement dit, des systèmes très différents du nôtre. Faut-il donc remettre à plat notre compréhension des systèmes planétaires, afin de prendre en compte ces excentriques ?

Il faut dire que, jusqu'ici, les spécialistes calquaient le mouvement de la majorité des systèmes planétaires sur celui de notre système solaire : toutes les planètes – ainsi que les ceintures d'astéroïdes – orbitant dans le même sens, celui de la rotation de l'étoile centrale sur elle-même. Ce

qui est logique car tous les corps (étoile incluse) se forment à partir d'un disque "proto-stellaire" en rotation sur lui-même : planètes et astéroïdes gardent donc cet élan initial. Ce principe, confirmé par les observations de disques proto-stellaires, est sûr. Mais alors, comment expliquer l'existence des planètes rétrogrades sans remettre en question la mécanique de ces disques ? En retournant les orbites comme des crêpes, répondent en substance les chercheurs... Car en réalité, les six planètes rétrogrades ne sont que la partie visible de l'iceberg. Ce sont six cas extrêmes d'une anomalie bien plus répandue et plus discrète : les planètes à orbite "désalignée". En effet, les

deux tiers des vingt-six systèmes planétaires étudiés par les astronomes présentent un désalignement de l'orbite de leur Jupiter-chaud.

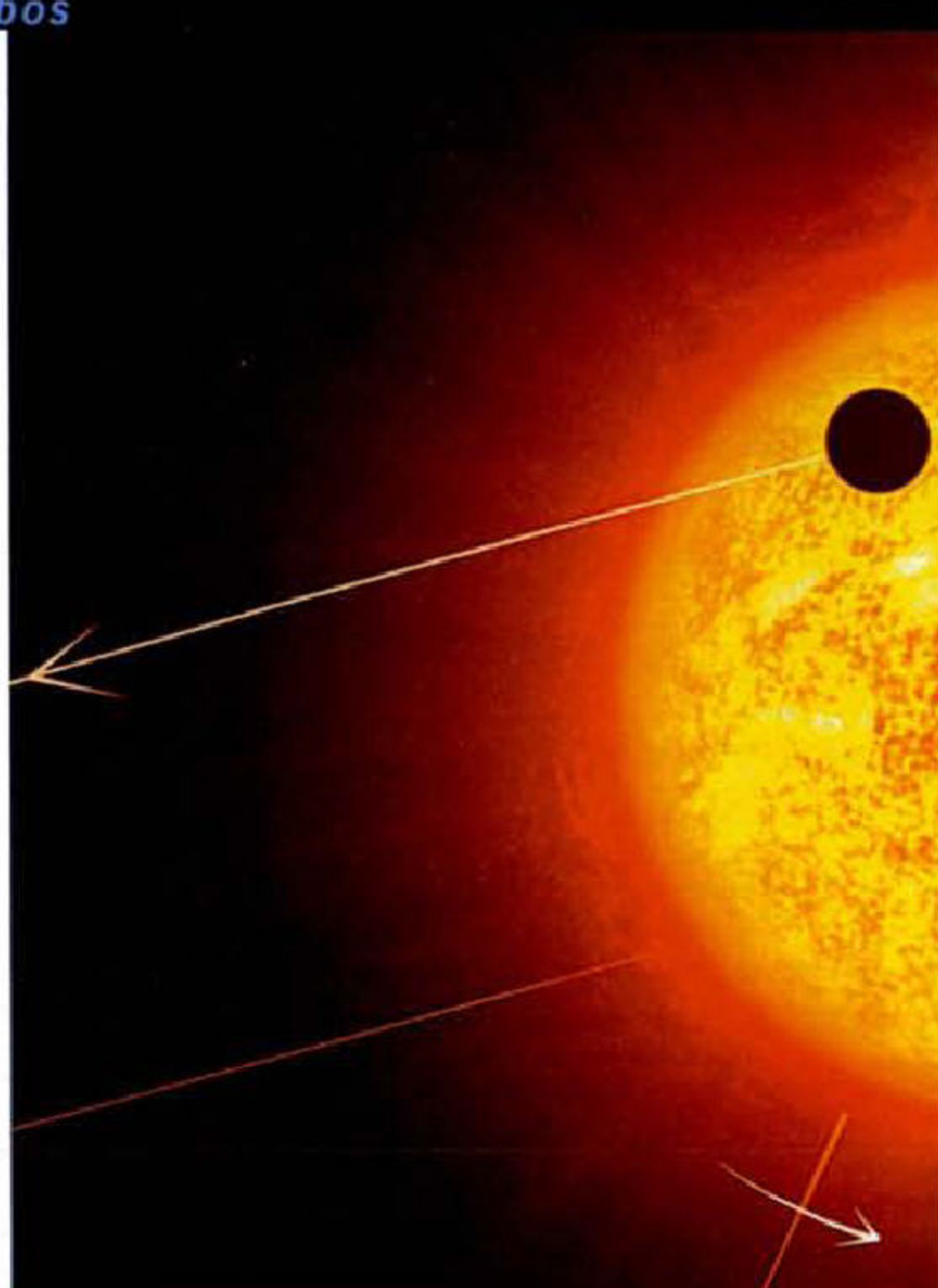
UNE ORBITE RETOURNÉE

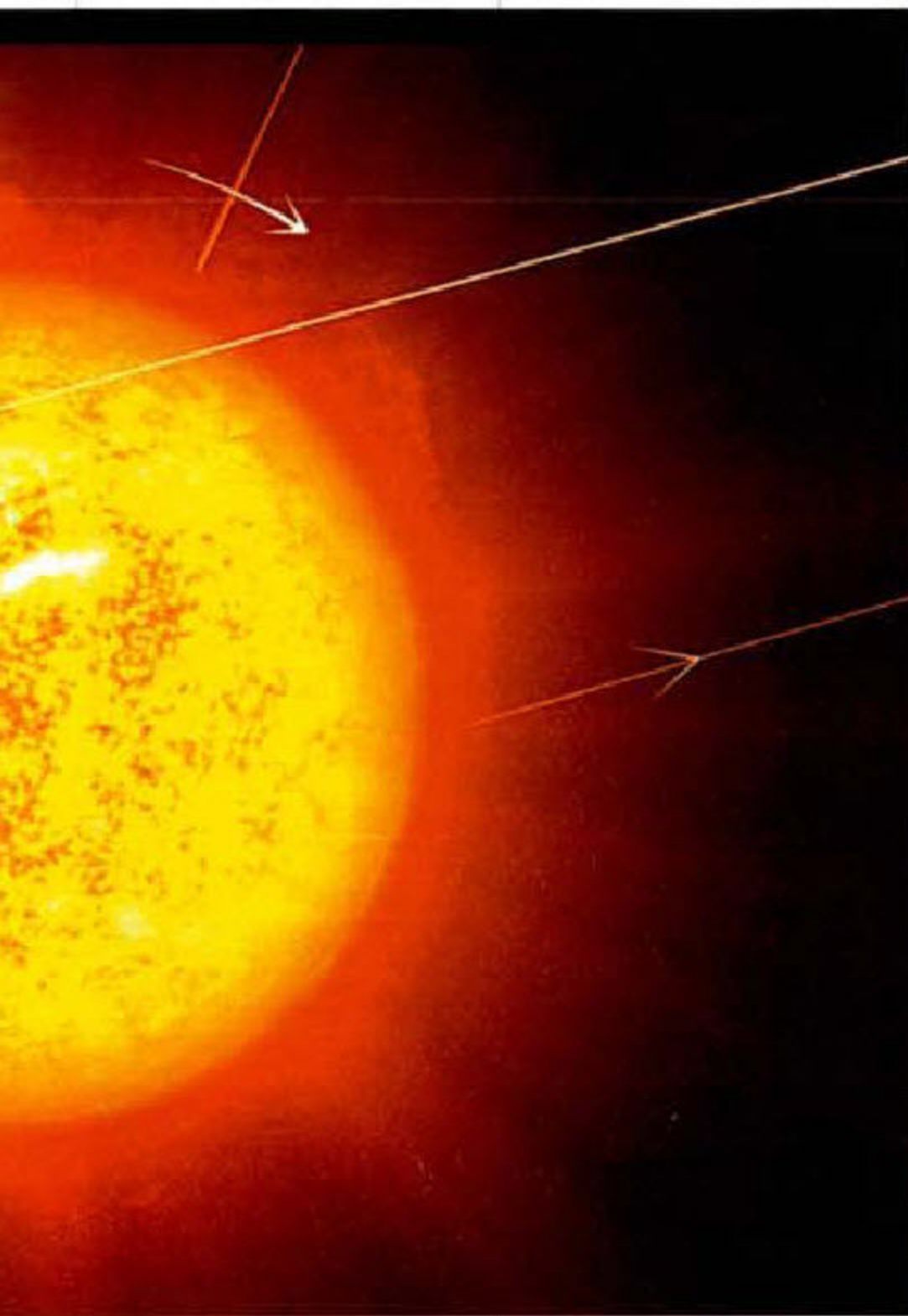
En clair, l'orbite est décalée de plus de 20° par rapport au plan de rotation de l'étoile. Et dans six de ces systèmes, l'inclinaison est supérieure à 90° et peut atteindre 150° : c'est comme si, dans le passé, l'orbite s'était retournée comme une crêpe ! Le sens de révolution de la planète s'est donc inversé par rapport à la rotation de son étoile : les planètes sont devenues des rétrogrades...

Mais quel événement a bien pu être à l'origine de ce désalignement ? "Il pourrait

> RETOUR SUR IMAGE

Le 11 août 2009, des astronomes de l'Observatoire de Genève annonçaient avoir découvert la première planète rétrograde, WASP-17 b, à 1 000 années-lumière de nous. En analysant les variations de lumière de son étoile, dues aux mouvements du couple étoile-planète, ils ont calculé l'angle entre leurs deux orbites : 150°. Autrement dit, WASP-17 b tourne en sens inverse de son étoile ! Depuis, cette technique a permis de dénicher d'autres planètes rétrogrades dans des systèmes nouveaux, ou déjà connus.





< Une planète dite rétrograde a une rotation inversée par rapport à celle de son étoile (ici, représentée avec son axe de rotation).

✓ Avec son spectrographe Harps, le télescope de 3,6 m de l'ESO, au Chili, a permis aux astronomes d'étudier les systèmes exoplanétaires.

s'agir de perturbations gravitationnelles très fortes engendrées, par exemple, par la présence d'une seconde étoile dans le voisinage, ou même par une autre planète massive située en périphérie du système planétaire, explique Didier Queloz. Notre travail consiste désormais à clarifier ce point." Pour les astronomes, le scénario pourrait être le suivant: si un système contenant une planète de type Jupiter dans une zone périphérique subit une forte perturbation gravitationnelle, cette grosse planète migre près de son étoile et se réchauffe. Dans deux cas sur trois, ce Jupiter-chaud se retrouve alors sur une orbite désalignée de plus de 20°, voire de plus de 90°, soit... rétrograde.

Néanmoins, comme les systèmes à Jupiter-chaud ne représentent que 0,5 % à 1 % des systèmes planétaires connus, ce type d'événement cataclysmique semble une exception dans l'Univers. "Mais on tient désormais une preuve robuste que le modèle de formation de notre système, considéré comme standard jusqu'ici, n'est pas le seul, dit Amaury Triaud, doctorant à l'université de Genève et premier signataire de l'article relatant la découverte. Aujourd'hui, les astronomes sont de plus en plus convaincus qu'il y a une grande variété de systèmes planétaires différents, chacun avec son modèle particulier." La nature aime la diversité. Les astronomes aussi.

Román Ikonikoff



« La molécule CRFr serait plus active chez les femmes que chez les hommes.

En bref...

» **LE PLUS VIEIL HIPPOPO-TAME VIVAIT IL Y A 21 MIL-LIONS D'ANNÉES, ET PE-SAIT... 30 KG!** C'est ce qu'a découvert une équipe de chercheurs franco-améri-caine en étudiant les res-tes dentaires de *Moroto-choerus ugandensis*, restes que l'on attribuait jusqu'alors à un cousin éteint du sanglier. M.K.

» **LES VIRUS DE NOTRE INTESTIN QUI S'ATTAQUENT AUX BACTÉRIES DU SYS-TÈME DIGESTIF SONT PRO-PRES À CHAQUE INDIVIDU.** Selon des chercheurs américains, même des jumeaux, qui ont pourtant beaucoup de bactéries similaires, possèdent des virus très différents. L.Fa.

» **UNE EXOPLANÈTE SITUÉE À 150 ANNÉES-LUMIÈRE DE LA TERRE EST VICTIME D'UNE SUPER-TEMPÊTE,** avec des vents soufflant à près de 7000 km/h. Pour faire cette découverte, des astronomes ont mesuré la vitesse du monoxyde de carbone qui s'écoule à sa surface en utilisant le spec-trographe de grande pré-ci-sion du VLT, au Chili. L.Fa.

» **LES GRANDS ANIMAUX SONT MOINS RÉACTIFS QUE LES PETITS.** Une étude canadienne a démontré que la vitesse de réaction à des stimulus extérieurs était plus lente chez les éléphants que chez les musaraignes. La longueur plus importante de leurs axones, prolongements des neurones, retarderait l'analyse des stimulus. M.K.

NEUROLOGIE

La sensibilité des femmes au stress serait biologique

Les femmes sont deux fois plus touchées par les maladies psychiatriques liées au stress (dépression, syndrome de stress post-traumatique) que les hommes. Une étude américaine menée sur le rat vient peut-être d'en déterminer la coupable : la molécule CRFr,

chargée de recevoir le signal de stress à la surface des neu-rones. Les chercheurs ont montré que ce récepteur est plus actif chez les femelles, ce qui suggère qu'un message de stress plus élevé est transmis aux cellules nerveuses. De plus, chez les mâles soumis

à un stress, les neurones neu-tralisent certaines de ces mo-lécules CRFr afin de limiter la perception du signal de stress à leur surface. Grâce à ce mécanisme, absent chez les femelles, les mâles arrive-raient mieux à réguler leur niveau de stress. E.A.

PALÉONTOLOGIE

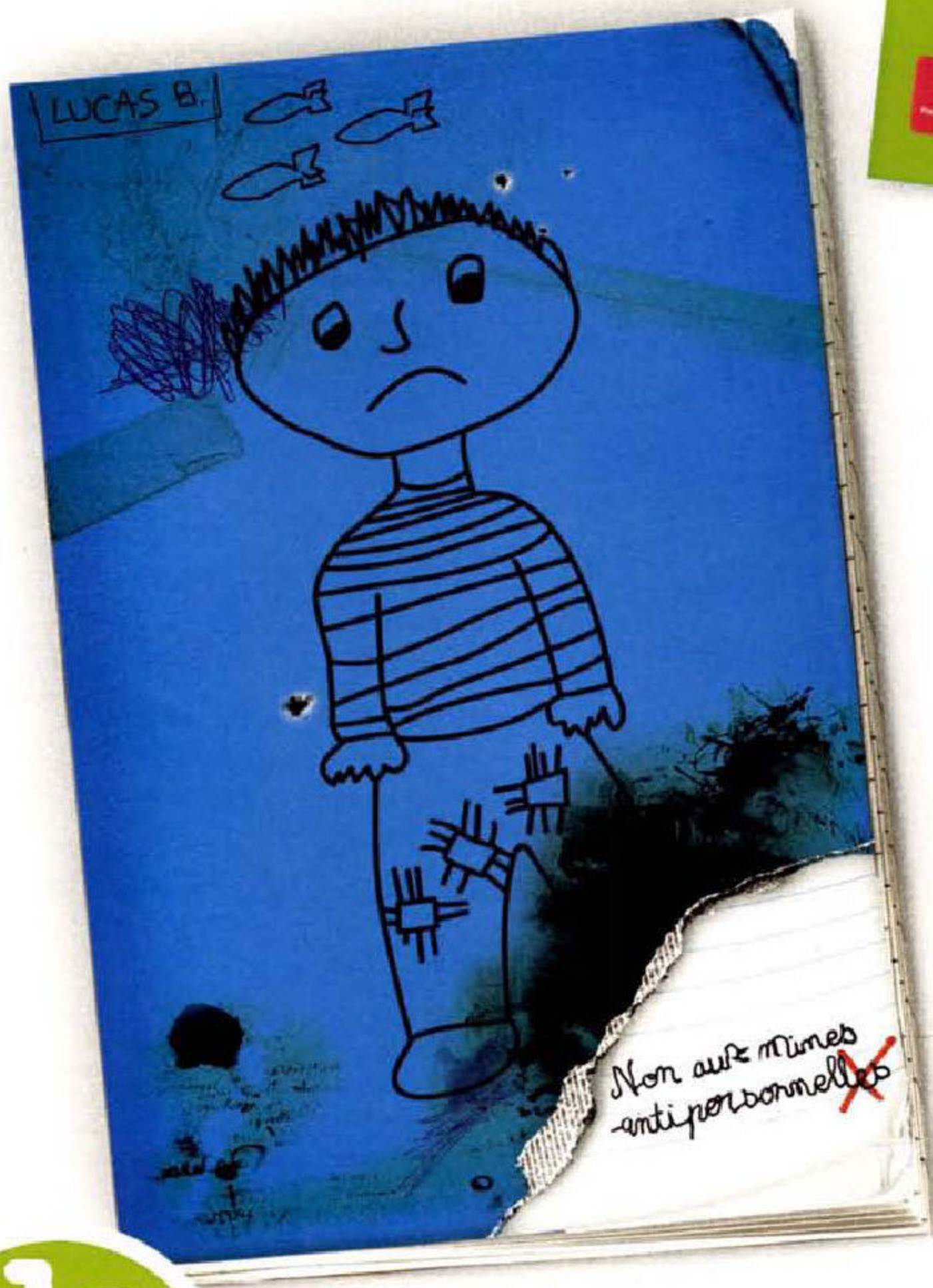
DES DINOSAURES METTAIENT LEURS ŒUFS AU CHAUD

Dans le nord-ouest de l'Argentine, à proximité d'anciennes sources hydrothermales, deux paléontologues ont dé-couvert 80 couvées fossiles contenant chacune entre 3 et 35 œufs de sauropodes, ces dinosaures herbivores du Crétacé. "C'est la première fois que l'on montre que des dinosaures venaient pondre de façon ré-pétitive et préférentielle sur un même site!", se félicite Gerald Grellet-Tinner, co-découvreur. Grâce à ces sources, l'incubation des œufs était facilitée. C.H.



LE KIT PLIO

PROTÈGE BIEN PLUS
QUE DES CAHIERS



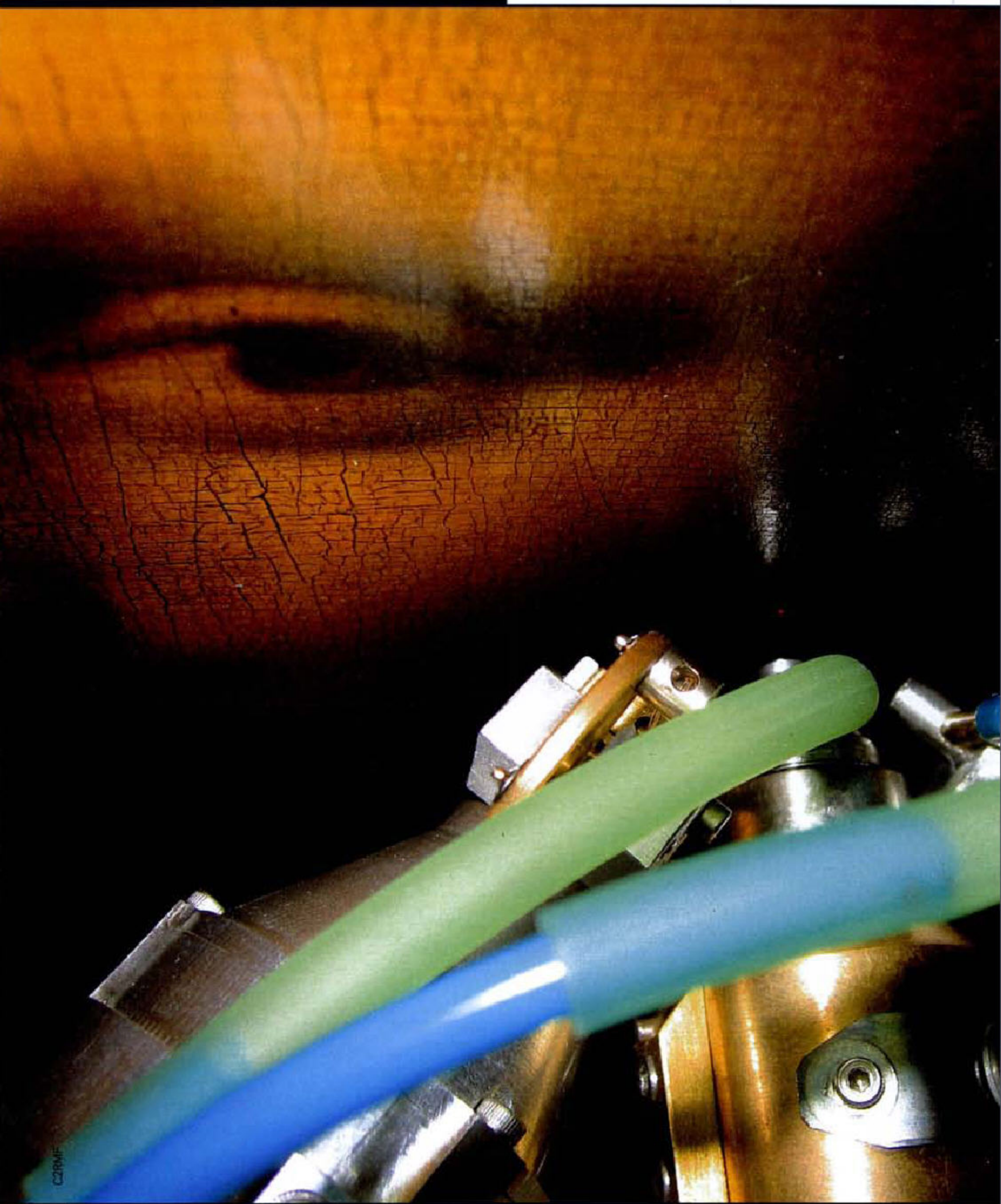
1€
reversé à
**HANDICAP
INTERNATIONAL**

Le Kit Plio, plus de 10 ans de solidarité

Depuis plus de 10 ans, le Kit Plio couvre les livres et les cahiers de vos enfants et génère une aide financière précieuse pour Handicap International. Grâce à votre achat, vous devenez acteur de notre cause et de nos actions... **MERCI !**

**HANDICAP
INTERNATIONAL**

Découvrez tous nos produits solidaires sur www.handicap-international.fr/boutique



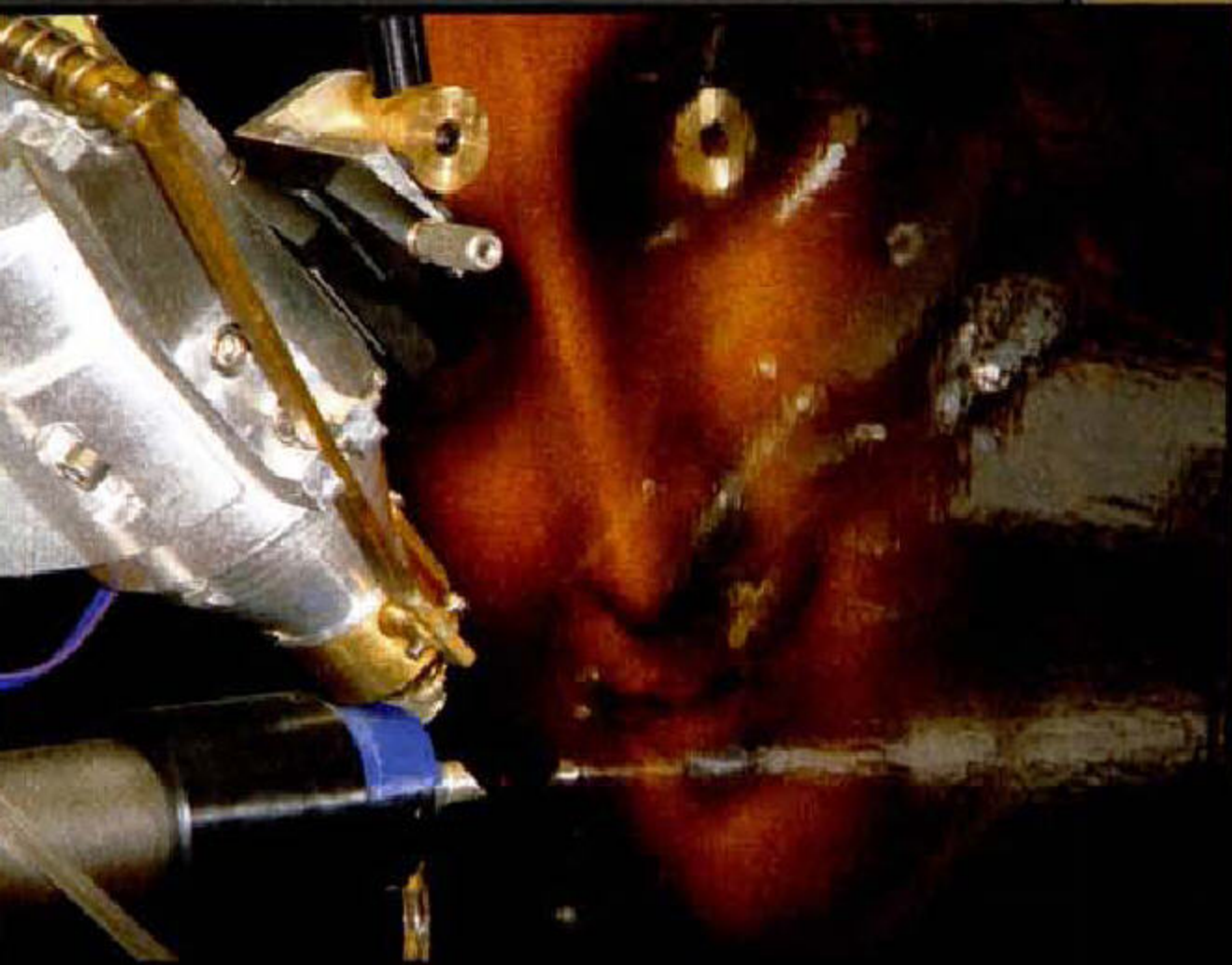
La douceur de la Joconde dévoilée aux rayons X

Physique et informatique ont permis aux chercheurs d'analyser chaque couche de matière appliquée sur les toiles de Léonard de Vinci. Et ce, sans le moindre prélèvement.

Léonard de Vinci aurait sans doute apprécié l'astuce. En scientifique averti et curieux, il se serait amusé de voir ses recettes de fabrication de peinture percées à jour, et ses plus grands tableaux décor-
tiqués couche après couche sans être endommagés d'un millimètre. Pour la première fois en effet, une stratigraphie (une analyse par strates) des visages de plusieurs tableaux du maître italien a pu être réalisée sans aucun prélèvement de matière, par une équipe du Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), abrité dans les sous-sols du Louvre à Paris, aidée d'un physicien grenoblois. Les chercheurs ont ainsi analysé *la Joconde*, le *Saint Jean-Baptiste* et cinq autres tableaux de Léonard sans avoir à les sortir de leur salle d'exposition, à l'aide

d'une machine portative nommée "spectromètre de fluorescence des rayons X" et d'un logiciel baptisé PyMca, qui révolutionne les possibilités du spectromètre. Ce dernier, utilisé depuis douze ans par le C2RMF, permet de se rendre au plus près des œuvres, dans les musées, pour en analyser les composants chimiques sans même les toucher. Le principe ? Envoyer sur le tableau des rayons X qui excitent les atomes. En revenant à leur état d'équilibre, les atomes émettent à leur tour des rayons X d'une énergie caractéristique qui permet de les identifier : fer, manganèse, calcium, etc. "Avec cette technique, nous pouvons habituellement déterminer la palette d'un artiste, c'est-à-dire la liste des pigments qu'il a coutume d'employer. →

« Le *sfumato*, cet effet estompant les traits des visages, n'avait jamais été analysé aussi précisément.



▲ Placé à quelques millimètres du tableau, le spectromètre portatif révèle la composition de la peinture sans l'abîmer.



→ explique Philippe Walter, le directeur du laboratoire. On s'en sert pour expertiser les tableaux: on vérifie que la palette d'une œuvre correspond bien aux pratiques de l'artiste." Mais jusqu'à présent, il était impossible de déterminer à quelle profondeur du tableau se situait l'élément détecté, et donc quelle était la technique picturale employée.

PLUS DE VINGT COUCHES

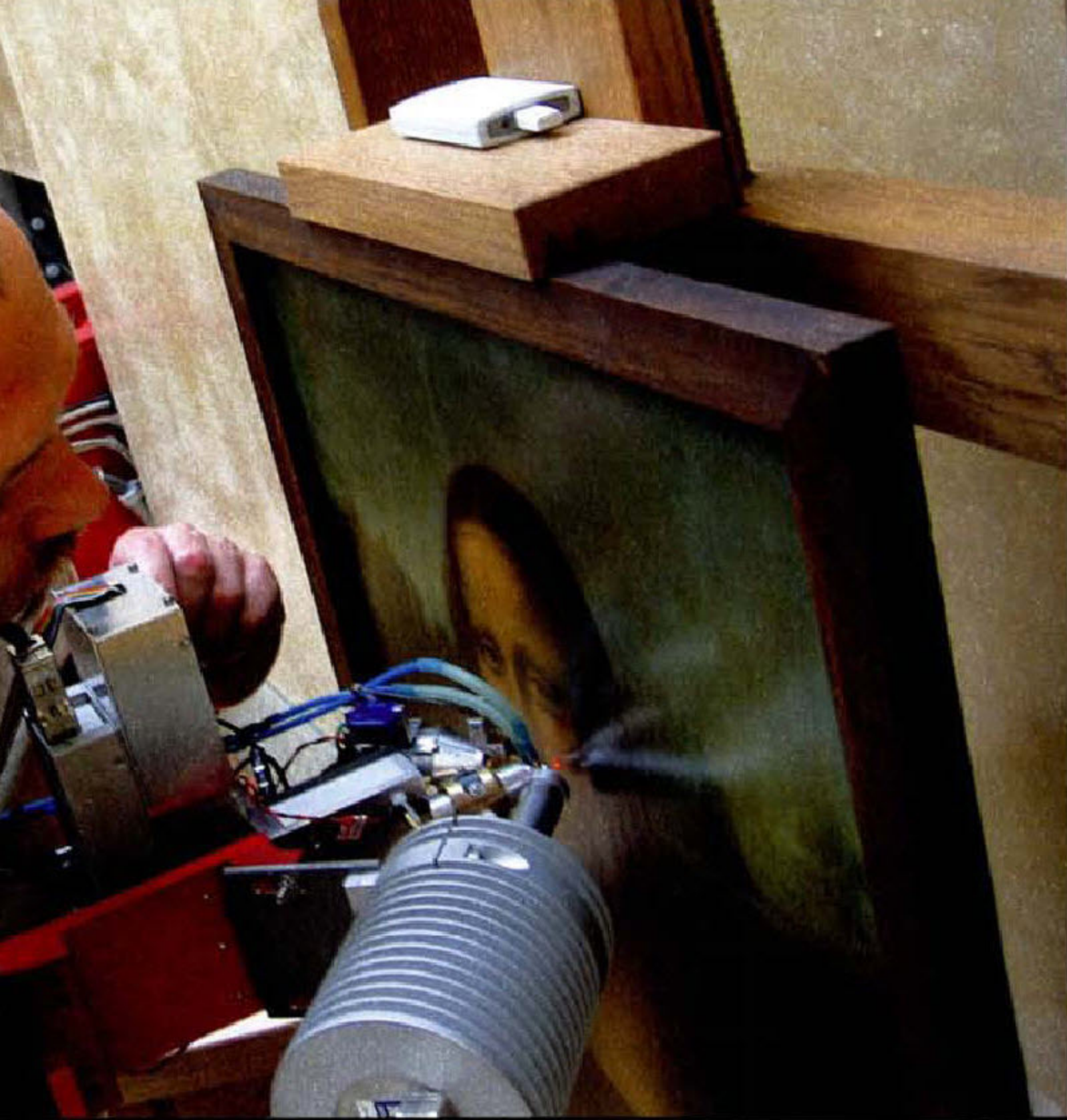
Or, la question est brûlante pour le visage de la Joconde: comment Léonard a-t-il obtenu un si parfait "sfumato", cet effet fumé qui donne une profondeur et fait ressortir les traits du visage de manière estompée, sans qu'aucun contour ne soit dessiné? Les historiens de l'art l'affirmaient depuis longtemps, et les physiciens l'ont confirmé qualitativement il y a deux ans: De Vinci a employé

la technique du glacis, née chez les peintres flamands au début de la Renaissance, et adoptée ensuite en Italie. Sur son support en bois recouvert d'un enduit, il étalait d'abord une couche de blanc de plomb réfléchissant bien la lumière. Puis à l'endroit du visage, il disposait une couche de peinture rose uniforme (dite couche de carnation), qu'il pouvait rehausser d'un peu de rose supplémentaire à l'endroit des lèvres. Il faisait ensuite apparaître les ombres dessinant le visage, à l'aide d'une superposition de couches de glacis, une matière organique translucide composée d'huile, parfois de résine et d'essence de térébenthine (formant le "liant"), dans laquelle sont dispersés quelques pigments sombres. L'application d'un vernis achevait l'œuvre. Mais quelle épaisseur donnait-il à ces couches, et faisait-il varier

leur composition? Ces données restaient inaccessibles, sauf à prélever, sur une largeur d'un demi-millimètre, un petit morceau du tableau et à l'examiner au microscope électronique. "C'est un procédé que nous nous permettons d'employer quand c'est nécessaire, de préférence sur une partie du tableau endommagée, et plutôt dans un paysage. Mais piquer un visage, a fortiori celui de la Joconde, c'était strictement impossible", rapporte Philippe Walter.

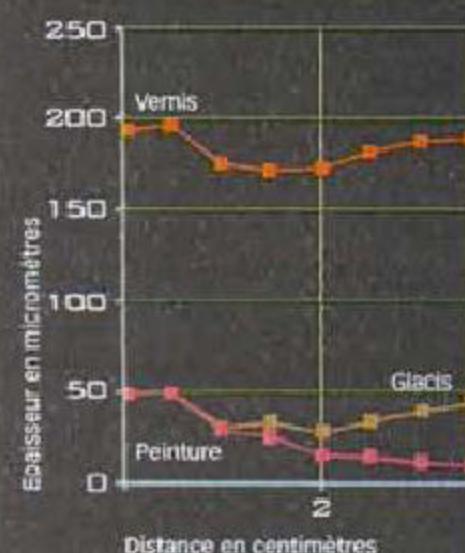
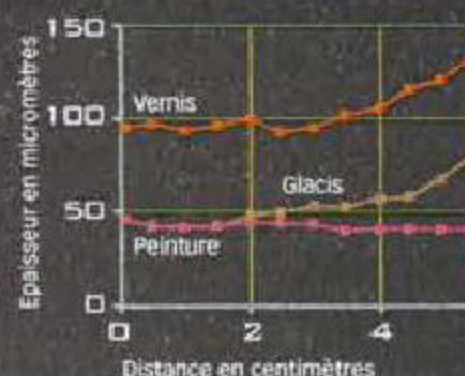
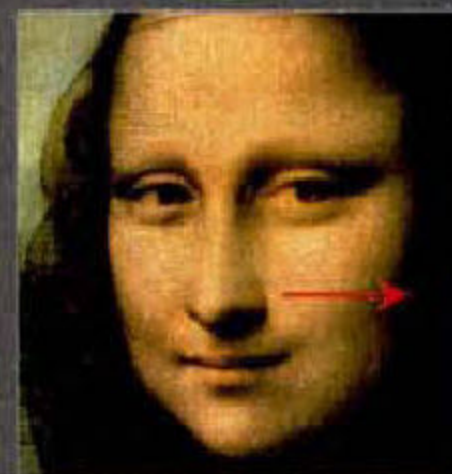
C'est là qu'intervient le logiciel PyMca, conçu au synchrotron de Grenoble (un accélérateur d'électrons qui permet de scruter la matière) par le physicien Armando Solé, qui l'a adapté au spectromètre portatif.

"En analysant comment les rayons X émis par les couches inférieures du tableau sont atténués par les couches supérieures qu'ils traversent, le logiciel permet de calculer l'épaisseur de ces dernières", explique Laurence de Viguerie, jeune chercheuse qui a développé la méthode et consacré sa thèse au sujet. En étudiant plusieurs points du tableau, partant des couleurs claires (sans aucune couche de glacis) vers les couleurs de plus en plus sombres (obtenues par superposition de couches de glacis de plus en plus nombreuses), les chercheurs sont donc parvenus à détailler la composition et l'épaisseur des couches: 2 micromètres (millième de millimètre) environ chacune, pour une



◀ Allant d'une zone claire vers une zone sombre, les chercheurs réalisent une vingtaine de mesures sur un segment du visage.

▼ Sur quelques centimètres (flèche rouge) de la Joconde et du Saint Jean-Baptiste, le logiciel analyse les données et révèle la profondeur des couches: peinture, glacis de plus en plus épais et vernis.



épaisseur totale maximale de 40 micromètres. Une vingtaine de couches, qu'il fallait laisser sécher entre plusieurs jours et plusieurs mois selon la composition du liant!

ÉNIGME DU MANGANÈSE

Laurence de Viguerie a d'abord travaillé sur un tableau réalisé spécialement par une restauratrice selon la technique supposée de Léonard, et dont les couches étaient précisément connues, afin de vérifier que le logiciel donnait des réponses exactes. Après quoi les mesures sur les tableaux du maître ont pu être réalisées. Une manipulation émouvante pour la physicienne: "Ces moments dans les salles vides du musée sont inoubliables, même si on n'a

pas le temps de s'attarder: les mesures se font le mardi, jour de fermeture, entre 10 heures et 16 heures, il faut être extrêmement efficace!" Restait ensuite à interroger le logiciel, un processus long et fastidieux: "Il faut d'abord lui soumettre une hypothèse sur la composition des couches, et lui demander si cela convient, jusqu'à ce qu'il acquiesce. Cela représente beaucoup de tâtonnements. Mais d'ici dix ans, on l'aura certainement rendu plus autonome, il donnera la composition des couches après une petite nuit de calcul et tout le monde l'utilisera", prédit Philippe Walter. En attendant, le chercheur travaille désormais sur des tableaux de peintres contemporains de Léonard,

à commencer par Raphaël. "Notre idée est d'explorer la diffusion des connaissances artistiques à l'époque, de comprendre quel artiste s'est inspiré de quel autre."

Le chercheur envisage aussi d'approfondir un fait surprenant surgi de l'analyse: Léonard de Vinci utilisait le manganèse dans son glacis, en quantités bien supérieures aux pratiques traditionnelles, malgré les problèmes de séchage que cela pouvait occasionner. "Curieusement, cette particularité n'existe que sur la Joconde et le Saint Jean-Baptiste, ainsi que dans le tableau d'un contemporain très proche de Léonard", précise Laurence de Viguerie. Un nouveau mystère à percer.

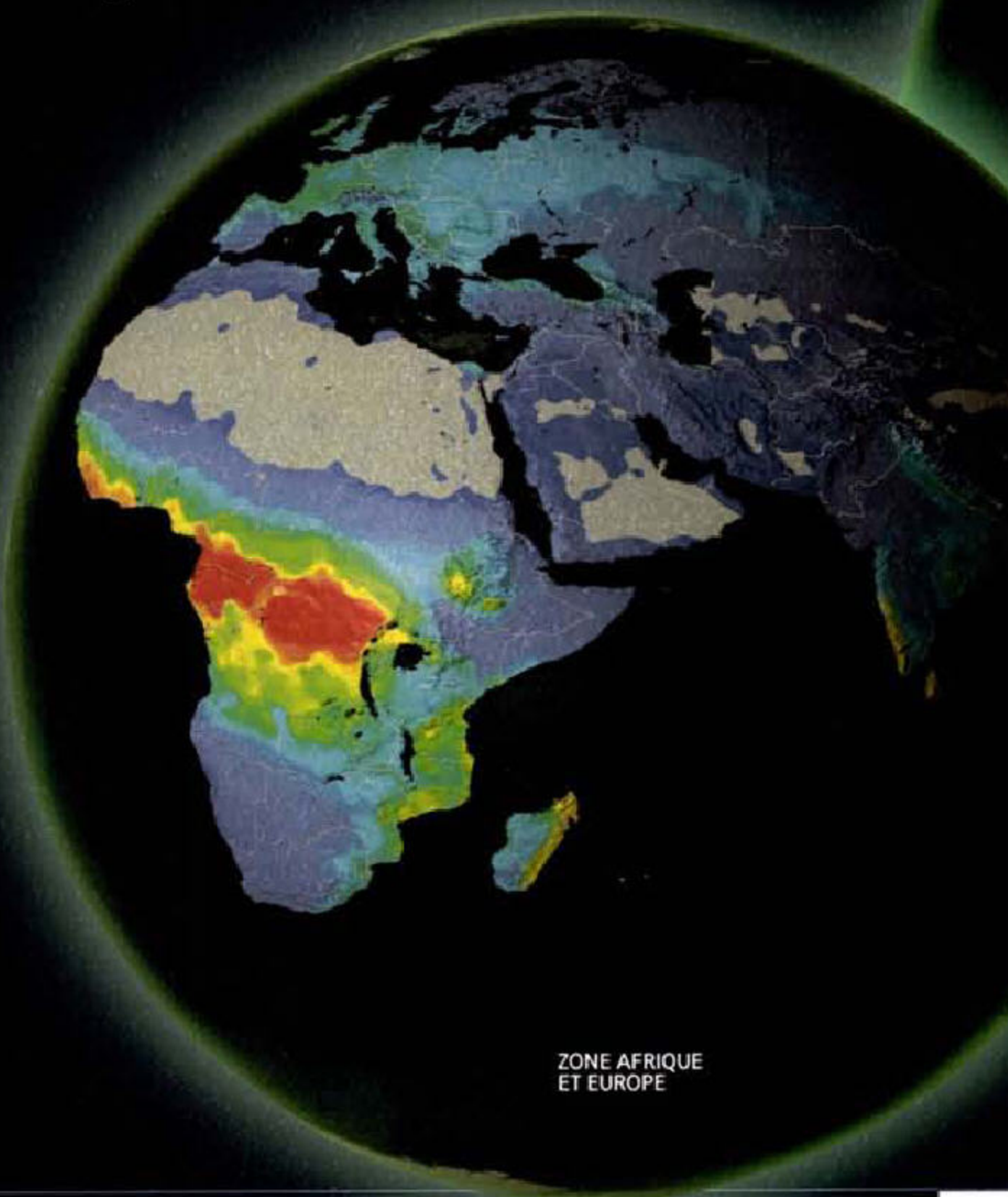
Cécile Bonneau

actualités

GÉOCHIMIE

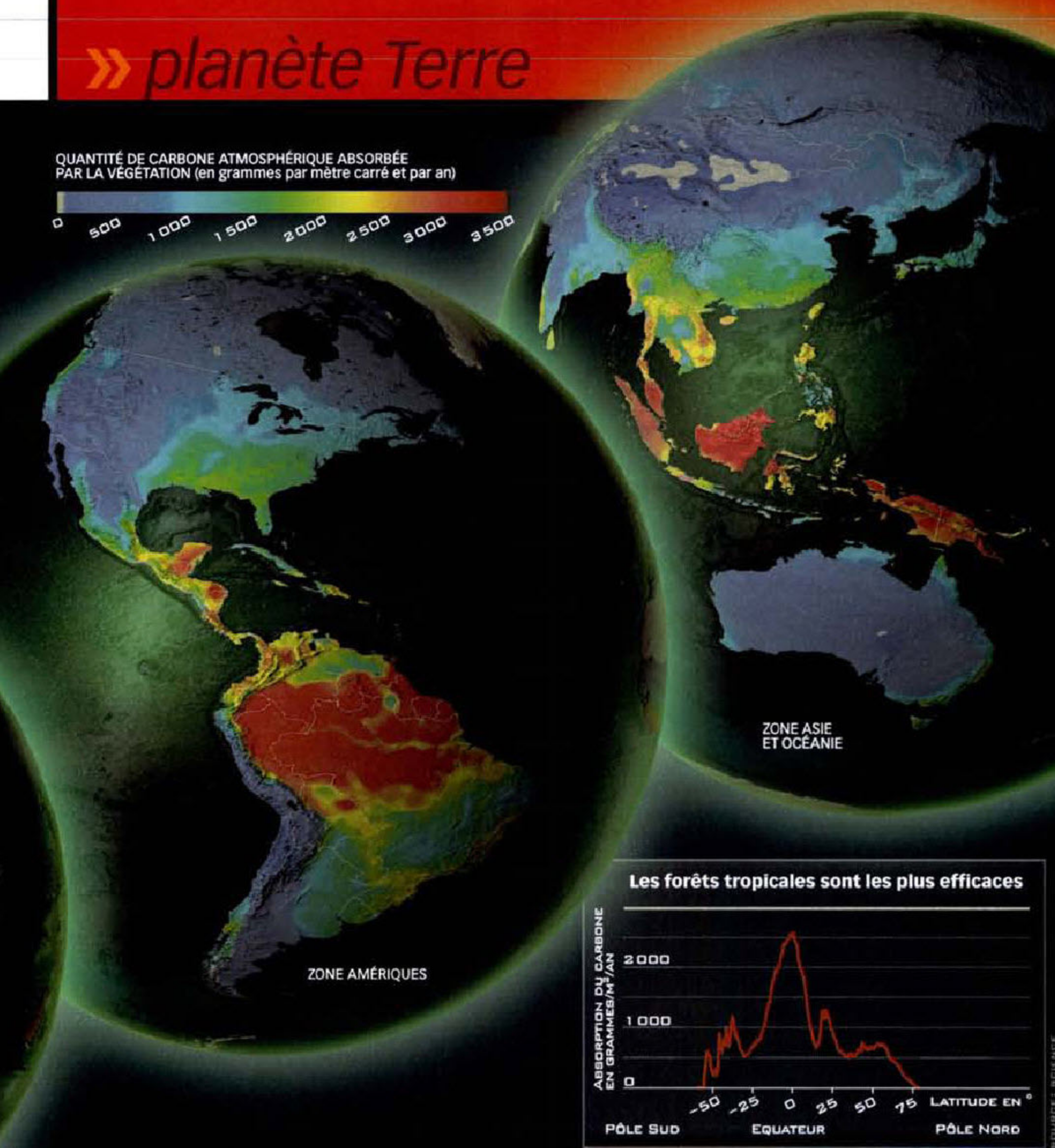
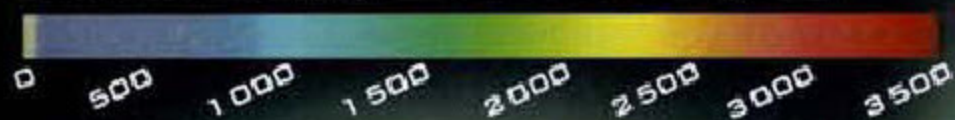
La végétation pompe plus de 100 milliards de tonnes de carbone par an

123 milliards de tonnes, telle est la quantité de carbone captée chaque année par la végétation terrestre via la photosynthèse, selon l'étude menée par une équipe internationale de chercheurs conduite par Christian Beer (Institut Max-Planck, Allemagne). Cette estimation s'appuie sur huit ans de mesures des échanges de CO_2 entre la végétation et l'atmosphère, obtenues à partir de tours implantées dans quelque 400 sites à travers le monde. Un traitement statistique et informatique a ensuite permis d'extrapoler ces données à l'ensemble de la planète, et ainsi d'estimer la capacité des différents milieux à capter le CO_2 de l'atmosphère. Les forêts tropicales se révèlent les plus performantes, contribuant à hauteur de 34 % à l'absorption du carbone par la végétation terrestre pour fabriquer de la matière organique. Les savanes occupent la deuxième position, avec 26 %, mais avec moins d'efficacité puisque leur superficie est deux fois plus vaste que celle des forêts tropicales. L'étude montre enfin que la moitié des cultures de la planète sont situées dans des régions où la photosynthèse est limitée par la quantité de pluie disponible, pointant ainsi l'incidence sur la sécurité alimentaire des changements attendus dans le régime des précipitations au XXI^e siècle. P.L.

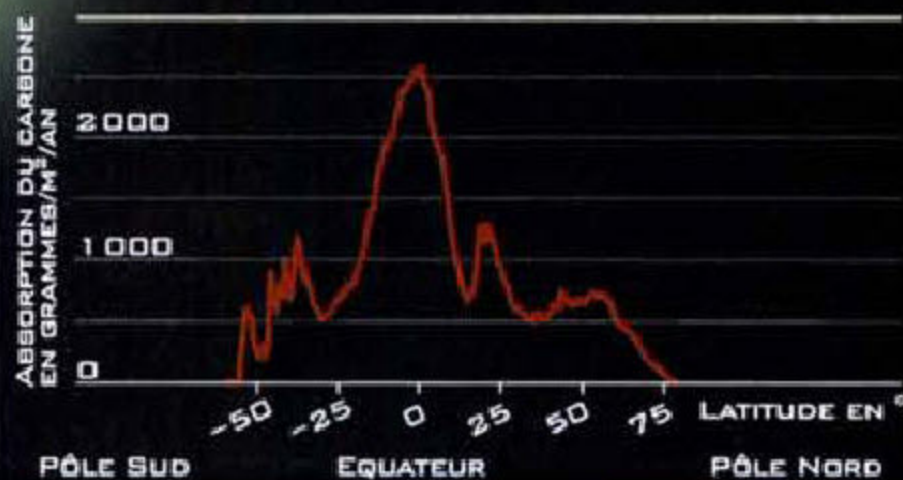


» planète Terre

QUANTITÉ DE CARBONE ATMOSPHÉRIQUE ABSORBÉE
PAR LA VÉGÉTATION (en grammes par mètre carré et par an)



Les forêts tropicales sont les plus efficaces



8 % du captage du CO₂ par la végétation terrestre est réalisé par les forêts tempérées.

40 % des écosystèmes dans le monde ont une capacité à absorber le CO₂ limitée par la disponibilité en eau.

50 % du carbone assimilé par photosynthèse repart dans l'atmosphère du fait de la respiration des plantes.

MÉTÉOROLOGIE

Les cyclones obéissent à une loi mathématique

La fréquence et l'intensité des cyclones entretiennent une relation mathématique. Laquelle a été dévoilée par l'équipe d'Álvaro Corral, du Centre de recherches mathématiques de l'université autonome de Barcelone, qui a analysé la distribution statistique des cyclones survenus dans le monde au cours de la période 1966-2007 en fonction de l'énergie qu'ils dissipent. Celle-ci étant évaluée à partir de la vitesse des vents et la durée de vie du cyclone. Résultat ? Les chercheurs ont

découvert que, quel que soit le bassin océanique pris en compte, la distribution des cyclones suit la même loi de type puissance : la probabilité d'avoir un cyclone d'une force donnée étant inversement proportionnelle à son énergie. *"Nous pouvons tracer un parallèle étroit entre les cyclones et les tremblements de terre, puisque la loi proposée est analogue à la loi bien connue de Gutenberg-Richter de distribution des*

séismes", notent les auteurs de l'étude. Deux exceptions à cette loi, les cyclones les plus faibles, par manque d'observations, et les plus puissants, car leur énergie est limitée par la taille du bassin océanique. On en observe donc bien moins que ne le prédit la relation. La mise en évidence de cette loi devrait permettre de mieux quantifier la réponse de ces événements extrêmes aux changements climatiques. **B.B.**

➤ **Analogie à la loi de distribution des séismes, elle va permettre de mieux appréhender les phénomènes cycloniques.**



GÉOMORPHOLOGIE

Ce canyon profond de 7 m s'est creusé en trois jours

2,2 kilomètres de long, 50 mètres de large, et 7 mètres de profondeur. Telles sont les dimensions du Canyon Lake Gorge (au Texas), qui, en 2002, aurait été creusé en seulement trois jours à la suite d'une inondation, selon Michael Lamb du California Institute of Technology et Mark Fonstad de l'université d'Etat du Texas. Pour parvenir à ce chiffre, les chercheurs ont utilisé des photographies aériennes et des mesures topographiques relevées avant et après les inondations. En règle générale, les canyons se creusent au fil de millions d'années sous l'effet d'une lente érosion par l'eau. Cependant, les scientifiques soupçonnent depuis longtemps que des inondations de grande envergure peuvent les faire apparaître beaucoup plus rapidement, mais le phénomène n'avait jamais été observé directement jusqu'à présent. Ce canyon a été engendré par le débordement d'un lac de barrage. Au total, 460 000 m³ de sols et de roches – dont des blocs de taille métrique – ont ainsi été déplacés. Détail particulièrement intéressant : les flots ont donné naissance à de petites îles en forme de larme. Or, on retrouve de telles structures sur Terre, mais aussi sur Mars, dans des zones où l'on pense que des inondations massives se sont déjà produites. Cette étude devrait ainsi permettre d'améliorer la connaissance de ces événements. **S.F.**

➤ **Large de 50 mètres, le canyon a été creusé à la suite d'une inondation, un phénomène jamais observé jusqu'à présent.**



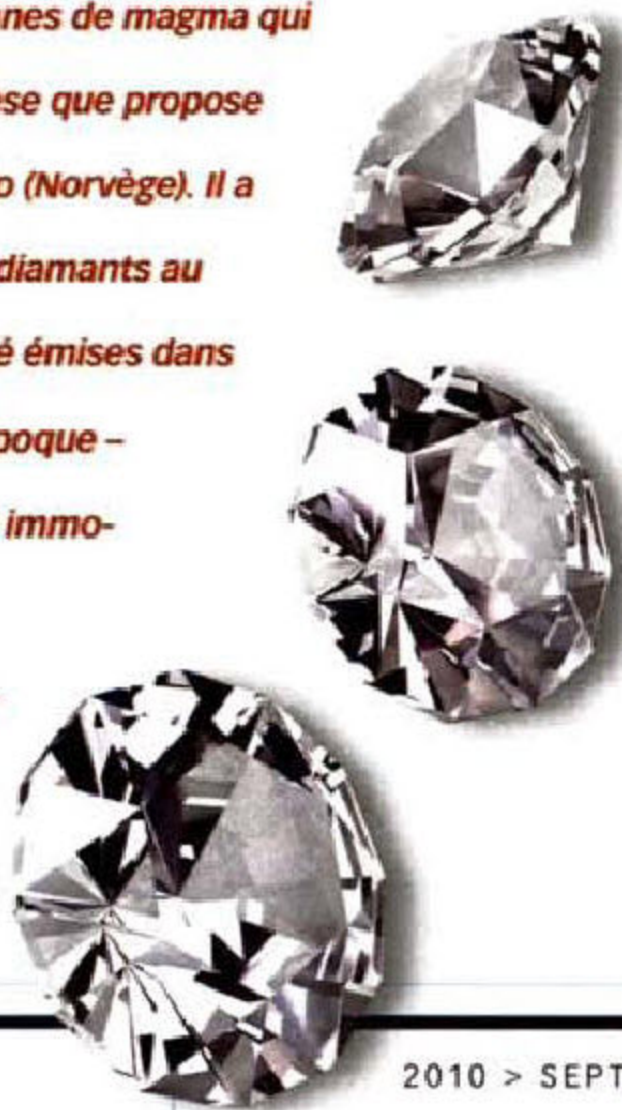
GÉOLOGIE

LES POINTS CHAUDS VOLCANIQUES EXHUMENT DES DIAMANTS !

Formés dans les profondeurs de la Terre, les diamants remonteraient en surface à la faveur des points chauds, ces colonnes de magma qui traversent le manteau terrestre. C'est l'hypothèse que propose Trond Torsvik, géochimiste de l'université d'Oslo (Norvège). Il a constaté que 80 % des laves ayant ramené des diamants au cours des 320 derniers millions d'années ont été émises dans des régions qui se situent – ou se situaient à l'époque – à l'aplomb d'un point chaud. Ces derniers étant immobiles, la découverte d'un lien entre diamant et magmatisme profond devrait orienter l'exploration de ces précieuses gemmes.

B.B.

> Formés dans les profondeurs, ils traverseraient le manteau terrestre avec le magma jusqu'à la surface.



GÉOINGÉNIERIE

Rafrâichir la planète de façon globale n'est pas possible. Katharine Ricke, de l'université de Pittsburgh (Etats-Unis), vient de montrer grâce à des simulations qu'injecter des aérosols dans l'atmosphère pour réfléchir une partie de l'énergie solaire n'aurait pas les mêmes effets partout sur la planète. Certes, cela permettrait, à l'horizon 2080, de maintenir des températures et des précipitations moyennes plus proches de celles d'aujourd'hui que celles prédites par les modèles si rien n'est fait. Mais la quantité optimale d'aérosols à injecter varie d'une région à l'autre. Ainsi, par exemple, pour que la Chine conserve son climat, il faudrait injecter tant d'aérosols que celui de l'Inde voisine deviendrait froid et humide.

C.H.



On en
reparle

Le travail du GIEC a été reconnu rigoureux

Une erreur – reconnue – sur la date estimée de la fonte des glaciers himalayens dans le dernier rapport du GIEC. Une autre sur le risque d'inondation aux Pays-Bas face à la montée du niveau des mers. Des accusations de manipulation de données après la publication sur Internet d'un millier de courriels piratés dans le serveur du Climate Research Unit (CRU). Peu avant le sommet de Copenhague de décembre 2009, les critiques se sont multipliées à l'encontre des experts du climat. Devant un tel battage, S&V avait fait le point sur les données scientifiques en mars dernier, en attendant les conclusions de deux évaluations indépendantes. Elles viennent de tomber. La première, menée par l'Agence néerlandaise d'évaluation de l'environnement, n'a relevé aucune erreur significative dans le chapitre consacré aux impacts régionaux du réchauffement. La seconde, conduite par des experts britanniques, conclut que la rigueur et l'honnêteté scientifiques des chercheurs du CRU ne sont pas en doute, tout en incitant ces derniers à être plus ouverts dans la divulgation de leurs données. **P.L.**

AGRICULTURE

Le pesticide "bio" n'est pas toujours exempt de toxicité

Le débat sur l'intérêt écologique du "bio" n'est décidément pas tranché. Christine Bahlai, de l'université de Guelph au Canada, en a fait la démonstration en comparant l'impact environnemental de quatre pesticides

synthétiques et naturels dirigés contre le puceron du soja. Les produits de synthèse se sont ainsi révélés les moins toxiques pour un des deux prédateurs naturels de l'insecte testés en laboratoire. Les résultats en champ

ont confirmé qu'ils avaient une action plus sélective, les "dommages collatéraux" étant moins importants qu'avec les produits naturels. La palme du plus grand impact environnemental, évalué sur la base de la toxicité pour les animaux, la persistance dans les sols et sur les feuilles et la dissémination dans les eaux, a enfin été remportée par un pesticide bio. Moins efficace, ce dernier nécessite en effet d'être épandu en grandes quantités sur les champs. **E.A.**

GÉOCHRONOLOGIE

LA TERRE RAJEUNIT DE 70 MILLIONS D'ANNÉES

4,467 milliards d'années, et non 4,537: c'est l'âge qu'aurait en fait la Terre, selon John Rudge de l'université de Cambridge. La cause de ce rajeunissement? Sa formation, par collisions successives d'embryons de planètes, aurait duré 70 millions d'années de plus qu'estimé précédemment, pour s'achever 100 millions d'années après la naissance du système solaire. **V.E.**





YVES ROCHER

CRÉATEUR DE LA COSMÉTIQUE VÉGÉTALE®



RÉCOLTANT, FABRICANT, DISTRIBUTEUR.
DEPUIS TOUJOURS NOUS CULTIVONS DES PRIX QUI DONNENT UN JOLI SOURIRE.

YVES ROCHER
ET L'AGENCE
M&C SAATCHI GAD
REMPORTENT
LE 25^{ÈME} GRAND PRIX
DE LA PUBLICITÉ
PRESSE
MAGAZINE.

www.yves-rocher.fr

LA PRESSE MAGAZINE INFORME, AMUSE, INTRIGUE, SÉDUIT SANS JAMAIS LAISSER INDIFFÉRENT : C'EST LE LIEU IDÉAL
POUR QUE LA MARQUE YVES ROCHER Y CULTIVE CE LIEN DE PROXIMITÉ QU'ELLE ENTRETIENT AVEC LES FEMMES DEPUIS 50 ANS.
LES GRANDES CAMPAGNES S'ÉCRIVENT EN PRESSE MAGAZINE. www.pressemagazine.com

VIROLOGIE

Un gel vaginal protège partiellement contre le VIH

Pour la première fois, un essai clinique conclut qu'un gel vaginal confère aux femmes une protection partielle contre le virus du sida. Pour être efficace, il doit être appliqué dans les douze heures qui précèdent un rapport puis, une nouvelle fois, dans les douze qui suivent. En comparaison d'un gel placebo, le gel a réduit de 39 % en moyenne le nombre des infections. La réduction est de 28 % si le gel est appliqué moins d'une fois sur deux et de 54 % s'il l'est plus de huit fois sur dix. Le monde médical n'espérait plus un tel

résultat après une dizaine d'essais infructueux sur d'autres formulations. Jusqu'à présent, les produits n'avaient aucun effet ou, pis, ils fragilisaient les muqueuses et facilitaient l'infection. Mais cette fois, le gel contient 1 % de ténofovir, un antirétroviral largement utilisé, qui agit en bloquant la multiplication du VIH. L'essai, Caprisa 004, a été mené en Afrique du Sud de 2007 à 2010 auprès de 900 jeunes femmes, par deux chercheurs, Salim et Quarraisha Abdool

Karim. Même si la protection observée est partielle, ce gel donne la possibilité aux femmes de se protéger sans avoir besoin de l'aval des hommes, un point important dans les pays où l'usage du préservatif peine à s'imposer. Reste à comprendre pourquoi certaines femmes ont été infectées. Des études complémentaires devront éclaircir ce point, mais déjà l'OMS milite pour un processus rapide de mise sur le marché du produit. **R.P.**

➤ Dans la composition du gel se trouve un antirétroviral largement utilisé, le ténofovir, qui bloque la multiplication du VIH.

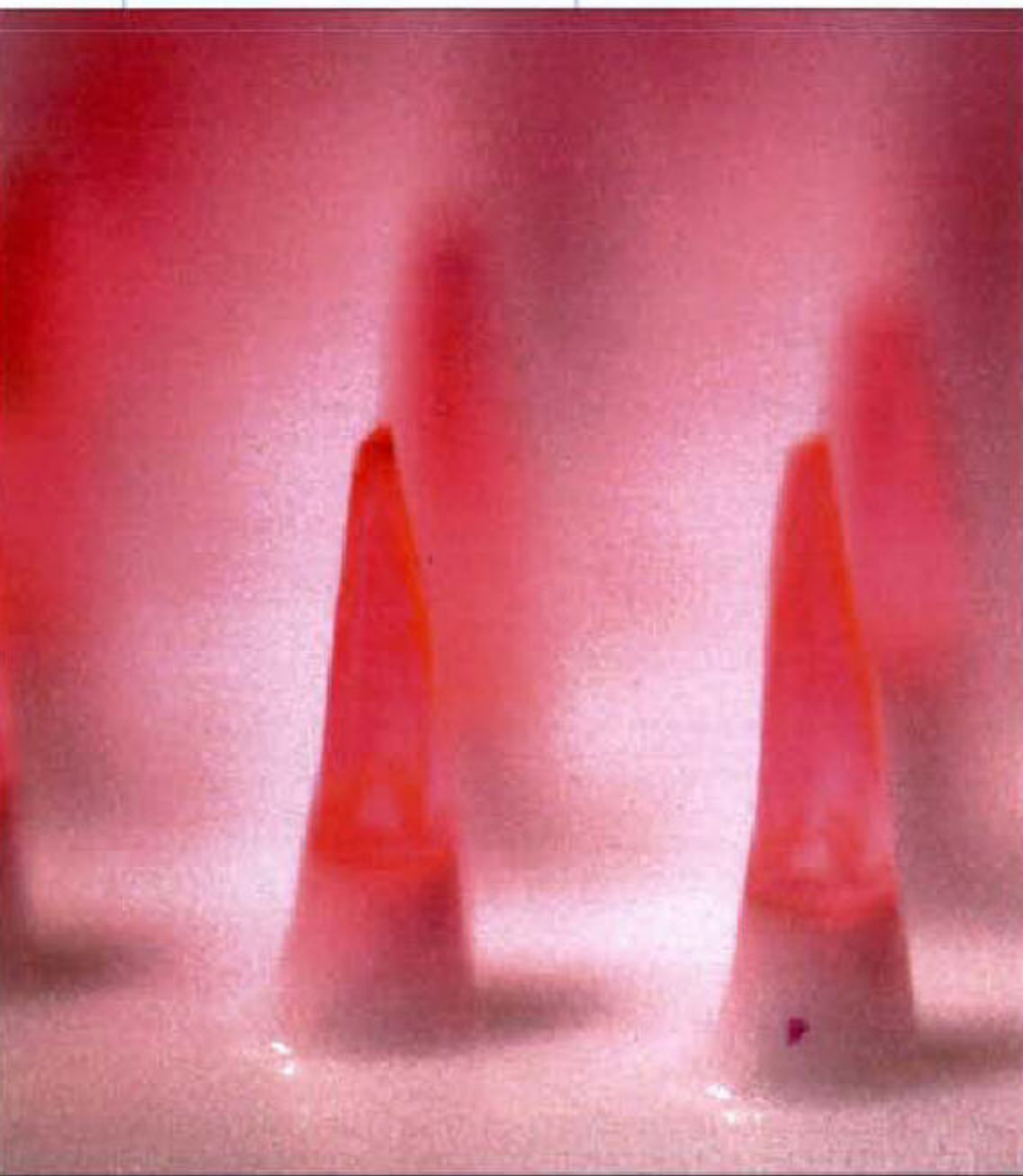


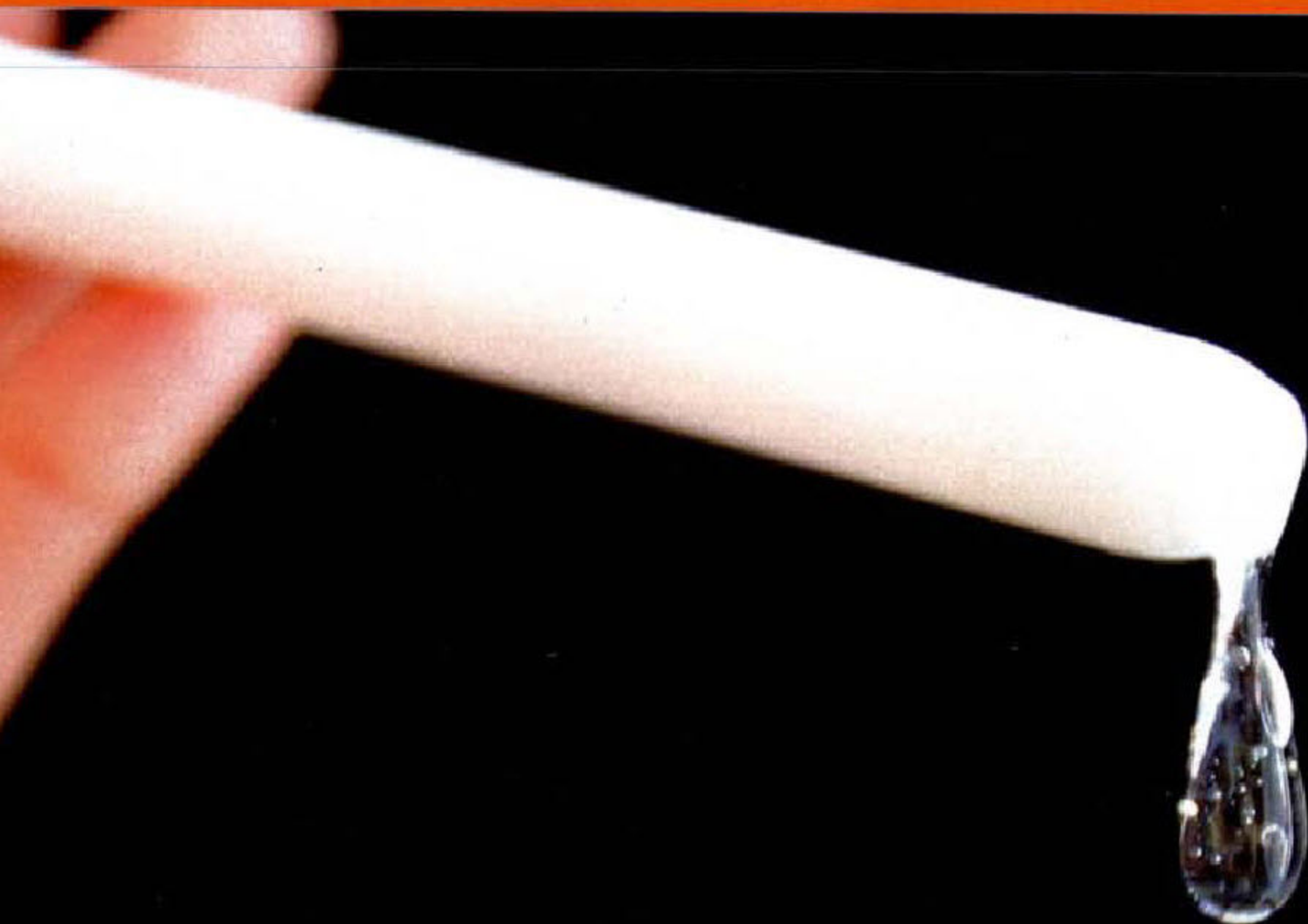
PHARMACOLOGIE

Un patch à micro-aiguilles permet une vaccination antigrippe plus efficace

Une nouvelle technique de vaccination indolore a fait ses preuves contre la grippe ! Mise au point par des chercheurs de l'institut de technologie d'Atlanta, cette technologie repose sur des dizaines de micro-aiguilles en polymère disposées sur un patch. Une fois insérées dans la peau, ces aiguilles se dissolvent en quelques minutes pour libérer le vaccin, présent sous forme lyophilisée à l'intérieur du polymère. Les chercheurs ont ainsi vacciné des souris contre la grippe, et étudié les effets de l'inoculation du virus trois mois après vaccination. Ils ont alors observé que, par rapport à l'injection intramusculaire traditionnelle, cette technique entraînait une réponse immunitaire plus forte et une élimination plus efficace du virus dans les poumons. L'introduction du vaccin au niveau de la peau, où certaines cellules immunitaires sont particulièrement abondantes, expliquerait les meilleurs résultats du patch. Grâce à la possibilité d'auto-administration du vaccin et à l'absence de douleur associée à l'application du patch, les chercheurs espèrent que cette méthode permettra de vacciner plus de patients. **E.A.**

◀ Le vaccin est contenu dans des micro-aiguilles de 650 micromètres qui se dissolvent dans la peau en quelques minutes.





ORTHOPÉDIE

TALON HAUT RIME AVEC MUSCLE COURT ET TENDON RIGIDE

Les muscles et les tendons des femmes amatrices de talons hauts finissent par se modifier. Les fibres musculaires de leurs mollets se raccourciraient en moyenne de 13 % et leurs tendons d'Achille auraient une rigidité augmentée de 20 % par rapport à la normale. C'est ce qui ressort de l'étude radiologique de 11 femmes portant des talons de plus de 5 cm au moins cinq jours par semaine, suivies pendant deux ans par une équipe anglo-autrichienne de médecins de sport. Ces modifications n'affectent pas leur force musculaire, mais expliquent la douleur ressentie lorsqu'elles abandonnent un moment leurs talons.

M.L.

TOXICOLOGIE

Pesticides et Alzheimer: les agriculteurs en première ligne. L'effet neurotoxique des pesticides est connu depuis longtemps. Mais peu d'études ont exploré le lien avec la maladie d'Alzheimer. Des chercheurs américains de l'université de Durham ont recruté plus de 3 000 personnes exemptes de troubles mentaux, âgées de plus de 65 ans, et vivant dans une zone rurale. Dix ans plus tard, l'enquête révèle que la fréquence de survenue de la maladie d'Alzheimer est majorée chez les personnes directement exposées aux pesticides. L'augmentation du risque s'élève à 42 %. Les pesticides pointés du doigt font partie des organochlorés et des organophosphorés. O.C.



NEUROLOGIE

De simples caresses préviendraient les AVC

Un simple effleurement ou des chatouilles sur les doigts, les lèvres ou le visage pourraient prévenir un accident vasculaire cérébral (AVC), suggère l'équipe de Christopher Lay, de l'université de Californie (Irvine). L'AVC dit ischémique survient quand une artère cérébrale se bouche, privant partiellement le cerveau d'oxygène. D'où l'idée de l'équipe, testée sur des rats, de stimuler la région cérébrale sous-irriguée pour que le sang continue à

l'alimenter en empruntant d'autres chemins. Dans les deux heures qui ont suivi l'occlusion de la principale artère cérébrale chez les rongeurs, les biologistes ont effleuré une de leur moustache pendant quatre minutes de façon intermittente. La technique s'est avérée efficace à 100 % en empêchant la survenue de l'AVC chez tous les sujets, comme l'ont montré les analyses d'activité

neuronale, de tissu cérébral ou encore de comportement, toutes normales. Attendre une heure supplémentaire annule en revanche les bénéfices de cette procédure. Son équivalent chez l'homme, qu'il reste à tester, reviendrait à stimuler des zones corporelles très sensibles comme les lèvres dès les premiers signes d'AVC : faiblesse dans un membre, difficulté à s'exprimer... **M.-C.M.**

➤ Le sang freiné par un rétrécissement (ici, à dr.) pourrait emprunter d'autres chemins vers la zone cérébrale stimulée.



« Le Glucophage réduit l'énergie utile pour produire du glucose dans le foie.

PHARMACOLOGIE

Un antidiabétique livre le secret de son efficacité

La metformine, contenue dans le Glucophage, est la molécule la plus prescrite au monde pour lutter contre le diabète de type 2 (non insulino-dépendant). Pourtant, le secret de son efficacité restait un mystère jusqu'aux travaux réalisés par des chercheurs français (Inserm, CNRS, Paris). Contrairement à l'hypothèse dominante, le médicament ne provoque pas l'inhibition des gènes liés à la synthèse du glucose par le foie. En réalité, il diminue l'apport en énergie du foie en agissant sur les mitochondries, organites présents dans les cellules et leur fournissant de l'énergie. Or, la production de glucose par le foie est un mécanisme gourmand en énergie. « Puisque celle-ci vient à manquer sous l'effet de la metformine, le foie produit moins de glucose, limitant ainsi et quasiment instantanément l'hyperglycémie », explique Marc Foretz, l'un des chercheurs à l'origine de cette découverte. **C.H.**

NUTRITION

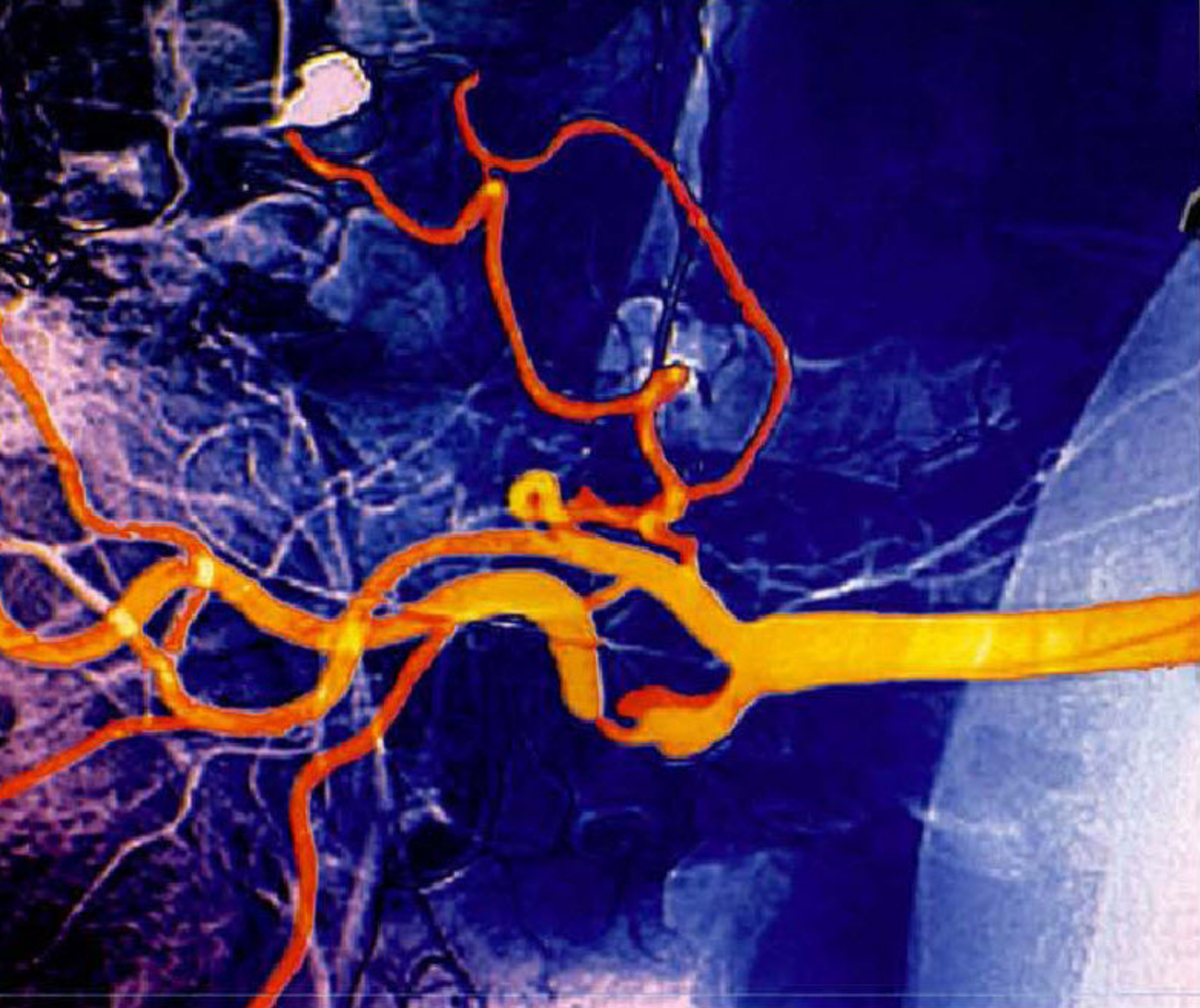
L'excès d'oméga 6 entraîne une obésité héréditaire

Consommer beaucoup plus d'oméga 6 que d'oméga 3, des acides gras respectivement contenus dans la viande et les poissons gras, comme le font les Occidentaux, serait un facteur favorisant l'obésité et ce sur plusieurs générations. C'est ce que viennent d'établir des chercheurs français après avoir testé sur quatre générations de souris un régime alimentaire du même type. Le caractère transgénérationnel de l'augmentation constatée de la masse grasseuse des souris serait dû à la modification de l'expression de gènes impliqués dans la vascularisation des cellules grasseuses, provoquant leur croissance en volume et en nombre. Depuis quarante ans, tandis que l'obésité continue d'augmenter dans les pays

industrialisés, la consommation d'oméga 6 y a crû de 250 % et celle d'oméga 3 baissé de 40 %. On ingère actuellement 15 oméga 6 pour 1 oméga 3, or les agences sanitaires préconisent 5 oméga 6 pour 1 oméga 3 ! **M.G.**



➤ En quarante ans, la prise d'oméga 6 a crû... de 250 %!



Comment l'addiction s'installe

Ayant goûté à une drogue, seule une minorité de sujets – 20 % environ – deviennent "accros", rapportait S&V (n° 1076) après l'étude de rats exposés à la cocaïne par des chercheurs du centre Magendie, à Bordeaux. La même équipe vient de montrer que la cocaïne provoque les mêmes modifications dans le cerveau des 20 % de rats devenus "accros" que dans celui des rats maîtrisant leur consommation. Mais au bout de huit semaines de prises quotidiennes, un basculement s'opère. Chez les rats contrôlant leur consommation, les synapses reliant certains types de neurones du noyau accumbens (région clé de l'action des drogues) se reconfigurent, atténuant l'activité de ces neurones perturbée par la drogue. Rien de tel chez les rats "accros". Conséquence : l'absence de cocaïne et la douleur de chocs électriques infligés lorsque les rats cherchent la drogue où elle se trouvait auparavant ne modifient plus leur comportement. La motivation des rongeurs reste inflexible. Les chercheurs voient dans la "flexibilité synaptique" des rats qui contrôlent leur prise une piste de recherche dans la lutte contre la toxicomanie. F.L.

ALLERGOLOGIE

LE LAIT DE VACHE À LA NAISSANCE PEUT AVOIR DU BON

La confrontation aux protéines de lait de vache, dans les quinze premiers jours de la vie, diminuerait les risques de développer une allergie contre ces mêmes protéines ultérieurement. Ce résultat a été obtenu par l'équipe de Yitzhak Katz, de l'université de Tel-Aviv, qui a analysé le régime alimentaire de 13019 enfants. Il s'agit de l'une des très rares études qui reconnaissent un avantage sanitaire aux laits maternisés par rapport à l'allaitement. Ces résultats vont à l'encontre des recommandations de l'Organisation mondiale de la santé, qui préconise l'allaitement exclusif au sein pendant les six premiers mois. M.-C.M.



▼ L'abattage systématique des troupeaux touchés semble désormais inutile.



SANTÉ PUBLIQUE

Maladie de la vache folle: la fin de l'histoire se profile

Mettre fin à "l'abattage systématique des cohortes" d'animaux parmi lesquelles des cas d'encéphalopathie spongiforme bovine ont été décelés et introduire "un certain niveau de tolérance" des farines animales. Ces deux propositions soumises à la Commission européenne par le commissaire en charge de la Santé marqueront-elles la fin de l'histoire de la vache folle sur le continent?

Possible, car l'éradication totale de la maladie se profile.

> FAITS & CHIFFRES

1986: l'épizootie de "vache folle" est déclarée au Royaume-Uni.

1990: interdiction des farines animales pour les bovins.

1996: émergence d'une forme humaine de la maladie de la vache folle. 170 Britanniques et 25 Français sont décédés.

2000: interdiction totale des farines.

En 2009, moins de 60 nouveaux cas d'animaux ont été détectés dans toute l'Europe, contre 36 000 en 1993, au pic de l'épizootie.

AUCUN CAS DÉBUT 2010

Aucun cas animal n'a été signalé au cours des sept premiers mois de 2010. Et même si une patiente italienne vient d'être diagnostiquée pour la forme humaine de la maladie, sa contamination remonte à des décennies.

"En se basant sur ces données épidémiologiques, l'arrêt de l'abattage systématique serait une décision logique, estime Jean-Philippe Deslys, spécialiste des prions au Commissariat à l'énergie atomique. D'autant qu'avant d'entrer dans la chaîne alimentaire, des tests seraient pratiqués sur les animaux du troupeau touché." Ces tests détectent la présence du prion jusqu'à un seuil très bas. "Un animal infecté qui passerait à travers le test serait très faiblement

infectieux", poursuit le chercheur. Reste à savoir si la société acceptera d'éliminer une précaution sanitaire même si elle ne semble plus apporter aucun bénéfice.

Quant à la réintroduction des farines animales, qui se limiterait aux non-ruminants (porcs, volailles, poissons), l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments évoquait la possibilité d'un mélange accidentel des farines et le risque d'une "contamination croisée dans les élevages mixtes" dans un avis rendu en mars 2009. L'agence recommandait donc que les filières de fabrication des farines soient "totalement hermétiques" entre elles. Or, l'avis reconnaît que "les aliments [pour ruminants et non ruminants] sont fabriqués dans les mêmes installations". "Si le retour des farines était partiellement autorisé, il faudrait donc redoubler de vigilance pour ne pas voir l'épizootie redémarrer", conclut Jean-Philippe Deslys. Caroline Tourbe

Bon à savoir

► L'HYPERTENSION EST LE PREMIER FACTEUR DE RISQUE D'ACCIDENT VASCULAIRE CÉRÉBRAL devant le tabagisme et l'obésité, selon une équipe irlandaise qui a évalué l'influence respective des dix facteurs de risque les plus importants.

► CHEZ LE RONGEUR, CONSOMMER DE LA CHARCUTERIE FAVORISE LES CANCERS DU COLON. Une étude française vient de prouver que des lésions pré-tumorales occasionnées sur le côlon des rats seraient dues à l'action d'agents cancérogènes formés lors de la confection de la charcuterie. Résultats à vérifier chez l'homme.

► UN BÉBÉ CHOYÉ RÉSISTERA MIEUX À LA DURETÉ DE LA VIE ADULTE. Selon une étude américaine commencée dans les années 1960, le lien d'attachement fort entre la mère et son enfant pendant les huit premiers mois de la vie favorise durablement sa bonne santé mentale.

► LA RADIOACTIVITÉ DU TRITIUM SOUS SURVEILLANCE. Rejeté dans la mer par les industries nucléaires, le tritium, considéré jusqu'alors comme un élément de faible radiotoxicité, s'accumulerait dans l'environnement. Alertée, l'Autorité de sûreté nucléaire lance des recherches sur l'impact de grandes quantités de tritium et sur ses effets *in utero*.

SCIENCE & VIE

présente

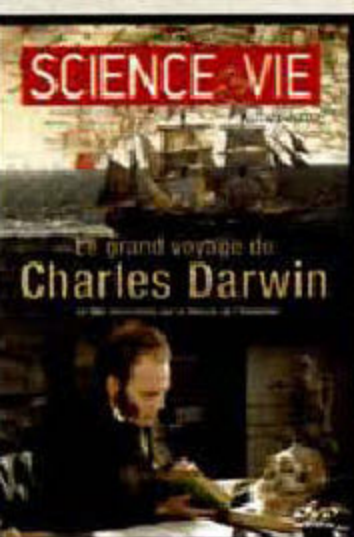
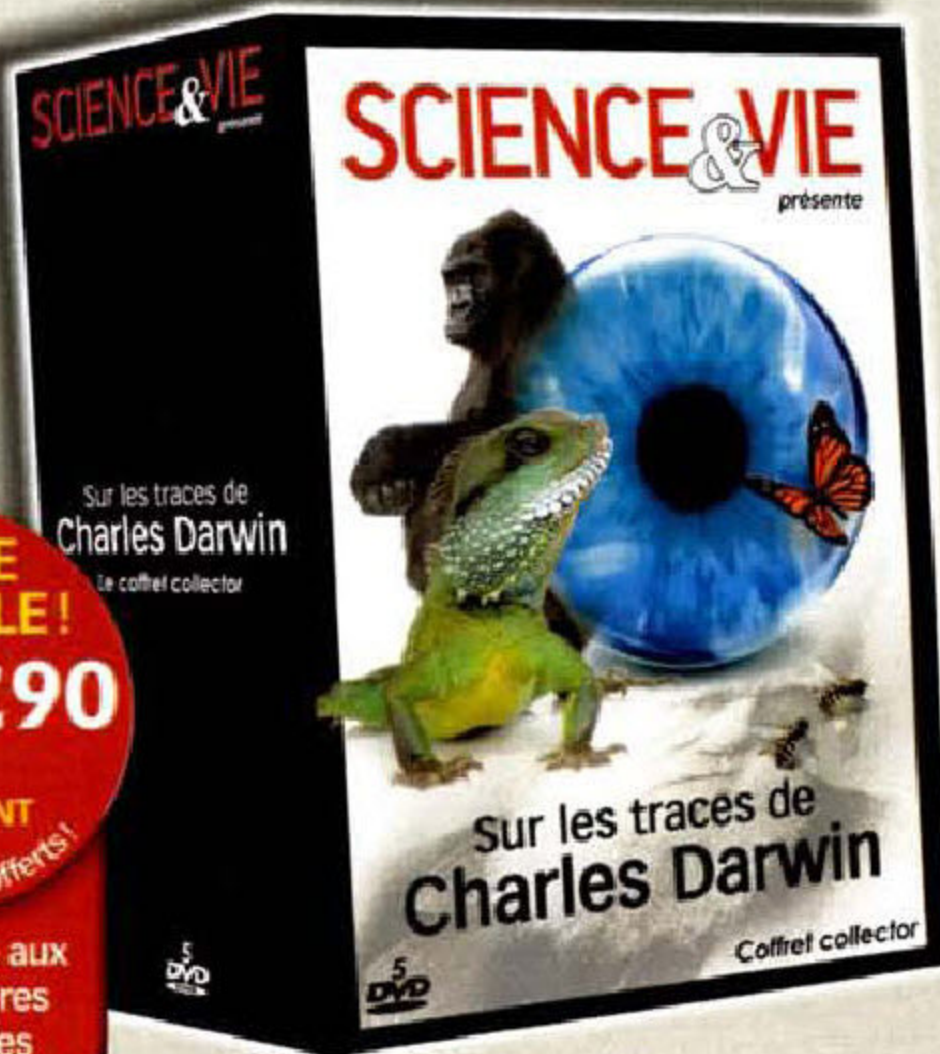
Le coffret collector "Sur les traces de Charles Darwin" 5 DVD

Science & Vie vous propose d'acquérir ce coffret regroupant 5 documentaires sélectionnés par la rédaction sur la thématique de l'évolution, au prix exceptionnel de 39,90 €.

**OFFRE
SPÉCIALE!**
39€90

SEULEMENT
Frais de port offerts!

Offre limitée aux
100 premières
commandes



Le grand voyage de Charles Darwin

A bord du Beagle, Charles Darwin étudie la botanique et l'origine providentielle de la création. Mais peu à peu, il réalise que l'homme ne pouvait être que le résultat d'un processus d'adaptation vieux de plusieurs millions d'années.

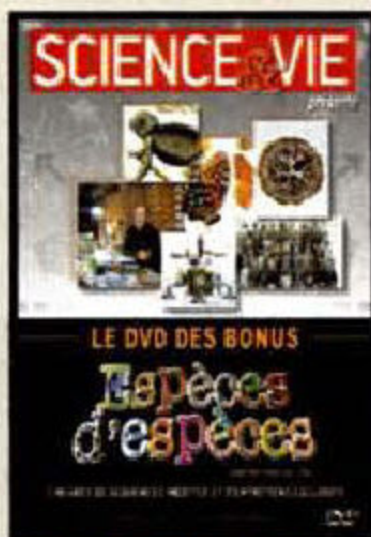
© 2009 ARTE France Films A Trois
Monaco Film Chapman Pictures



Espèces d'espèces

Ce documentaire, qui a remporté en 2008 le grand prix Pariscience, présente de façon claire et ludique l'état de la science du vivant aujourd'hui. Comment classer les espèces vivantes? Quel critère utiliser pour les trier? Pas si simple...

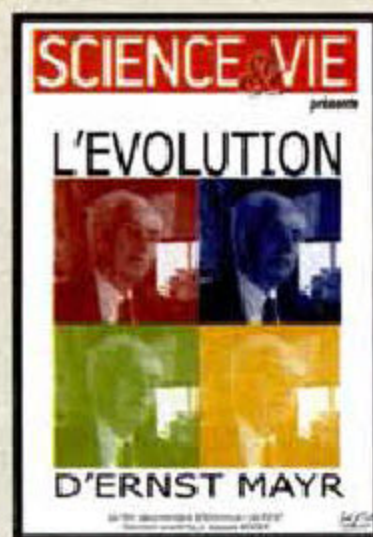
© LCJ Editions 2009



Le DVD des bonus d'Espèces d'espèces

Deux heures de séquences inédites et d'entretiens exclusifs pour poursuivre l'exploration du monde du vivant. Retrouvez les plus grands spécialistes de la classification et découvrez leurs laboratoires de recherche.

© LCJ Editions 2009



L'évolution d'Ernst Mayr

Deux semaines passées avec Ernst Mayr, l'un des plus grands biologistes de l'évolution du XX^e siècle, permettent d'évoquer l'essentiel de sa vie et de comprendre l'évolution de sa pensée, des débuts de la génétique à l'avènement de la biologie moléculaire.

© Films A Trois, INA, Arte - 1990



Le rôle du sexe dans l'évolution des espèces

Le sexe dicte les changements dans l'évolution. Le désir de transmettre nos gènes a structuré nos propres vies — une grande part de notre culture d'Homme serait ainsi le résultat de nos pulsions sexuelles.

© 2001 WGBH Educational Foundation et C
Blue Sky Productions, Inc. Tous droits réservés

BON DE COMMANDE

À RETOURNER SOUS PLI AFFRANCHI AVEC VOTRE RÉGLEMENT À
SCIENCE & VIE - SERVICE VPC - 1, RUE DU COLONEL PIERRE AVIA 75503 CEDEX 15

☐ **Oui**, je commande le coffret collector 5 DVD,
au prix de 39,90 € (frais de port offerts)

Offre limitée aux 100 premières commandes

Je règle par:

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

N°

Expire à fin

Code crypto les 3 chiffres au dos de votre CB

611 269

Voici mes coordonnées:

Si vous êtes abonné, votre N° (1 lettre et 7 chiffres):

Nom:

Prénom:

Adresse:

Code postal:

Ville:

Tél:

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

Email:

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

Conformément à la loi informatique et libertés du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

Offre valable en France métropolitaine dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/12/2010.

COMMANDEZ EN LIGNE SUR LE SITE
www.kiosquemag.com
C'EST RAPIDE, PRATIQUE, FACILE ET SÉCURISÉ

Date et signature obligatoires

Vous pouvez aussi commander par téléphone au 01.48.48.47.88

ÉNERGIE

La première centrale nucléaire flottante vient d'être mise à l'eau

Le problème d'approvisionnement en énergie des régions les plus reculées du globe a peut-être trouvé sa solution : elle viendra des mers ! L'agence fédérale de l'énergie atomique russe Rosatom a en effet mis à l'eau le 30 juin, à Saint-Petersbourg, une barge qui deviendra d'ici à 2012 la première centrale nucléaire flottante au monde. Longue de 144 m et large de 30 m, cette barge peut déplacer jusqu'à 21 500 tonnes et possède une double coque d'acier

résistant à l'attaque d'une torpille. A bord, deux réacteurs nucléaires de conception unique, dont la technologie est directement empruntée à celle des navires brise-glace russes à propulsion nucléaire. Principales différences : les réacteurs sont équipés de systèmes de sécurité améliorés et servent, non pas à faire avancer la centrale – elle doit être remorquée jusqu'à destination –, mais à produire de

l'électricité et de la chaleur. Leur puissance électrique totale atteint 70 MW. C'est dix à vingt fois moins qu'une centrale nucléaire terrestre, mais assez pour alimenter une ville de 200 000 habitants pendant quarante ans. Cette mini-centrale sera amarrée sur la côte extrême-orientale russe. Sept autres exemplaires devraient être construits d'ici à 2015, puis exportés aux quatre coins du monde. **L.B.**

➤ Longue de 144 m, cette centrale possédant deux réacteurs nucléaires sera amarrée sur la côte extrême-orientale russe.

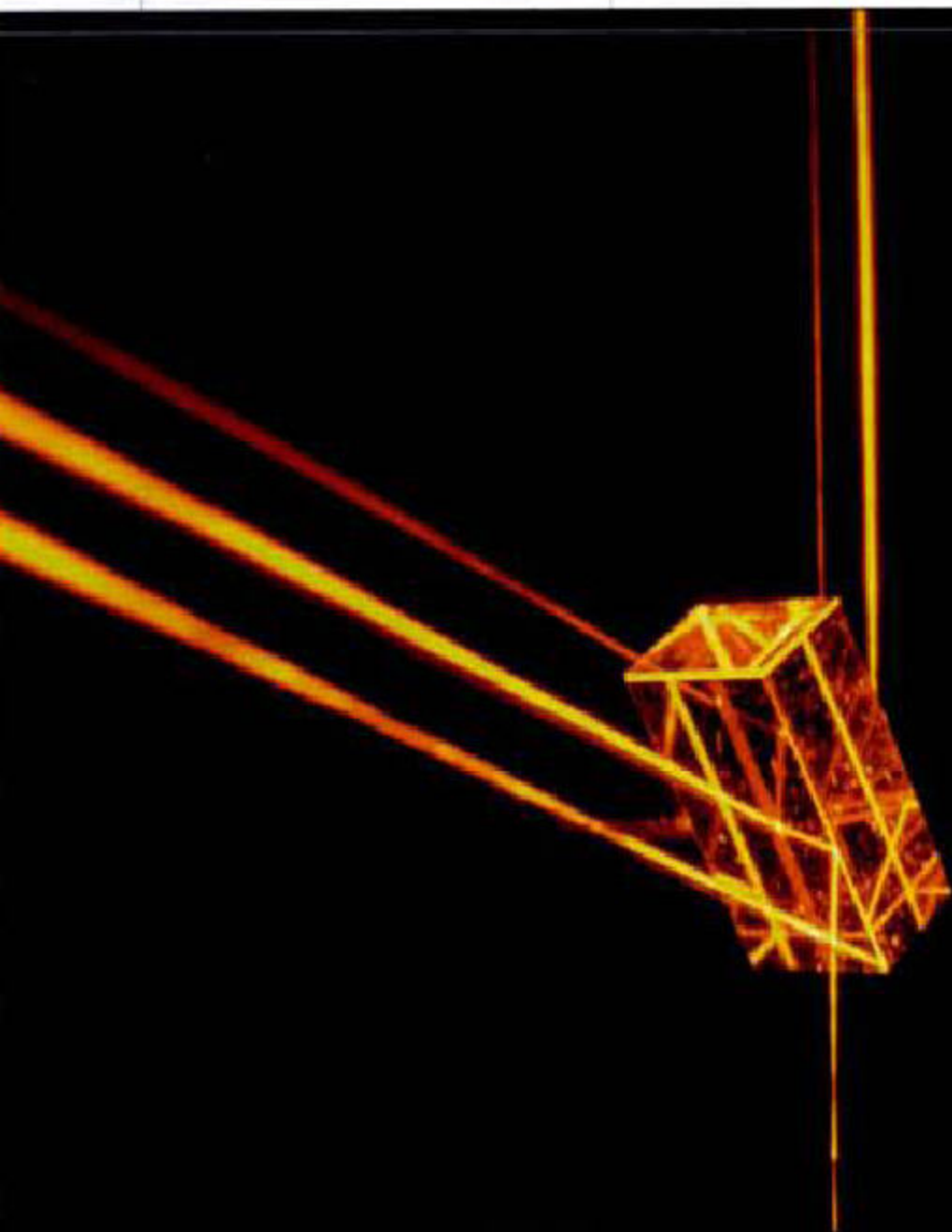


INFORMATIQUE

Un cristal bat des records de durée de stockage

Des chercheurs de l'université nationale australienne ont mis au point une mémoire optique quantique capable de retenir la lumière plusieurs heures, au lieu de plusieurs secondes auparavant. Semblable à la mémoire informatique traditionnelle, la mémoire quantique peut inscrire, stocker et lire de l'information. La différence vient du fait que l'information est enregistrée sous forme de qubits. Alors qu'un bit classique se trouve toujours dans un état binaire, soit 0, soit 1, un qubit est en général dans une superposition de ces deux états. Mais cette superposition est instable. L'une des difficultés est donc de la maintenir le plus longtemps possible. Pour arrêter et contrôler la lumière, les scientifiques ont refroidi à l'aide d'un laser un cristal à -270°C . Le laser qui pénètre le cristal est ralenti jusqu'à son immobilisation pendant plusieurs heures. Lorsque la lumière est relâchée, elle laisse derrière elle un hologramme en trois dimensions, qui est une photographie des informations contenues initialement, identique au photon près. La mécanique quantique garantit que cet hologramme ne peut être lu qu'une seule fois. Ce système est donc très prometteur pour la création d'ordinateurs très rapides et de communications sécurisées. **J.J.**

➤ Refroidi à -270°C , le cristal a ralenti puis stocké la lumière du laser pendant plusieurs heures au lieu de plusieurs secondes.





En bref

➤ **UN DISQUE DUR 40 FOIS PLUS RAPIDE QUE LES MODÈLES ACTUELS LES PLUS PERFORMANTS**, c'est le projet de la société britannique Dataslide. Son disque rectangulaire allie les capacités des disques magnétiques et les performances des disques Flash SSD, et pourrait effectuer 160 000 opérations de lecture/écriture de données par seconde. Les premiers modèles sont prévus pour 2012/2013. **P.R.**

➤ **DES TISSUS ÉLECTRONIQUES LAVABLES À 30 °C EN MACHINE ONT ÉTÉ MIS AU POINT** à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich. Au lieu d'être cousus ou collés sur le tissu, les composants électroniques ont ici été intégrés dans des fils plastique aux côtés des fibres classiques. Avec cette technique, un maillot mesurant la température corporelle a été fabriqué. Dernière étape avant la commercialisation: l'intégration de batteries. **S.F.**

➤ **INSÉRER DES PILES SANS TENIR COMPTE DE LEUR POLARITÉ EST DÉSORMAIS POSSIBLE...** Le principe du prototype créé par Microsoft? Les deux côtés du logement sont identiques et contiennent chacune un contacteur, placé en retrait, ainsi qu'une minicouche isolante. Quand un pôle + s'approche, son aspect proéminent vient toucher le contacteur. Quand un pôle - est inséré, son aspect plat empêche tout contact. **S.M.**

ROBOTIQUE

UN ROBOT ANDROÏDE DÉBARQUE DANS L'ESPACE

La navette Discovery qui rejoint la Station spatiale internationale en septembre accueillera à son bord

Robonaut 2, le premier robot-astronaute. Développé par la Nasa et General Motors, il surpasse en force (jusqu'à 9 kg par bras) tous les autres robots humanoïdes. Grâce à des pouces dotés de 4 articulations, sa dextérité atteint un niveau inédit. Fort de ces aptitudes et de 34 technologies brevetées, il assistera l'équipe à l'intérieur de la station, voire dans l'espace, sur des tâches dangereuses ou fatigantes (comme le changement d'un filtre à air). **L.F.**



à la une



GRA

La conception radicalement nouvelle de la gravitation que vient de proposer un chercheur néerlandais tonne comme un coup de tonnerre dans la physique théorique : elle rompt avec tout ce qui a été imaginé depuis 350 ans ! La force qui fait tomber les pommes ne serait-elle qu'un mirage ? Voilà de quoi ranimer le vieux débat houleux sur le rapport entre la physique et la réalité.

VITATION

Elle ne serait
qu'une illusion

Par Mathieu
Grousseau et
Román Ikonikoff

LA GRAVITATION SELON LA THÉORIE DE NEWTON

Dans sa théorie universelle de la gravitation publiée en 1687, Isaac Newton postule que tout corps matériel est un "centre de pesanteur" qui soumet l'ensemble des autres corps à une force dirigée vers lui. L'intensité de cette force de gravitation varie suivant la masse des corps et le carré de la distance qui les sépare.



...OUI, MAIS

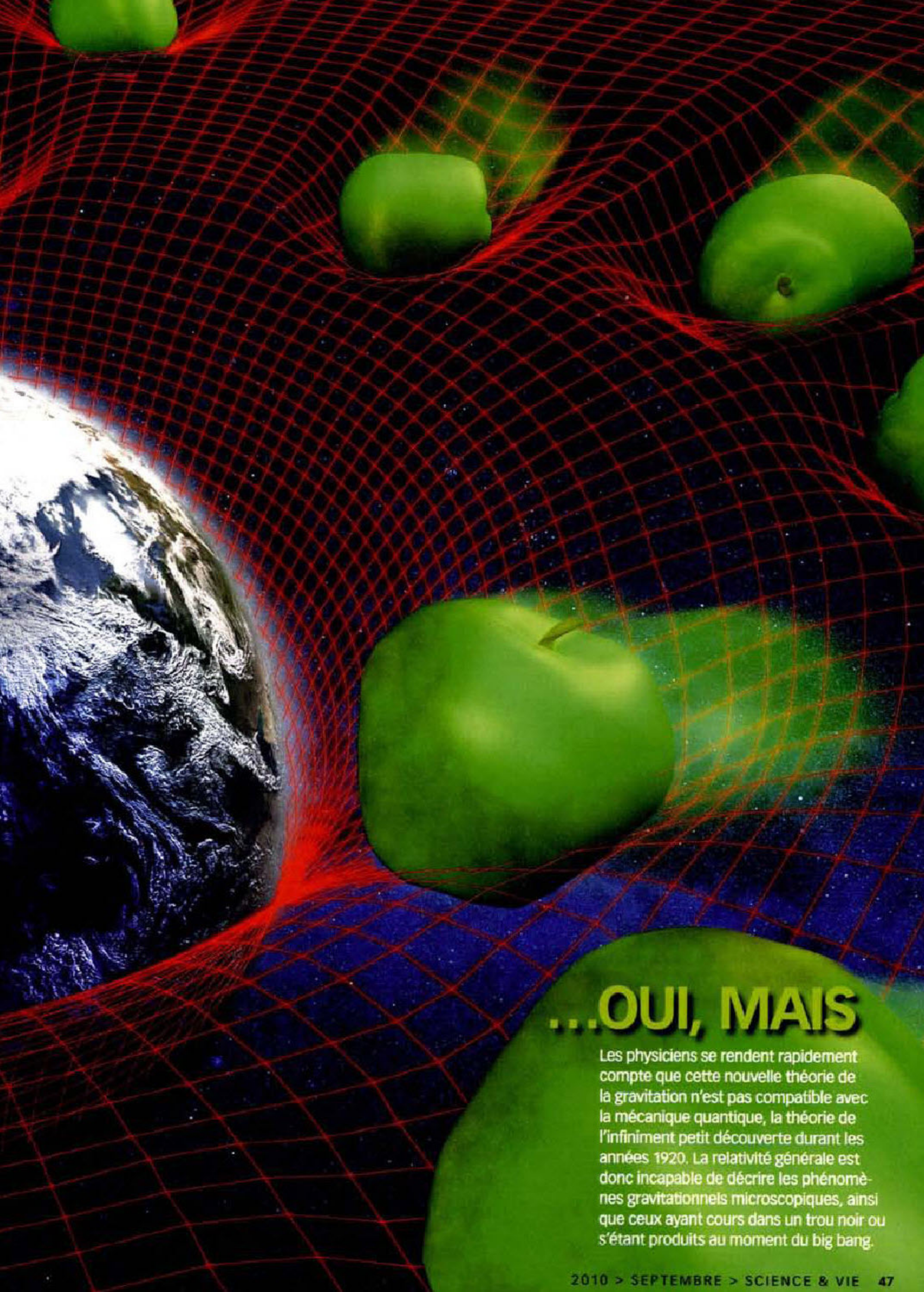
Plusieurs questions ne cesseront de préoccuper les contemporains de Newton et leurs successeurs pendant plus de deux cents ans. La théorie du savant anglais ne précise en effet aucunement le support physique permettant à cette force de se propager d'un corps à un autre, ni comment elle fait pour agir instantanément, quelle que soit la distance séparant les corps matériels.

EUROPE-LAND.NET

à la une >

LA GRAVITATION SELON LA THÉORIE D'EINSTEIN

Les difficultés soulevées par la théorie newtonienne sont résolues en 1916 par la relativité générale d'Albert Einstein. Cette théorie indique que toute matière déforme la trame de l'espace-temps, un peu à la manière d'un poids qui creuse le drap sur lequel il est posé. La force de gravitation se confond alors avec cette déformation spatio-temporelle, qui impose aux corps qui la traversent une modification de leur trajectoire.



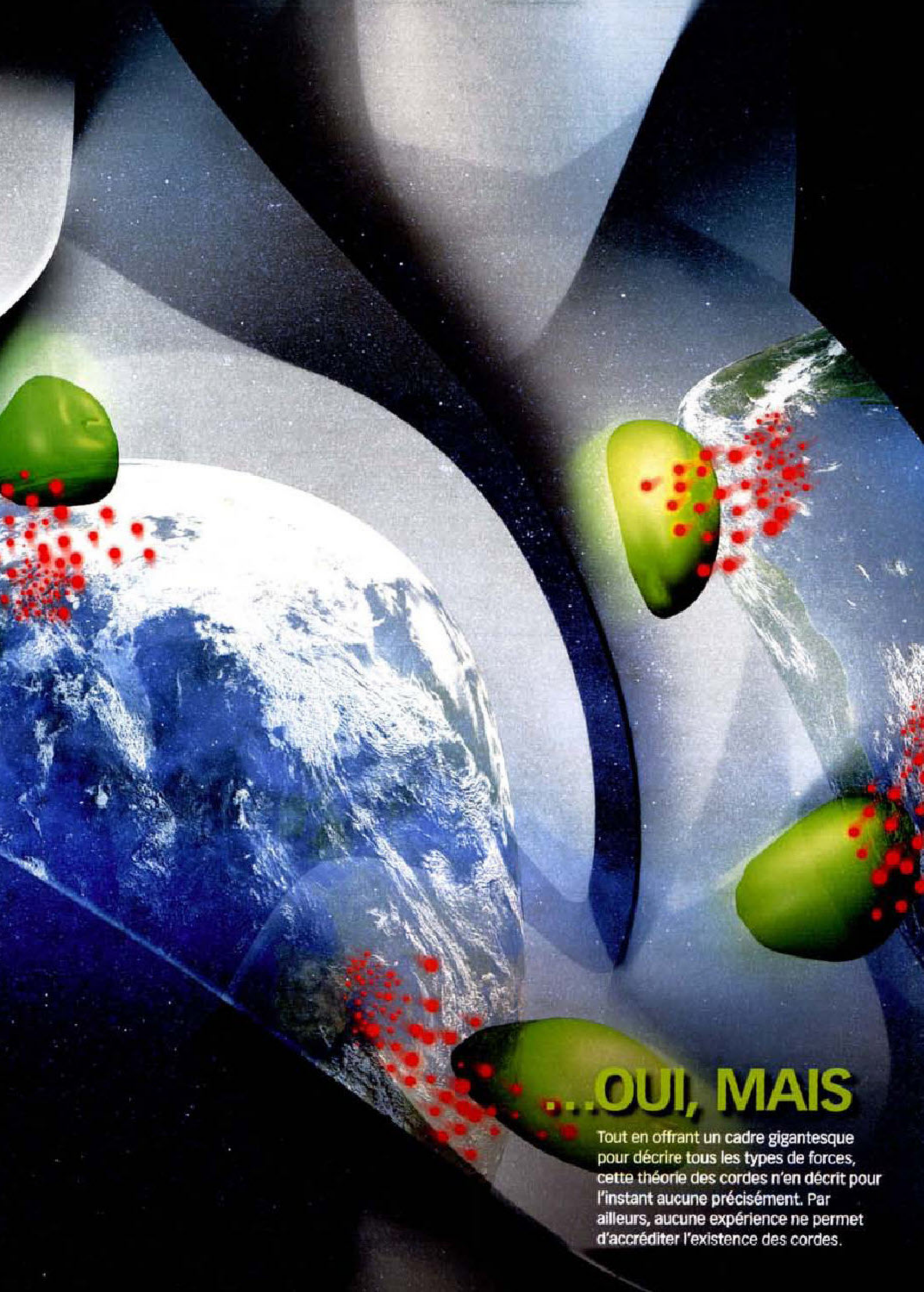
...OUI, MAIS

Les physiciens se rendent rapidement compte que cette nouvelle théorie de la gravitation n'est pas compatible avec la mécanique quantique, la théorie de l'infiniment petit découverte durant les années 1920. La relativité générale est donc incapable de décrire les phénomènes gravitationnels microscopiques, ainsi que ceux ayant cours dans un trou noir ou s'étant produits au moment du big bang.

À la une >

LA GRAVITATION SELON LA THÉORIE DES CORDES

La théorie des cordes, qui prend son véritable essor au début des années 1980, réussit à intégrer les exigences de la relativité générale et de la théorie quantique. Elle postule que les particules médiatrices de la force de gravitation émanent des vibrations de minuscules cordes dans un espace-temps particulièrement tordu. C'est en échangeant ces particules que deux corps s'attirent mutuellement.



...OUI, MAIS

Tout en offrant un cadre gigantesque pour décrire tous les types de forces, cette théorie des cordes n'en décrit pour l'instant aucune précisément. Par ailleurs, aucune expérience ne permet d'accréditer l'existence des cordes.



POUR MOI, LA GRAVITATION N'EST PAS UNE FORCE FONDAMENTALE

Elle fait tomber les pommes et tourner les planètes. Elle nous fait sentir pesant, les pieds sur terre, en prise avec le monde qui nous entoure. En ce sens, quoi de plus robuste, de plus réel pourrait-on dire, que la gravité ? Depuis la naissance de la science moderne, au XVII^e siècle, les physiciens n'ont d'ailleurs jamais cessé de décrire cette force comme faisant partie des fondements de notre monde. Certes, le concept a varié au cours des siècles. Mais, entre la théorie universelle d'Isaac Newton, la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein et la théorie des cordes, en vogue depuis trente ans, la gravitation n'a jamais cessé d'être considérée comme une interaction réelle et fondamentale, l'émanation irréductible de la matière qui constitue notre monde.

CASSE-TÊTE POUR THÉORICIENS

Le pavé que vient de lancer Erik Verlinde dans la mare de la physique n'en est que plus énorme. D'après ce chercheur de l'Institut de physique théorique de l'université d'Amsterdam, il serait temps de repenser notre vision de la gravité. Spécialiste mondialement reconnu de la théorie des cordes, il considère aujourd'hui que la physique fait fausse route et propose un changement de perspective doublement radical. Non, la gravitation n'est pas une force fondamentale : à l'instar de la force de pression au sein d'un ballon, qui n'a d'existence qu'à notre échelle, en tant que propriété collective des atomes du gaz enfermé, mais qui s'évanouit dès que l'on s'aventure dans l'intimité

moléculaire de cette matière, la gravité serait la manifestation macroscopique de phénomènes microscopiques sous-jacents. Pis encore ! Alors que la pression résulte de chocs mécaniques entre particules matérielles, la gravitation ne serait plus que l'avatar d'une abstraction quasi immatérielle, le résultat émergent d'un flux de phénomènes se déroulant à un niveau plus profond que ce que nous appelons la réalité. Pour Erik Verlinde, la force qui fait tomber les pommes ne serait donc pas loin d'être une vaste illusion...

Délirant ? Pas si on se souvient que la force de Newton et d'Einstein, si familière soit-elle, reste un véritable casse-tête pour théoriciens. Comme l'indique Emilian Dudas, au Centre de physique théorique de l'Ecole polytechnique, à Palaiseau, *"les trois autres forces, l'électromagnétisme et les interactions nucléaires faible et forte, sont bien décrites comme des interactions fondamentales, associées chacune à un quanta de force, dans le cadre unifié du modèle standard. La gravitation, elle, est plus mystérieuse"*. Le problème est de trouver une description de cette gravitation qui intègre à la fois les exigences de la relativité générale et de la mécanique quantique, indispensable pour décrire les phénomènes microscopiques. Autrement dit, il faut trouver une théorie de la gravitation valable dans l'infiniment petit. Hervé Partouche, au même laboratoire, ajoute : *"Historiquement, la logique a toujours consisté à unifier les forces fondamentales dans un cadre unique. L'idée de départ était donc d'appliquer à la gravitation*



Le physicien néerlandais Erik Verlinde propose de voir la gravitation comme un phénomène émergent et non comme une force fondamentale.

le même programme que pour les autres forces : quantifier et unifier. Mais jusqu'ici sans résultat réellement probant."

ABSTRAIRE LE MICROSCOPIQUE

De là à rayer la gravitation de la liste des interactions fondamentales ? Après tout, une telle solution ouvrirait une piste nouvelle pour aborder ce problème d'incompatibilité : si la gravitation devient une force émergente, il n'y a plus de raison de vouloir quantifier la relativité générale. Celle-ci décrivant alors un phénomène collectif macroscopique, il

est en effet possible qu'elle achoppe bien avant la frontière du monde quantique.

Pour le théoricien néerlandais, voici en fait une quinzaine d'années que des indices théoriques plaident en ce sens. Ainsi, en 1995, dans un article demeuré célèbre, Ted Jacobson, au département de physique de l'université du Maryland, a montré que la relativité générale présente une similitude frappante avec la thermodynamique. Plus précisément, l'équation d'Einstein qui relie la courbure de l'espace-temps à son contenu matériel peut être

interprétée comme un type d'équations bien connu des thermodynamiciens, les "équations d'état". A la base du succès de la thermodynamique, elles décrivent les propriétés de tout système physique en faisant abstraction de ses détails microscopiques. C'est en effet en oubliant qu'un gaz est une assemblée de molécules bougeant en tous sens que ces équations peuvent relier sa pression, son volume et sa température, autant de paramètres qui n'émergent qu'au niveau macroscopique. Cette ressemblance n'invite-t-elle pas alors à →

→ repenser la gravitation comme un phénomène émergent et non comme une force fondamentale? Cette analogie a du reste été poussée plus avant depuis 2002 par Thanu Padmanabhan, au Centre interuniversitaire d'astronomie et d'astrophysique, à Pune, en Inde, qui ajoute: *"En 2002, lorsque j'ai commencé à m'intéresser à cette problématique, je pensais que l'analogie entre thermodynamique et relativité générale n'était probablement qu'un accident formel. Mais désormais, je pense qu'elle traduit un lien profond."*

Si ces indices permettent de comprendre comment Erik Verlinde en est venu

proportionnelle à l'aire de son horizon, cette région au-delà de laquelle plus rien, pas même la lumière, ne peut échapper à son attraction. Autrement dit, ce qui est contenu dans ce volume d'espace est intégralement décrit à sa surface.

COMME UN HOLOGRAMME

Etrange découverte! L'horizon d'un trou noir ressemblerait donc à un hologramme: à l'instar de ces images que l'on croit tridimensionnelles mais qui ne sont que les reflets d'un objet à deux dimensions, tout ce qui se passe à l'intérieur est inscrit sur son enveloppe. Ce résultat a par la suite été considéré

À LA CLÉ: LES DEUX GRANDS MYSTÈRES DE LA COSMOLOGIE

Pour Erik Verlinde, il s'agit de s'attaquer aux deux plus grands mystères de la cosmologie actuelle. Le big bang, que l'actuelle théorie de la gravitation remplace par une singularité mathématique sans signification physique. Et l'expansion accélérée de l'Univers, découverte en 1998, dont on peut rendre compte en ajoutant aux équations de la relativité générale la "constante cosmologique", mais dont l'origine et la nature restent inconnues. Récemment, le physicien George Smoot a montré qu'en considérant l'information holographique stockée sur la frontière de l'Univers, cela conduit naturellement à l'apparition, dans les équations, d'un terme ressemblant à s'y méprendre à une constante cosmologique. Terme pouvant s'interpréter comme une force entropique, ainsi que le propose Verlinde pour la gravitation. Comme l'indique le théoricien néerlandais, *"tout cela requiert une analyse plus précise de l'histoire de l'expansion de l'Univers"*. Mais il est optimiste: *"Je suis convaincu que mes idées vont permettre de mieux comprendre ce qui fait que l'Univers est ce qu'il est aujourd'hui."*

à contester le caractère fondamental de la gravitation, pourquoi remettre en question son lien avec notre monde matériel? Le théoricien s'inscrit ici dans la lignée de travaux entrepris au début des années 1970 sur la thermodynamique des trous noirs. Cette première rencontre entre la thermodynamique et la gravité mena à un résultat tout à fait étonnant: en tâchant de comprendre ce que devient la matière absorbée par ces monstres gravitationnels, des physiciens aussi prestigieux que Jacob Bekenstein et Stephen Hawking ont été conduits à montrer que la quantité d'informations engloutie dans un trou noir est toujours

comme si fondamental que Gerard 't Hooft, à l'université d'Utrecht, en 1993, et Leonard Susskind, à l'université de Stanford, en 1995, ont proposé d'en faire un principe, le "principe holographique". Celui-ci postule que la description complète de tout système physique occupant une région de l'espace peut être donnée par une théorie définie sur la seule frontière de cette région. Même si cela va à l'encontre du bon sens – comme si on pouvait tout connaître de l'intérieur d'une maison en n'inspectant que ses murs! –, les théoriciens aiment aller au bout de la logique imprimée par leurs équations, aussi étrange soit-elle.

Cette vision fut précisée dès 1997, à travers une retentissante démonstration mathématique. Juan Maldacena, de l'Institut des études avancées de Princeton, montra que, dans certains univers théoriques simplifiés, tous les effets que l'on pourrait attribuer à la force de gravitation peuvent également être décrits comme se déroulant sur la frontière de ces univers, où il n'y a pourtant aucune trace de gravitation ! En s'exonérant des conditions restreintes qui ont permis d'établir cette correspondance, il est alors tentant d'étendre ce résultat à notre propre monde. De faire comme si notre Univers n'était qu'un hologramme. Et

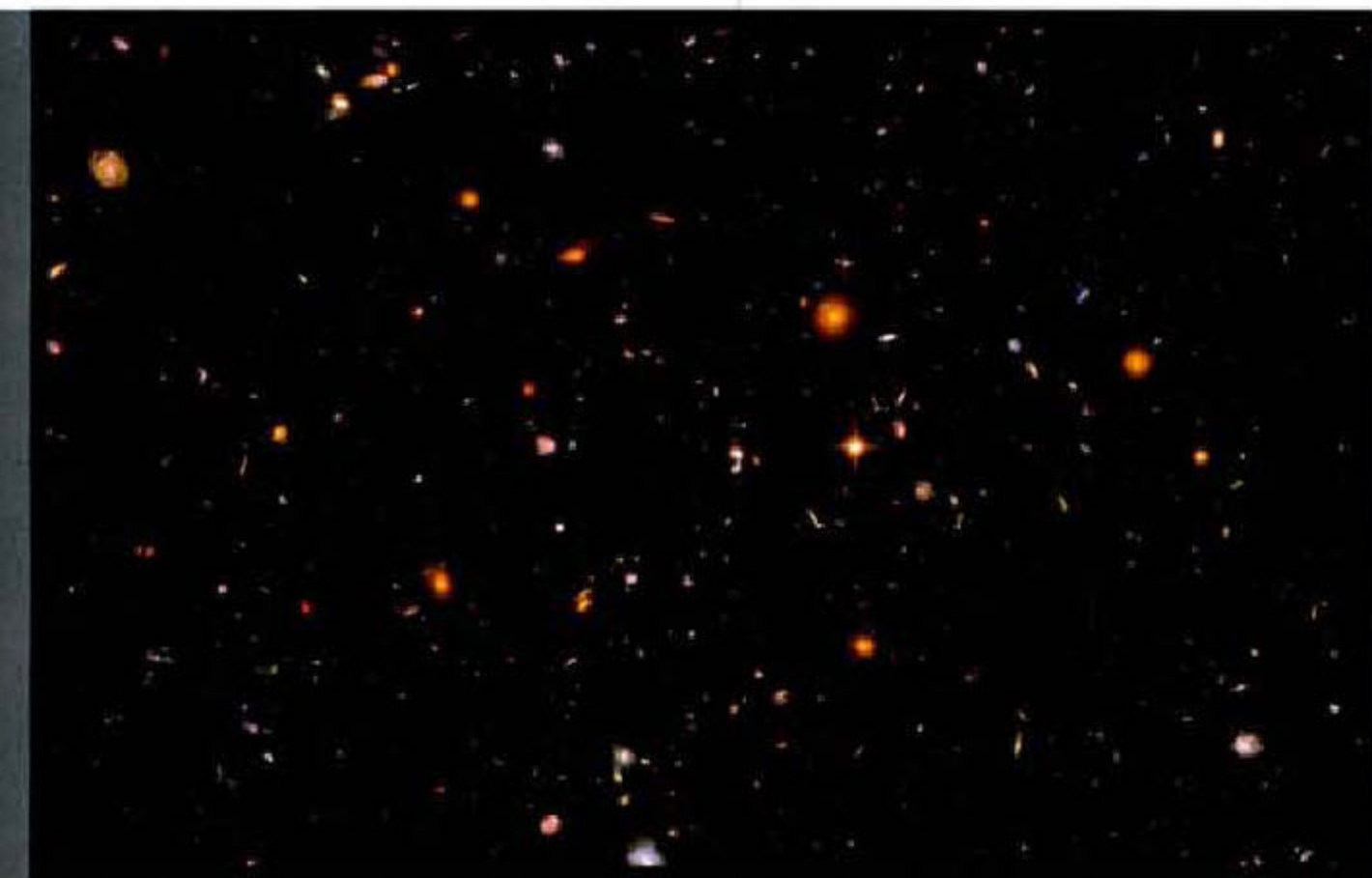
écran contenant des informations sur la constitution de notre Univers. Quelle est la nature de cet écran ? Comment sont codées les informations ? *Quid* de son contenu précis ? Aucune importance ! Seule compte l'idée issue du principe holographique selon laquelle cette quantité d'information est proportionnelle à l'aire de l'écran. A cela, il ajoute l'existence de notions très générales sur le temps, l'énergie, la masse, l'énergie. Il assemble ensuite ces ingrédients sous la forme de quelques équations à la portée d'un étudiant de master, d'où il fait finalement découler le plus naturellement du monde... les équations

contenues sur son écran se traduisent par une force de gravitation entre masses au sein de notre Univers. *"Mon argumentation est fondée sur l'hypothèse qu'il existe des paramètres, peu importe lesquels, évoluant dans un espace abstrait et encodant une certaine quantité d'information, tente-t-il de résumer. Et que cette information est influencée par un changement de position des objets possédant une masse. Par réaction aux modifications de l'information dans l'espace des paramètres est associée une force. Le challenge est de montrer qu'elle prend la forme de la force de gravité."*

Comment se représenter concrètement un tel effet ? Comment imaginer qu'une force se déploie sans ressort matériel ? Pour le comprendre, Verlinde propose une analogie empruntée à la physique des polymères. La thermodynamique nous explique qu'à l'équilibre, cette longue molécule en forme de spaghetti adopte la forme d'une pelote : ni complètement ratatinée, ni complètement allongée. Pourquoi ? Parce que de toutes les configurations microscopiques qu'elle peut adopter, une majorité écrasante conduit à cette allure générale. Les thermodynamiciens disent qu'elle maximise son entropie, ou son désordre. Mais que se passe-t-il si l'on tire sur ce polymère, l'éloignant de sa forme d'équilibre ? Il réagit en opposant une force, qui a tendance à le ramener à l'état de pelote. Or une telle force, dite entropique, n'a pas d'autre raison d'être que la tendance du polymère à retourner vers ses configurations microscopiques les plus probables. Pour Erik Verlinde, la gravité serait semblable à cette force entropique : *"Comme en thermodynamique, la gravitation surgit de la tendance du système à retourner vers son état d'équilibre."*

ENTHOUSIASME ET... SCEPTICISME

Si, pour le profane, la sauce est indigeste, force est de constater que les idées de Verlinde ont déjà fait le tour du monde, chaque spécialiste des interactions →



d'interpréter notre bonne vieille attraction terrestre comme le résultat d'événements se déroulant sur le vaste écran bidimensionnel qui nous enveloppe, où il n'y a nulle trace de gravité.

Pour Erik Verlinde, tous ces signes indiquent qu'il est temps de revoir de fond en comble la théorie de la gravitation. Il exhorte à en finir avec l'idée de partir d'hypothétiques corpuscules fondamentaux censés produire cette attraction. Et à accepter que ce qui fait tomber les pommes est un phénomène d'ordre à la fois émergent et holographique. Concrètement, que propose-t-il ? De partir tout d'abord, d'un

▲ Big bang et expansion de l'Univers restent des énigmes pour la physique.

newtoniennes de la gravitation. Cela ressemble à un tour de magie : alors que la gravité ne faisait, *a priori*, pas partie de la liste de ses ingrédients, il la trouve présente à la fin de sa recette ! Et, cerise sur le gâteau, elle est accompagnée de l'autre grande équation de la dynamique newtonienne, la relation fondamentale de l'inertie reliant l'accélération d'un corps à la force qui lui est appliquée.

Plutôt que de suivre ces calculs dans le détail, Erik Verlinde invite à embrasser cette nouvelle perspective, où des perturbations dans les informations

→ fondamentales ayant au minimum entendu parler de son article. Et pour cause. Comme l'indique Costas Bachas, au Laboratoire de physique théorique, à l'Ecole normale supérieure, à Paris, "il est évident que Verlinde n'est pas quelqu'un qui spécule sans réfléchir profondément aux choses." Ce qui n'empêche pas les spécialistes d'osciller entre enthousiasme, respect prudent et un certain scepticisme. Comme Ted Jacobson, qui affirme simplement: "Je ne comprends pas son papier." D'autres, comme Renaud Parentani, du Laboratoire de physique théorique, à Orsay, émettent des réserves: "Verlinde a-t-il exploré l'ensemble des conséquences nécessaires si on prend au sérieux ses hypothèses?, s'interroge le physicien. Ne va-t-il pas être confronté à des prédictions qui les mettent à mal?" Sans compter que dans sa version actuelle, ce travail se contente de redécouvrir les lois de Newton, supplantées depuis presque cent ans par celles d'Einstein. D'aucuns ne manquent pas aussi de faire remarquer que Jacobson avait redécouvert la théorie einsteinienne de la gravité à partir de la thermodynamique, sous-entendant que Verlinde n'apporte pas grand-chose de nouveau.

> L'horizon d'un trou noir ressemblerait à un hologramme: tout ce qui se passe à l'intérieur est inscrit sur son enveloppe. Une donnée reprise aujourd'hui par Erik Verlinde.

Pour légitimes que soient ces critiques, d'autres physiciens préfèrent insister sur le souffle nouveau véhiculé par les idées de Verlinde. C'est le cas de George Smoot, cosmologiste et lauréat du prix Nobel de physique 2006, qui explique: "Lorsque vous lisez les travaux de Jacobson, ce dernier semble impressionné de dériver la relativité générale des lois de la thermodynamique. Verlinde assume directement une connexion profonde et essaie de montrer que l'on peut obtenir tout ce que l'on souhaite sur la gravité et les lois du mouvement de la sorte." Car c'est bien là le point central: Verlinde

L.VILLERET/DOLCE VITA - A. RIAZUELO/CIAP - CNRS - UPMC

ERIK VERLINDE, THÉORICIEN RECONNU ET FRANC-TIREUR

Né en 1962, il s'illustre dès la préparation de son doctorat en proposant une algèbre et une formule, qui portent désormais son nom, devenues importantes en théorie des cordes. Il a ensuite poursuivi ses recherches à Princeton, avant de revenir aux Pays-Bas et d'engager ses travaux dans une direction radicalement nouvelle.



Science & Vie En remettant en question le statut de la force de la gravitation, vous allez à l'encontre de plusieurs siècles de tradition. C'est une idée radicale?

Erik Verlinde D'après moi, le paradigme consistant à rechercher les forces et les particules soi-disant les plus élémentaires est arrivé à son terme. Ce constat est très largement

suggéré par les équations que nous avons actuellement entre les mains, qui nous invitent à changer de point de vue. Mais je ne propose pas de jeter à bas tout l'édifice. Je pense que pour progresser, nous devons désormais changer de perspective.

S&V Vous proposez de considérer la gravitation comme résultant



ne prétend pas proposer clé en main une théorie cohérente et précise. Mais un nouveau chemin dont il s'agira de montrer qu'il mène bien au-delà des lois de Newton, qu'il évacue l'incompatibilité entre la relativité générale et la mécanique quantique, voire qu'il résout des problèmes cosmologiques jusqu'ici insolubles (voir encadré p. 52).

Un chemin qui rejoint celui tracé depuis un siècle et demi par quelques physiciens qui veulent faire de la notion d'information le concept fondamental de toute la physique théorique (voir article suivant).

Pour l'heure, il est trop tôt pour prendre cette nouvelle théorie pour argent comptant. Mais, comme ajoute Hervé Partouche: *"Verlinde reprend la substance de la logique de Jacobson en termes plus abstraits, plus généraux. Du coup ça semble plus simple, plus évident et donc plus inévitable."* Ce à quoi Lee Smolin, à l'Institut Perimeter, au Canada, conclut: *"Les arguments de Verlinde élargissent la perspective ouverte par Jacobson."*

Reste à voir sur quoi cela débouchera concrètement. Car comme le fait remarquer Costas Bachas, *"pour un physicien, on ne peut parler de révolution qu'à partir du moment où l'on se trouve en face de quelques équations très précises prédisant quelque chose de nouveau."*

Pas si on se contente de réécrire en des termes différents quelque chose de connu. Pour l'heure, il y a quelques idées. Nous verrons si elles feront partie d'une histoire plus complète à l'avenir."

Si tel est le cas, la force qui fait tomber les pommes perdrait son statut d'interaction fondamentale pour devenir la manifestation, dans notre Univers, des évolutions d'une information encodée Dieu sait où! C'est alors toute la physique qui en serait bouleversée. Censée décrire les évolutions d'entités bien réelles, aussi petites soient-elles, elle deviendrait le moyen de constater que la matière, les galaxies, les atomes, l'homme... n'ont peut-être par d'autre réalité que l'information qui les décrit. Et notre vision du monde en sortirait métamorphosée: ce que nous prenons pour la réalité ne serait finalement qu'un gigantesque hologramme, projeté par un immense écran qui enveloppe notre Univers... Le vertige ne fait que commencer.

M.G.

NOUS VIVONS UN MOMENT AUSSI EXCITANT QUE CELUI QUI A VU NAÎTRE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

de phénomènes se déroulant sur un écran, à la frontière de notre Univers, mais vous refusez de décrire en détail en quoi consistent ces phénomènes et cet écran. N'est-ce pas gênant?

E.V. Pour dériver les propriétés de la gravitation, nous n'avons nul besoin de connaître la nature précise des constituants fondamentaux. De même que nous n'avons pas besoin de connaître le détail d'un système physique pour décrire sa thermodynamique. Cela ne veut pas

dire qu'éventuellement nous ne voudrions pas en apprendre davantage. Mais simplement que pour parvenir à une compréhension de la gravitation, ce niveau de détails est sans intérêt. Du reste, ce que nous appelons constituants fondamentaux est en réalité introduit de façon ad hoc. Et par conséquent parfaitement réfutables. J'ajoute qu'il est peu probable que nous accédions jamais aux constituants fondamentaux.

S&V Vos idées sont encore très préliminaires.

Quelle est la prochaine étape?

E.V. Je comparerais volontiers ces idées au modèle atomique de Bohr, avec ses orbites électroniques quantifiées, introduit pour expliquer les propriétés des atomes au début du ^{xx}e siècle. Par la suite, il a été abandonné, n'ayant aucun sens dans le formalisme de la mécanique quantique. Mais il a été très utile pour comprendre les concepts de base qui ont conduit à la théorie quantique. Mon propos doit être rendu plus concret et plus précis. La

théorie des cordes peut y contribuer. Mais je pense également à d'autres choses. J'y travaille, mais préfère à ce stade garder les détails pour moi!

S&V Pensez-vous que la physique soit à l'orée d'un bouleversement conceptuel?

E.V. A mon avis, nous vivons un moment aussi excitant que celui qui a vu naître la mécanique quantique, au début du ^{xx}e siècle.

Quand la physique cherche à s'affranchir de la réalité...

Depuis le XIX^e siècle, des physiciens francs-tireurs ont défendu l'idée que l'information est le concept fondamental de la physique théorique. Retour sur un débat de plus en plus brûlant.

"It from bit". Les travaux de Verlinde qui font sortir la gravitation d'une sorte d'écran d'hologramme semblent vouloir concrétiser la célèbre formule du physicien américain John Archibald Wheeler, selon laquelle "tout provient de l'information". Plutôt qu'une force fondamentale d'origine matérielle, Erik Verlinde propose en effet de considérer que la force de gravité émerge d'un maelström d'informations crépitant sur la frontière de notre univers. La vision est enivrante: à l'instar des mondes virtuels s'affichant à l'écran des ordinateurs, chaque élément du monde – particule, champ, force, espace-

temps – émergerait d'un processus de traitement de "0" et "1". Ce que nous prenons pour la réalité, ce monde alentour avec ses planètes qui tournent et ses pommes qui tombent, ne serait qu'une sorte d'hallucination, un mirage issu d'un flot confus d'informations.

DES PHYSICIENS FIÉVREUX

On comprend que cette proposition fasse quelques remous parmi les spécialistes des théories de la physique fondamentale. D'autant que, si tout le monde comprend intuitivement ce

qu'est de l'information, personne n'a pu jusqu'ici la définir clairement. De quoi est-elle faite? Qui l'émet? Qui la transporte? Qui la reçoit? Même ces questions élémentaires font polémique! Pour les uns, aussi mal définie soit-elle, l'information est un paramètre essentiel de la physique qu'il faut intégrer au plus vite aux théories fondamentales comme la mécanique quantique et la relativité générale. Pour les autres, plus sceptiques, si le concept est vague, c'est justement qu'il n'a pas d'existence... ailleurs que dans l'esprit (mal tourné) des premiers, et qu'il faut l'exclure à tout prix de la physique, censée parler du monde réel.

Derrière ce débat, il est cependant un phénomène que nul ne conteste: depuis

JAMES MAXWELL

introduit la notion d'information en thermodynamique

En 1859, cet Écossais postule que la température d'un gaz découle des mouvements "probables" de ses particules, qui dépendent des informations disponibles sur ces mouvements. On lui reprochera durement de faire émerger un phénomène physique des connaissances du physicien et non de la réalité elle-même.



QU'EST-CE QUE L'INFORMATION ?

De façon générale, tout le monde est d'accord pour dire qu'une information est ce qui donne la possibilité de répondre à une certaine question par oui ou non (ou par 0 ou 1). Mais c'est en rentrant dans le détail que les avis des physiciens deviennent vraiment partagés. Pour une partie d'entre eux, comme Gilles Cohen-Tannoudji, c'est "une entité physique, même si ce n'est pas une particule. Cela pourrait se rapprocher plutôt du concept de champ ou de force : une grandeur abstraite mais bien

physique". Certains, comme Alexei Grinbaum, pensent plutôt que c'est un langage, qui n'a pas de substance physique, mais "qui pourrait être un moyen pour résoudre les blocages théoriques auxquels nous sommes confrontés". Pour d'autres, l'information est, comme le dit Michel Le Bellac, "un concept mathématique des sciences informatiques et algorithmiques qui sert aux calculs", autrement dit, un concept informatique matérialisable par des appareils physiques comme les ordinateurs. Et d'autres, enfin, comme Jean Bricmont, soutiennent que l'information n'existe que dans l'esprit des hommes et qu'il faut donc "l'exclure de la physique, censée décrire un monde indépendant de l'esprit".

cent cinquante ans, un courant "informationnel" se répand dans tous les domaines de la physique. Comment une entité aussi mal taillée a-t-elle pu envahir cette science dure ? C'est l'effet d'un long combat, de prises de bec et de coups de génie.

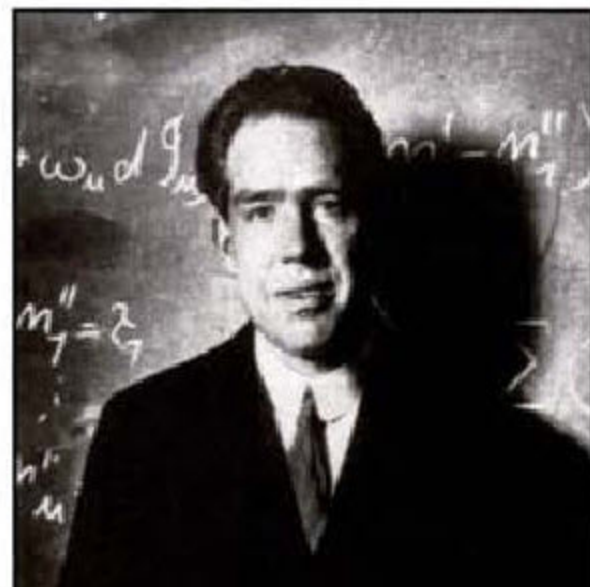
Dès sa première manifestation, à la fin du XIX^e siècle, cette notion a donné la fièvre aux physiciens. A l'époque, on ne parlait pas d'"information", mais c'était tout comme. Le mot était alors "probabilité" et c'est James Clerk Maxwell qui l'a prononcé le premier : en 1859, alors que la physique nageait en plein newtonisme – du type "tout phénomène physique doit être expliqué par une cause physique bien déterminée" –, le savant écossais se met à reformuler la thermodynamique sur la base de la théorie des probabilités. Pour lui et pour l'Autrichien Ludwig Boltzmann, qui achèvera cette refondation dans les années 1870, la température d'un gaz est liée aux probabilités de mouvements des particules qui le composent.

"Cela a terriblement choqué", souligne Anouk Barberousse, chercheur à l'Institut d'histoire et philosophie des sciences et technique de Paris-I. Car pour la majorité des savants de

l'époque, les probabilités étaient un concept purement subjectif reflétant l'ignorance du physicien face à la nature." En physique classique, en effet, la probabilité d'un phénomène exprime non pas son existence réelle mais sa possibilité de survenue, étant donné les informations dont dispose le physicien. Par exemple, si un astronome dit qu'il y a 1 % de chances qu'une grosse météorite heurte la Terre d'ici à 2100, c'est qu'il ne détient pas assez d'informations pour avoir une certitude : cette probabilité est liée à son ignorance. La météorite, elle, nous heurtera à 100 % ou ne nous heurte pas – "elle nous heurte à 1 %" n'est pas une option du monde réel. Or, aux yeux des contemporains de Maxwell et Boltzmann, leur interprétation des équations thermodynamiques semble dire le contraire : la température d'un gaz, propriété bien palpable, serait liée à l'état d'ignorance du physicien...

ÉREINTÉ PAR LES ATTAQUES

C'en est trop ! De nombreux physiciens s'insurgent contre cette atteinte intolérable à leur exigence d'objectivité. Mais Maxwell et Boltzmann persistent : "L'idée de la dissipation de l'énergie est relative à l'extension de nos connaissances", ose le premier, tandis que le second, sûr de lui mais éreinté par les attaques, se suicide en 1906 →



NIELS BOHR

affirme que la mécanique quantique ne parle pas de la réalité

Dès la fin des années 1920, ce physicien danois soutient que la nouvelle théorie sur les phénomènes microscopiques dont il est l'un des pères ne met pas en scène la réalité du monde physique, mais uniquement ce que nous pouvons en dire, étant donné les informations fournies par les mesures. Des débats houleux suivront. Tenace, il ira jusqu'à affirmer que la réalité n'est pas du ressort de la physique !

QUI ÉMET L'INFORMATION ?...

Cette question toute simple, là encore, partage les physiciens. Pour certains, les informations sont émises par une réalité sous-jacente que la physique se doit de décrire. C'est ce que pensent les tenants d'une physique réaliste, à la suite d'Einstein, pour qui la théorie quantique restitue de manière incomplète les informations sur cette réalité, en les formalisant sous forme de probabilités. Le problème est qu'il leur faut alors tordre les caractéristiques de cette réalité pour qu'elle puisse se fondre dans les étrangetés quantiques, en imaginant par exemple que des univers massivement parallèles apparaissent à chaque événement aléatoire. Les tenants de l'autre école, à la suite de Bohr, sont plus

agnostiques : ils partent du principe qu'il est impossible de savoir s'il y a une réalité physique sous-jacente. C'est ce que voulait signifier Bohr en déclarant que *"tout ce que nous nommons réalité est fait de choses qui ne peuvent être considérées comme réelles"*. Dans ce cadre, la seule réalité indiscutable est l'information qui apparaît quand on fait une mesure. Et il est vain de se poser des questions sur l'émetteur de cette information : la question de ce qui existe réellement devient une croyance des physiciens. Or, la science ne doit pas dépendre des croyances... De là émerge un point de vue radical : la réalité démarre avec l'information. C'est le sens du *"It from bit"* de John Archibald Wheeler...

→ — son attachement aux probabilités lui vaudra l'inscription de sa formule sur le marbre de sa pierre tombale.

Cette interprétation statistique de la thermodynamique finit cependant par s'imposer au début du ^{xx}e siècle, avec la démonstration de l'existence des atomes : pragmatiques, les physiciens reconnaissent que les probabilités sont le seul moyen pour raisonner sur des milliards de particules à la fois. *"Mais la dispute sur la nature subjective ou non des probabilités ne s'est pas tarie, souligne Anouk Barberousse. On la retrouve aujourd'hui avec l'information."* Car à partir des années 1930, *"des physiciens comme Leo Szilard, puis Léon Brillouin, lient les concepts de probabilité et d'information dans une équation, explique Gilles Cohen-Tannoudji, ancien physicien du CEA.*

Ils définissent l'information contenue par un système physique en fonction des probabilités des états de ses constituants microscopiques". Voilà donc les deux concepts mariés. Et l'information hérite de la polémique...

THÉORIE "INCOMPRÉHENSIBLE"

Mais le débat ressurgit violemment avec l'entrée en scène, dans les années 1930, de la plus formidable théorie du ^{xx}e siècle : la physique quantique. Cette théorie, qui s'exprime en termes de probabilités, *"est incompréhensible, comme le reconnaît le "quanticien" Michel Le Bellac, professeur émérite à l'université de Nice, même si l'on sait parfaitement l'appliquer et qu'elle n'a jamais été prise en défaut"*. Que dit-elle ? Qu'avant toute mesure, l'état d'une particule est intrinsèquement

indéterminé : elle est représentée sous la forme de plusieurs états, définis chacun par une probabilité (de position, de vitesse, d'énergie, etc.). Le mot qui fâche est à nouveau lâché... Les querelles reprennent !

D'un côté, avec Einstein, on agite l'argument d'ignorance : si la théorie parle de probabilités, c'est qu'elle donne des informations imparfaites sur la réalité. *"Je suis fermement convaincu, écrit-il, que le caractère essentiellement statistique de la théorie quantique est seulement dû au fait qu'elle opère avec une description incomplète des systèmes physiques."* Pour les tenants de cette position réaliste, il faut donc chercher à la compléter, et ne pas s'arrêter à cette description vague due à notre méconnaissance. De l'autre côté, avec Niels Bohr, la position est plus exotique — mais elle s'imposera : *"Il n'y a pas de monde quantique, écrit Bohr, il y a seulement une description quantique abstraite. Il est erroné de penser que la tâche de la physique est de savoir ce qu'est la Nature. La physique s'occupe de ce que nous pouvons dire sur la Nature."* La physique décrit-elle le monde en soi ou ce que l'on en sait ? Entre les années 1930 et 1950, les pro-Einstein et les pro-Bohr s'affrontent ouvertement... jusqu'au dégoût — *"Je n'aime pas [la mécanique*

LEO SZILARD

tente de réconcilier les positions réaliste et informationnelle

En 1929, travaillant sur la thermodynamique, ce physicien hongrois est le premier à donner un sens physique à la notion d'information si controversée : il postule qu'un système physique qui consomme de la chaleur ou de l'énergie, comme un moteur, voit sa quantité d'informations varier en proportion.





quantique], je suis désolé, je n'ai jamais eu rien à voir avec elle", dira même ironiquement Erwin Schrödinger, l'un de ses fondateurs. La dispute est tellement exténuante et stérile qu'elle est enterrée à l'approche des années 1960: "Taisez-vous et calculez", aurait dit l'Américain Richard Feynman, élève de Wheeler, devenu l'un des physiciens les plus influents.

Las! L'information – et le débat qui va avec – se réinvite au début des années 1970 dans un domaine inattendu: en montrant que la taille de la frontière d'un trou noir est proportionnelle à l'information contenue dans la matière qu'il a ingurgitée, Stephen Hawking et Jacob Bekenstein – lui aussi élève de Wheeler – introduisent le virus informationnel dans les sciences du cosmos (voir article précédent). Et dans les années 1980, on se met à y croire fermement. "Il n'est pas déraisonnable d'imaginer que l'information siège au cœur de la physique, de la même manière qu'elle siège au cœur d'un ordinateur", suggère Wheeler. Ce qui pousse certains de ses étudiants, comme l'Américain Seth Lloyd, à voir en l'Univers un gigantesque ordinateur manipulant 10^{90} bits simultanément...

Si on commence à parler ouvertement de bit dans la physique théorique, c'est en fait à la suite de la rencontre

entre l'informatique et la mécanique quantique, à la fin des années 1980. Une rencontre qui va faire revenir le débat sur le tout devant de la scène. Alors que les ordinateurs envahissent notre quotidien, les physiciens se rendent en effet compte que les lois de l'infiniment petit permettent de manipuler l'information d'une façon radicalement différente. Ils se passionnent alors pour l'ordinateur quantique, la cryptographie quantique, la téléportation quantique...

FORMALISATION MATHÉMATIQUE

Et, là, surprise! "La théorie de l'information quantique que les physiciens ont commencé à développer au début des années 1990 s'est révélée être un langage mieux adapté que celui des années 1920 pour décrire et comprendre certains

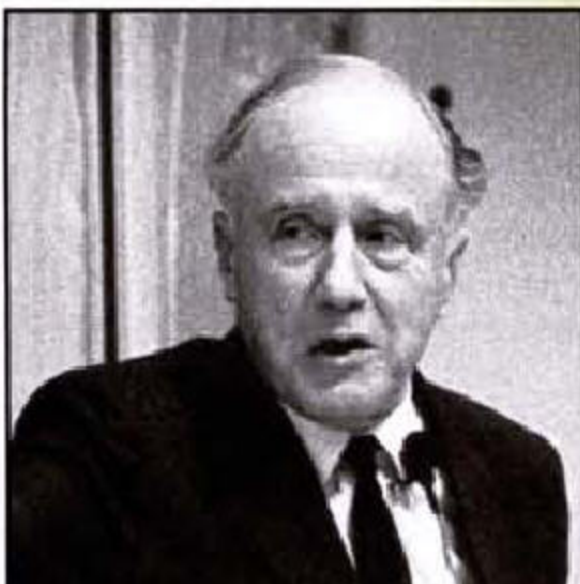
phénomènes quantiques", résume Alexei Grinbaum, du Laboratoire des recherches sur les sciences de la matière du CEA. L'interprétation défendue par Bohr est alors prise au pied de la lettre: et si la mécanique quantique ne parlait pas d'onde ou de corpuscule, mais seulement d'information? Et si la difficulté à interpréter ce corpus tenait au fait que ses équations ne concernent pas le monde, mais les informations que l'on peut lui soutirer? Ce point de vue ne tarde pas à être formalisé à travers des résultats mathématiques impressionnants: à partir des années 2000, divers théoriciens, comme Jeffrey Bub, de l'université du Maryland, Christopher Fuchs, des laboratoires Bell-Lucent Technologies, ou Alexei Grinbaum, démontrent comment tout ou partie de l'étrange attirail →

... QUI LA TRANSPORTE?...

De deux choses l'une. Soit on découvrira que l'information est une substance en soi, que l'on peut isoler et qui peut donc être transmise directement, sans passer par un support physique externe (électrons, photons, ondes radio, etc.). Soit, comme le soutient la théorie de l'information physique, il n'existe pas de bit physique d'information à l'état pur. "Selon cette théorie, dit Michel Le Bellac, pour que de l'information puisse être transmise, il faut un support physique qui la porte: des ondes électromagnétiques (lumière) ou des ondes acoustiques (air) ou l'état quantique d'une particule... Sans support, il ne peut y avoir de transmission d'information." Cela n'empêche pas que l'information soit une grandeur transportable, comme la température. En effet, bien qu'il n'existe pas d'"atome" de température (elle n'est définie que pour une grande quantité de particules), nul ne met en question que cette grandeur, parfaitement définie à l'échelle macroscopique, est transportée dans les matériaux, l'air et même le vide.

... QUI LA REÇOIT ?

L'observateur, bien sûr, et ses détecteurs naturels ou construits. Mais son rôle dans la constitution de la notion d'information reste confus. Tout phénomène physique observé donne des informations à celui qui l'observe : quand une étoile brille, elle renseigne l'astrophysicien sur sa structure, sa température, etc. Mais que deviennent ces informations sans l'astrophysicien ? Est-ce que la lumière émise "dit" quelque chose sur la structure de l'étoile s'il n'y a personne pour interpréter cette lumière à l'aune d'une théorie ? Et si l'observateur est un appareillage qui analyse ces données et inscrit le résultat sur du papier : ces inscriptions sont-elles autre chose qu'un amas "aveugle" de particules s'il n'y a personne pour en tirer des informations ? Cela conduit Jean Bricmont à dire qu'"il n'y a qu'un lieu où l'information devient vraiment physique, c'est le cerveau : un cerveau qui reçoit de l'information est le siège de processus physiques à partir desquels l'observateur peut être vu comme ayant acquis de l'information... Mais on n'est plus dans le domaine des sciences physiques". La seule manière de s'affranchir de l'allusion au cerveau serait de décrire l'observateur dans le langage de la physique... ou dans celui de l'information.



JOHN WHEELER

milite pour s'affranchir définitivement de la réalité

Ce physicien américain deviendra dans les années 1990 le plus illustre défenseur de l'idée selon laquelle l'information est au fondement même du monde physique. Ce que résume sa célèbre formule "It from bit" : tout provient de l'information. Il est aujourd'hui le maître à penser de toute une génération de physiciens brillants qui forment le courant "informationnel" de la physique.

→ quantique peut être déduit de cette simple posture informationnelle (voir *Science & Vie* n° 1057, p. 68).

Le travail de Verlinde va assurément dans ce sens. Jeffrey Bub le juge "fascinant et très pertinent". Christopher Fuchs "sen[t] vraiment une résonance entre la nouvelle orientation de Verlinde et [s]on propre programme". Alexei Grinbaum, lui, compte publier une analyse philosophique de la proposition de Verlinde et réserve ses commentaires.

Alors ? L'information va-t-elle révolutionner la physique ? Nul ne le sait encore. Car la querelle n'est pas finie. D'un côté, les promoteurs de la révolution vantent l'élégance de leur point de vue, les lois liées aux flux d'informations permettant d'engendrer une grande partie du corpus théorique de la physique fondamentale. De l'autre côté, ceux qui rejettent ce concept d'information soulignent le manque de clarté et de précision de leurs contradicteurs. Car, disent-ils, parler d'information, c'est implicitement mettre en scène un observateur qui la reçoit. "Qu'est-ce que cet 'observateur' ?", demande Jean Bricmont, professeur

de physique théorique à l'université catholique de Louvain, en Belgique. C'est une notion vague, qui semble référer à l'esprit humain", lequel est du ressort des sciences cognitives et non physiques.

UN DÉBAT À SON PAROXYSME

Après un siècle et demi de polémiques, le débat atteint aujourd'hui son point d'orgue. Malgré l'aversion qu'elle suscite, malgré le flou qui l'entoure, la notion d'information a réussi à s'immiscer successivement dans le monde infiniment complexe de la thermodynamique, dans celui, infiniment petit, de la mécanique quantique, et dans celui, infiniment grand, de la cosmologie. Or, avec Verlinde, la voilà maintenant qui débarque dans notre monde infiniment familier, où l'on voit des pommes tomber...

Il va donc bien falloir que les physiciens se résolvent à affronter sereinement la question, toute simple, autour de laquelle ils tournent depuis si longtemps : le monde décrit par les théories physiques est-il réel ? Ou ces pommes ne sont-elles qu'une illusion ? R.I. ■

Enquête

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

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

et participez à l'amélioration de Science & Vie !




ÉOLIENNES

Par Vincent Nouyrigat

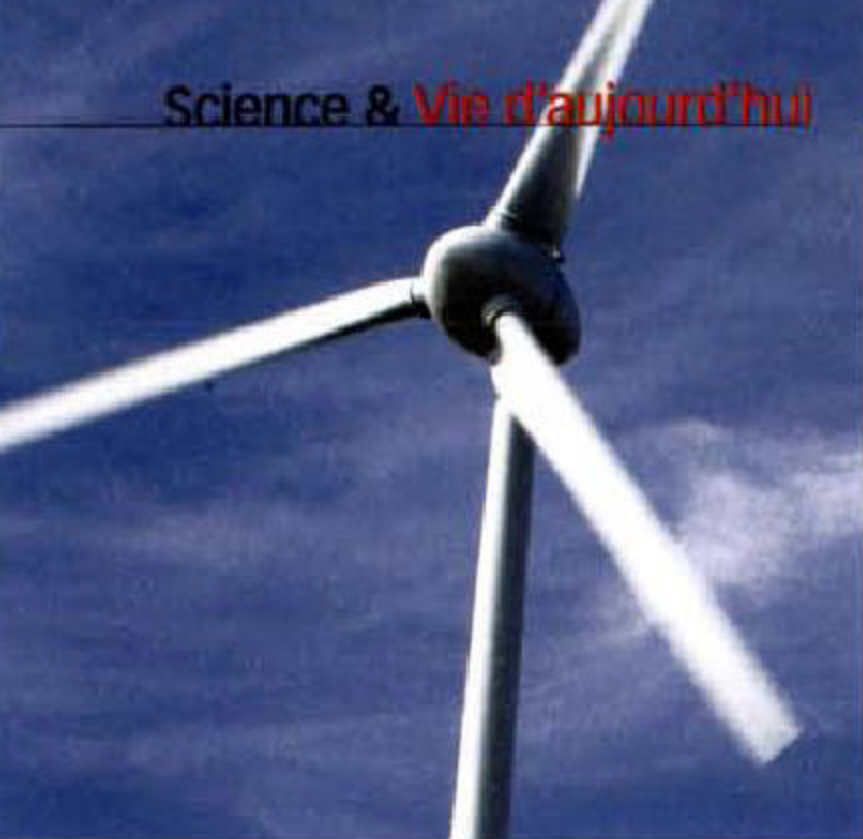
Le vent tourne

*Pourquoi leur avenir
est compromis en France*

Alors que l'Etat défend son important programme de développement du parc éolien, le secteur semble marquer le pas. Cette énergie est-elle vraiment adaptée à notre pays ? Au terme de notre enquête, voici six raisons d'en douter.



◀ Les polémiques se dressent en travers du déploiement de l'éolien en France. 5000 nouveaux mâts sont pourtant prévus d'ici dix ans.



<v> Le ministre de l'Écologie Jean-Louis Borloo veut accélérer l'implantation d'éoliennes en France d'ici à 2020.

En France, on n'a pas de pétrole, et guère plus de charbon, de gaz ou d'uranium... mais on a du vent! Beaucoup de vent, dont on sait extraire l'énergie cinétique pour produire de l'électricité. Façade Manche-mer du Nord, front Atlantique, rives de la Méditerranée : nos trois gisements mirobolants de souffle font des envieux dans toute l'Europe – seule l'Ecosse est mieux dotée. Et à l'heure des grands engagements sur le climat, une telle profusion ne laisse plus indifférent dans l'Hexagone.

UN DÉPLOIEMENT AMBITIEUX... SEMÉ D'EMBÛCHES

Avant l'Union européenne, la France s'est fixé l'objectif de produire 23 % d'électricité renouvelable en 2020, au lieu des 10 % actuels, essentiellement issus de l'énergie hydraulique. Sacrement ambitieux! Or, comme l'explique Philippe Menanteau, du Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale, *"la technologie éolienne est le meilleur moyen d'y parvenir dans un délai aussi court, car elle est la seule des énergies alternatives à être arrivée à maturité technique et économique"*. Alors que de nombreux progrès restent à faire pour les panneaux photovoltaïques, les moulins d'antan qui broyaient du grain ou pompaient de l'eau ont été remplacés, en deux décennies, par des aérogénérateurs d'électricité fiables.

Ressource abondante, moyens d'extraction disponibles, obligation de réduire les rejets de CO₂... Tous les arguments en faveur des éoliennes sont réunis, et le Grenelle de l'environnement a

logiquement programmé une montée en puissance vertigineuse sur dix ans : passer des 5 000 mégawatts (MW) éoliens actuellement installés à... 25 000 MW, niveau de l'Allemagne aujourd'hui. Ainsi, ce mois de septembre, le ministre de l'Écologie Jean-Louis Borloo doit lancer le premier appel d'offres de projets éoliens *offshore*, promesses de vents encore plus forts et réguliers...

A première vue, ce plan décidé au plus haut niveau de l'État pourrait sembler à la fois implacable et consensuel... Il n'en est rien! Car depuis quelques mois, d'autres voix officielles se font entendre pour bousculer l'éolien industriel, l'accusant de n'être ni lisse, ni vertueux à l'usage. En avril dernier, un rapport parlementaire s'offusquait des juteux tarifs d'achat de l'électricité sortant de ces turbines – dont les coûts se répercutent sur le consommateur – et de leur présence imposante dans le paysage. Dans la foulée, la loi Grenelle II, promulguée le 12 juillet, instaurait un cadre plus drastique à

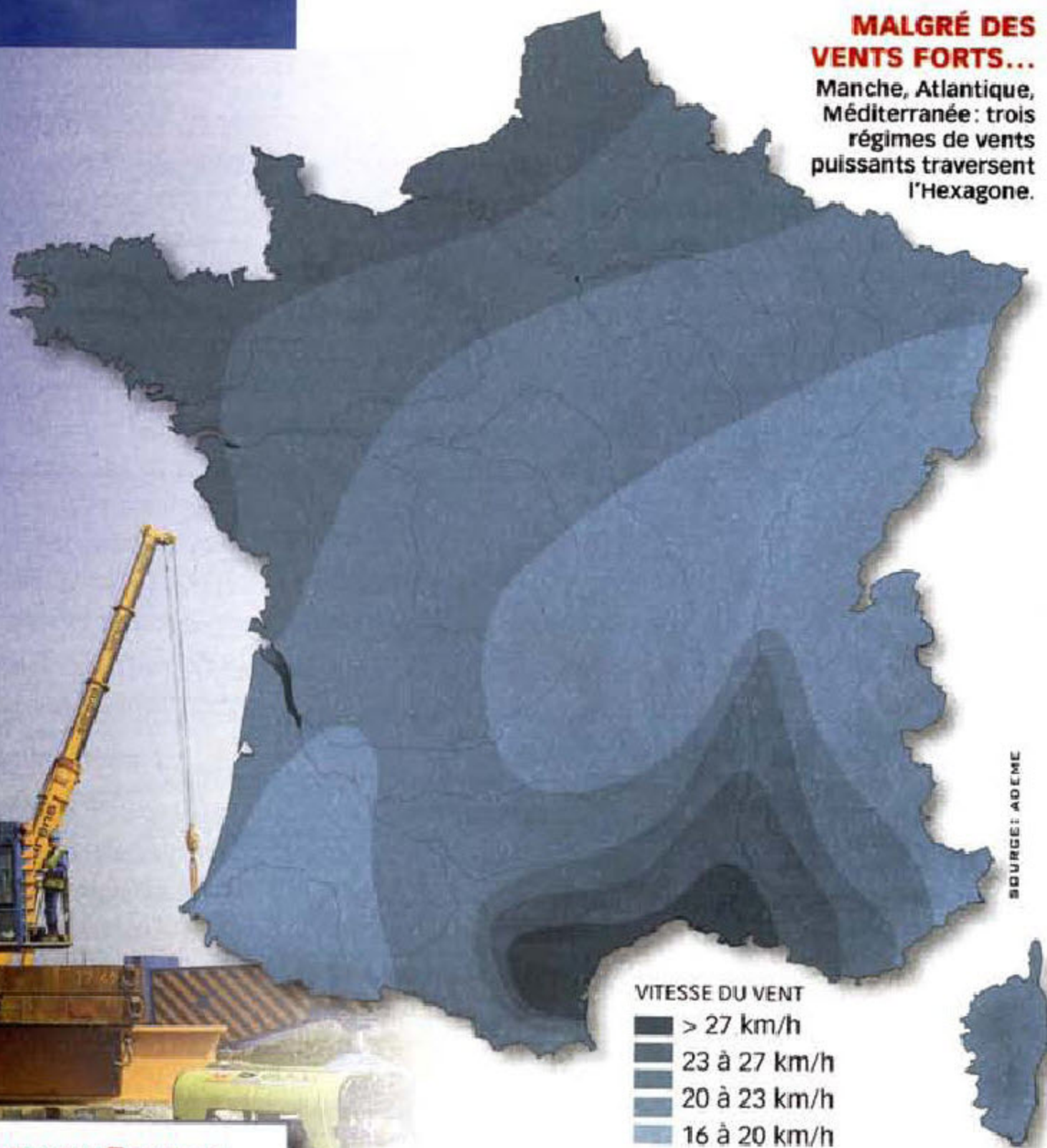
> FAITS & CHIFFRES

En 2009, l'énergie d'origine éolienne représentait en France 1,5 % de la production électrique totale. Contre environ 8 % en Allemagne et déjà 14 % en Espagne, deux pays très équipés en centrales fossiles (gaz, pétrole, charbon), au contraire de la France. Le Grenelle de l'environnement a fixé pour 2020 un objectif de 10 % de production éolienne dans l'Hexagone.



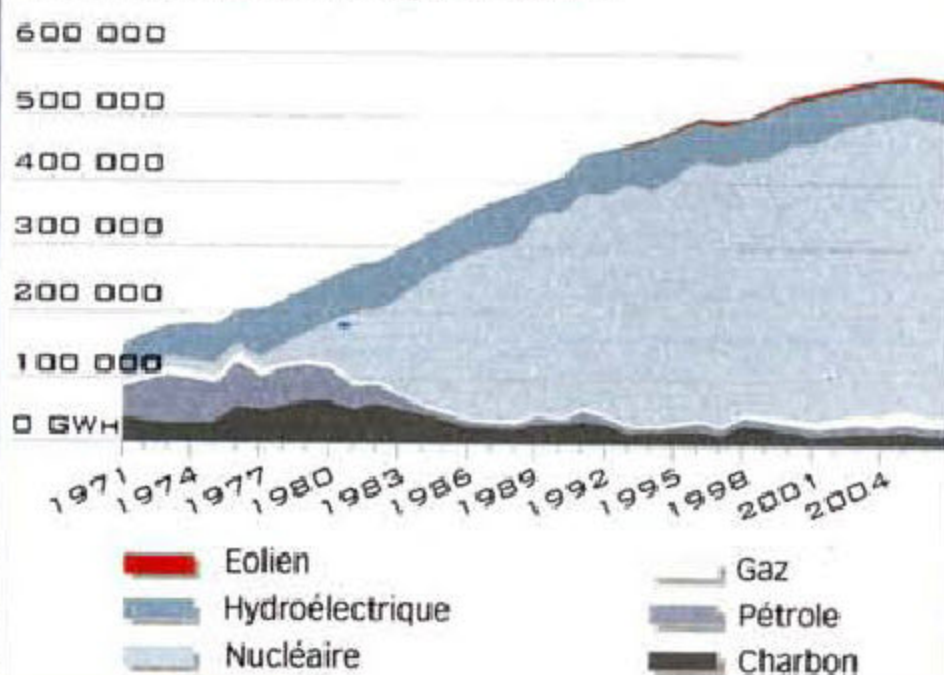
MALGRÉ DES VENTS FORTS...

Manche, Atlantique, Méditerranée : trois régimes de vents puissants traversent l'Hexagone.



... L'ÉOLIEN RESTE DÉRISOIRE EN FRANCE

Depuis les années 1970, priorité a été donnée au nucléaire, qui fournit aujourd'hui 80 % de l'électricité, contre seulement 1,5 % pour l'éolien.



l'installation des éoliennes, similaire à celui des usines polluantes et gênantes !

Multiplication des recours juridiques de riverains, instabilité réglementaire pour les industriels, attentisme des autorités... Le vent semble être sur le point de tourner pour les éoliennes. Certains signes ne trompent pas : au premier

trimestre 2010, le développement éolien a connu un coup d'arrêt brutal ; seulement 100 MW ont été installés, soit trois fois moins qu'en 2009... et cinq fois moins qu'il ne le faudrait pour tenir le rythme des ambitions du Grenelle.

Mais alors, comment interpréter ce tourbillon de signaux contradictoires au sein de l'appareil d'Etat, entre objectifs ambitieux et multiplication des obstacles ? Dominique Finon, directeur du Laboratoire d'analyse économique des réseaux et des systèmes énergétiques, remarque : *"L'éolien n'a jamais fait consensus en France. Nos élites ont longtemps vu dans les énergies renouvelables la marque d'écolos irrationnels, et il en reste des traces."*

DÉDAIGNÉ DEPUIS LONGTEMPS PAR LES POLITIQUES

C'est qu'à l'époque du choc pétrolier de 1973, quand le Danemark consacrait 10 % de ses crédits à la recherche sur l'énergie du vent, la France, elle, ne jurait que par le nucléaire. L'atome, rien que l'atome. De cette monoculture quasi obsessionnelle *"est née chez les grands commis de l'Etat une certaine façon de penser, d'imaginer des solutions, et la tentation de croire que tout euro dépensé hors du nucléaire était un euro perdu"*, analyse Philippe Menanteau. →



→ Et pour les esprits encore imprégnés par la culture de l'atome, l'éolien présente un contraste saisissant. Jugez plutôt: quand un réacteur nucléaire centralise 1 600 MW de puissance, un aérogénérateur produit seulement... 2 ou 3 MW. Plus déstabilisant encore que cette faible densité énergétique, sa production est dépendante d'un vent aléatoire. Une turbine ne commence à tourner qu'avec un vent soufflant à 10-15 km/h, elle atteint sa puissance maximale à 40-45 km/h, puis s'arrête au-delà de 90 km/h pour épargner sa structure. Résultat: en 2009, le parc éolien français n'a fourni que 22 % de sa puissance théorique (contre 80 % pour une centrale nucléaire); un peu comme si ces moulins tournaient à bloc durant deux mois et demi, puis restaient immobiles le reste de l'année!

Pour ajouter aux crispations, l'urgence écologique ne semble pas évidente sur notre réseau électrique alimenté à 90 % par du nucléaire et de l'hydraulique, aussi sobres en CO₂ que l'éolien. Sur ce point, la France est vraiment un cas unique au monde, et il n'est d'ailleurs pas prévu que sa capacité nucléaire diminue d'ici à 2020, bien au contraire. Ce à quoi les partisans du vent rétorquent diversification et décentralisation nécessaires du parc de production, avènement de la voiture électrique ou encore "croissance verte" à ne pas laisser passer.

PROS ET ANTIS MONOPOLISENT LE DÉBAT

Tout cela conduit finalement à une question explosive: les éoliennes ont-elles leur place en France? Hélas, pros et antis ont cannibalisé le débat. Avec par exemple, d'un côté, le Syndicat des énergies renouvelables soutenu par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), de l'autre, de petites associations remuantes comme Vent de colère! ou la Fédération environnement durable, appuyées par d'anciens ingénieurs d'EDF. La moindre argumentation technique se voit ainsi immédiatement rabrouée par le clan d'en face. Nombre d'études sont clairement partisans, quelques-unes assez malhonnêtes. Le reste des travaux, selon Elie Bellevrat, chercheur au cabinet indépendant d'études en énergie Enerdata, "souffre souvent de biais, car il y a de véritables difficultés méthodologiques à évaluer la filière d'un point de vue technique, économique et environnemental. Dans ce contexte, il est devenu très difficile de se faire une idée claire et objective de la situation".

Néanmoins, la rencontre des acteurs directs du réseau électrique et les témoignages des opérateurs étrangers (allemands, danois, espagnols) déjà très équipés en éoliennes permettent de soulever des questions clés. Et même d'émettre de réels doutes sur l'avenir des éoliennes en France! Voici le résultat de notre enquête, en six points.

La raison d'être des éoliennes se résume ainsi: elles fournissent de l'électricité en se substituant, au gré du vent, aux centrales thermiques à charbon, au fioul ou au gaz, grandes émettrices de CO₂. Problème, cette belle idée est plus ou moins réalisable, selon le bouquet énergétique dans lequel elles s'intègrent.

CO₂, un argument faible

L'Allemagne et le Danemark, où l'énergie fossile s'impose à plus de 60 %, se prêtent à merveille à ce schéma. En revanche, la production thermique en France ne fonctionne qu'à la marge, et ne représente qu'une part restreinte de la production totale, dont la vocation est de répondre aux variations de la demande. Et il n'y a aucune raison pour que les caprices du vent concorderent avec ce régime de fonctionnement! Pour l'heure, le ministère de l'Environnement indique que notre modeste puissance éolienne parvient à se substituer 75 % du temps à l'énergie fossile, évitant le rejet annuel de 1,65 million de tonnes de CO₂ (sur les 34 millions de tonnes émises par l'ensemble du secteur électrique). Que l'on ne s'y trompe pas: au lieu de tabler sur la réduction de

notre consommation d'énergie, la démarche éolienne s'inscrit en fait dans la perpétuelle logique du "toujours plus" de production. Mais voilà, avertit Julien Janes de la Commission de régulation de l'énergie (CRE), "statistiquement, plus la capacité éolienne augmentera, et donc plus la part d'énergie fossile diminuera, plus il est probable qu'à un instant donné, l'énergie éolienne se substituera à l'hydraulique ou au nucléaire". Deux sources d'énergie aussi sobres en CO₂ que l'éolien, mais bien moins chers... Ubuesque. D'après Elie Bellevrat, "dans la réalité, on n'attaquerait pas le ruban de production nucléaire – ce serait anti-économique – on chercherait plutôt à exporter le surplus de production d'origine éolienne". Les contribuables français, qui ont subventionné l'éolien, en seraient pour leur frais vu les tarifs pratiqués à l'export. Mais les réductions de CO₂ seraient attribuées à la France et, après tout, l'avenir est au marché électrique européen... Fin du débat, et disparition des centrales thermiques? Pas si simple! L'énergie éolienne a un vice caché: le vent étant difficilement prévisible, il faut prévoir des moyens de secours rapidement mobilisables pour

LOGIQUE MARGINAL

Les champs d'éoliennes, de véritables sites industriels

D'importants travaux d'installation sont suivis d'un impact visuel et sonore considérable...

Des flashes lumineux clignotent en permanence (blanc le jour, rouge la nuit) pour la sécurité aérienne

Les pales de 50 m font un bruit caractéristique par vent fort

Un réseau routier doit être aménagé pour les véhicules de levage, puis de maintenance

Les fondations nécessitent 300 m³ de béton et 40 tonnes d'armatures en acier

Le mât représente 200 tonnes d'acier

assurer l'équilibre entre offre et demande. Hervé Mignon, directeur du développement à Réseau de transport d'électricité (RTE), explique qu'avec seulement 5000 MW d'éolien sur le réseau aujourd'hui, "les marges prévues pour faire face aux aléas habituels du réseau suffisent. Mais la question de réserves supplémentaires se posera quand nous passerons à 10000 MW". Et ce n'est pas une bonne nouvelle ! Car les centrales nucléaires, si nombreuses en France, ne se prêtent pas aux brusques variations de charge. Nos nombreux grands barrages et nos stations hydrauliques sont en revanche flexibles et s'adaptent bien à l'éolien (le Danemark s'appuie ainsi sur l'hydraulique norvégien).

Fossile incontournable

Sauf que, comme le rappelle Marc Ribière, responsable de l'optimisation du parc d'EDF, "les ouvrages hydrauliques existants ont déjà fort à faire en période de pointe. En construire d'autres ? Les meilleurs sites ont été équipés et les marges de progrès sont minimes". D'autant que l'époque n'est plus vraiment à noyer des vallées entières, villages et écosystèmes inclus. Dernière solution: les centrales

thermiques, certes polluantes, mais flexibles aussi. "En Allemagne, nous réservons aujourd'hui entre 3000 et 7000 MW de secours dans nos usines fossiles existantes", commente Hermann-Josef Wagner, énergéticien à l'université de Bochum. Autrement dit, des centrales thermiques qui auraient pu être fermées avec l'arrivée de l'éolien continuent de fonctionner, mais à charge partielle, prêtes à intervenir. En France, révèle Marc Ribière d'EDF, "nous avons calculé que les 25000 MW d'énergie éolienne visés obligeront à mobiliser 3000 à 4000 MW de turbines à combustion, pouvant être démarrées très rapidement". C'est-à-dire une bonne dizaine d'immenses turboréacteurs à gaz, particulièrement polluants, seulement utilisés de nos jours lors des moments d'extrême pointe. Au total, le bilan environnemental resterait positif. Seulement, forte de tous ces constats, la Commission de régulation de l'énergie estimait qu'en 2008, l'énergie du vent en France ne trouverait son équilibre et sa pleine justification écologique que sur des sites très particuliers dépourvus de nucléaire, comme... la Corse, Mayotte ou Saint-Pierre-et-Miquelon !

2 UNE PRODUCTION INCONCILIABLE AVEC

Le système électrique français a un problème majeur à résoudre: il dispose d'un équipement record en chauffage électrique. "En hiver, un degré en moins génère un besoin de 2 100 MW de puissance, soit les deux tiers des besoins de toute l'Europe dans ces conditions!", précise Hervé Mignon. Nos pointes de consommation franchissant chaque année de nouveaux plafonds, l'urgence est aux centrales capables de fournir à tout moment, et à coup sûr, la puissance nécessaire. Voilà bien le problème: Eole ne se soucie guère de la demande des ménages français à l'instant T... Il suffit de regarder ce qui s'est passé en janvier 2010 pour s'en convaincre (voir

courbe ci-contre). Comme le relève Marc Ribière, "si le jour le plus froid de l'année, le 8 janvier, l'éolien a fourni de très appréciables 2 600 MW (soit 60 % de la puissance potentielle), la contribution du vent est restée très volatile".

Du froid, mais pas de vent

A plusieurs reprises, lors de ce mois de janvier critique, comme les 5, 7, 11 ou 18, le vent n'a presque rien apporté. "Les périodes de grands froids correspondent souvent au passage d'un anticyclone, dont les faibles changements de pression ne favorisent pas le vent", note Jean-Pierre Chalon de Météo France. N'y a-t-il donc pas assez d'éoliennes en France? Dans un

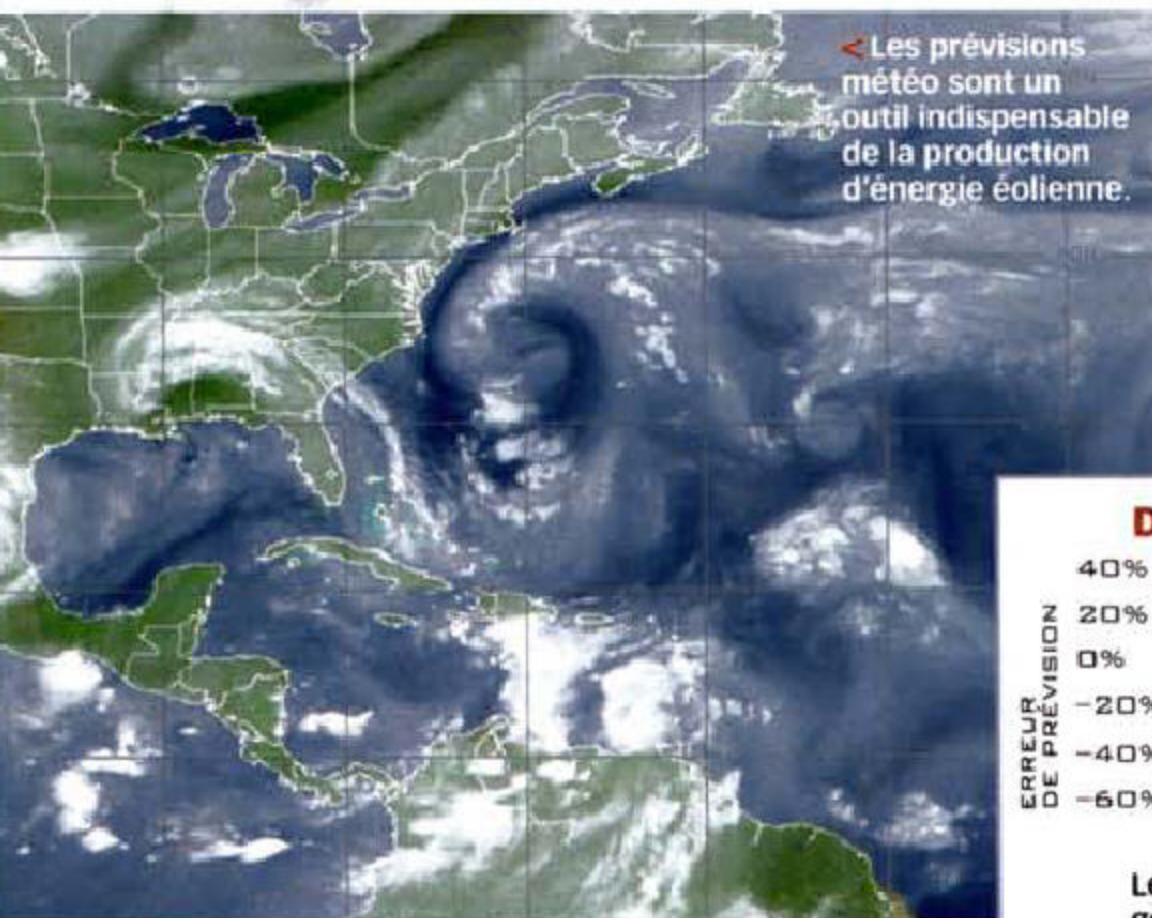
pays comme l'Allemagne, hérissé de 21 000 moulins, on serait tenté d'imaginer un matelas de production plus confortable, garanti avec la même fiabilité qu'une centrale conventionnelle. Tout faux: "Nos éoliennes au potentiel de 26 000 MW ne garantissent que 2 000 MW environ!", tempête Philip Kuhn, chercheur à l'université technique de Munich. Or, les sites les mieux ventés ayant été équipés en premier, cette fiabilité est de plus en plus difficile à conquérir: "Quand nous aurons atteint 40 000 MW d'éolien, nous pourrions garantir seulement 2 500 MW de production", poursuit le chercheur. Grâce à trois régimes de vent, le cas



➤ Spécificité française, chaque degré de moins en hiver réclame une surproduction de 2 100 MW.

français devrait être moins décevant, avec une garantie attendue de 4 000 MW pour 20 000 ou 25 000 MW installés. Mais comme l'analyse Elie Bellevrat, "s'il peut remplacer une production électrique à un moment donné, l'éolien n'offre pas, ou

3 UNE ÉNERGIE INTERMITTENTE DIFFICILE



➤ Les prévisions météo sont un outil indispensable de la production d'énergie éolienne.

Les ingénieurs du réseau électrique appellent l'éolien "énergie fatale": une électricité dont ils ne maîtrisent ni l'heure d'arrivée, ni de disparition, ni le volume, qu'ils sont bien obligés d'accepter lorsqu'elle se présente.

"L'éolien n'est pas vraiment le grand méchant loup que l'on craignait, avec des changements de comportement radicaux d'une minute à l'autre, remarque Marc Ribière d'EDF. En revanche, il varie bel et bien d'une heure à l'autre..."

Des erreurs flagrantes dans la prévision du vent



Le vent est devenu un nouveau paramètre incontournable dans la gestion du réseau électrique, au même titre que la température extérieure. Or, sa prévision demande encore à être améliorée...

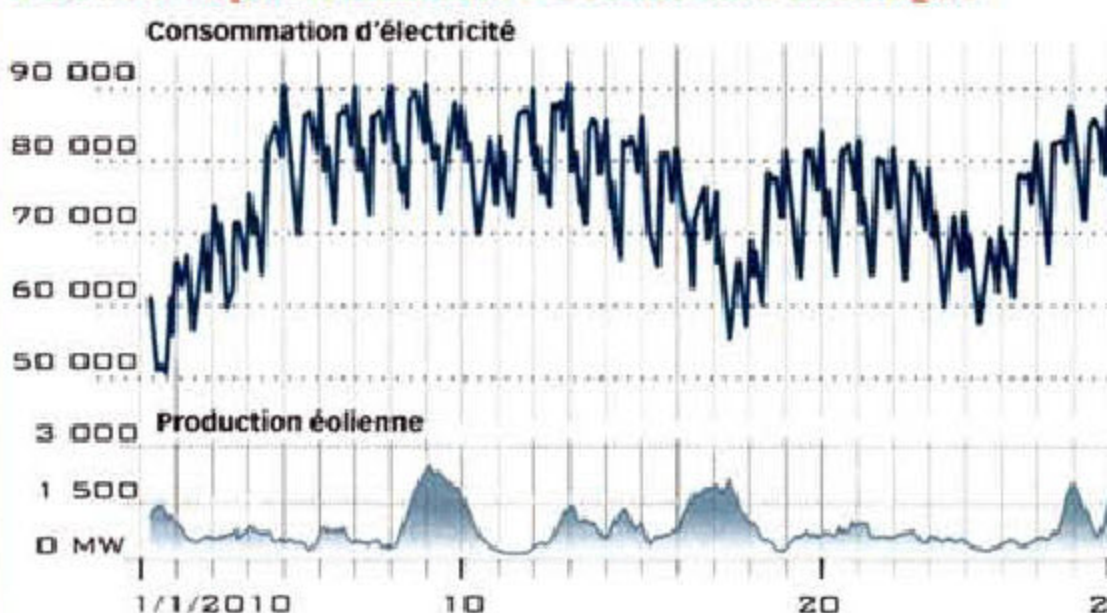
LA CONSOMMATION



très peu, de capacité de puissance garantie. Il est donc nécessaire d'accompagner son développement par la construction de centrales sur lesquelles on peut compter". Notez que l'industrie éolienne ne désespère pas de donner plus de crédit à cette énergie,

en multipliant les projets de stockage d'électricité. L'idée? Restituer au réseau la production des moulins à vent quand le besoin s'en fait sentir. Stockage d'air comprimé, batterie sodium-soufre, utilisation des batteries de véhicules électriques: autant de solutions

L'éolien répond mal aux besoins des ménages



Durant le très froid mois de janvier 2010, la consommation électrique a atteint des records. La production éolienne n'a apporté qu'une réponse erratique à cette demande, plongeant par moments à moins de 5 % de ses capacités. Parfois, la contribution fut même quasi nulle...

encore très expérimentales. La seule technique efficace pratiquée depuis longtemps à grande échelle est le pompage-turbinage entre deux bassins d'altitude différente, tels des vases communicants. Les capacités actuelles étant limitées, des projets audacieux sont envisagés en montagne, en bord de mer, voire au large! Reste à savoir qui paiera... Bref,

le marché du stockage d'énergie est encore balbutiant. Pendant ce temps-là, a noté Dominique Finon, "notre industrie électrique n'est toujours pas prête à remettre en cause ce mode de consommation hivernal extrême", qu'elle a elle-même organisé en faisant la promotion du chauffage électrique. Tandis que l'été, la climatisation commence à poser problème...

À CONTRÔLER

Cette vitesse du vent est donc devenue un nouveau paramètre de gestion du réseau (voir courbe ci-contre): en France, "six heures à l'avance, nos prévisions montrent une marge d'erreur de 250 MW, soit une unité de centrale à charbon, ce qui est tout à fait gérable. En revanche, lorsque nous atteindrons une production de 25 000 MW, il faudra s'attendre à une incertitude de 1 000 MW et à des complications..." Ce qui se déroule déjà sur les côtes allemandes de la mer du Nord – saturées d'éoliennes – est assez éclairant.

Lorsque le vent y souffle plus fort que prévu, il arrive que les réseaux voisins, polonais, tchèques, hollandais et belges, soient involontairement inondés, voire saturés... En clair: les pays les plus richement dotés en éoliennes doivent développer des talents d'équilibriste!

Eoliennes à l'arrêt forcé

De fait, si le Danemark affiche fièrement une production éolienne équivalente à 21 % de sa consommation, "son réseau national n'est pas capable de l'absorber, et une partie est

exportée", révèle Paul-Frederik Bach, ancien directeur d'Eltra, gestionnaire du réseau danois. Les rapports les plus pessimistes estiment qu'en 2009, 57 % de cette énergie aurait été évacuée à bas prix vers des pays voisins, principalement lorsque la demande danoise était au plus bas et que le vent soufflait fort. Au point que les marchés de l'électricité nordique (Nord Pool) et allemand ont connu ponctuellement des prix... négatifs! L'opérateur étant contraint de payer une amende s'il continuait de produire. Autre phénomène

nouveau: selon Pablo Ledesma, chercheur en génie électrique à l'université Carlos III (Madrid), "lors de nuits venteuses de 2009 où la part de l'éolien dépassait 50 %, le responsable d'équilibre espagnol a été contraint de prendre le contrôle de quelques parcs éoliens pour les arrêter faute de débouchés pour écouler cette électricité". Le gestionnaire français RTE souhaite reproduire cette procédure, propre à l'Espagne. Mais pour l'heure, la loi française interdit la présence de plus de 30 % d'énergie intermittente sur le réseau français...

4 UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE INADAPTÉ

Etendue, architecture, mode d'exploitation : les codes du réseau électrique français, et même européen, sont bouleversés par l'émergence de l'éolien. Car l'image de la petite turbine individuelle plantée au fond du jardin a vécu. Aujourd'hui, 95 % des turbines sont connectées au réseau de distribution !

Admirez ici le renversement de situation : ces départementales de l'électricité, conçues pour déverser les électrons jusque dans nos foyers, vont désormais en

injecter également dans le sens inverse, vers les grandes lignes de transmission.

Sept ans d'installation

Mais surtout, comme l'explique Hervé Mignon, ces sites de production étant souvent isolés, *"cela fait de l'éolien un grand consommateur d'infrastructures : il faut construire des lignes de raccordement jusqu'à un transformateur, mais aussi renforcer le réseau existant, si possible sans remplacer de*

pylônes, ni modifier le tracé".

Une évolution de longue haleine, car la mise en place d'une nouvelle ligne prend au moins sept ans. En outre, *"à l'image de son administration, le réseau français est particulièrement centralisé et ne favorise pas cette insertion"*, note Philippe Menanteau.

Il faut prendre conscience que 80 % de l'électricité provient de dix-neuf sites nucléaires seulement (voir carte ci-contre). Par ailleurs, pour mieux gérer l'intermittence du vent et les débordements

de puissance, *"les partisans de l'éolien appellent de leurs vœux une véritable 'plaque de cuivre' européenne, c'est-à-dire un tissage très dense d'interconnexions entre les pays"*, explique Elie Bellevrat. Tandis que se profile la perspective d'un "réseau intelligent", capable de pallier les faibles garanties de l'éolien par un pilotage direct de la consommation. Qui pourrait reporter de quelques heures le démarrage d'une lessive, par exemple. Bref, il faudra donc plus de lignes à haute

5 UN PARI ÉCONOMIQUE INCERTAIN





Comme toute nouvelle forme d'énergie prometteuse, l'éolien bénéficie d'aides censées encourager son essor. L'importance de ce soutien fait cependant débat. L'électricité produite par une turbine doit être systématiquement rachetée par EDF au tarif de 86 euros par mégawattheure (MWh), pendant au moins dix ans, alors que les prix du marché oscillent actuellement entre 40 et 60 euros/MWh. EDF répercute cette différence de prix sur la facture des particuliers via une contribution au service public. Ce qui

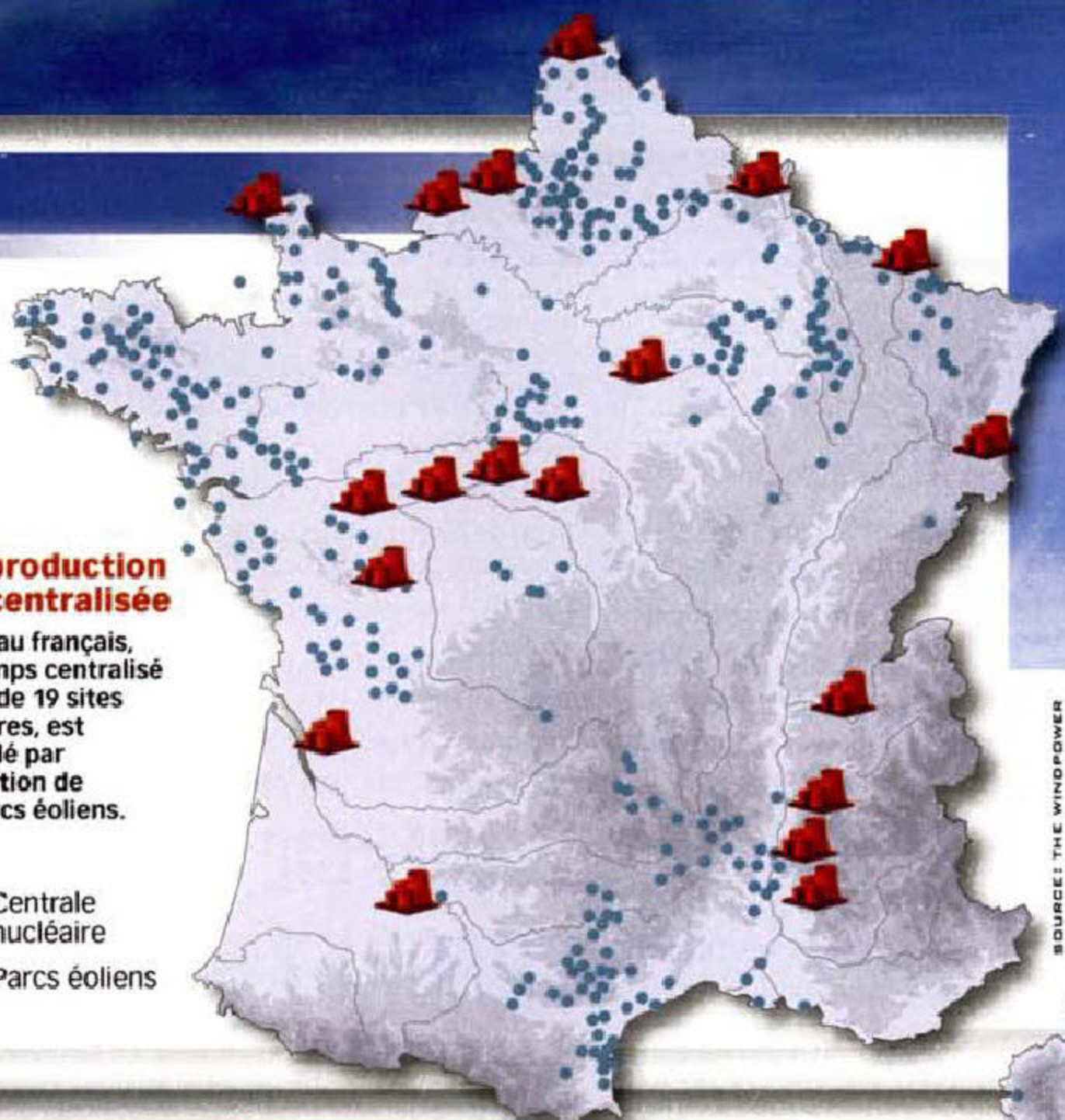
◀ Le secteur industriel de l'éolien emploie aujourd'hui 10000 personnes en France.

tension – ce qui fera grogner les riverains –, plus de réactivité, mais aussi *a priori* moins de centrales thermiques connectées au réseau. Lesquelles centrales, grâce à leur grande inertie, permettaient de stabiliser le système électrique, au contraire des éoliennes. Comme le relève Daniel Roye, du laboratoire de Génie électrique de Grenoble, *“l’insertion de ces aérogénérateurs va modifier les comportements bien connus des réseaux, demander de nouvelles études, et cela déstabilise beaucoup d’experts”*.

Une production très centralisée

Le réseau français, longtemps centralisé autour de 19 sites nucléaires, est bousculé par l’apparition de 500 parcs éoliens.

-  Centrale nucléaire
-  Parcs éoliens



fait dire à la Commission de régulation de l’énergie (CRE) qu’un parc de 17 000 MW induirait un coût de 1,7 à 2,1 milliards d’euros par an pour la société! Un surcoût que ne pourraient compenser les réductions des émissions de CO₂ (qui fait l’objet de cotations sur le marché carbone). Toutefois, d’autres institutions, comme le Centre d’analyse stratégique – ex-Commissariat général du Plan – se montrent plus nuancées. Car le déficit ou le bénéfice économique de cette électricité éolienne dépendra beaucoup de l’évolution des prix de l’électricité sur le marché européen, intimement liés aux prix du gaz. *“Dans cinq à dix ans, ces tarifs auront rejoint le niveau d’achat*

de l’éolien”, pense Dominique Finon. L’année 2008, durant la flambée des prix du baril de pétrole, en a donné un petit aperçu. Toujours est-il que *“cette énergie intermittente est une arête dans la gorge d’EDF, reconnaît le chercheur, car elle perturbe l’optimisation de son parc et entraîne des frais d’équilibrage”*.

Un marché de niche

Et le point de vue d’Elie Bellevrat (voir p. 66) s’applique à nouveau: *“L’éolien est largement subventionné, mais sa puissance n’est pas garantie. Dépasser un certain seuil d’énergie éolienne supposerait un second investissement en centrales conventionnelles. Et pose clairement la question*

de sa rentabilité dans le cadre d’un développement massif...” Sans parler du coût de l’allongement du réseau. Même si, pris isolément, ces montants seront assez modestes – le coût de l’intermittence devrait être de 3 ou 4 euros/MWh – l’éolien serait au total un moyen d’économie du CO₂ infiniment moins rentable que l’isolation thermique des habitations. Ce qui, au passage, n’empêche pas de mener ces deux programmes en parallèle. Même critique en Allemagne, où selon Manuel Frondel, de l’Institut de la recherche économique de Rhénanie-Westphalie: *“A ces niveaux de prix de rachat, il serait beaucoup plus rentable de rénover nos vieilles centrales à charbon*

ou de les remplacer par des centrales à gaz.” Ce serait oublier, un peu vite, les emplois engendrés par l’industrie éolienne! Aujourd’hui, cette filière ne mobilise en France que 10 000 personnes, essentiellement en sous-traitance, et un seul fabricant (Vergnet) spécialisé dans de modestes turbines rabattables et destinées aux zones traversées par des cyclones. Un marché de niche. D’après Philippe Menanteau, *“si les jeux sont faits sur le marché des éoliennes à terre, il demeure encore l’espoir pour les Français de conquérir celui des éoliennes offshore”*. C’est justement le pari de Jean-Louis Borloo. Un pari encore incertain...

6 UNE PRÉSENCE MAL ACCEPTÉE

Les nombreux sites ventés de France ne sont pas pour autant des "sites éoliens". Car le principal frein au développement des éoliennes, c'est le public. *"La grande majorité de nos projets font l'objet de recours, et les parcs mettent près de cinq ans à voir le jour"*, témoigne Pierre Parvex, responsable des énergies renouvelables chez GDF-Suez. A ce titre, la course de l'éolien offshore, pourtant très onéreux et techniquement balbutiant, ressemble à une fuite en règle pour s'épargner les protestations des riverains...

Une concertation tardive

C'est que la recherche, légitime, de puissance et de rendement fait brasser toujours plus d'air, toujours plus haut, là où le vent est plus fort. Résultat: des édifices de 140 m de haut près des habitations... Or, *"à la différence des Danois ou des Allemands qui se sont d'abord confrontés à de modestes éoliennes artisanales, la France est entrée dans le jeu tardivement, quand les éoliennes avaient atteint une taille industrielle"*, raconte Alain Nadaï, chercheur au Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (Cired). En outre, les projets pionniers de ces pays ouvraient des participations financières à leurs riverains, créant un attachement direct aux installations. Au contraire, dans l'Hexagone, *"la concertation avec le public*

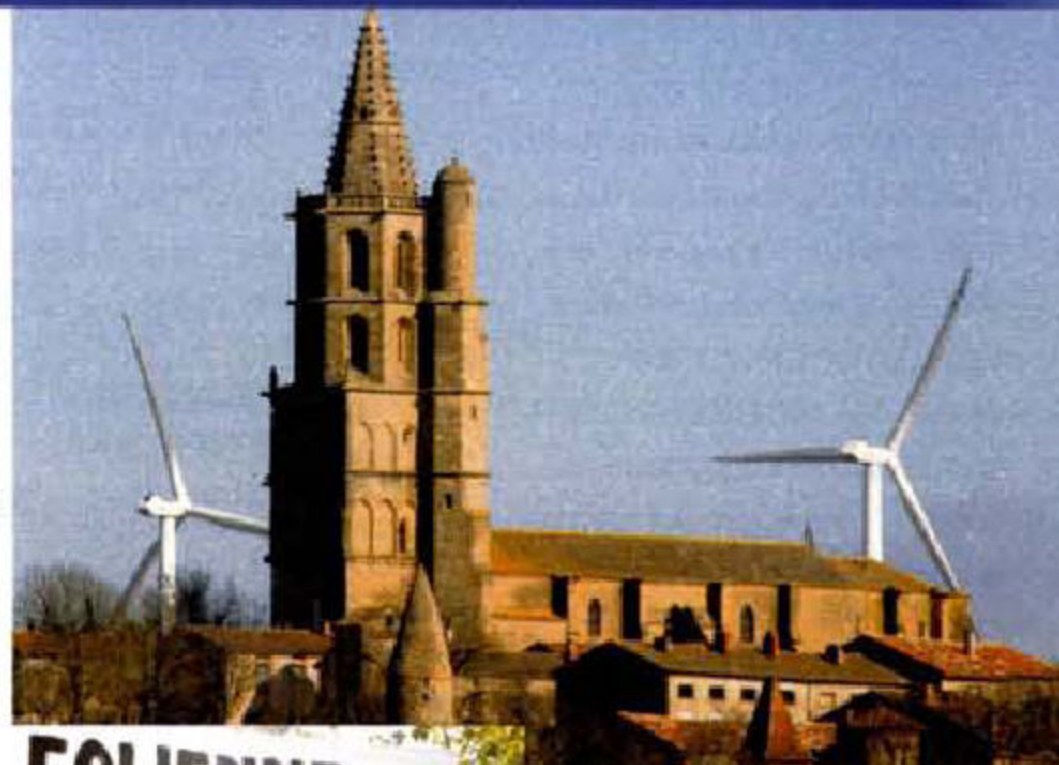
intervient trop tard dans le processus, et ne peut que faire naître les oppositions!" Au-delà du bruit, des problèmes de réception du signal TV ou de la survie des oiseaux, c'est la protection des paysages qui est l'enjeu majeur. Les nouvelles turbines, visibles en plaine à 20 km à la ronde, *"ont mis en échec la gestion paysagère à la française, par*



laquelle l'Etat fixait un périmètre de protection de seulement 500 m autour des bâtiments patrimoniaux, tel un bijou dans son écrin", détaille Alain Nadaï. *"Les Allemands, les Danois ou les Portugais ont une gestion locale des paysages, liée à l'usage plutôt qu'à la seule perception visuelle"*, complète son confrère Olivier Labussière du Cired.

Un "putsch" visuel

La question de la recomposition des paysages autour des éoliennes reste donc posée en France. D'autant que la dimension esthétique fait débat. Quand certains trouvent les



Les opposants dénoncent le caractère privé de l'éolien, et une implantation des mâts réalisée au détriment du paysage, comme ici à Avignonet-Lauragais, en Haute-Garonne.

éoliennes élégantes, l'architecte Claude Parent, de l'Académie des beaux-arts, leur reproche *"de ne pas respecter l'échelle du paysage: elles prennent le pouvoir visuel dans notre ciel!"* Certes, mais en leur temps, les grands barrages et les centrales nucléaires n'avaient-ils pas suscité une fronde comparable? Pas exactement. D'abord, leur impact était plus localisé, alors que les éoliennes sont disséminées dans tout l'espace rural. Ensuite, *"quand EDF expropriait pour installer ses ouvrages, on parlait de politique d'Etat, d'intérêt public. L'éolien a, lui, un caractère privé"*, analyse Olivier

Labussière. Enfin, souligne Alain Nadaï, *"la pertinence et l'utilité de l'éolien sont encore remises en question"*. Et ce, alors que la France doit planter 5000 mâts d'ici à 2020... Car voilà bien la crainte inscrite en toile de fond, selon Paul Selman, spécialiste des paysages à l'université de Sheffield: *"Peut-être que même après avoir couvert la moitié du pays de turbines, cela ne sera pas suffisant. Et si nous obtenions le pire des deux mondes: des paysages remplis d'éoliennes, et toujours plus de centrales nucléaires et à charbon?"* Au bout du compte, la limitation de notre consommation électrique reste la meilleure solution pour conjurer cette vision. Ce qui sera au moins aussi douloureux à accepter que des éoliennes dans un paysage bucolique...

TARIF EXCEPTIONNEL

ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE



1 AN - 12 NUMÉROS
35 €
au lieu de 50,40 €*
SEULEMENT

BULLETIN D'ABONNEMENT À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - 1, RUE DU COLONEL PIERRE AVIA - 75503 PARIS CEDEX 15

C111

☒ **Oui, Je profite de votre offre exceptionnelle :**
1 AN - 12 numéros pour **35 €** au lieu de ~~50,40 €~~*
soit plus de 30% de réduction.

☐ **12 n° + les 4 Hors-séries pour**
49 € au lieu de 70 € soit plus de
30 % de réduction



Je règle par :

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

N°

Expire à fin

Code Crypto

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

Voici mes coordonnées :

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code Postal :

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

ABONNEZ-VOUS EN LIGNE SUR LE SITE

www.kiosquemag.com

C'EST RAPIDE, PRATIQUE, FACILE ET SÉCURISÉ

*Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/11/2010. Après enregistrement de votre demande, vous recevrez sous 3 semaines votre premier numéro. Vous disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978, cette opération donne lieu à la collecte de données personnelles pour les besoins de l'opération ainsi qu'à des fins de marketing direct. Ces informations sont nécessaires pour le traitement de votre commande. Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant ainsi que d'un droit d'opposition, en écrivant à l'adresse ci-dessus. 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, merci de nous en faire part.



TRANSPORT

Par Lucas Farcy

La voiture volante n'est plus un rêve



Légère, robuste et fiable : la voiture volante s'apprête à décoller. Loin des engins difficilement pilotables imaginés au siècle dernier, ce rêve fou d'ingénieur devra toutefois surmonter quelques obstacles pour s'incarner durablement.

Imaginez-vous dans votre voiture volante, prêt à décoller de la route au-dessus des bouchons et à rejoindre votre lointaine destination... Eh bien, après un siècle de désillusions et des dizaines de tentatives avortées, ce rêve est aujourd'hui réalité. La voiture volante existe : elle est américaine et porte le nom de *Transition*.

Depuis le succès de son premier vol test, en mars 2009, l'appareil avait reçu l'autorisation de voler dans la catégorie "avion sportif léger", réservée aux engins de moins de 600 kg. Au mois de juillet dernier, la Federal →



Les 3 atouts de Transition pour relever le défi

UN GABARIT COMPACT

Sa largeur de 2,30 m lui permet de s'insérer dans la circulation routière. Et lorsqu'il veut s'envoler, le conducteur déploie les ailes en pressant un bouton: en moins de 30 secondes, son envergure atteint 8 mètres.



→ Aviation Administration (FAA) a finalement accordé une dérogation l'autorisant à s'alourdir de 50 kg. Un point crucial. Car, comme l'explique Anna Dietrich, directrice des opérations de Terrafugia, la société qui a mis au point cet appareil, à Woburn, dans le Massachusetts, ces kilos supplémentaires lui permettront d'obtenir le droit de circuler sur la route: "Avec cette dérogation, nous pourrions intégrer dans Transition des équipements de sécurité indispensables", comme des airbags ou une carcasse plus résistante, exigés par le Département des transports américain.

Cette voiture volante, dont le nouveau design adapté à cette dérogation a été présenté le 26 juillet dernier, a ainsi les caractéristiques d'un véhicule bien réel: quatre roues, deux sièges, deux ailes dépliables, un aileron arrière, pour un poids total, donc, de 650 kg, occupants et carburant compris. Il peut voler à 160 km/h et rouler jusqu'à 110 km/h. Le rêve à portée de volant.

UN FANTASME D'INGÉNIEUR

Car ce rêve enfin matérialisé a une longue genèse. Depuis l'Avion-automobile de René Tampion, en 1921, de nombreux engins capables de sillonner à la fois les airs et la route ont été construits (voir pages suivantes). Dans les années 1950, durant ce que l'on a appelé l'"âge d'or des voitures volantes", certains appareils, comme l'Airphibian ou l'Aerocar, ont même frôlé le succès. Mais, avec leurs ailes démontables, leur manque de fiabilité et leur prix excessif, ils ont été finalement remis à la casse ou au musée.

C'est pour faire revivre ce fantasme d'ingénieur qu'Anna Dietrich, Carl Dietrich et Samuel Schweighart ont fondé l'entreprise Terrafugia, il y a quatre ans. Et, afin de ne pas se lancer dans un énième projet sans avenir, ces trois anciens étudiants du MIT férus d'aviation se sont inspirés des échecs du passé. Le premier point clé a été de choisir le design de l'appareil. Plutôt que des ailes démontables, ils optent pour des pliables. Pour ne pas gêner la visibilité du conducteur

UN MOTEUR POLYVALENT

L'engin est propulsé par un moteur d'avion à quatre temps, le Rotax 912S, alimenté par du carburant sans plomb. Lorsqu'il est dans les airs, ce moteur ne propulse que l'hélice, à l'arrière de la carlingue, et quand il est sur la route, il n'entraîne que les roues.



sur route, ils placent l'hélice à l'arrière. Et optimisent l'aérodynamisme de l'engin en soufflerie.

Deuxième point crucial, le matériau, qui doit être le plus léger et le plus résistant possible. Ils choisissent la fibre de carbone, notamment utilisée dans les boucliers thermiques des navettes spatiales. Puis l'équipe choisit un moteur d'avion, le Rotax 912S, qui fait tourner l'hélice lorsque les ailes sont déployées et les roues quand le véhicule prend la route, ailes repliées. Avec ce moteur, qui carbure au sans plomb, le plein peut même être fait dans une station-service!

Il faut aussi que l'appareil soit facile à piloter, contrairement à la plupart des prototypes du passé, dans lesquels seul leur concepteur casse-cou osait monter. D'où l'importance de rester dans la catégorie des "avions sportifs légers", dont la licence est facile à obtenir. "En vingt heures de cours, vous pouvez prendre les commandes", explique Anna Dietrich.

Bien sûr, la dernière condition du succès est d'ordre économique et culturel. Existe-t-il un marché pour les voitures volantes? Le XXI^e siècle paraît en tout cas propice: le transport aérien est entré dans les mœurs et les longs déplacements de ville en ville sont monnaie courante. Pour autant, ce rêve d'ingénieur répond-il à un besoin? Patrick J. Gyger, directeur



DES MATÉRIAUX LÉGERS

La structure en fibre de carbone permet d'optimiser les deux contraintes de légèreté et solidité. Avec un poids de 650 kg, passager et carburant compris, l'appareil est deux fois plus léger qu'une Mini.

du musée de la Science-fiction, de l'utopie et des voyages extraordinaires d'Yverdon-les-Bains, en Suisse, et auteur du livre *Les voitures volantes, souvenirs d'un futur rêvé* (éd. Favre, 2005), en doute: "Au mieux, Transition sera vendue à quelques exemplaires et restera un divertissement de riche", estime-t-il. En revanche, Michel Aguilar, concepteur de l'*Xplorair*, un autre projet en gestation (voir encadré), pense que "le rêve de s'envoler à bord de sa voiture est de plus en plus prégnant. Une ville comme celle du film *Le cinquième élément* n'est pas pour tout de suite, mais nous y allons."

LES COMMANDES SONT DÉJÀ OUVERTES

Chez Terrafugia, l'engin est principalement destiné aux pilotes d'avions, qui, une fois posés sur un aéroport, peuvent, avec le même appareil, prendre la route pour rejoindre leur destination finale. Mais cet engin sera-t-il un jour considéré comme le pionnier d'une vaste gamme de voitures volantes qui auront envahi le bitume et les nuages et révolutionné nos modes de locomotion? Le pari reste incertain.

Terrafugia prévoit de commercialiser ses premiers modèles à la fin de 2011. En attendant, les plus impatients peuvent déjà passer commande en versant un acompte de 10 000 \$, pour un coût total de près de 200 000 \$. Le rêve a donc un prix. Cela prouve au moins qu'il est devenu réalité. →

Quelle allure aura la voiture volante de demain?

Plusieurs équipes d'ingénieurs planchent actuellement sur un avion à décollage vertical avec l'espoir que des premiers prototypes pourront décoller d'ici deux à quatre ans. En fait, toute la difficulté réside dans la capacité à élever un engin dans le ciel sans qu'aucune grande hélice, incompatible avec un usage urbain, assure la propulsion et le maintien en équilibre. L'une des entreprises les plus avancées est l'américaine Moller, avec sa *Skycar M400* (photo). Ce prototype, conçu en matériaux composites, est propulsé par huit moteurs rotatifs (deux par nacelle) et huit vannes qui permettent d'éjecter l'air dans une direction donnée. Alimenté en éthanol, il est censé pouvoir voler à 490 km/h, avec une autonomie de 1 200 km. Problème: inventé il y a trente ans, ce concept n'a pour l'instant jamais décollé du sol, sauf accroché à une grue! "Nous sommes en train d'intégrer un moteur plus puissant et de nouveaux composants électroniques, qui devraient garantir un meilleur maintien en équilibre. Ensuite, nous lancerons des tests pour faire un premier vol en 2012", annonce Bruce Calkins, le responsable de Moller. En Israël, c'est le constructeur Urban Aeronautics qui est en phase de tests avec *X-Hawk*, un véhicule doté de deux mini-hélices. Enfin, en France, l'ingénieur Michel Aguilar a imaginé *Xplorair*, un avion qui pourrait s'extraire du sol grâce à un propulseur inédit, intégré dans ses ailes: "Mon thermoréacteur pourra éjecter des gaz à très grande vitesse sur le dessus des ailes. Ces gaz suivront le contour de l'avion et participeront au décollage, selon un phénomène bien connu en aéronautique, l'effet coanda." Dans quatre ans, l'expert espère faire voler son engin à une vitesse de croisière de 200 km/h et avec 500 km d'autonomie. **M.V.**



▲ La Skycar M400 de la société Moller.

1921 **LES PIONNIERS**

Les avions commencent à peine à voler que certains les font déjà rouler. Lors de l'exposition internationale aéronautique de Paris, le Français René Tamié présente la première voiture volante de l'histoire. Son *Avion-automobile* fait sensation: une fois qu'il en a replié les ailes, le pilote n'a qu'à se retourner pour prendre la route, la queue en avant. Le prototype finit au musée.



▲ L'Avion-automobile de René Tamié.

Un siècle d'échecs mouvmentés

> L'Arrowbile de Waldo Waterman.



1920
1930

DES DÉBUTS DIFFICILES

Le rêve a du mal à décoller. En 1937, l'Américain Waldo Waterman fait voler pour la première fois son *Arrowbile* doté d'une paire d'ailes démontables et d'une petite cabine. Comme les autres modèles d'alors, cette voiture volante rencontre des problèmes de fiabilité, qui signent sa fin.

1940
1950

L'ÂGE D'OR

Au sortir de la guerre, modernité et aéronautique fascinent: les voitures volantes peuvent décoller. Le projet le plus abouti est alors l'*Aerocar* de l'Américain Molt Taylor, avec ses ailes qui s'accrochent à l'arrière. L'engin réussit son premier vol en 1950 et est autorisé à circuler six ans plus tard mais, faute d'investisseurs, seuls →



▲ L'Aerocar de Molt Taylor.

→ six exemplaires sont construits. La première voiture volante à obtenir les autorisations est en fait l'*Airphibian*, en 1950, avec ses ailes décrochantes. Mais ses performances limitées le condamnent. D'autres projets voient le jour, comme la Jeep volante de l'armée américaine, ou le SAC Aerocar de Theodore Hall, que *Science & Vie* présenta alors à ses lecteurs.

L'ÂGE D'OR



POLIO JUGULÉE



L'Airphibian de Robert Fulton.



1960
1990

LA FIN DE L'OPTIMISME

Après les échecs commerciaux des années 1950, le rêve de la voiture volante a du plomb dans l'aile. Quelques rares projets voient le jour, mais le crash de l'AVE Mizar, le 11 septembre 1973, qui coûte la vie à son concepteur ainsi qu'à son pilote, met fin à ces tentatives.



> L'AVE Mizar d'Henry Smolinski.



> Le PAL-V de John Bakker.

2000

LA RENAISSANCE

Avec l'arrivée du XXI^e siècle, la voiture volante a de nouveau le vent en poupe.

Son look se fait plus radical. De nombreux modèles sont conçus, tel le PAL-V, que ses concepteurs néerlandais imaginent reconverti en ambulance volante,

ou l'américain Switchblade, dont les courtes ailes se cachent sous le véhicule.

> Le Switchblade de la société Samson Motorworks.



Les astronomes s'interrogent depuis plus de trente ans sur la présence dans le système solaire primitif d'aluminium 26, un composé radioactif aujourd'hui disparu. Selon des chercheurs français, il nous aurait été légué par une étoile massive en fin de vie, après une longue course hors de son berceau stellaire. De quoi établir un nouveau modèle de la naissance du Soleil...

REPÈRES

Naissance du Soleil

Enfin un scénario convaincant

Par Julien Bourdet



NASA, ESA, C. EVANS (ROYAL OBSERVATORY, EDINBURGH), N. WALBORN (STSC), ESO

C'était il y a presque 5 milliards d'années. Filant seule à plus de 46 000 km/h dans l'espace interstellaire, une étoile géante, partie depuis 5 millions d'années de son amas d'origine, explose. L'onde de choc de cette "supernova" est si puissante qu'autour d'elle de gigantesques nuages de gaz s'effondrent sur eux-mêmes.

PRÉCIEUSES MÉTÉORITES

Réduite à une boule de neutrons hyperdense, elle poursuit sa route, moribonde. Mais sa mort n'aura pas été vaine. Car 300 000 ans plus tard, ces nuages effondrés et enrichis par toute la matière que la fuyarde a expulsée dans l'espace finiront par s'allumer... en étoiles. Et parmi ces étoiles, notre Soleil, et son cortège de

➤ Observée par *Hubble*, cette étoile massive (en bleu, ci-contre) a fui son amas d'origine (à g.). C'est une déserteuse comme celle-ci qui aurait accouché du système solaire.

planètes. Notre système solaire serait donc né de la mort d'une étoile de passage. C'est en tout cas le scénario que vient d'élaborer l'équipe d'astronomes français dirigée par Vincent Tatischeff, du Centre de spectrométrie nucléaire et de spectrométrie de masse (CSNSM), à Orsay (Essonne). Une histoire étonnante qui, si elle se confirme, ferait de notre étoile – et donc de nous-mêmes – une rareté dans l'Univers.

Les traces de cette histoire céleste, les chercheurs les ont retrouvées sur Terre, au sein des météorites. Certaines

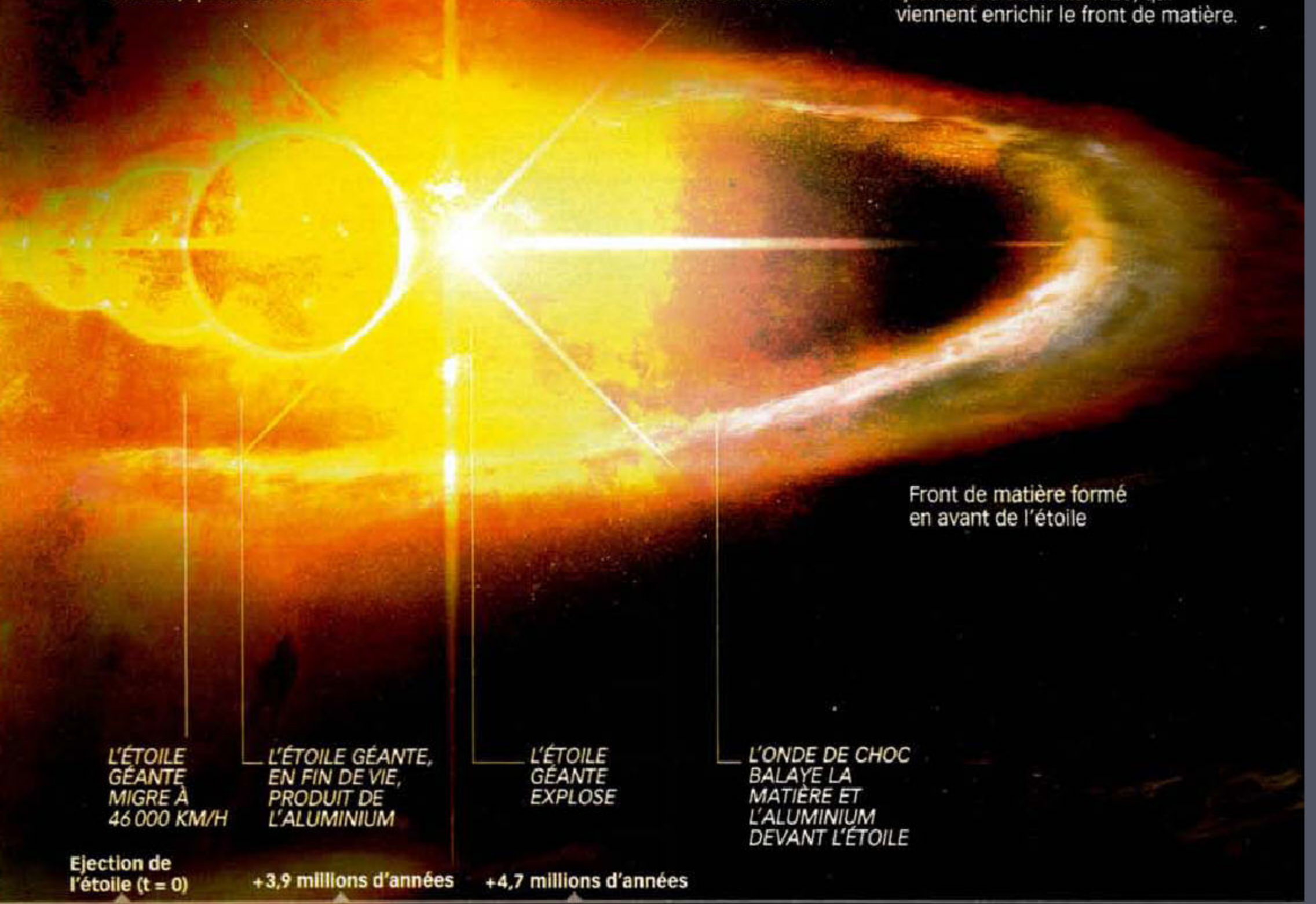
d'entre elles, les chondrites, gardent en effet la mémoire des débuts du système solaire, ayant emprisonné les premiers solides à s'y être formés, il y a environ 4,56 milliards d'années. Dans ces grains microscopiques, un composé en particulier ne cesse d'intriguer les astronomes depuis sa découverte, il y a plus de trente ans, dans la météorite Allende : le magnésium 26. Toutes les analyses réalisées depuis sur d'autres météorites arrivent à la même conclusion : cet élément a été produit par la désintégration radioactive de l'aluminium 26, aujourd'hui totalement →

Comment une étoile fugueuse aurait engendré notre Soleil

1 Une étoile fuit à toute allure son amas stellaire
Ejectée par une voisine, une étoile géante (60 masses solaires) quitte son berceau.

2 Devant l'étoile, un front de matière s'accumule
Dans sa fuite, l'étoile pousse et accumule devant elle le gaz interstellaire rencontré sur sa route.

3 En fin de vie, l'étoile produit massivement de l'aluminium
Durant son dernier million d'années, l'étoile géante expulse de grosses quantités d'aluminium 26, qui viennent enrichir le front de matière.



L'ÉTOILE GÉANTE MIGRE À 46 000 KM/H

L'ÉTOILE GÉANTE, EN FIN DE VIE, PRODUIT DE L'ALUMINIUM

L'ÉTOILE GÉANTE EXPLOSE

L'ONDE DE CHOC BALAYE LA MATIÈRE ET L'ALUMINIUM DEVANT L'ÉTOILE

Front de matière formé en avant de l'étoile

Ejection de l'étoile (t = 0)

+3,9 millions d'années

+4,7 millions d'années

→ disparu. Seulement voilà : comment expliquer qu'un élément dont la durée de vie est très courte (la moitié des atomes d'aluminium 26 avaient déjà disparu 720 000 ans après la formation du Soleil) était justement présent pile au début du système solaire ? Un vrai casse-tête. "Certains affirmaient que le Soleil, extrêmement agité à ses débuts, aurait irradié le disque protoplanétaire et créé rapidement l'aluminium 26, explique Vincent Tatischeff.

Mais cette vision ne tient plus la route." Pour le prouver, nos chercheurs ont étudié à la loupe l'activité de toutes jeunes étoiles comparables à ce que devait être le jeune Soleil, évaluant la quantité d'aluminium qu'elles étaient capables de fabriquer par leurs bouffées de rayons X. Leur verdict est tombé : "Dans sa prime jeunesse, notre étoile n'était pas assez puissante pour produire le composé radioactif dans les quantités observées au sein des météorites. La seule

solution possible est que l'aluminium ait été apporté juste avant la naissance du Soleil par une source extérieure, proche de lui : une étoile massive en fin de vie, la seule capable de synthétiser cet élément dans de grandes proportions." D'où l'héroïne du scénario élaboré par Vincent Tatischeff, cette fameuse étoile massive explosant en supernova, et présidant à la naissance du système solaire. Cette découverte de taille pourrait bien être l'épilogue d'un long débat qui fait

4 Une onde de choc concentre la matière

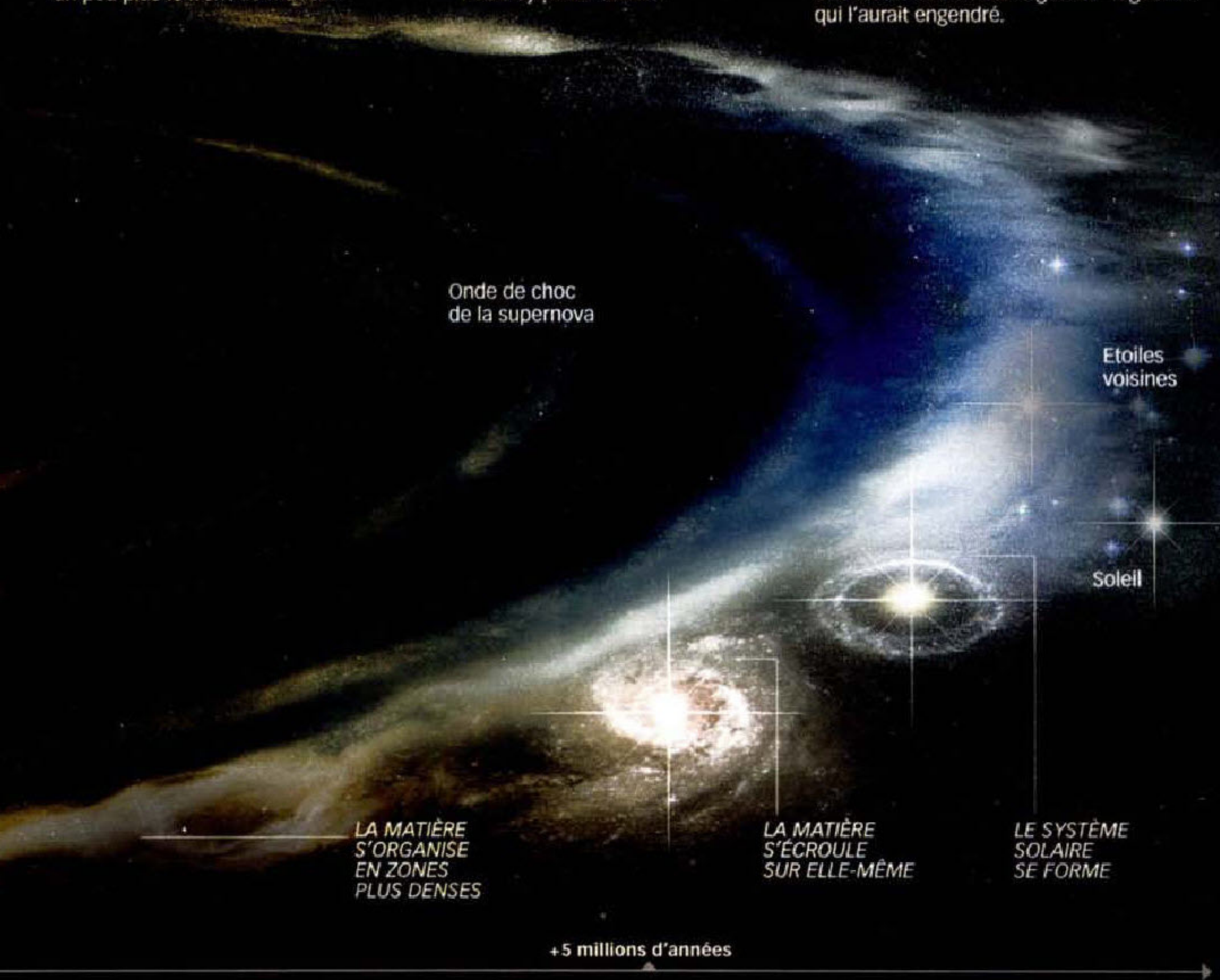
4,7 millions d'années après avoir quitté son amas, l'étoile explose en supernova. L'onde de choc se répand dans le cosmos et densifie un peu plus le front de matière.

5 Des étoiles naissent de la matière contractée

Dans le nuage densifié, des grumeaux se forment. Ce sont de futurs amas stellaires au sein desquels naîtront des étoiles, et notre système solaire.

6 Le système solaire primitif contient de l'aluminium

En expliquant la présence d'aluminium 26 dans de très anciennes météorites, ce scénario suggère que le système solaire hébergea très tôt des éléments radioactifs. Une rareté due à l'étoile géante "fugueuse" qui l'aurait engendré.



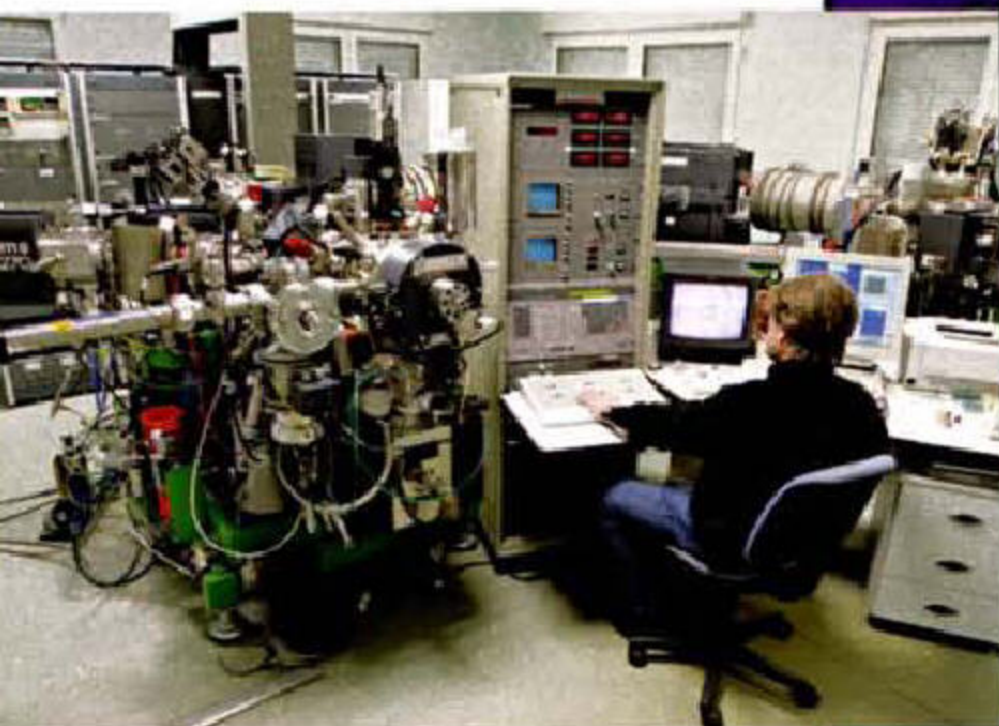
rage parmi les astronomes depuis plus de trente ans: le système solaire est-il né de façon "autonome", ou bien aux côtés d'une supernova?

THÉORIES SANS CESSÉ RÉFUTÉES

Reprenons depuis le début. Tout commence en 1976, avec, on l'a vu, la découverte de l'aluminium 26 dans la météorite Allende. Certains astronomes soupçonnent déjà une étoile d'avoir explosé à proximité du

berceau du Soleil, enrichissant d'une multitude d'éléments (dont l'aluminium 26) la nébuleuse de gaz qui, en se contractant, allait donner naissance à notre étoile. Plus incroyable encore: l'onde de choc de l'explosion aurait été le déclencheur même de la formation du Soleil. Car en comprimant la matière de la nébuleuse, elle l'aurait fait s'effondrer sur elle-même. Mais l'idée est loin de faire l'unanimité, "d'abord parce qu'on s'est aperçu que l'immense

majorité des étoiles ne naissent pas aux abords d'une supernova, explique Thierry Montmerle, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Et puis on a constaté qu'une étoile massive n'éjectait pas de l'aluminium 26 seulement lors de son explosion, mais tout au long de sa vie, et notamment au cours d'une phase particulièrement active, baptisée 'Wolf-Rayet', qui précède la supernova". Une nouvelle découverte relance le débat en 1988: la présence, dans →



▲ En 2009, la sonde ionique de ce laboratoire de Nancy a permis de percer le cœur de la météorite Semarkona...

> ... pour découvrir que ce caillou primitif recélait, comme Allende, du magnésium 26, résultant de la désintégration radioactive de l'aluminium 26 présent dans tout le jeune système solaire.



→ plusieurs météorites, de descendants d'un autre élément radioactif, le fer 60. Cette fois, les scientifiques en sont persuadés: de par sa structure atomique, le fer 60 n'a pu être produit qu'au cours d'un phénomène violent. Et revoilà la supernova. Cependant, un autre problème surgit: les simulations montrent que la matière éjectée par l'étoile géante s'incorpore difficilement au berceau de gaz d'une étoile. Impossible, donc, d'expliquer par ce biais la quantité d'éléments radioactifs présents dans le système solaire naissant. Les astronomes imaginent alors une fécondation du système solaire... juste après sa naissance. Hélas, l'idée ne tient pas non plus. "Il faudrait que la supernova ait explosé très près du Soleil, à une année-lumière environ, précise Vincent Tatischeff. Et dans ce cas, le disque protoplanétaire du Soleil

aurait été évaporé par le fort rayonnement ultraviolet de l'étoile avant qu'elle n'explose." Les planètes auraient été ainsi tuées dans l'œuf.

Qu'à cela ne tienne: certains astronomes imaginent non plus une, mais plusieurs supernovae à l'origine du Soleil. Et cette fois, elles restent à distance. En explosant les unes après les autres, elles enrichissent progressivement de leur matière le berceau de notre étoile, et compriment au passage par leurs ondes de choc le gaz interstellaire qui finit par s'écrouler sur lui-même. "Mais ce scénario présente une faille, juge Vincent Tatischeff. Dans l'amas où se trouvent ces supernovae, il y a environ un millier de membres. Rapidement, l'activité conjuguée de tous ces astres crée une gigantesque bulle de gaz chaud d'une centaine d'années-lumière de rayon, dans laquelle aucune

nouvelle étoile ne peut voir le jour. Le Soleil n'a donc pu apparaître qu'au-delà de cette frontière, dans le milieu interstellaire froid. Le fer 60, avec une durée de vie relativement longue (2,5 millions d'années), a eu le temps d'arriver dans cette région, mais pas l'aluminium 26, à la durée de vie bien trop courte pour être transporté sur une centaine d'années-lumière!"

ALUMINIUM EMBARQUÉ

C'est pour résoudre ce dernier paradoxe que Vincent Tatischeff a élaboré son nouveau modèle de l'étoile "fugueuse". Pour lui, si l'aluminium n'a pas pu faire le voyage, c'est qu'une étoile l'a fait... à sa place. Une étoile qui s'est enfuie de l'amas juste après sa naissance. L'idée n'est pas farfelue: on connaît des exemples de telles étoiles vagabondes dans notre galaxie. Des astres, pensent les



▲ Sur cette coupe colorisée de la météorite : le trou formé par la sonde. Les chercheurs y entraperçoivent l'histoire de notre étoile.

astronomes, éjectés de leur groupe soit par l'explosion d'une étoile voisine, soit à la suite d'un passage serré aux abords d'un comparse, qui a fait office "d'effet de fronde" (l'étoile étant attirée, puis déviée et propulsée à toute allure). La suite de l'histoire est une succession d'événements très précis. Après une course effrénée de 4 millions d'années, la fuyarde sort enfin de l'énorme bulle chaude évoquée plus haut. Devenue une étoile de "Wolf-Rayet", elle se met alors à éjecter de grandes quantités de gaz riche en aluminium dans le milieu interstellaire. L'élément radioactif n'a aucun mal à se mélanger à la nébuleuse, car du fait de la grande vitesse de l'étoile, il se crée à l'avant de l'astre une zone turbulente où toute la matière est remuée. Puis c'est l'explosion en supernova, qui finit le travail, si l'on peut dire : elle ensemeince le milieu

QUAND L'ÉTOILE SOLAIRE AVAIT DE NOMBREUSES VOISINES

A sa naissance, le Soleil n'était pas seul, mais entouré de centaines d'étoiles serrées les unes contre les autres. Comment les astronomes le savent-ils ? D'abord parce que la grande majorité (90 %) des étoiles de type solaire observées apparaissent dans des amas de 100 étoiles ou plus. Preuve plus directe : la présence dans le système solaire d'objets découverts au-delà de Pluton, comme Sedna, et

possédant des orbites très elliptiques. Ils se seraient formés bien plus près du Soleil qu'ils ne le sont actuellement, avant d'être perturbés par une de ces étoiles voisines. Dernier argument en date : les comètes provenant de la lointaine périphérie du système solaire, le nuage de Oort. Les modèles montrent que ce nuage est composé de plus de comètes que le disque protoplanétaire n'a pu en

produire. Grâce à des simulations numériques, des chercheurs ont établi que la plupart de ces comètes étaient d'origine extrasolaire. Notre étoile les aurait volées à ses voisines, quand elles étaient encore proches. Et aujourd'hui, où sont-elles ? Personne ne peut le dire : chacune est partie de son côté de façon chaotique, quand le gaz de la nébuleuse qui les maintenait s'est dissipé.

d'autres constituants (dont le fer 60), tout en provoquant l'effondrement du nuage de gaz.

Complet, ce nouveau modèle de la naissance du Soleil est particulièrement convaincant. Car pour la première fois, un scénario parvient à expliquer la présence de l'aluminium dans le système solaire primitif. Et ce, sans qu'aucune observation ne vienne le contredire. Seule critique formulée

dans les météorites. Si leur scénario se confirme, cela voudrait dire que le système solaire est un des rares à avoir hébergé des éléments radioactifs très tôt dans son histoire. Certains astronomes affirment même que la présence de ces éléments y aurait joué un rôle fondamental dans le développement de la vie. Source de chaleur intense, ils auraient fortement chauffé les embryons de planètes, qui auraient

Ces éléments radioactifs pourraient être liés au développement de la vie

par ses opposants : la probabilité d'un tel scénario serait trop faible pour qu'il ait eu lieu. Mais Vincent Tatischeff ne se démonte pas. "Dans notre galaxie, on recense moins d'un millier de ces étoiles Wolf-Rayet. Et parmi elles, on estime que 20 % ont fugué de leur amas d'origine. Certes, cela constitue un événement rare, mais pas du tout exceptionnel."

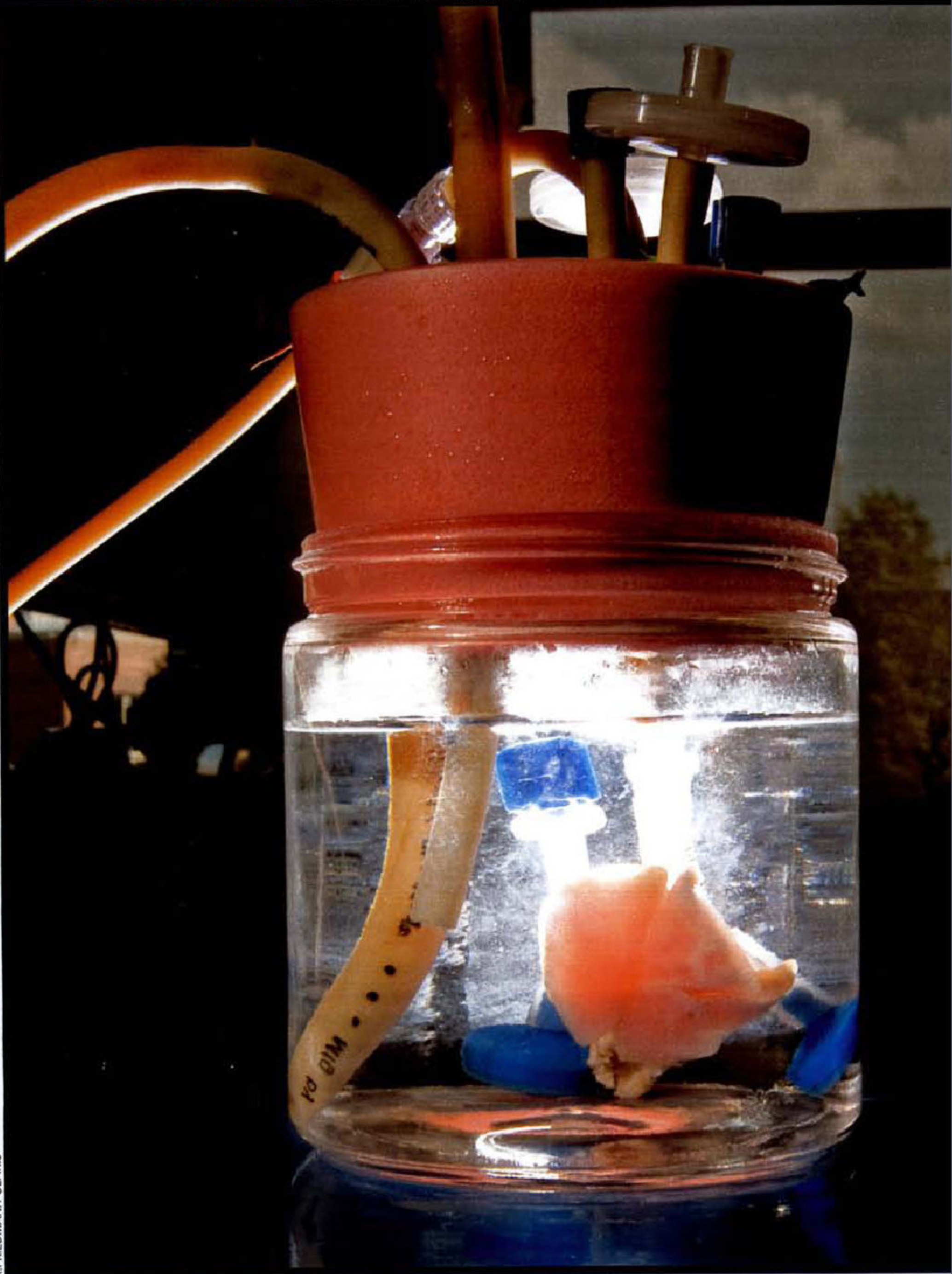
Pour aller plus loin, nos chercheurs confronteront bientôt leur hypothèse à un autre élément radioactif et à la durée de vie plus courte encore, le béryllium 10, que l'on retrouve aussi

alors perdu une partie de leur eau. Et conduit à des planètes constituées à la fois d'océans et de continents, et non pas à des mondes recouverts uniquement d'eau comme on pense qu'il en existe autour d'autres étoiles. Plusieurs millions d'années avant l'apparition du Soleil et de ses planètes, une étoile vagabonde avait peut-être scellé notre destin. ■



➤ EN SAVOIR PLUS

Le Soleil, la Terre... la vie, M. Gargaud, H. Martin, P. López-García, T. Montmerle et R. Pascal, Belin 2009



Depuis les années 1990 et la découverte de cellules souches chez l'homme, la médecine régénérative promettait de répondre à la pénurie d'organes pour les transplantations. Mais fabriquer un foie, un cœur ou un poumon ex nihilo restait une utopie. Jusqu'à ce qu'en 2008 des biologistes américains réussissent à cultiver des organes de rongeurs sur une "matrice" naturelle. Puis, récemment, à les greffer avec succès...

Cultures d'organes

Elles vont révolutionner les greffes

Par Marine Corniou

« Ce poumon de rat a étéensemencé de cellules souches et mis en culture dans un bioréacteur. Huit jours plus tard, il est tapissé de nouvelles cellules et prêt pour la greffe.

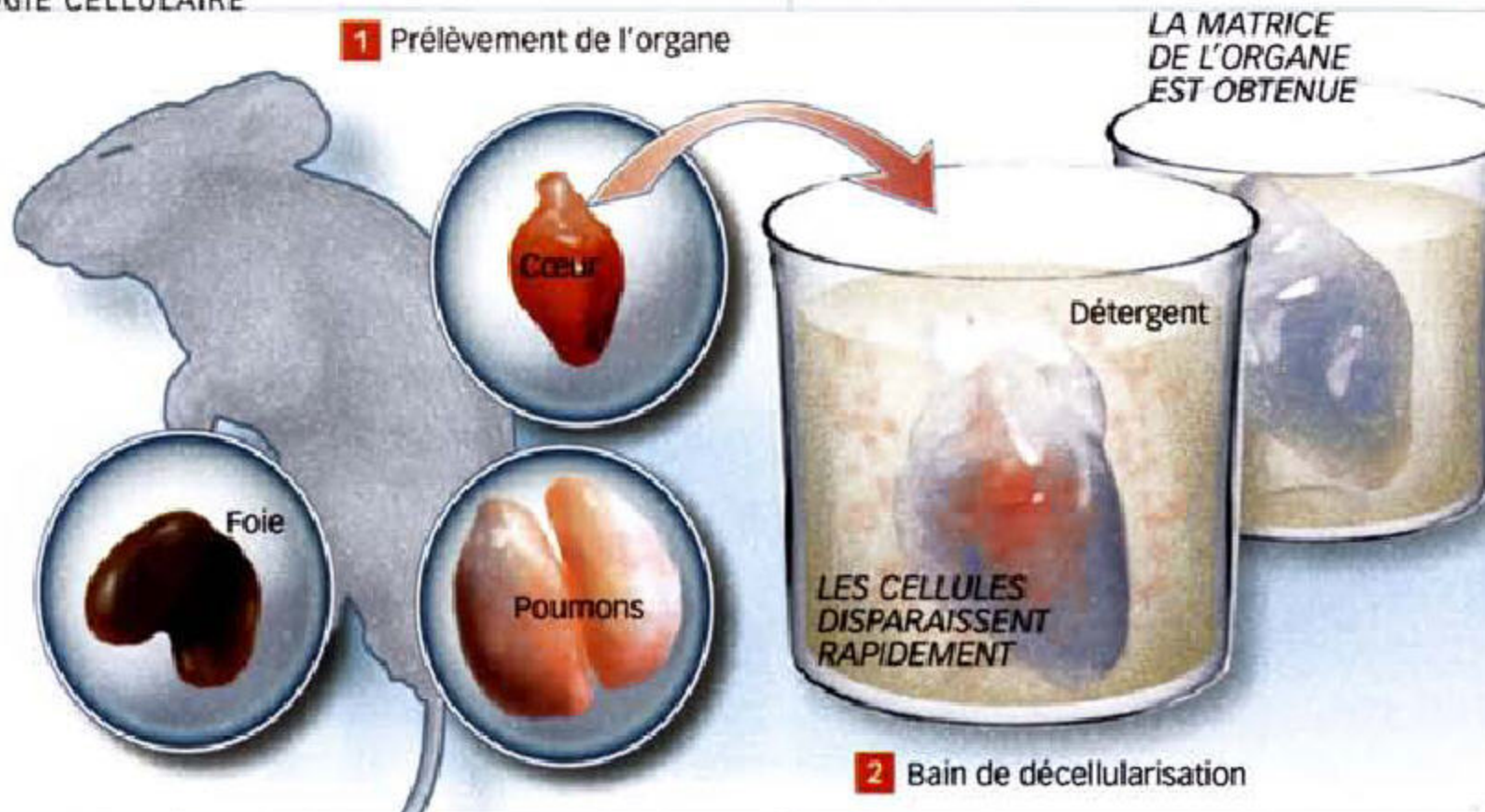
Transplanter un organe fabriqué sur mesure à partir de cellules cultivées en laboratoire... Il y a encore cinq ans, l'idée relevait de la science-fiction. Mais ces derniers mois, grâce à une ingénieuse technique de culture cellulaire, la réalité a dépassé la fiction. Pour la première fois, en effet, deux équipes américaines ont annoncé coup sur coup avoir réussi, chez le rat, la greffe d'un foie et de poumons entièrement recréés par leurs soins. Et déjà, une troisième équipe se prépare à réitérer la prouesse avec un cœur de rat cultivé en laboratoire. En

transplantant avec succès des organes aussi complexes, les biologistes font la preuve qu'ils maîtrisent enfin une technique capable de répondre à la grande espérance soulevée par la médecine régénérative depuis les années 1990 : en finir avec la pénurie d'organes, en fournissant à volonté des pièces de rechange pour les malades.

Si depuis des décennies, les chercheurs savent cultiver n'importe quel type de cellules sur une surface plane, ils peinaient jusqu'ici à structurer ces cellules en trois dimensions pour recréer un organe fonctionnel. Ce →

Cinq étapes pour cultiver un organe

L'organe d'un animal décédé est trempé quelques heures dans un "détergent" qui élimine toutes ses cellules. Sur un autre animal, vivant celui-ci, sont prélevées des cellules souches qui sont ensuite semées dans la charpente de l'organe nettoyé. Leur croissance est stimulée dans une solution nutritive, et l'organe, ressuscité en une semaine, peut être transplanté.



→ n'est pourtant pas faute d'avoir essayé. Partout dans le monde, des équipes tentent de construire des charpentes en polymères, copiant grossièrement la structure d'un cœur ou d'un rein, pour y faire pousser des cellules et reconstituer un organe "bioartificiel". Avec des résultats peu convaincants, la plupart des organes réels ayant une structure tridimensionnelle trop complexe à imiter... Une impasse qui a mis les scientifiques sur une autre voie: puisque la nature fait si bien les choses, inutile de chercher à l'imiter.

Plutôt que de synthétiser une charpente artificielle, mieux vaudrait récupérer l'armature naturelle qui soutient les cellules au sein des divers organes.

Cette armature, la matrice extra-cellulaire, est une sorte de maillage en 3D constitué de protéines plus ou moins rigides. En éliminant les cellules qui s'y trouvent, il serait possible de

Recrétés puis greffés sur un autre animal, des poumons de rat "respirent"

recupérer la matrice de n'importe quel organe mort pour y "semer" des cellules neuves, qui donnent une seconde vie à l'organe. Une sorte de recyclage biologique...

Le premier grand succès de cette technique date de fin 2008, lorsqu'une équipe de Barcelone réalise une greffe de trachée inédite sur une femme atteinte de tuberculose. Ilsensemencent d'abord une structure de trachée prélevée sur un donneur avec des cellules de trachée saines de la receveuse, puis la lui transplantent. Une réussite incontestable. Mais la trachée est un "tube rigide" particulièrement simple à reconstituer. Or, voilà que la même

année, Doris Taylor et son équipe de l'université du Minnesota ouvrent la voie à une vraie révolution en appliquant ce protocole à un organe bien plus complexe: un cœur de rat,

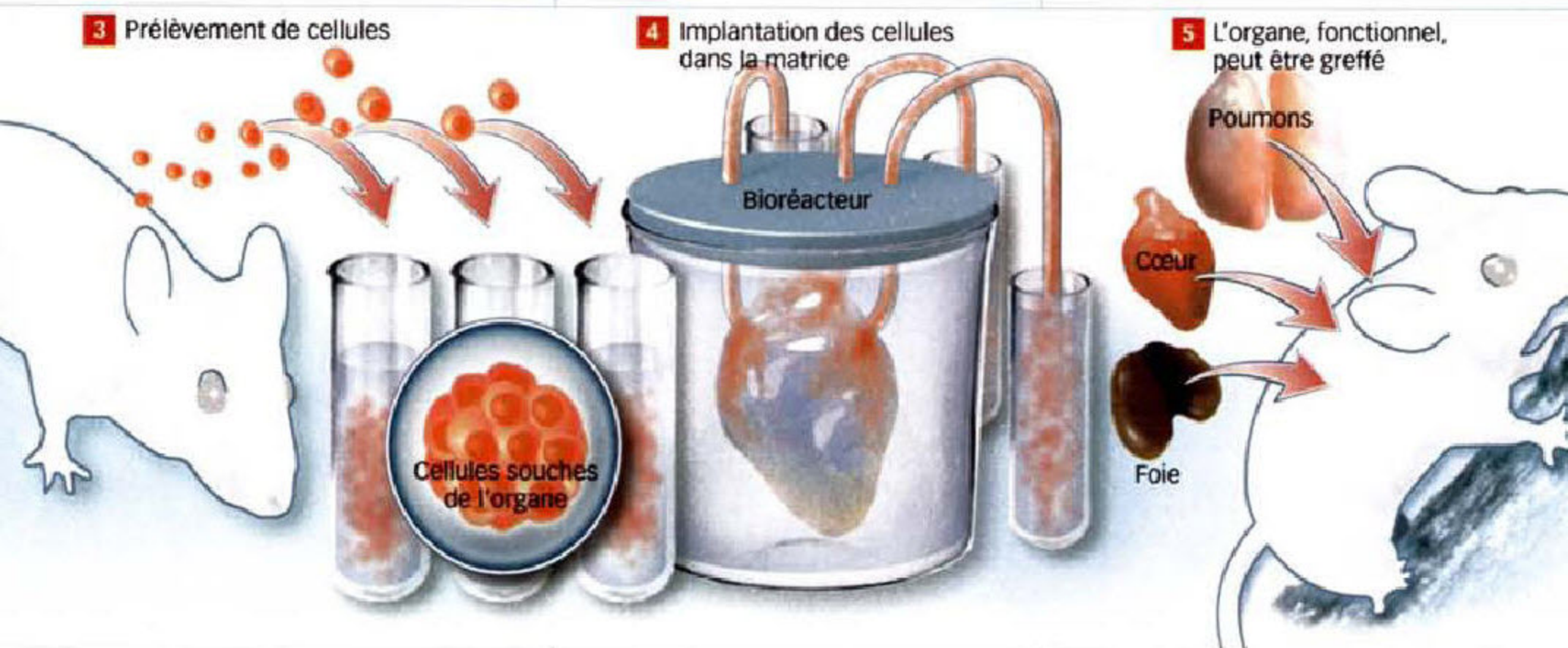
dont ils parviennent à récupérer la "charpente". Quatre jours après l'implantation de nouvelles cellules cardiaques, le cœur recréé a commencé à battre devant les yeux ébahis des chercheurs! Deux ans plus tard, les scientifiques atteignent le palier suivant, passant de la création d'organes complexes à leur transplantation. Un pas de géant effectué en juin par des chercheurs du Centre d'ingénierie médicale du Massachusetts General Hospital à Boston. Ils sont les premiers à reconstituer un fragment de foie fonctionnel et à le greffer avec succès sur une souris. Mais à peine deux semaines plus tard, leur record tombe: une équipe de l'université Yale (Connecticut) parvient à recréer intégralement des poumons de rat. Greffés sur un autre rongeur, les poumons ont assuré sans problème leur fonction respiratoire.

Une technique qui semble miraculeuse. Mais en quoi consiste-t-elle

"On pourraitensemencer une matrice avec les propres cellules du receveur"

FRANCISCO FERNANDEZ-AVILÉS, CARDIOLOGUE, A TRAVAILLÉ SUR LA CULTURE D'UN CŒUR DE RAT





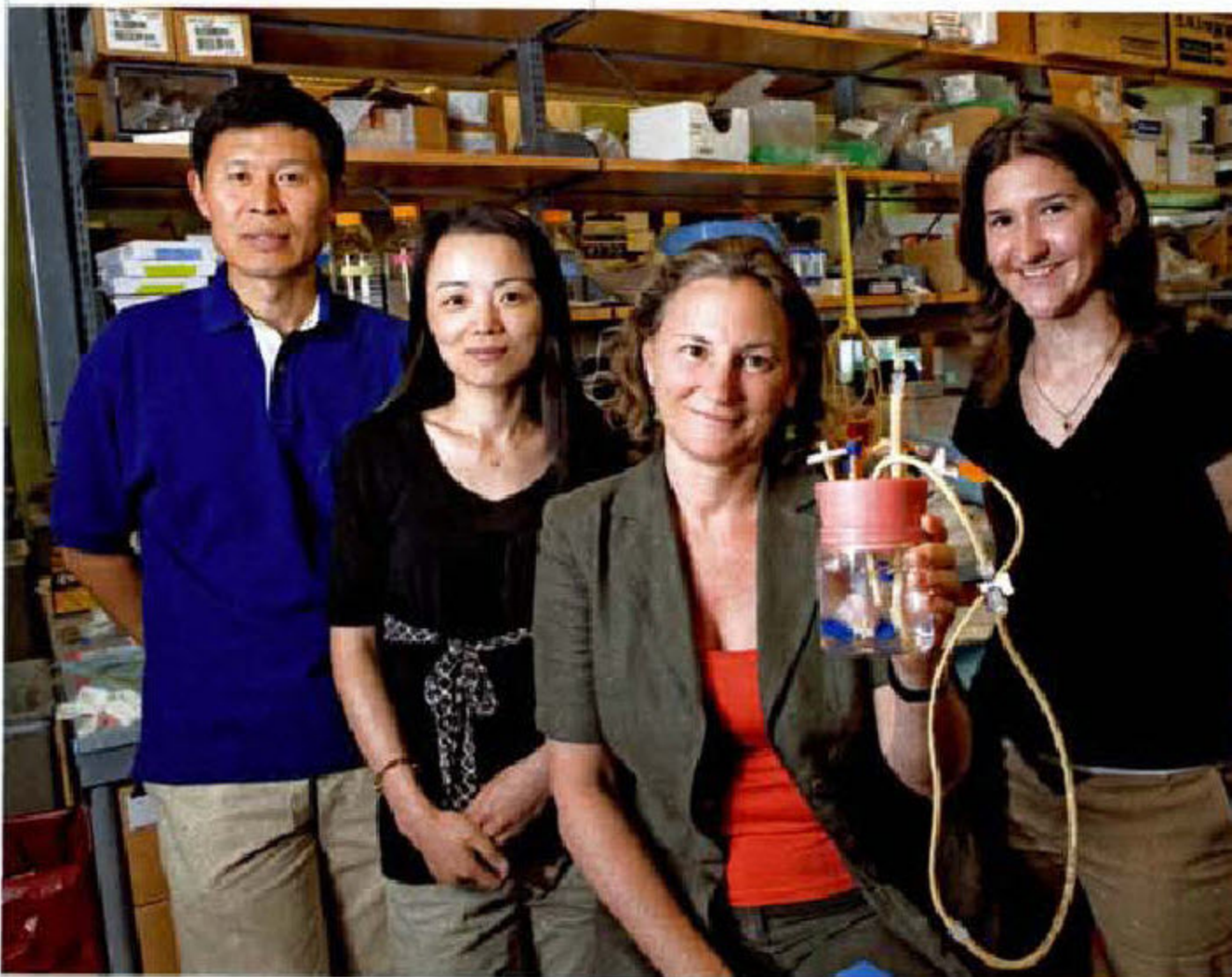
exactement? En fait, la recette est simple (voir infographie ci-dessus). Il suffit de tremper un cœur, un foie ou un poumon quelques heures dans un bain d'une sorte de "détergent" pour détruire toutes ses cellules. Après cette "décellularisation", il ne reste qu'une masse blanchâtre et translucide qui a conservé la forme de l'organe mais ne contient plus aucune cellule: la matrice extra-cellulaire. Constituée de protéines comme le collagène ou l'élastine, cette armature assure la cohésion des cellules au sein de l'organe, un peu comme du ciment.

PRÉSERVER LE RÉSEAU SANGUIN

"Qu'il s'agisse du cœur, du foie ou du poumon, l'approche de décellularisation est la même. En revanche, les protocoles sont légèrement différents: la composition chimique du détergent varie", explique Thomas Petersen, qui a mené l'expérience sur le poumon de rat à Yale. Il faut dire que la composition de la matrice varie d'un organe à l'autre: dure et minéralisée dans l'os et les dents, elle est élastique dans la peau ou le cœur, et a un aspect "gélifié" dans les poumons ou le foie. "Contrairement au cœur ou à la trachée, le foie ne possède pas une matrice extra-cellulaire très solide, et nous étions sceptiques quant au

succès de la technique, raconte Basak Uygur, qui a décellularisé le foie de rat au Massachusetts General Hospital. Nous avons utilisé un protocole plus doux et heureusement, cela a fonctionné." Idem pour le poumon. "C'est un organe très fragile, ajoute Thomas Petersen. Les membranes qui séparent les petits vaisseaux sanguins des alvéoles pulmonaires [sacs remplis d'air] sont très fines, et il est difficile

de les préserver." Pourtant, ici aussi, un détergent fréquemment utilisé en biologie, le Chaps, a parfaitement joué son rôle. Des poumons initiaux ne restait qu'une armature fantôme: les "murs" qui encerclaient les cellules et les vaisseaux. "Le poumon est parsemé de millions de minuscules vaisseaux sanguins. La méthode a permis de préserver la matrice de ce réseau complexe", explique Thomas Petersen. →



▲ Entourée de son équipe, Laura Niklason, cosignataire de l'expérience avec Thomas Petersen, tient le poumon de rat cultivé qui fonctionnera sans fuite d'air ni de sang.

PRÉLÈVEMENT

LE POUMON



À Yale, le poumon a été prélevé sur un rat adulte. Sa structure microscopique (à d.) montre des cellules vivantes (formes circulaires).

LE FOIE



L'équipe de Harvard a travaillé sur un foie entier, prélevé sur un rat adulte. Sa microstructure (à d.) révèle la présence d'un vaisseau.

LE CŒUR



L'équipe de l'université du Minnesota a utilisé des cœurs de rats adultes. Les fibres musculaires sont bien visibles en microscopie.

→ Un réseau que les charpentes synthétiques sont incapables d'imiter, et qui est pourtant essentiel pour assurer le fonctionnement de l'organe. "En outre, le fait de préserver ce réseau vasculaire est crucial pour apporter un flux constant de nutriments et d'oxygène à la structure et ainsi offrir un environnement favorable pour la croissance du nouvel organe", précise Basak Uygün.

Car une fois la "charpente" récu-

Des "signaux" encore présents dans la matrice guideraient les cellules

pérée, le but est de ressusciter l'organe en y cultivant des cellules neuves. Où les trouver ? L'équipe de Yale a utilisé des cellules pulmonaires de rats nouveau-nés, qui ont la capacité de se multiplier rapidement, alors que Basak Uygün a prélevé des cellules de foie sur un rat adulte. Mais maintenant que la validité de la méthode est prouvée, les chercheurs souhaitent utiliser des cellules souches embryonnaires ou adultes, qui ont le

potentiel de donner n'importe quel type de cellule en grand nombre... L'utilisation de cellules souches induites (iPS) est également envisagée (voir "Jargon").

Pour l'instant, toutefois, la "recellularisation" de la matrice reste difficile à maîtriser, car les organes complexes sont composés de nombreux types de cellules. L'équipe de Yale est pourtant parvenue à reproduire le poumon

dans toute sa complexité, ou presque. "Dans les poumons, il y a trois catégories principales de cellules : les cellules des vaisseaux sanguins, celles des voies aériennes et celles qui servent de soutien, explique Thomas Petersen. Nous avons donc semé ces trois sortes de cellules, en les conduisant par une petite canule chacune dans leur 'compartiment' : les cellules de vaisseaux dans le 'squelette' des vaisseaux, et les autres dans la trachée et les bronches." Pour stimuler la croissance de ces quelques cellules colonisatrices, les chercheurs ont placé les poumons dans un bioréacteur en les ventilant et en injectant une solution nutritive dans les vaisseaux sanguins. Puis ils ont laissé faire la nature. Au bout de huit jours, les poumons étaient entièrement repeuplés !

CŒUR HUMAIN DÉCELLULARISÉ

Mais comment les cellules se sont-elles multipliées de façon contrôlée, sans "déborder" de leurs territoires respectifs ? "Nous n'expliquons pas encore complètement ce phénomène. Il semble que des 'signaux' soient encore présents au sein de la charpente vide : ils guident les cellules, les aident à croître et à se fixer au bon endroit", avance le chercheur. La nature de ces signaux ? Ce sont probablement des molécules de type facteurs de croissance, sécrétés →

> JARGON

Cellules souches embryonnaires : cultivées à partir de cellules issues d'embryon au stade précoce (quelques jours après la fécondation).

Cellules souches adultes : présentes chez les individus adultes, dans la moelle osseuse, notamment, ou le tissu adipeux, mais on en trouve en petit nombre dans de nombreux organes (peau, intestin, foie, muscles...).

iPS : ces "cellules souches pluripotentes induites" sont des cellules de peau pouvant être "reprogrammées" génétiquement pour donner des cellules souches qui peuvent alors se différencier, en cellules de foie, par exemple.

RECONSTRUITS GRÂCE À UNE MÊME TECHNIQUE

DÉCELLULARISATION

CULTURE



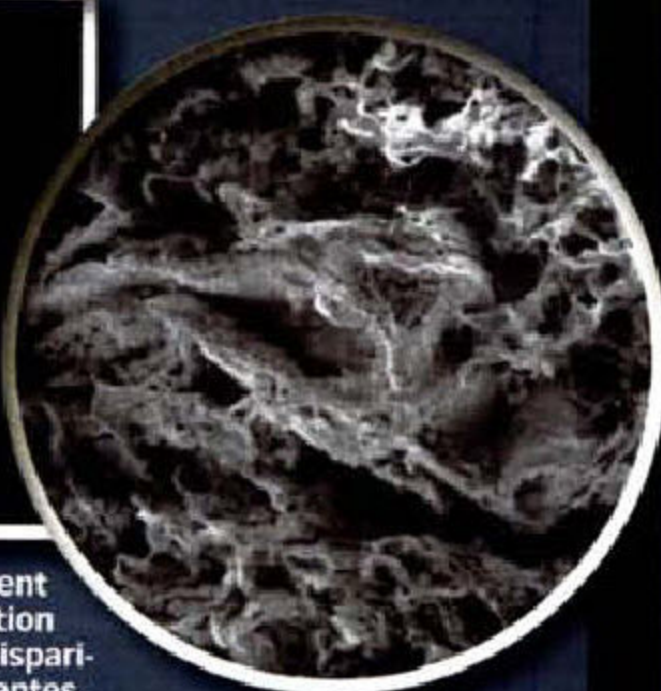
➤ Après 3 heures dans un bain détergent, ne reste du poumon qu'une matrice blanche (protéines de support), dénuée de cellules.



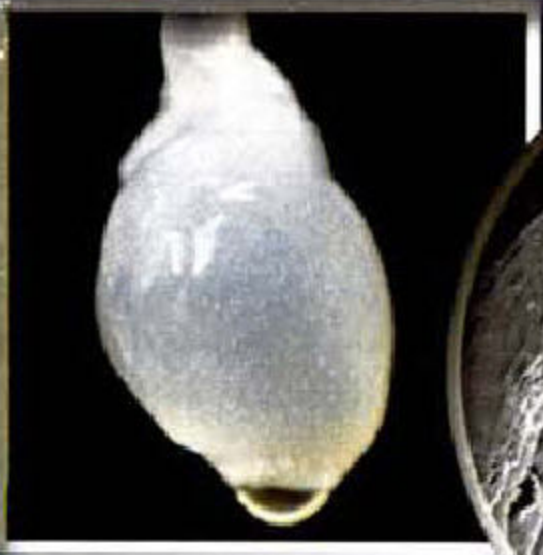
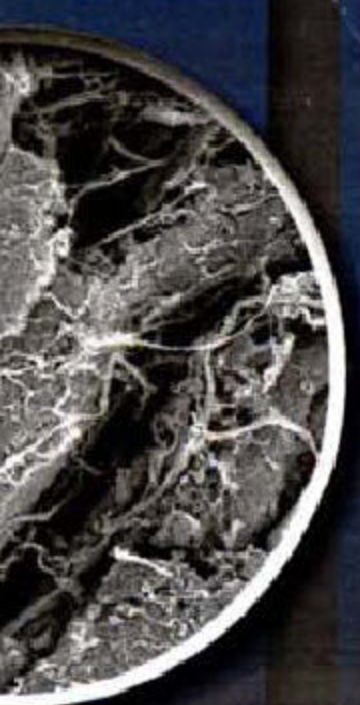
➤ La matrice, réensemencée avec différents types de cellules pulmonaires d'un rat nouveau-né, peut être greffée au bout d'une semaine.



➤ 72 heures dans un détergent "doux" pour éviter la destruction de l'organe aboutissent à la disparition de toutes les cellules vivantes.



➤ La matrice est recolonisée par des cellules de foie d'un rat adulte. Même partiellement repeuplé, l'organe peut être transplanté.



➤ Plongé 12 heures dans un bain détergent, l'organe ne renferme plus ni cellules cardiaques vivantes, ni fibres musculaires.



➤ Sur la matrice ont été cultivées des cellules cardiaques de rats nouveau-nés. Le cœur peut battre, mais reste imparfait pour la greffe.



→ par les cellules de l'organe initial et ayant persisté au sein de la matrice. Mais le plus étonnant, c'est que les poumons reconstitués étaient tout à fait fonctionnels. Transplantés chez un rat, ils ont "respiré" pendant deux heures. "Deux heures nous ont suffi pour prouver que les échanges d'oxygène

➤ Préserver le fragile réseau vasculaire du foie (ci-dessus) ou des poumons (à d.) au cours de la manipulation est crucial pour la croissance du nouvel organe.

être greffés. "Le processus a bien fonctionné, permettant d'éliminer toutes les cellules en préservant l'architecture du réseau vasculaire et des valves

"D'ici trois ans, des essais cliniques sur l'homme pourront débuter"

et de CO₂ se faisaient normalement, ce qui était notre objectif. Il n'y avait ni fuite d'air, ni fuite de sang. Cependant, nous avons vu quelques caillots de sang se former, probablement en raison d'une reconstitution imparfaite des vaisseaux", explique le scientifique, qui espère désormais maintenir la greffe en vie plusieurs mois.

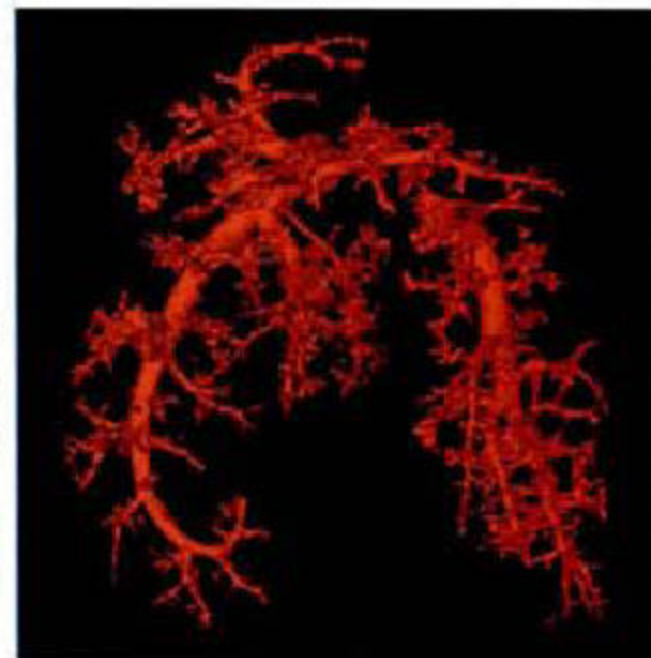
Et déjà, la recherche commence à s'appliquer à l'homme. En mai 2010, une équipe espagnole a décellularisé cinq cœurs humains provenant de donneurs décédés et trop abîmés pour

cardiaques... Nous pensons décellulariser d'autres organes humains d'ici la fin de l'année", précise Francisco Fernández-Avilés, qui mène ce projet au service de cardiologie de l'hôpital Gregorio-Marañón, à Madrid, après avoir travaillé sur le cœur de rat avec Doris Taylor. "Pour réaliser une greffe, il suffirait de recellulariser une de ces charpentes avec les cellules du receveur, évitant ainsi tout risque de rejet", ajoute le cardiologue, qui envisage d'utiliser des cellules souches provenant de la moelle épinière ou

du tissu adipeux du receveur. "Cependant, cette étape est un grand défi, tempère Thomas Petersen. Il nous reste beaucoup de travail avant de réussir à manipuler les cellules souches d'un patient pour qu'elles produisent les différents types de cellules au bon endroit sur la matrice."

DES GREFFES SANS REJET

Cela ne suffit pas à ternir l'optimisme de Francisco Fernández-Avilés: "Les premiers essais cliniques pourront débuter d'ici trois ans, et cette technique pourrait être appliquée en cardiologie d'ici sept à dix ans." Ce qui promet de révolutionner le domaine des greffes d'organe. "Il y a deux obstacles majeurs aux greffes actuelles: la pénurie de donneurs et la nécessité de prendre des immunosuppresseurs à vie pour éviter le rejet. Les organes cultivés pourraient les supprimer", explique le

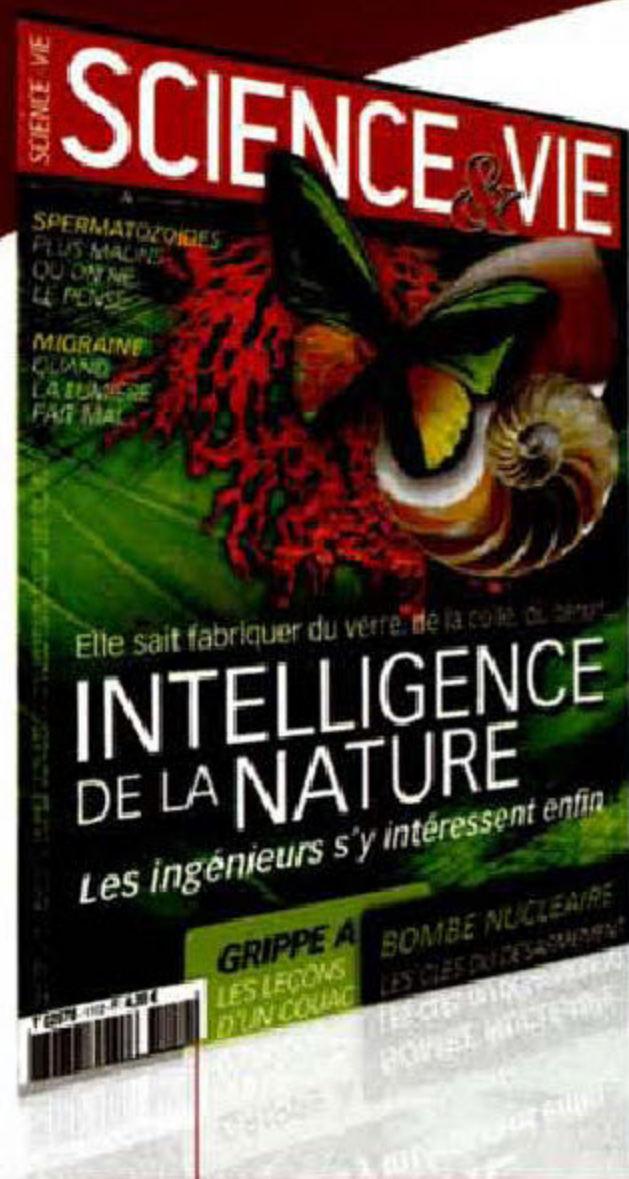


cardiologue. Car l'avantage majeur de la matrice extra-cellulaire est qu'elle ne provoque pas de réactions immunitaires. Elle peut donc provenir de n'importe quel donneur, humain ou même animal, mais aussi d'un organe mort ou impropre aux greffes classiques. L'ère des organes cultivés ne fait que commencer.

➤ EN SAVOIR PLUS
La greffe en chiffres: www.dondorganes.fr/-La-greffe-hier-aujourd-hui-et.html

PROFITEZ DE CETTE OFFRE D'ABONNEMENT EXCEPTIONNELLE

1 AN (12 N°) DE SCIENCE & VIE + 1 AN (6 N°) DES CAHIERS DE SCIENCE & VIE



SEULEMENT 59 €
AU LIEU DE 86,10 € SOIT :

31%
DE RÉDUCTION



Science & Vie explore avec vous l'actualité scientifique de façon claire et accessible; et nourrit également l'émerveillement face au monde et son futur. Retrouvez chaque mois, les réponses de la science aux questions de la vie.

Tous les 2 mois, **les Cahiers de Science & Vie** : 100 pages d'histoire des civilisations anciennes ou disparues revues et corrigées par la science. Grâce aux Cahiers de Science & Vie, pénétrez les mystères du passé accompagnés de scientifiques et d'historiens de renom.

BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à :
SCIENCE & VIE – SERVICE ABONNEMENTS – 1, RUE DU COLONEL PIERRE AVIA – 75503 PARIS CEDEX 12

☒ **Oui** je profite de l'offre d'abonnement exceptionnelle à
Science & Vie et aux **Cahiers de Science & Vie** :

■ 1 an - 12 n° de Science & Vie + 6 n° des Cahiers de
Science & Vie pour seulement **59€** au lieu de ~~86,10€~~
soit plus de **30 % de réduction**

Je règle par :

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

N°

Expire à fin

Code Crypto
Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

Voici mes coordonnées :

Nom :

Prénom :

Adresse :

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)

ABONNEZ-VOUS EN LIGNE SUR LE SITE

www.kiosquemag.com

C'EST RAPIDE, PRATIQUE, FACILE ET SÉCURISÉ

* Prix de vente au numéro en kiosque. Offre valable jusqu'au 30/11/2010 et en France métropolitaine uniquement. Je peux acquérir séparément chaque numéro de Science & Vie au prix de 4,20€ et chaque numéro des Cahiers de Science & Vie au prix de 5,95€. Après enregistrement de votre demande, vous recevrez sous 3 semaines vos premiers numéros. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour les abonnements aux magazines. Conformément à la loi «Informatique et Liberté» n°78-17 du 06/01/1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de données par simple courrier. Sauf refus de votre part, ces informations peuvent être utilisées par des partenaires. Science & Vie - Service Abonnements - 1, rue du Colonel Pierre Avia - 75503 Paris Cedex 12 - Mondadori Magazines France SAS RCS 452 391 362 NANTERRE

Au XVIII^e siècle, des traces d'animaux vivant dans les pays chauds furent découvertes en Europe. Peu après, l'existence des glaciations, dont témoigne l'alternance des couches sédimentaires, montrait que les climats ont beaucoup varié sur la Terre. Ainsi naissait la paléoclimatologie. Aujourd'hui, la discipline a progressé au point d'accéder aux températures passées, à l'aide d'indicateurs de plus en plus nombreux.

Climat

A la recherche des températures du passé

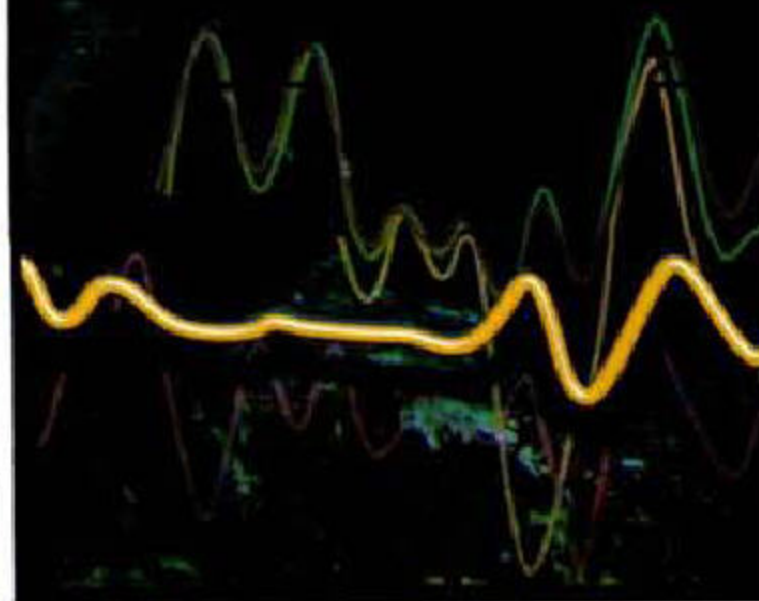
Par Denis Delbecq

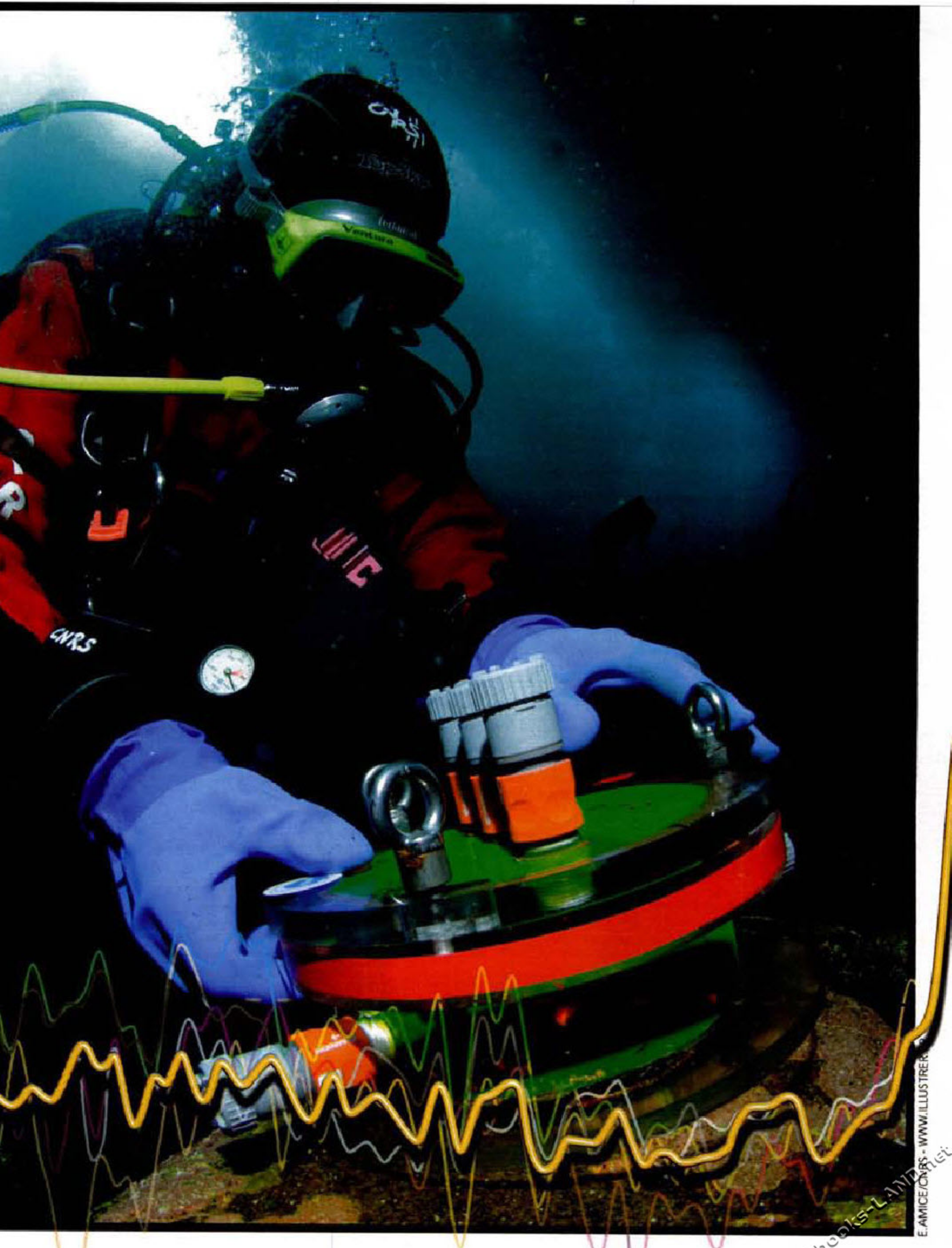
Une stalagmite cachée au fond d'une grotte, formée goutte après goutte depuis des dizaines de milliers d'années. Une coquille Saint-Jacques vide perdue depuis des millénaires au large des côtes bretonnes. Un carnet de bord oublié dans les archives de la marine espagnole depuis le XVIII^e siècle... Derrière ces objets délaissés de tous se cache peut-être l'une des clés de la climatologie contemporaine. En s'employant à les faire parler, les scientifiques pourraient en faire l'un des arguments capables de calmer la bouillonnante polémique qui oppose climatologues et climato-sceptiques!

L'ampleur du réchauffement au XX^e siècle est-elle sans équivalent dans l'histoire de l'humanité? La hausse des

températures va-t-elle se poursuivre? Impossible de répondre sans connaître l'évolution passée des températures. La planète est en effet un système physique complexe, et sur lequel on ne peut se livrer aux expériences qu'exige la pratique scientifique: il n'existe aucun moyen de mesurer les conséquences que la variation de tel ou tel paramètre (par exemple, une baisse de l'activité solaire ou une hausse du taux de CO₂ dans l'atmosphère) aurait sur la température. Le seul recours pour savoir quelle est la réponse du climat à une modification du système est donc d'examiner celles du passé! Malheureusement, l'homme a attendu le milieu du XIX^e siècle pour généraliser l'usage du thermomètre. Un recul insuffisant pour comprendre →

> Pour retrouver les températures du passé, les chercheurs s'appuient sur un nombre croissant de témoins indirects, dont certains se nichent au fond des mers.



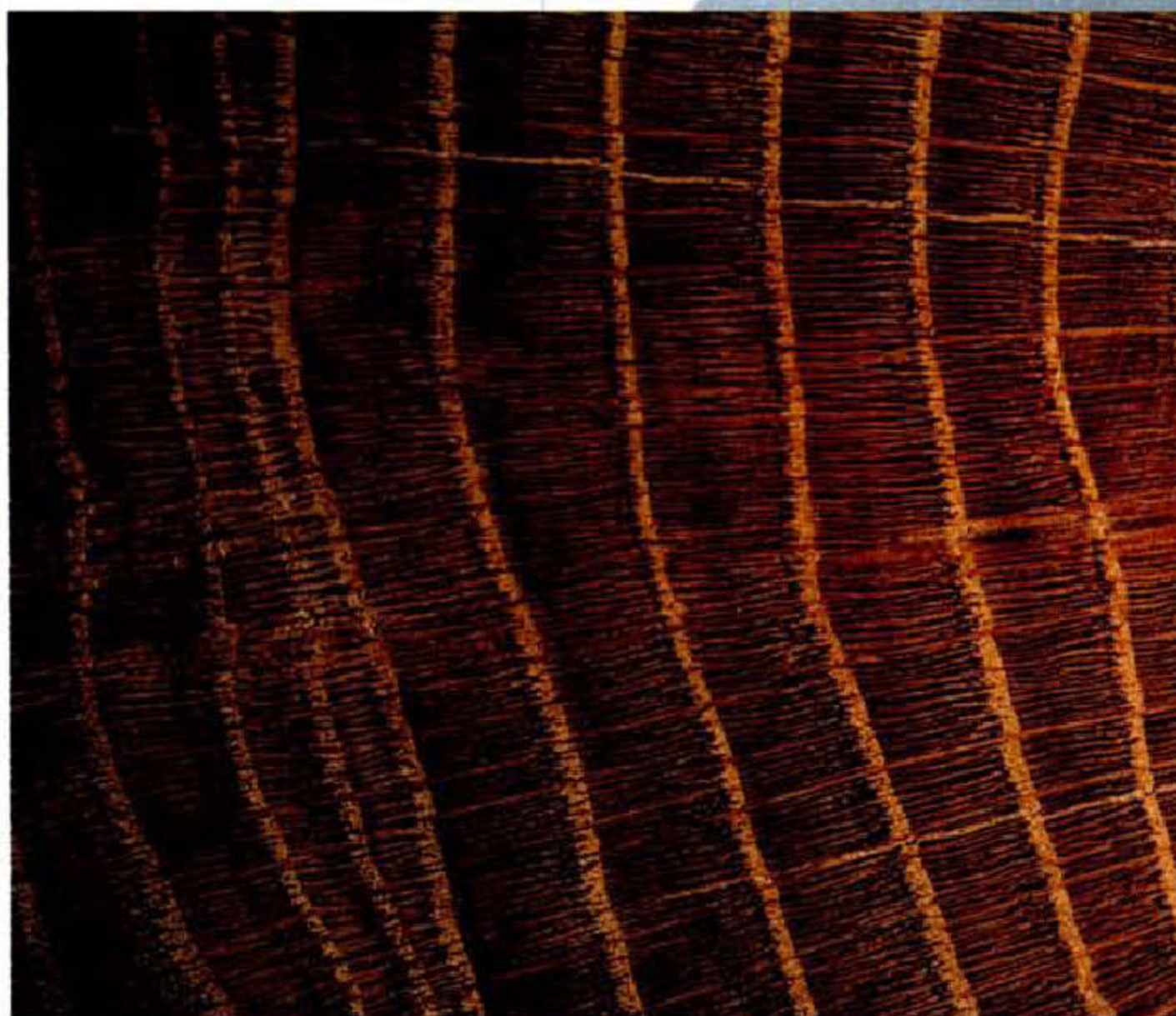


→ l'ensemble des cycles qui gouvernent le climat. Mais par chance, la nature conserve des traces de son passé : les arbres poussent plus vite lorsqu'ils bénéficient d'une température et d'une pluviométrie favorables durant la saison de croissance. Les glaces des pôles, les sédiments lacustres ou le calcaire des coraux gardent aussi en mémoire leurs conditions de formation, et sont de véritables thermomètres par procuration. Et de nouveaux outils sont en train d'apparaître (voir p. 100).

LES TECHNIQUES S'AFFINENT

"*Tout repose sur une fine connaissance des mécanismes physico-chimiques de la nature*", explique Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), du Commissariat à l'énergie atomique. En apprenant à décrire, dans leurs détails moléculaires les plus intimes, le cycle de l'eau, la respiration des plantes ou la formation de coraux, on sait déduire la température qui régnait quand une goutte d'eau s'est formée dans un nuage, quand un arbre a grandi. Des résultats qui n'ont été possibles qu'avec le progrès du spectromètre de masse, un instrument capable de peser les molécules et de déterminer de quels isotopes elles sont constituées (c'est-à-dire combien de neutrons possèdent

LES PALÉOCLIMATOLOGUES FONT APPEL À 3 TEMOINS NATURELS...



des arbres, quand ces derniers poussent dans des conditions peu stressantes", se félicite Joël Guiot, du Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (Cerege), à Aix-en-Provence.

Et les techniques s'affinent, notamment avec l'apparition de la thermométrie à isotopes combinés. Un vocabulaire

▲ L'analyse de la cellulose dans les cernes des arbres indique la température de chaque année.

Les isotopes sont devenus des cibles de choix pour les détectives du climat

leurs atomes). Car le nombre d'atomes disposant de neutrons supplémentaires varie selon la température. Oxygène 18, carbone 13 et deutérium, isotopes respectifs de l'oxygène, du carbone et de l'hydrogène, sont ainsi devenus des cibles de choix pour les détectives du climat. "*L'étude de leur présence dans la cellulose donne souvent de bien meilleurs résultats que l'analyse de l'épaisseur ou de la densité des cernes de croissance*

barbare qui décrit l'étude de formes inusuelles de liaisons chimiques dans les molécules, qui associent plusieurs isotopes rares. Des techniques mises au point au prix d'études minutieuses. Pour transformer des objets naturels en thermomètres indirects, il a fallu prendre des mesures, élaborer des modèles et vérifier leur validité sur un passé récent pour lequel les températures sont connues. "Chaque méthode →



▲ Les sédiments renferment des vestiges de l'activité biologique.

> Les forages dépassent les 3000 m (ici, la carotte glaciaire de Vostok, en Antarctique).

LES CERNES DES ARBRES

> Jusqu'à quelques centaines d'années

Chaque année, au printemps et en été, le tronc de la plupart des arbres forme un anneau de croissance dont l'épaisseur et la densité dépendent des conditions de température et de précipitations. En prélevant des carottes de bois, les chercheurs ont appris à corréler leurs observations avec les enregistrements de température. Cette discipline, nommée dendroclimatologie, a été étudiée aux États-Unis dès les années 1940, puis de manière plus globale trente ans plus tard. Aujourd'hui, l'analyse isotopique des composants de la cellulose dans les cernes permet d'améliorer la fiabilité des reconstructions climatiques. Comme elle s'appuie sur des arbres en principe vivants, cette archive est limitée dans le temps, souvent à une centaine d'années. Mais en étudiant les arbres de la forêt de Fontainebleau, associés à certaines poutres du château (dont l'histoire est précisément connue), une équipe française a pu reconstituer, en 2009, la température moyenne printemps-été de la région depuis 1596.

LES SÉDIMENTS LACUSTRES OU MARINS

> Jusqu'à plusieurs centaines de millions d'années

Au fond des lacs ou des océans, les dépôts sédimentaires emprisonnent toutes sortes de vestiges de l'activité biologique. Végétation, restes d'animaux et pollens ou algues et plancton s'entassent au fil des dépôts, et forment des couches qui permettent, après carottage, de remonter le temps, parfois de plusieurs centaines de millions d'années. On y lira par exemple les variations de profondeur d'un lac ou la végétation qui poussait aux alentours; la variation du niveau de la mer. Et même la température de l'eau: on l'obtient par exemple en étudiant l'abondance relative de calcium et de magnésium dans la coquille des foraminifères planctoniques fossiles. Sur certains sites, les sédiments permettent de distinguer des couches annuelles de dépôt, et donc de lire le climat avec une grande précision. Mais le plus souvent, la résolution est plus grossière (siècles, millénaires...), offrant des informations sur les évolutions à long terme du climat.

LES CAROTTES GLACIAIRES

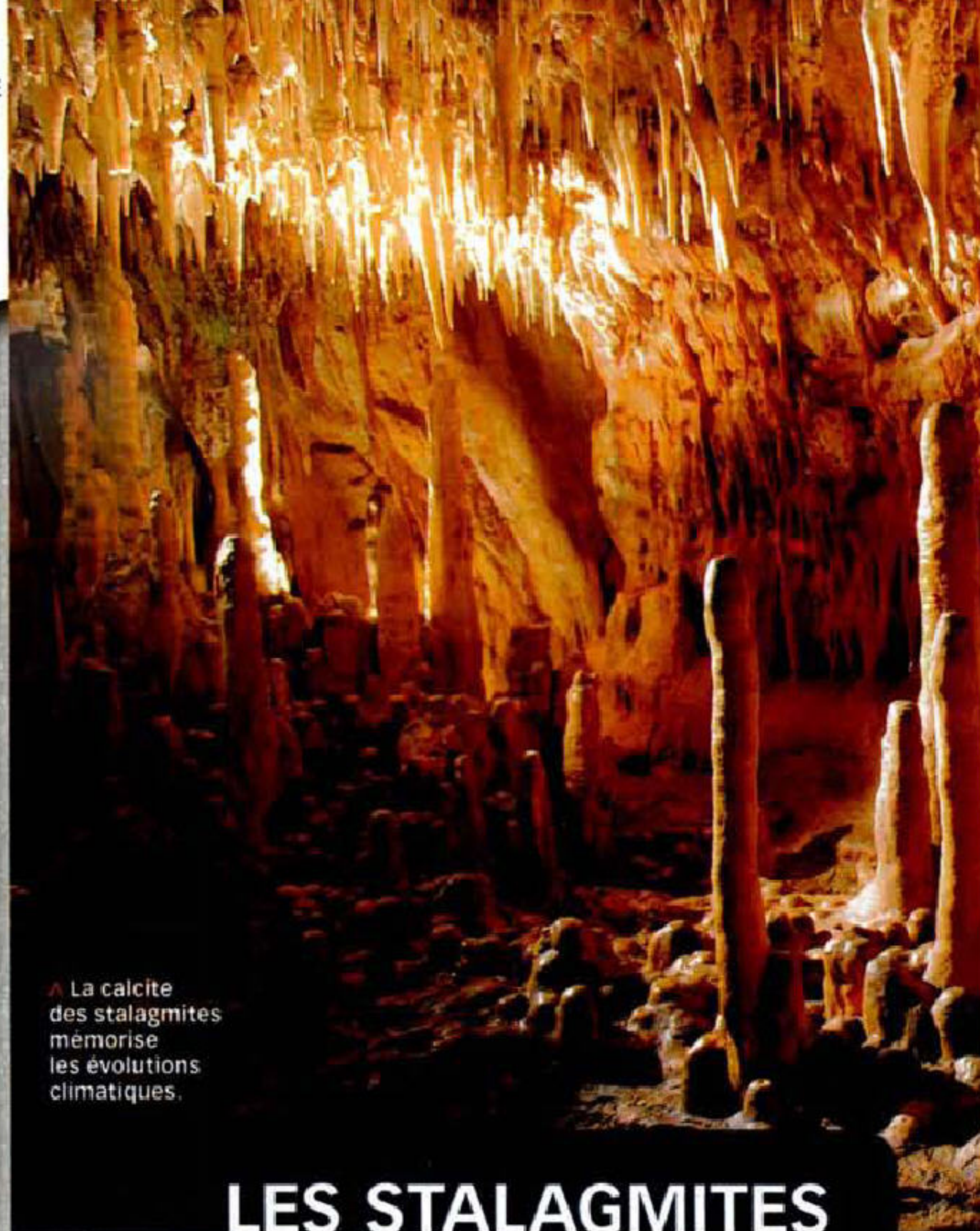
> Jusqu'à 740 000 ans

En se déposant couche après couche sur une surface gelée, la neige fraîche forme un véritable disque dur qui mémorise les conditions atmosphériques: elle emprisonne en effet les gaz et les poussières caractéristiques de l'état de l'air au moment où elle se forme. En forant dans la calotte glaciaire, les chercheurs peuvent remonter le passé, et notamment lire la température locale grâce à l'isotope 18 de l'oxygène et au deutérium, deux types d'atomes dont la teneur diminue avec la chaleur. On peut aussi mesurer la présence de certains gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane), retracer l'activité volcanique et les grands incendies de forêts. La carotte la plus célèbre est celle du projet européen Epica, forée au milieu du continent Antarctique depuis 1995, tout près de la station franco-italienne de Concordia. Le forage, qui a atteint 3260 m de profondeur, a permis de reconstituer, en 2004, l'histoire climatique locale des 740 000 dernières années, confirmant au passage les résultats obtenus cinq ans plus tôt à Vostok, dans l'est de l'Antarctique, notamment l'existence de cycles glaciaires-interglaciaires espacés d'environ 100 000 ans.

→ possède des biais, des points de blocage, insiste Valérie Masson-Delmotte. Nous comparons donc de plus en plus les différentes archives disponibles pour un site afin de nous affranchir des écueils. Indispensable, donc, de croiser les informations tirées des arbres, des sédiments ou même de données historiques, comme les dates des vendanges, pour réduire les incertitudes. Indispensable, aussi, d'en inventer de nouvelles ! C'est ainsi que les chercheurs se tournent vers les stalagmites (ci-contre), les coquillages (p. 102), les profondeurs terrestres (p. 105) ou les archives historiques (p. 104).

RECONSTRUCTIONS GLOBALES

Il existe donc désormais des centaines de reconstructions climatiques locales. Reste aux climatologues à cartographier l'évolution sur une échelle globale. Ce qui n'est pas une mince affaire. *"Toutes les séries ne couvrent pas la même période, il y a donc des 'trous'. De plus, suivant la méthode employée, le degré de confiance – de corrélation – varie d'une série à l'autre"*, explique Joël Guiot. Parallèlement, les climatologues répertorient les températures relevées depuis 1850. Elles sont alors interpolées pour disposer de valeurs sur un quadrillage régulier du globe, puis comparées avec les données fournies par les indicateurs indirects durant la même période afin que ceux-ci soient correctement calibrés. Ensuite, les statistiques complètent la physique, et la température de chaque point de la planète est reconstituée sur la période "instrumentée" comme sur les précédentes. Les résultats des différentes équipes sont dès lors comparés. *"Depuis 2001, quinze reconstructions globales portant sur le dernier millénaire ont été publiées."* Des reconstructions que de nouveaux types d'archives (naturelles ou historiques) devraient éclaircir de plus en plus précisément. Pour finalement éclairer l'avenir de la planète. ■



▲ La calcite des stalagmites mémorise les évolutions climatiques.

LES STALAGMITES

> Jusqu'à 500 000 ans

Depuis une quinzaine d'années, c'est dans les grottes que les scientifiques s'aventurent pour estimer les températures passées. Grâce à l'évolution des méthodes de datation, ils s'intéressent aujourd'hui particulièrement aux stalagmites, ces colonnes montantes formées par l'infiltration de l'eau de pluie, qui s'est chargée de calcium et de gaz carbonique en traversant la roche calcaire, avant de provoquer la formation de calcite, le carbonate de calcium. Ces piliers naturels parfois massifs ont en effet gardé la mémoire de la température qui existait dans la grotte, et

les conditions de formation de l'eau de pluie !

"La température qui y règne est proche de la température moyenne annuelle de l'air au-dessus de la grotte, justifie Dominique Genty, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE). Nous le vérifions par exemple depuis quinze ans avec des stations automatiques installées dans la grotte de Villars [Dordogne] et en surface." Les chercheurs suivent aussi la fréquence de chute des gouttes (liée à la quantité d'eau infiltrée) et la teneur en gaz carbonique de l'air de la grotte. Pour les paléoclimatologues,

... DONT ILS CROISENT LES INFORMATIONS AVEC 4 NOUVEAUX "OUTILS"

pour un âge mesuré à 100 000 ans. *"La plupart des stalagmites permettent de remonter sur plusieurs dizaines de millénaires"*, précise Dominique Genty. Comme pour d'autres archives climatiques, les scientifiques étudient les évolutions de la température

atmosphériques", explique Dominique Genty. Quant à l'étude d'éléments présents à l'état de traces (strontium, baryum, yttrium, terres rares, etc.), elle permettra de nous renseigner sur la végétation présente au-dessus de la grotte et sur les changements des conditions hydrologiques. Jusqu'à présent cependant, l'analyse des stalagmites n'en faisait pas pour autant des thermomètres. *"Nous pouvions déduire le sens de l'évolution climatique, s'il a fait plus chaud ou plus froid, mais pas la température"*, regrette Dominique Genty.

La calcite est la clé

Sauf qu'une méthode, développée au LSCE par Mathieu Daeron, en collaboration avec Dominique Blamart, et que Dominique Genty n'hésite pas à qualifier de "révolutionnaire", devrait permettre de remonter à la température de formation de la calcite, notamment en extrayant les infimes quantités d'eau piégée dans les cristaux. *"Nous utilisons cet outil baptisé $\Delta 47$ [delta 47] depuis deux ans, et nous en espérons beaucoup ! Les stalagmites devraient prendre de l'ampleur dans la paléoclimatologie, car contrairement aux carottes glaciaires, qui se limitent aux pôles, et aux cernes des arbres, qui ne permettent de remonter que quelques siècles, les stalagmites se trouvent partout et peuvent atteindre plusieurs centaines de milliers d'années. Elles apparaissent donc complémentaires des autres archives paléoclimatiques."*

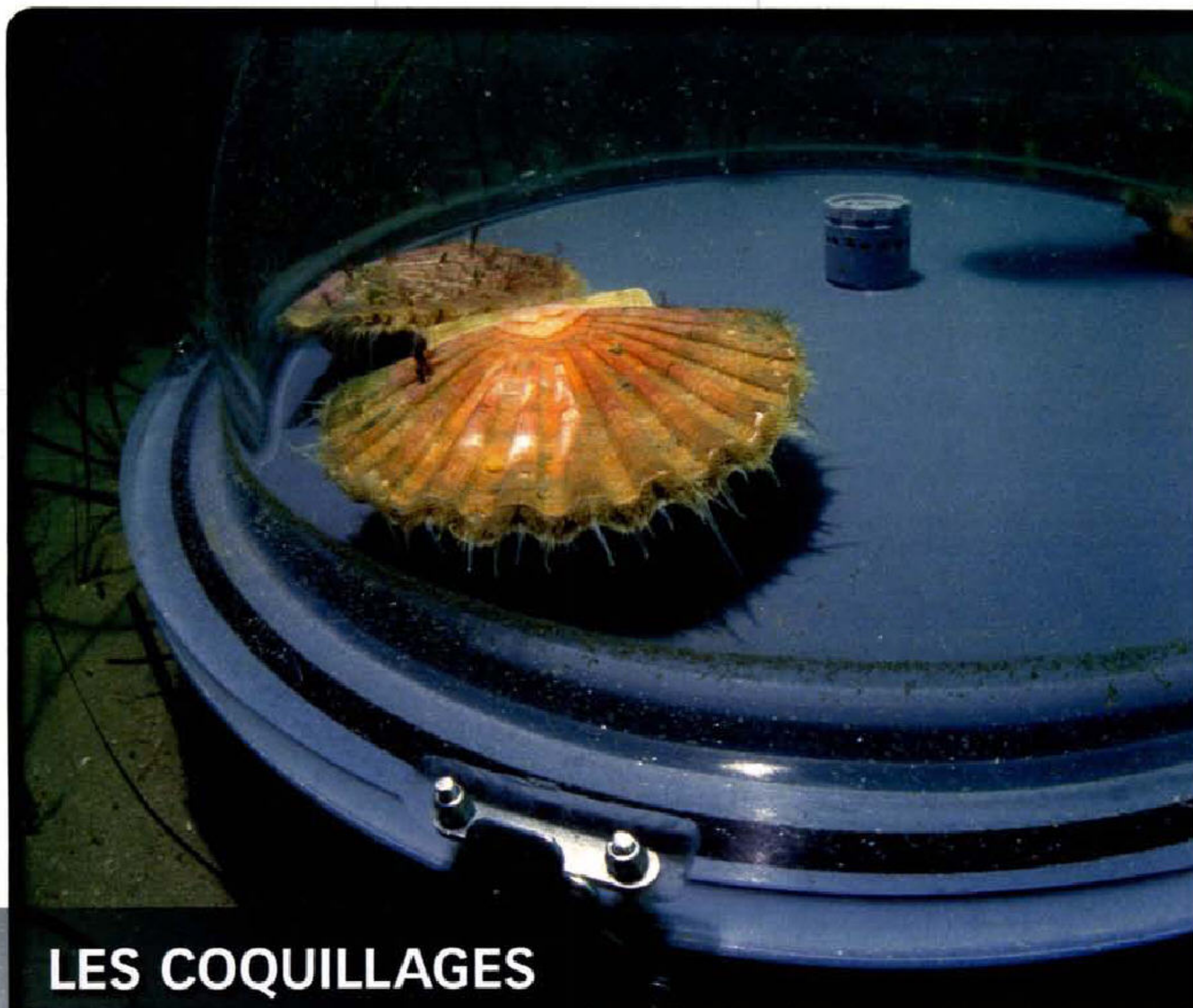
V> L'eau piégée dans les cristaux de la stalagmite (ici, en coupe) peut permettre de remonter à sa température de formation.

l'étude des stalagmites (plus massives et mieux stratifiées que les stalactites) est donc riche d'enseignements qu'ils ont appris à déchiffrer. Après avoir scié la concrétion de calcite, ils prélèvent quelques milligrammes de matière à intervalles réguliers, avant de les emporter au laboratoire.

Une grande précision

L'âge de la calcite se mesure alors en dosant la teneur en uranium, présent naturellement dans l'eau à l'état de traces, et en thorium, produit de la désintégration de l'uranium 234. Une méthode qui permet de remonter jusqu'à 500 000 ans, avec une précision pouvant atteindre 1 %, soit un siècle

en mesurant la teneur en isotopes rares – oxygène 18 et carbone 13 – par rapport aux atomes majoritaires – oxygène 16 et carbone 12. Sur les périodes les plus récentes, la résolution est presque annuelle, ce qui permet aux chercheurs de comparer leurs observations aux températures obtenues avec des instruments, pour calibrer leurs outils d'analyse des données climatiques plus anciennes. Au passage, ils peuvent aussi lire une autre page de l'histoire de l'humanité. *"Nous observons une nette hausse de la présence de carbone 14 après 1955. Cet isotope instable provient des essais nucléaires*



LES COQUILLAGES

> Jusqu'à des millions d'années

Les océanologues sont désespérés : ils manquent de données. Certes, aujourd'hui, un réseau de 3000 capteurs quadrille les océans et mers du globe. Maintenus en profondeur, ils remontent tous les dix jours jusqu'à la surface pour mesurer la température, la salinité et la pression sur toute la colonne d'eau ; données qu'ils fournissent immédiatement à la communauté scientifique. Cet outil a permis de considérablement affiner les modèles d'océans utilisés

dans les prédictions climatiques. Mais ces mesures n'existent que depuis quelques années, et les scientifiques manquent cruellement du recul que leur fourniraient des données historiques. Pourtant, ils disposent potentiellement d'un réseau de thermomètres précis et très bien répartis sur le globe depuis plusieurs millions d'années sous la forme... de coquilles Saint-Jacques ! En effet, le mollusque produit sa coquille de calcite à raison d'un millimètre tous les trois

jours, en formant une strie journalière très facilement repérable. Or la calcite contient de l'oxygène, dont la présence d'une des formes (l'isotope 18) dépend directement de la température.

Une collecte délicate

En prélevant un peu de calcite sur chaque strie, il est donc possible de reconstruire la courbe quotidienne de la température de l'eau. D'autant que "ce mécanisme de formation de la coquille est exactement le même pour tous les individus, qu'ils soient en rade de Brest où

dans un fjord norvégien !", précise Laurent Chauvaud, du Laboratoire des sciences de l'environnement marin, à Brest. "Cela fonctionne extrêmement bien : nous avons montré qu'en reconstituant par cette méthode la température régnant dans l'eau pendant la croissance d'une coquille Saint-Jacques, on obtient un résultat qui correspond à la courbe relevée par un thermomètre durant la même période, avec une précision de 0,5 °C !", s'enthousiasme le chercheur, qui a obtenu ce résultat en 2005. Une



◀ La croissance des Saint-Jacques et leur consommation d'oxygène ont été étudiées au fond de la rade de Brest.



◀ La température quotidienne de l'eau peut être reconstituée à partir des stries qui marquent le développement de la coquille.

en commençant peut-être par frapper à la porte de leurs collègues archéologues : consommées par les hommes depuis des millénaires, et également utilisées comme

parures, les coquilles Saint-Jacques se retrouvent en bonne quantité dans leurs stocks ! Mais pour remonter au-delà dans le temps, c'est bien dans les fonds marins qu'il faudra s'employer à les chercher.

D'autres coquillages pourraient d'ailleurs se révéler précieux : "On travaille également sur les praires et sur

les amandes de mer, qui croissent moins vite mais vivent très longtemps, au-delà de 50 ans. Elles produisent une strie annuelle qui permet d'accéder aux moyennes thermiques annuelles", précise Laurent Chauvaud. Des chercheurs de l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier se sont, eux, intéressés au bivalve sud-américain *Mesodesma donacium*, qui pourrait leur permettre de comprendre (toujours en accédant aux températures passées de l'eau) comment le phénomène El Niño a évolué au fil du temps près des côtes péruviennes. C.B.

aubaine, les coquilles Saint-Jacques sont partout... et depuis longtemps : elles sont apparues il y a 25 millions d'années. En outre, elles se conservent sans s'altérer, et sont d'une taille suffisante pour réaliser facilement des prélèvements. Des témoins idéaux ! Problème, elles ne sont pas toujours faciles à collecter, surtout lorsqu'elles sont anciennes : il faut les récupérer dans des carottes de sédiments, au milieu de matière organique qui

permet de les dater. "On a déjà travaillé sur un spécimen trouvé dans le delta du Rhône et âgé de 6000 ans, et qui nous a permis d'obtenir de très bons résultats", se félicite Laurent Chauvaud. Preuve est donc faite de l'efficacité de la méthode. Aux climatologues maintenant de rechercher ces témoins naturels inattendus,

ORDONNANCE
DE LOUIS XIV,
ROI DE FRANCE ET DE NAVARRE,
SUR LE FAIT
DES EAUX ET FORÊTS,
et les Règlements rendus en interprétation
jusqu'à présent.
NOUVELLE ÉDITION,
Plus correcte que les précédentes.



Núm. 1

DIARIO DE BARCELONA.

Del Lunes 1 de Octubre de 1792.



SAN REMIGIO, OBISPO Y CONFESOR.

Feria de las Cuarenta Horas en la Iglesia de los Angeles,
San Domingo.

FERIA

Hay Feria en Alforges Domingo y Bafin.

Afecciones atmosféricas de hoy.

Una mercurio. Sale a las 6 hor. con 47 min. y 21 seg.
pone a las 7 hor. con 40 min. y 28 seg. de altura 29
grad. 8 min y 7 seg. de Ariz. Sale el Sol a las 6 hor.
oculra a las 4 hor. con 40 min. y está en los 8 grad.
de Libra. Debe achalar el reloj al mediodía las 12 hor.
La Luna sale a las 11 hor. con 27 min. y 5 seg. Hoy celebra la
de conjunción con el Planeta Saturno a las 12 horas con

IONES METEOROLOGICAS DE ANTES DE AYER.

Les archives, notamment
maritimes, regorgent de données
sur le climat des siècles derniers.



JOURNAL

OF THE

PROCEEDINGS

ON BOARD

His Majesty's Ship
Rattlesnake

COMMANDED BY

Roger Curtis Esq.

LES ARCHIVES HISTORIQUES

> Jusqu'à quelques siècles

L'irruption de la paperasserie dans les sociétés modernes est une bénédiction pour la climatologie ! C'est en tout cas la conviction d'Emmanuel Garnier, un historien qui, depuis quatre ans, s'est attelé à fouiller les archives historiques pour en tirer des informations sur le climat. Maître de conférences à l'université de Caen, Emmanuel Garnier (1) est aujourd'hui le seul historien français à avoir pris la relève d'Emmanuel Le Roy Ladurie, qui avait publié, à la fin des années 1960, son *Histoire du climat depuis l'an mil*, tirée de l'analyse des données disponibles sur la culture de la vigne et les vendanges. "Nous devons beaucoup à Colbert", raconte Emmanuel Garnier. Ses ordonnances sur les eaux et forêts, en 1669, et sur la marine, en

1681, ont organisé la tenue de registres officiels qui sont aujourd'hui autant d'outils de climatologie. "Ainsi, en corrélant les informations sur l'arrivée d'une tempête dans les documents de l'amirauté avec les registres de chablis, qui répertorient tous les arbres cassés ou tombés (l'objectif était militaire, à cette époque où l'Etat construisait de nombreux navires de guerre), les historiens peuvent dire s'il s'agit d'une banale dépression d'hiver ou d'un ouragan destructeur, comme la tempête Lothar de 1999.

Carnets et livres de bord

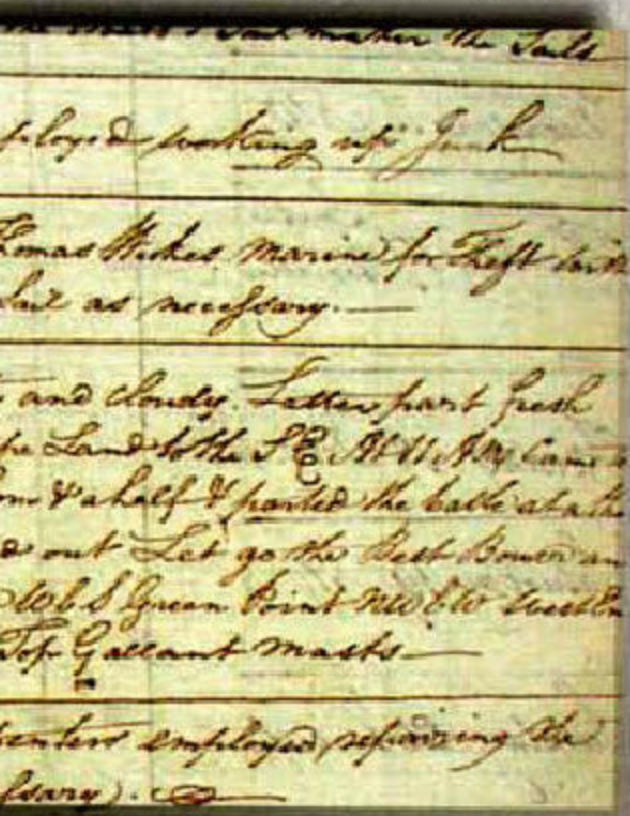
"Nous savons notamment qu'il y a eu, en France, plus d'ouragans au XVIII^e siècle qu'au XX^e." Emmanuel Garnier se penche aussi sur les archives municipales :

"A Paris ou à Lyon, on remonte ainsi jusqu'au XIV^e ou XV^e siècle, avec une résolution hebdomadaire." Ce qui permet de répertorier les événements extrêmes : sécheresses, inondations, gel des fleuves, etc., à partir d'indices indirects. "Les hausses brutales du prix du bois ou des céréales donnent des indications sur l'aptitude de la Seine au transport fluvial, liée aux sécheresses ou au gel, par exemple." Parfois, ce sont les journaux de passionnés de météorologie, tel celui du libraire Hardy qui, à Paris, releva une foule de données entre 1764 et 1789. Les marins des siècles passés ne sont pas en reste pour fournir matière à analyse : le recensement d'informations minutieusement inscrites sur les livres de

bord des navires et des phares, décrit bien la météorologie océanique, principalement depuis le XVII^e siècle. Quatre pays disposent en particulier de riches archives, quatre pays qui ont sillonné les mers du globe avec leur flotte de guerre et de commerce : la Grande-Bretagne, la France, l'Espagne et les Pays-Bas. Le Britannique Dennis Wheeler, de l'université de Sunderland, et son collègue

Moderate and clear - People
Moderate and fair - People
24 Lakes - People and People
For and middle parts of the
Gales & clear at 5 P.M. Low
with the small River in the
with nearly the whole water
near to a whole lot of water
of Robin Island and the
Strong Gales and Squally
11 P.M. - 12 P.M. - 1 P.M.

espagnol Ricardo Garcia-Herrera ont ainsi montré qu'il y avait plus de tempêtes en Manche à la fin du petit âge glaciaire, ou retracé la trajectoire d'une dépression d'août 1680, devenue cyclone sur les Caraïbes avant de mettre cap au nord et, douze jours plus tard, fondre en tempête sur l'Angleterre. Tout cela à partir d'observations conduites par les marins selon l'état de la mer et du vent, sans instruments météorologiques (ceux-ci ne sont apparus qu'après 1850). Même le livre de bord du *Beagle*, qui emporta Darwin vers l'Amérique du Sud en 1831, a été mis à contribu-



tion dans la gigantesque base de données maritimes en cours de constitution, qui compte déjà près de 300 recueils numérisés. "Les livres de bord sont précieux, confirme la paléoclimatologue Valérie Masson-Delmotte (LSCE, CEA). Par exemple, les temps de trajet vers l'Amérique informent sur la vitesse des alizés."

(1) *Les dérangements du temps, 500 ans de chaud et de froid en Europe*, éditions Plon, 2010.

LES FORAGES

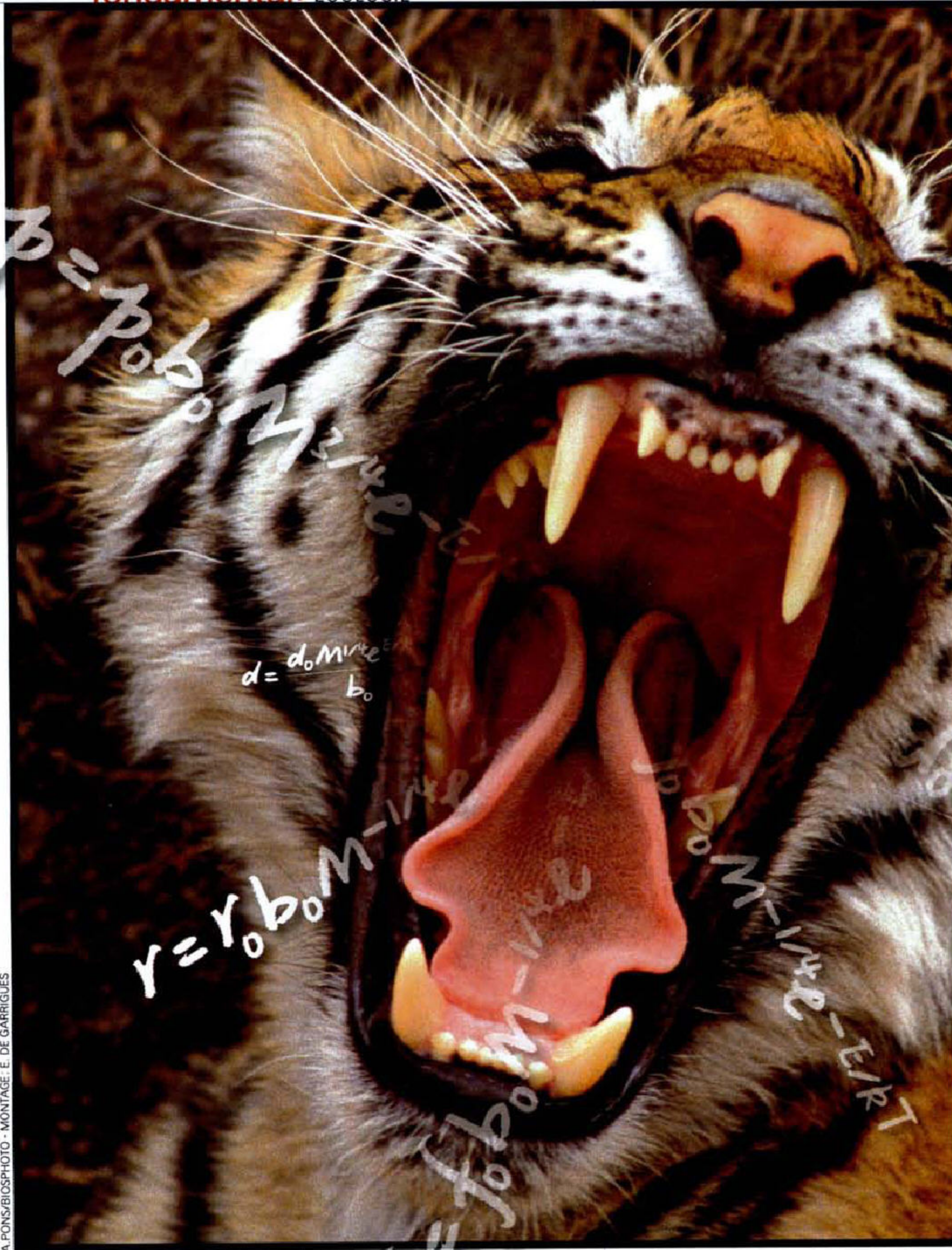
> Jusqu'à quelques siècles

La température du sous-sol peut directement donner des informations sur la température passée de la surface. Car les variations dans le sol suscitent la formation d'une "onde thermique", qui se propage lentement vers les profondeurs. A quelques mètres, par exemple, on observera en décembre un pic de température, issu des chaleurs de l'été. Et plus on descend, plus les variations rapides (mensuelles, annuelles, décennales, etc.) sont brouillées, ne permettant d'accéder qu'à des

évolutions climatiques de grande durée. Les 500 premiers mètres de sous-sol autorisent ainsi la lecture – directement avec un thermomètre – des températures qui régnaient à la surface un millier d'années plus tôt! A l'université du Michigan, une banque de données stocke les informations de 837 reconstructions issues de forage, bien corrélées avec les observations instrumentales menées depuis 1850. Elles permettent d'évaluer les températures qui régnaient au sol depuis les années 1500!

▼ L'étude du sous-sol permet d'accéder à des évolutions climatiques de grande durée.







REPÈRES

Jusqu'ici persuadés que les cris étaient spécifiques aux espèces, les scientifiques n'avaient jamais formulé de loi générale sur la communication acoustique animale. C'est désormais chose faite : deux chercheurs américains viennent d'élaborer un modèle mathématique qui, en prenant en compte la température et la masse de n'importe quel animal, permet de déterminer les caractéristiques du son qu'il émet !

Le cri

des animaux a été mis en équation

Par Rafaële Brillaud

Existe-il un point commun entre les stridulations d'un grillon provençal, les cris d'un orang-outang, les barrissements d'un éléphant, le chant d'une baleine à bosse, le coassement d'un crapaud et le caquetage d'une poule ? Contre toute attente, la réponse est oui ! Telle est en tout cas la conclusion des travaux de deux chercheurs américains, respectivement du département de biologie de l'université de Floride et du département de zoologie de l'université d'Oklahoma : ils ont réussi à démontrer que l'extrême diversité des sons produits par l'ensemble des animaux pour communiquer dépend uniquement... de leur métabolisme. Autrement dit, hennissement,

miaulement, gazouillis, vagissement ou bourdonnement sont déterminés par seulement deux paramètres : la masse de la bête qui s'exprime et sa température. Concrètement, James Gillooly et Alexander Ophir ont élaboré un modèle mathématique universel, qui s'applique aussi bien aux insectes qu'aux oiseaux, aux poissons qu'aux grenouilles, aux lézards qu'aux mammifères. Et ce modèle permet de déduire les caractéristiques acoustiques des vocalisations de n'importe quel animal !

Cette idée de relier leurs cris à leur métabolisme, c'est-à-dire à leur consommation et à leur dépense d'énergie, n'est pas nouvelle. "Il →

LES VOCALISATIONS VARIANT SELON LA TEMPÉRATURE...

D'après le modèle des chercheurs, tous les animaux poussent un cri semblable, dont les caractéristiques varient avec la température et la masse. Ainsi, à masse égale, le cri de la cigale et ses 42,5 °C de température corporelle sera plus aigu, faible, court et fréquent que celui de la grenouille et ses 6 °C.

Cigale
*Okanagana
vanduzeei*

Grenouille
Hyla labialis

→ existe une abondante littérature corrélat, chez des espèces très proches, certaines propriétés des signaux acoustiques au métabolisme, à la taille du corps ou à la température", reconnaissent d'emblée les deux chercheurs. Mais, parce que l'on a toujours jugé la communication vocale des animaux spécifique à chaque espèce, aucune théorie générale sur le sujet n'a jamais été élaborée. Et c'est ce tour de force qui vient d'être réalisé.

James Gillooly et Alexander Ophir sont partis de deux hypothèses, fondées sur des observations de biologistes: ils ont supposé que la hauteur (fréquence), le rythme (nombre de cris par seconde)

permet d'exprimer mathématiquement ce taux métabolique selon la température et la masse de l'animal. Cela leur a suffi pour formuler comment la hauteur, le rythme et la durée des cris variaient en fonction de ces deux derniers paramètres. La puissance du cri, quant à elle, a été déduite grâce à une troisième hypothèse, selon laquelle tous les animaux investissent la même part de leur énergie dans un cri.

Au final, les deux chercheurs ont obtenu quatre formules mathématiques universelles exprimant les quatre caractéristiques principales des signaux vocaux de la communauté animale (hauteur, puissance, durée et rythme).

Un inventaire de 497 poissons, reptiles, amphibiens, mammifères, oiseaux...

et la durée des cris dépendaient de l'activité musculaire plutôt que de la morphologie des animaux, et que cette activité musculaire était proportionnelle au "taux métabolique", c'est-à-dire à la vitesse à laquelle l'animal dépense son énergie. Or, il existe en biologie un modèle bien établi qui

Ce modèle montre que, à température égale, plus un animal est massif, plus son cri est grave, puissant, long et espacé. Et à masse égale, plus sa température est élevée, plus il devient aigu, faible, court et fréquent.

Les deux scientifiques ont ensuite testé ce modèle sur pas moins de

497 espèces! Cela sans quitter leur laboratoire. De fait, ils ont compilé des caractéristiques vocales d'animaux relevées par d'autres chercheurs dans diverses études. Ils ont ainsi constitué une liste ayant des airs d'inventaire à la Prévert, avec 27 poissons (qui claquent des dents ou font vibrer leur vessie natatoire pour communiquer), 79 amphibiens, 15 reptiles, 45 invertébrés, 46 mammifères marins et terrestres et 285 oiseaux. L'homme, lui, n'y figure pas, mais "pourrait sans problème se prêter à l'exercice", précisent les deux scientifiques (voir encadré).

Afin d'être le plus représentatif possible, l'échantillon choisi offre de jolies variations sur l'échelle des masses: le plus léger animal, la punaise d'eau *Micronecta poweri*, pèse un millième de gramme, quand le plus lourd, la baleine bleue *Balaenoptera musculus*, dépasse la centaine de tonnes! Quant aux températures, mammifères et oiseaux naviguent entre 37 et 40 °C, puisque ce sont des organismes endothermes, c'est-à-dire dotés d'une température corporelle constante, quelle que soit la température de leur milieu. Mais

un même cri



Punaise d'eau
*Micronecta
poweri*



Baleine bleue
*Balaenoptera
musculus*

... ET LA MASSE DE L'ANIMAL

Et à température égale, plus un animal est massif, plus son cri est grave, puissant, long et espacé. Cela se vérifie avec la punaise d'eau, qui pèse un millième de gramme, comme avec la baleine bleue, qui dépasse la centaine de tonnes.

la grenouille *Hyla labialis* n'affiche que 6 °C, quand la cigale *Okanagana vanduzeei* culmine à 42,5 °C!

Pour chacun d'eux, James Gillooly et Alexander Ophir ont comparé les sons effectivement produits avec les résultats obtenus via leur modèle mathématique. Banco! "Les données ont largement confirmé notre modèle", se félicitent les deux Américains.

UN MODÈLE DÉSORMAIS VALIDÉ

Ne faut-il voir là qu'un pur exercice théorique réussi? Certes non. Car ce modèle, désormais validé, va permettre de mieux comprendre comment la communication vocale a évolué d'une espèce à l'autre et, surtout, d'avoir une vision plus globale sur un champ de recherche jusque-là morcelé en autant d'études qu'il existe d'animaux particuliers. Mieux: le modèle pourrait être en mesure de faire des prédictions, notamment concernant des espèces éteintes dont nul n'a jamais entendu la moindre vocalisation, tels les dinosaures. James Gillooly pourrait-il révéler les cris de ces géants à jamais muets? "A

condition d'être sûrs qu'un animal disparu était capable de produire un son, oui, nous pourrions faire des prédictions concernant la nature de ses cris. Nous n'aurions qu'à rentrer sa masse et sa température approximative dans le modèle", confirme le biologiste, qui, pour l'heure, ne compte pas se lancer dans un tel calcul.

C'est dans une autre direction que les scientifiques ont plutôt poussé l'exercice. Pour illustrer comment un seul et même cri se cache derrière l'apparente diversité des vocalisations animales, ils sont partis de l'enregistrement du chant d'une baleine dont ils ont transformé la hauteur, la puissance, la durée et le rythme, en ajustant ces valeurs à celles que leur modèle mathématique prédit lorsque la masse et la température sont ramenées à celles d'un grillon. Résultat: le chant de l'imposant mammifère marin, une fois modifié, ressemble à s'y méprendre à celui du minuscule insecte! Pas sûr, s'il avait eu un tel exploit à portée de voix, que le crapaud de La Fontaine aurait tenté d'être plus gros que le bœuf...

LE CRI HUMAIN MODÉLISÉ: UN RÉSULTAT... SURPRENANT

L'homme étant un animal comme les autres, on peut donc s'amuser à calculer les caractéristiques de son cri, en partant de sa masse (prenons 70 kg) et de sa température (37 °C). D'après le modèle mathématique de James Gillooly et Alexander Ophir, le cri "théorique" humain durerait un peu plus d'une seconde et se répéterait toutes les quatre secondes. Il aurait une fréquence de 400 Hz, soit l'équivalent de la note "sol" au-dessus du "do" situé au milieu du clavier de piano. Et une puissance de 2 W, tel celui... du phoque barbu.



EN SAVOIR PLUS

La Symphonie animale,
Antonio Fischetti et Honoré
Arte éditions-Vuibert, 2007

Q&R

Le tabagisme passif est-il aussi nocif qu'on le dit ?


Question d'Emmanuel de Toma, Mougins (06)

Vous avez sans doute été alerté par les déclarations de Philippe Even, qui estime *"inexistante ou extrêmement faible"* la nocivité du tabagisme passif. Selon ce pneumologue réputé, ancien doyen de la faculté de médecine de Necker (Paris), *"l'interdiction du tabac dans les lieux publics n'a aucune base scientifique"*. Pourtant, parmi les chercheurs, la nocivité du tabagisme passif ne fait plus débat. *"La fumée secondaire contient les mêmes substances carcinogènes que la fumée primaire, bien que les concentrations soient différentes. Prétendre que l'exposition à un tel mélange n'a aucune conséquence sur la santé est incompréhensible"*, s'insurge Ahmad Besaratina, chercheur

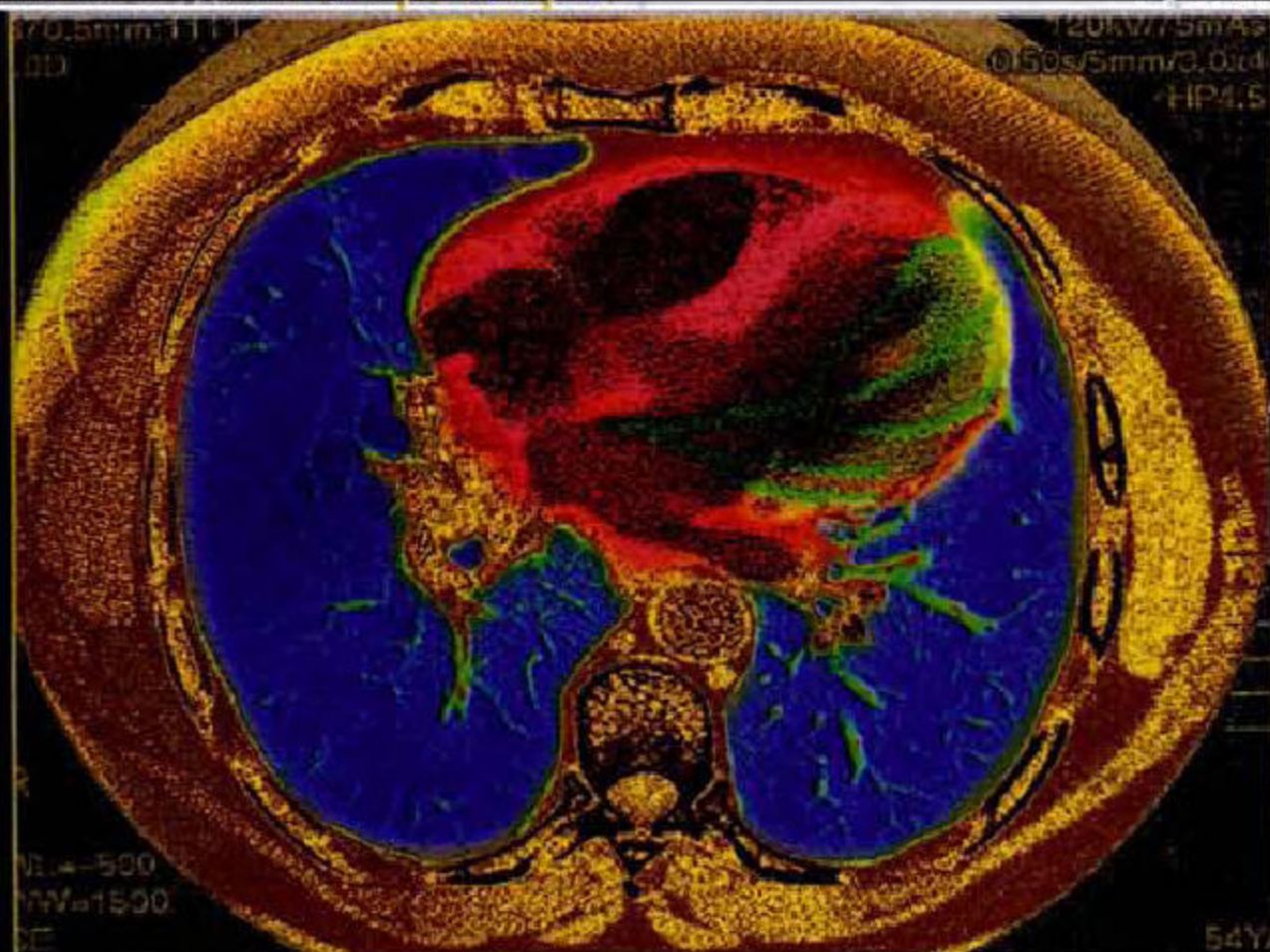
en cancérologie à l'Institut américain Beckman en Californie. Les études qui montrent un lien entre tabagisme passif, cancer du poumon et maladies cardio-vasculaires ne manquent pas. Plusieurs synthèses concluent que le tabagisme passif augmente le risque de cancer bronchique de 25 %. Un *"risque mineur"*, selon Philippe Even, qui souligne que *"le risque de cancer bronchique non tabagique représente au maximum 1 000 décès par an. Une augmentation de 25 % représente donc 250 décès, à comparer aux 25 000 décès par tabagisme actif et au risque de cancer multiplié par 10 ou 20..."* Mais au-delà de cette interprétation des données très personnelle, le pneumologue →



Entre 2007 et 2008, ce macaron à fleuri dans tous les lieux publics de France.

A close-up photograph of a hand holding a lit cigarette. The cigarette has a white filter and a glowing orange tip. A thin wisp of smoke is rising from the tip. The background is dark and out of focus, showing blurred lights and shapes that suggest a bar or restaurant environment. A yellow horizontal bar is at the top of the page.

< Il a été prouvé
que l'exposition des
employés de bars à
la fumée augmentait
leur risque de can-
cer du poumon. Un
lien remis en ques-
tion par un pneumo-
logue réputé.



▲ Les maladies cardiovasculaires (ici, un infarctus du myocarde) tuent davantage de "fumeurs" passifs que le cancer du poumon, selon un rapport européen.

→ soulève un vrai problème : la méthodologie contestable de ces études. En effet, les cancers, comme les maladies cardiovasculaires, se développent sur plusieurs dizaines d'années. Or, si on peut estimer avec précision la quantité de fumée inhalée par une personne qui a consommé un paquet de cigarettes par jour pendant vingt ans, il est impossible d'en faire autant chez les "fumeurs" passifs. *"Nous ne pouvons l'évaluer autrement que par questionnaire, ce qui est peu*

fiable", admet Ahmad Besaratinia. Il existe toutefois des études difficilement critiquables, comme celle menée par des chercheurs américains en 2003 sur des travailleurs de bars, de bowlings et de casinos, où le taux "d'enfumage" était 2 à 18 fois plus élevé que dans les habitations. Après quarante ans d'exposition intense, le risque de mourir d'un cancer du poumon est multiplié par 3 à 13 chez ces employés. Un risque qui justifie à lui seul la loi contre le tabac dans les lieux publics.

En revanche, pour une exposition plus modérée, *"nous ne connaissons pas avec exactitude l'ampleur du risque"*, ajoute Ahmad Besaratinia.

UN RISQUE D'ASTHME RÉDUIT

Il se trouve par ailleurs que les chiffres repris par le gouvernement français (6000 morts par an liés au tabagisme passif) sont fondés sur une mauvaise interprétation d'un rapport européen publié en 2006, qui estime en réalité que *"seuls"* 1 000 non-fumeurs meurent chaque année à cause de la fumée des autres. Et la cause majeure n'est pas le cancer du poumon, mais les maladies cardiovasculaires, dont le risque augmente de 20 % à 50 % avec le tabagisme passif. Ce sur quoi Philippe Even fait l'impasse, alors que les études probantes sont encore plus nombreuses et plus solides que pour le cancer du poumon.

Reste que l'interdiction de fumer dans les lieux publics permet de diminuer le risque d'asthme et de réduire la prévalence du tabagisme actif de 3 à 10 %, comme le suggère une synthèse de 31 études publiée en avril 2010. Et en termes de confort, ces bénéfices ne sont pas sujets à débat. **M.Co.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT
D'UN AN À

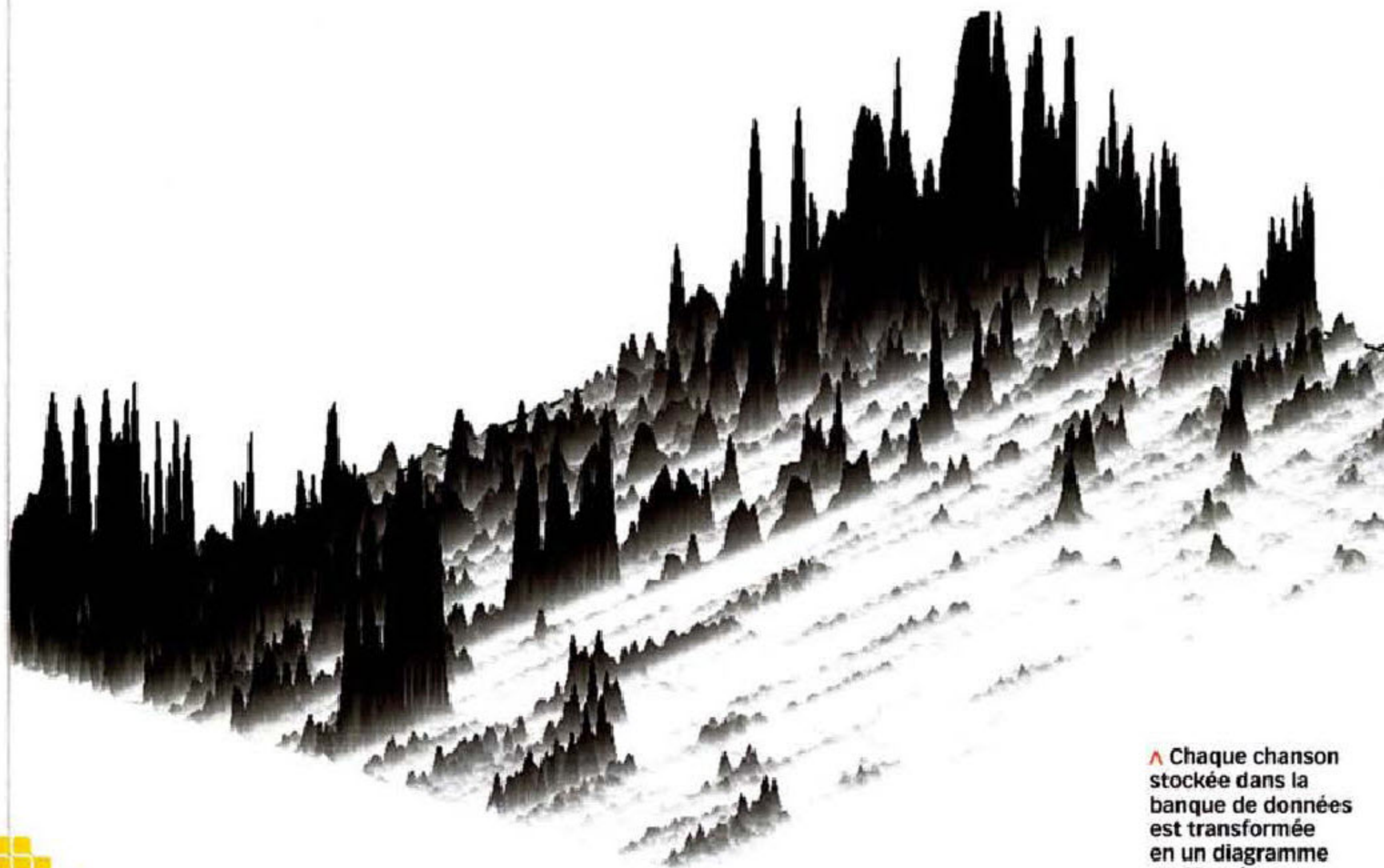
SCIENCE & VIE

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
1 rue du Colonel-Pierre-Avia
75503 PARIS CEDEX 15.

LOIS ANTITABAC : DES CONCLUSIONS TROP HÂTIVES

Deux mois après l'interdiction de fumer dans les bars et les restaurants, en février 2008, l'Office français de prévention du tabagisme annonçait une baisse de 15 % d'infarctus et d'accidents vasculaires cérébraux, liée à la loi. Las, les récents résultats d'une étude recensant les hospitalisations pour crise cardiaque ne montrent pas de diminution nette après janvier 2008, plutôt une diminution régulière depuis 2003. En 2009, une étude américaine clamait une chute de 17 % des crises cardiaques dans des Etats appliquant une loi similaire, mais une erreur de calcul en avait transformé le résultat, en réalité de 8 %. Des données par ailleurs contestables, car jamais comparées à des observations dans des Etats sans loi antitabac.



▲ Chaque chanson stockée dans la banque de données est transformée en un diagramme en 3D unique.

SCIENCE VIE *en pratique*

Q&R

Comment le logiciel Shazam reconnaît-il aussi vite un titre de musique ?

Question de Vincent Fournier, Paris 7^e

Il est vrai que ce logiciel pour smartphone est étonnant, capable, après avoir enregistré dix secondes de musique, de retrouver le nom d'une chanson parmi une gigantesque base de données de plus de 8 millions de titres, de tous styles et pays d'origine. Le secret de Shazam ? Un système d'analyse automatique des morceaux de musique, résumée dans un brevet de 2003 signé par Daniel Culbert et Avery Wang (ce dernier est aujourd'hui directeur scientifique

de l'entreprise Shazam). Chaque titre de la base de données est analysé et transformé en "spectrogramme", c'est-à-dire un diagramme en 3D défini par le temps, la fréquence et l'amplitude.

EFFICACE DANS LE BROUHAHA

Shazam ne s'intéresse qu'aux pics d'amplitude qui apparaissent dans le spectrogramme, et les considère comme des points, dont les coordonnées sont le temps et la fréquence : ce sont les "empreintes" de chaque

titre. Lors de l'identification du morceau, l'extrait est transformé de la même manière, avant d'être comparé à la bibliothèque du logiciel. Si Shazam est si performant, c'est grâce à ces empreintes qui permettent de transformer une chanson de quatre minutes (environ 4 Mo en format MP3) en texte de quelques kilooctets. Résultat : la base de données est considérablement restreinte, et les comparaisons avec les 8 millions de titres, ultrarapides.

Le système est tellement fiable qu'il fonctionne même dans l'ambiance bruyante d'un bar ou d'une fête, accusant alors seulement quelques secondes de retard. Cependant, Shazam ne peut reconnaître que les titres qu'il a analysés très en détail et ne peut donc être utilisé en concert, car le morceau joué sur scène correspond bien peu souvent au morceau enregistré en studio. **P.O.**

Un animal peut-il vraiment faire des pronostics sportifs ?

Question de Nicole Martel, Manzat (63)

L'oracle du Mondial ne s'est jamais trompé. Du fond de son aquarium, il a prédit l'issue de tous les matchs de l'Allemagne et de la finale. Certes, quand on porte le nom savant d'*Octopus vulgaris* ("huit pieds vulgaire"), on peut impressionner les amateurs qui n'en ont que deux, mais de là à proclamer que le pensionnaire du Sea Life d'Oberhausen (Allemagne) cache un secret... Rappelons d'abord le "protocole": le poulpe doit choisir entre deux boîtes contenant une moule décortiquée, frappées du drapeau des adversaires du match à venir (ce qui exclut la possibilité d'un score nul durant les poules). Quatre fois sur six lors de l'Euro de foot 2008 et huit fois sur huit lors du Mondial 2010, Paul a ouvert la bonne boîte. Les poulpes étant reconnus pour leur intelligence, le choix délibéré d'une urne, guidé par la préférence pour tel ou tel motif de l'étendard (les poulpes ne distinguent pas les couleurs), ne peut être exclu. Il faudrait cependant, pour le démontrer, soumettre Paul à un vrai protocole expérimental...

Et s'il avait juste eu de la chance? Considérons chaque "choix" comme un tirage à pile ou face. Alors les probabilités d'obtenir huit prédictions correctes à la suite sont de 1 sur 2 à la puissance 8, soit une chance sur 256 ou encore 0,39 %. C'est peu! "Oui, mais cela n'a rien de statistiquement exceptionnel", remarque Avner Bar-Hen, professeur de mathématiques à

l'université Paris-V et président de la Société française de statistique (SFdS). *On a même observé des exemples bien plus impressionnants par le passé.* Comme par exemple en septembre 2009, quand les mêmes six chiffres sont sortis deux semaines de suite au Loto bulgare: une chance sur 4,2 millions!

COHÉRENT, MAIS...

Et les matchs de 2008? En fait, et de façon contre-intuitive, en tenir compte amoindrit la performance de l'oracle invertébré, avec 0,55 % de chance de prédire douze tirages sur quatorze. En outre, comme l'a montré une enquête du quotidien *Bild*, le Paul de 2008 n'était pas le même, ce qui ne serait pas étonnant vu qu'*Octopus vulgaris* ne vit guère plus de dix-huit mois. "Enfin, il faut souligner que ce problème n'a mathématiquement guère de sens,

conclut en riant Avner Bar-Hen. Pour savoir si Paul désignait le vainqueur, il faudrait être sûr qu'il avait compris le problème, car il a très bien pu opter pour le perdant! Dans quel cas, il a eu tout faux. Reconnaissons-lui tout de même le mérite d'avoir été cohérent." Comme les animaux du zoo allemand de Chemnitz qui ont prédit les futurs vaincus des matchs de poule... Mani le perroquet singapourien, Régis le lapin français, Pino le chimpanzé estonien et autres bêtes recrutées pour la divination footballistique n'en ont pas fait autant, mais leur nombre accroît la probabilité que l'un d'eux ait raison sur les huit tirages (1,6 % avec quatre animaux). Quant aux modèles mathématiques de la finance, aucun n'a émis de prédiction correcte, sauf Goldman Sachs, qui estimait l'Espagne la mieux placée pour gagner la Coupe. P.G. ☞

11 juillet 2010
L'Espagne est sacrée, championne du monde de football à Johannesburg... comme prévu par Paul





^ C'est de son aquarium d'Oberhausen que Paul le poulpe a livré ses huit oracles. Un sans-faute.

Pourquoi la bière est-elle si diurétique ?

Question de Vincent Coulon, Paris 1^{er}

L'explication tient au fonctionnement des reins. Leur rôle, en fabriquant l'urine, est de réguler la concentration du sang en minéraux, de purger l'organisme des déchets et autres composés inutiles. Or, ces éléments ne sont pas inertes dans les liquides : ils attirent plus ou moins de molécules d'eau pour assurer leur dilution. Un phénomène que

l'on nomme osmolarité. Et justement, la bière contient un grand nombre de ces composés. Sucres, ions, protéines et diverses molécules issues de la fermentation du houblon lui procurent une très forte osmolarité : 1100 milliosmoles (mOsm) par litre, quand celle du sang est de 300 mOsm/l. Concentrés dans l'urine, ces composés lui communiqueront

leur osmolarité élevée. Laquelle imposera au rein de fournir plus d'eau pour diluer ces composants. Une "fuite" contre laquelle le rein ne pourra pas lutter, et qui peut provoquer déshydratation de l'organisme et déséquilibre en minéraux, d'autant plus que la bière, moins concentrée en alcool que d'autres boissons, est souvent servie plus généreusement. R.S. ✦



➤ Des composés issus de la fermentation du houblon imposent aux reins de fournir beaucoup d'eau pour les diluer... et les évacuer.

Comment fabrique-t-on un aimant permanent ?

Question de Jean Durand, La Vaysse (81)

Si vous aviez posé la question aux Grecs de l'Antiquité, ils vous auraient sans doute répondu que la seule façon de "fabriquer" un aimant est de rapprocher un objet en fer ou en acier d'une pierre de magnétite, pour que celle-ci lui transfère son mystérieux pouvoir d'attraction/répulsion. Mais ce transfert étant restreint – les métaux perdent leur aimantation dès qu'on les en éloigne –, vous n'auriez pas obtenu un aimant à l'attraction spontanée suffisamment forte pour résister à la désaimantation. Aujourd'hui, notre connaissance des

propriétés électromagnétiques de la matière permet de fabriquer à volonté de puissants aimants permanents, mais comprendre le procédé exige de revenir aux fondamentaux.

DEUX ROTATIONS COMBINÉES

Pour décrire le monde au niveau atomique, nous utilisons généralement le modèle planétaire, considérant que des électrons gravitent autour des noyaux atomiques, tout en tournant sur eux-mêmes. Et nous disons que la combinaison de ces deux rotations donne

le "moment magnétique" de chaque électron. Ce modèle n'est pas exact (le monde quantique est bien plus étrange, voir *SCV* n° 1097), mais il nous permet d'accorder les calculs à l'intuition. Nous pouvons alors imaginer que ce sont les mouvements des électrons qui engendrent des champs magnétiques. Quand un atome a plusieurs électrons, ces champs peuvent s'annuler ou s'amplifier, donnant le "moment magnétique global" de l'atome. Le problème est alors d'amener à s'additionner les champs magnétiques des minuscules



A quoi sert la crête du coq ?

Question de Jérôme Poirson, Saône (25)

Peu importe sa forme, ou l'espèce de celui qui la porte, la première fonction de la crête est d'indiquer à l'entourage, poules ou coqs, à qui il a à faire.

"Caractère sexuel secondaire", la crête indique le sexe de son propriétaire, et informe sur son âge ou son état de santé. La grande crête d'un rouge franc caractérise ainsi un coq dans la force de l'âge, ayant atteint sa

pleine maturité sexuelle. Plus petite, plus pâle, elle est le signe d'un manque de maturité, lié à l'âge ou à une insuffisance sexuelle. Cas extrême : le chapon, castré, qui ne développera ni crête ni barbillons (replis de peau flasque sous le bec). Le lien entre taille de la crête et maturité sexuelle ? La testostérone. L'hormone est responsable de la croissance des tissus.

Son taux fluctuant selon le cycle de reproduction, on observe des variations de la grosseur de la crête toute l'année. Signalons enfin que certains lui attribuent un rôle de thermorégulateur. Non isolée thermiquement, la crête permettrait au coq, en cas de fortes températures, de dissiper la chaleur grâce aux échanges thermiques avec l'air extérieur. **E.T.-A.**

aimants que sont certains atomes. Pour cela, il faut sélectionner des atomes de cobalt, de fer et de nickel, qui ont un moment magnétique non nul et forment facilement des liaisons électroniques entre eux.

TOUS DANS LA MÊME DIRECTION

Puis, afin d'éviter que l'agitation thermique qui anime ces atomes n'oriente leurs moments magnétiques de façon aléatoire, il faut les rassembler en une structure cristalline, pour forcer les moments magnétiques individuels à interagir et à dépendre les uns des autres. Enfin, ce matériau est soumis à un champ magnétique intense, qui les oriente dans la même direction. C'est en additionnant les moments magnétiques de tous ces atomes que des corps sont produits, dont le moment magnétique total en fait des aimants permanents. **V.Gu.**

✓ Grande et d'un rouge franc, la crête indique la pleine maturité sexuelle de l'animal.



Le scooter à trois roues

Lancé en 2006, l'audacieux scooter à trois roues a rapidement fait sa place sur un marché qui évoluait sur deux roues depuis un siècle. Plus de 69 000 exemplaires se sont écoulés dans le monde depuis son lancement, dont environ 26 000 en France. Les chiffres progressent chaque année : en 2009, 15 % des scooters vendus en France étaient des trois-roues (contre 5 % en 2008). Plusieurs constructeurs prévoient donc de sortir leur propre modèle pour concurrencer l'italien Piaggio, jusqu'ici seul sur le marché.

Pourtant, lorsque le premier scooter du genre, le Piaggio MP3, a vu le jour, le pari était loin d'être gagné. Le concept était radicalement différent des modèles commercialisés et son prix très élevé (à partir de 4 700 euros en 2006 sur un marché dont le prix moyen avoisinait 3 200 euros). De plus, même si les véhicules à trois roues existent depuis les débuts de l'automobile à la fin du XIX^e siècle ("Un peu d'histoire"), on les connaissait le plus souvent avec

deux roues à l'arrière, et non à l'avant. Assez larges et dotés de trois roues fixes, ces modèles étaient surtout cantonnés aux marchés des véhicules utilitaires et de loisirs. Alors, comment expliquer ce succès du scooter à trois roues ?

PLUS STABLE DONC PLUS SÛR

"C'est d'abord l'aspect sécuritaire des deux roues avant qui a convaincu les acquéreurs, car la sécurité est aujourd'hui une priorité pour les consommateurs", explique Frédéric Bart, responsable communication de Peugeot Scooters. Un argument de poids quand on sait que 1 189 personnes ont été tuées en cyclomoteur, scooter ou moto en France en 2009 (bilan provisoire de l'Observatoire national interministériel de sécurité routière), soit 9,5 % de plus qu'en 2008 ! En fait, le scooter à trois roues est plus sûr car sa roue supplémentaire à l'avant le rend plus stable. Avec trois points de contact au sol, sa tenue de route est améliorée. Il est aussi moins sensible au vent →

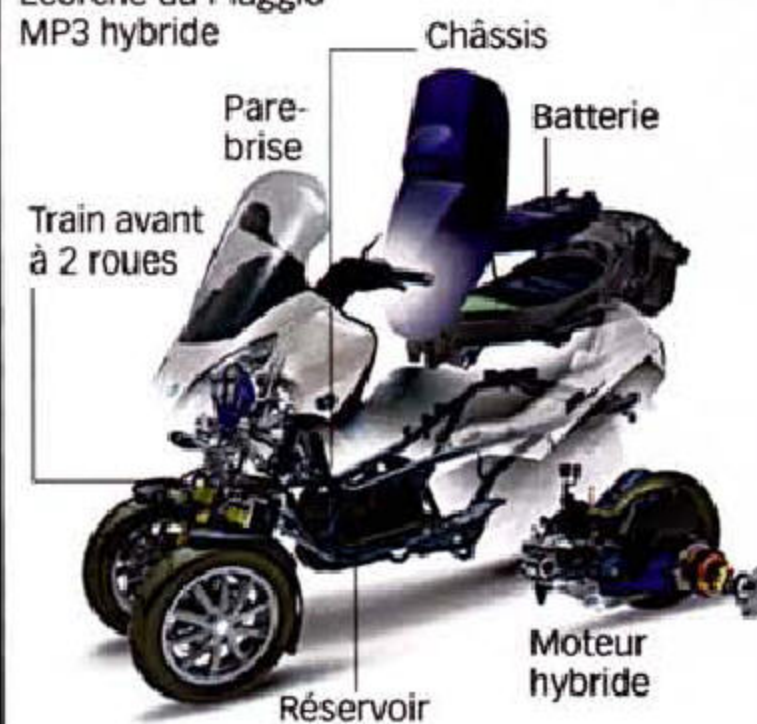
1 Un parallélogramme relie les roues avant

La colonne de direction s'insère dans le tube avant du cadre. Elle tourne à droite et à gauche. Le parallélogramme est articulé sur deux axes soudés à l'avant du cadre. Il tangue mais ne pivote pas avec le guidon. Les bras de fourche insérés aux extrémités du parallélogramme montent et descendent avec le parallélogramme et pivotent avec le guidon.

Avant du cadre

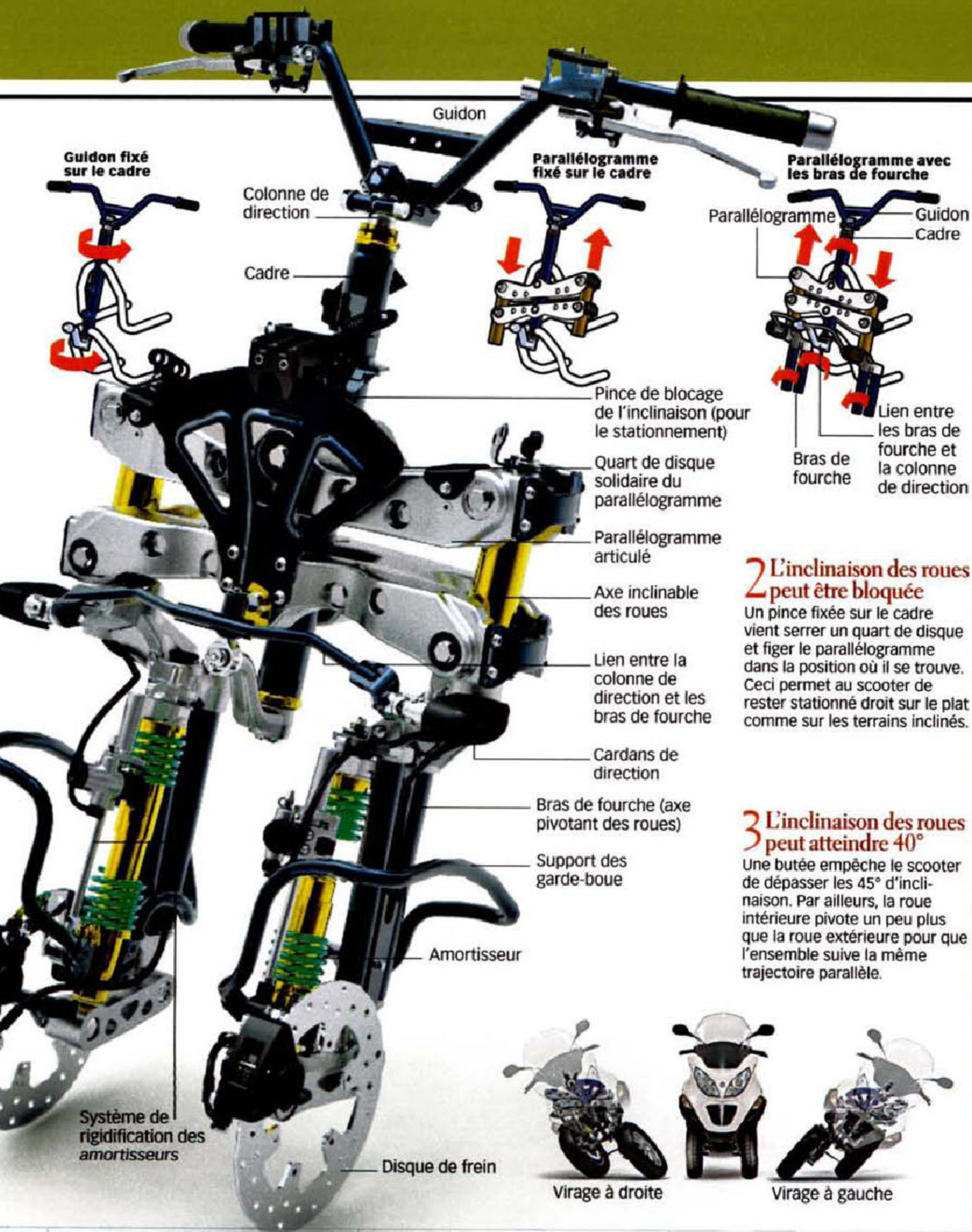


Ecorché du Piaggio MP3 hybride



COMMENT ÇA MARCHE

Installer deux roues séparées de 42 cm à l'avant d'un scooter a demandé la mise au point de quelques astuces mécaniques. Le système repose sur l'ajout d'un parallélogramme en fonte d'aluminium qui donne la possibilité de faire bouger les roues dans le plan vertical de manière synchronisée. A ceci s'ajoute un système de cardans et de tige métallique semblable à la direction des voitures pour relier les roues à la colonne de direction.



2 L'inclinaison des roues peut être bloquée

Un pince fixée sur le cadre vient serrer un quart de disque et figer le parallélogramme dans la position où il se trouve. Ceci permet au scooter de rester stationné droit sur le plat comme sur les terrains inclinés.

3 L'inclinaison des roues peut atteindre 40°

Une butée empêche le scooter de dépasser les 45° d'inclinaison. Par ailleurs, la roue intérieure pivote un peu plus que la roue extérieure pour que l'ensemble suive la même trajectoire parallèle.

→ latéral. Et en plus de réduire les pertes d'équilibre, les deux roues avant rendent le freinage plus efficace: la distance pour s'arrêter est raccourcie de 20 % par rapport à un scooter avec freinage ABS. Enfin, elles s'inclinent dans les virages, l'engin conserve ainsi le dynamisme et le mode de conduite habituels d'un scooter classique.

LES VENTES ONT TRIPLÉ EN 2009

Techniquement, c'est l'intérieur du train avant qui fait la différence ("Comment ça marche"). Un système de suspensions à parallélogramme articulé relie les deux roues et, à chaque virage, ces dernières s'inclinent jusqu'à 40°, soit quelques degrés de plus qu'un scooter classique. A cela s'ajoute un mécanisme de blocage de l'inclinaison des roues qui permet de les figer dans leur position. Plus besoin donc de poser le pied à terre au feu rouge, ni d'utiliser la béquille pour stationner: le scooter tient debout tout seul.

En plus de ces avantages de conception sont arrivés, fin 2008, des modèles de plus de 125 cm³ accessibles avec un permis automobile au lieu d'un permis moto ("Bon à savoir"). Cette innovation a dopé le marché: en 2009, les ventes de ce type de scooters ont triplé!

Mais ces atouts ne doivent pas faire oublier la principale faiblesse de ces modèles: leur poids atteint, à cause du train avant, plus de 200 kg. C'est environ 30 kg de plus qu'un scooter à deux roues. Conséquences: le manque d'agilité est pointé du doigt par certains conducteurs, et la version 125 cm³, trop lourde, plafonne à 100 km/h. Cependant, dans les années qui viennent, le scooter à trois roues devrait continuer à évoluer. D'après les fabricants, il adoptera une motorisation écologique (hybride ou électrique) et des caractéristiques davantage inspirées de la voiture ("Et demain"). **L.B.**

UN PEU D'HISTOIRE...

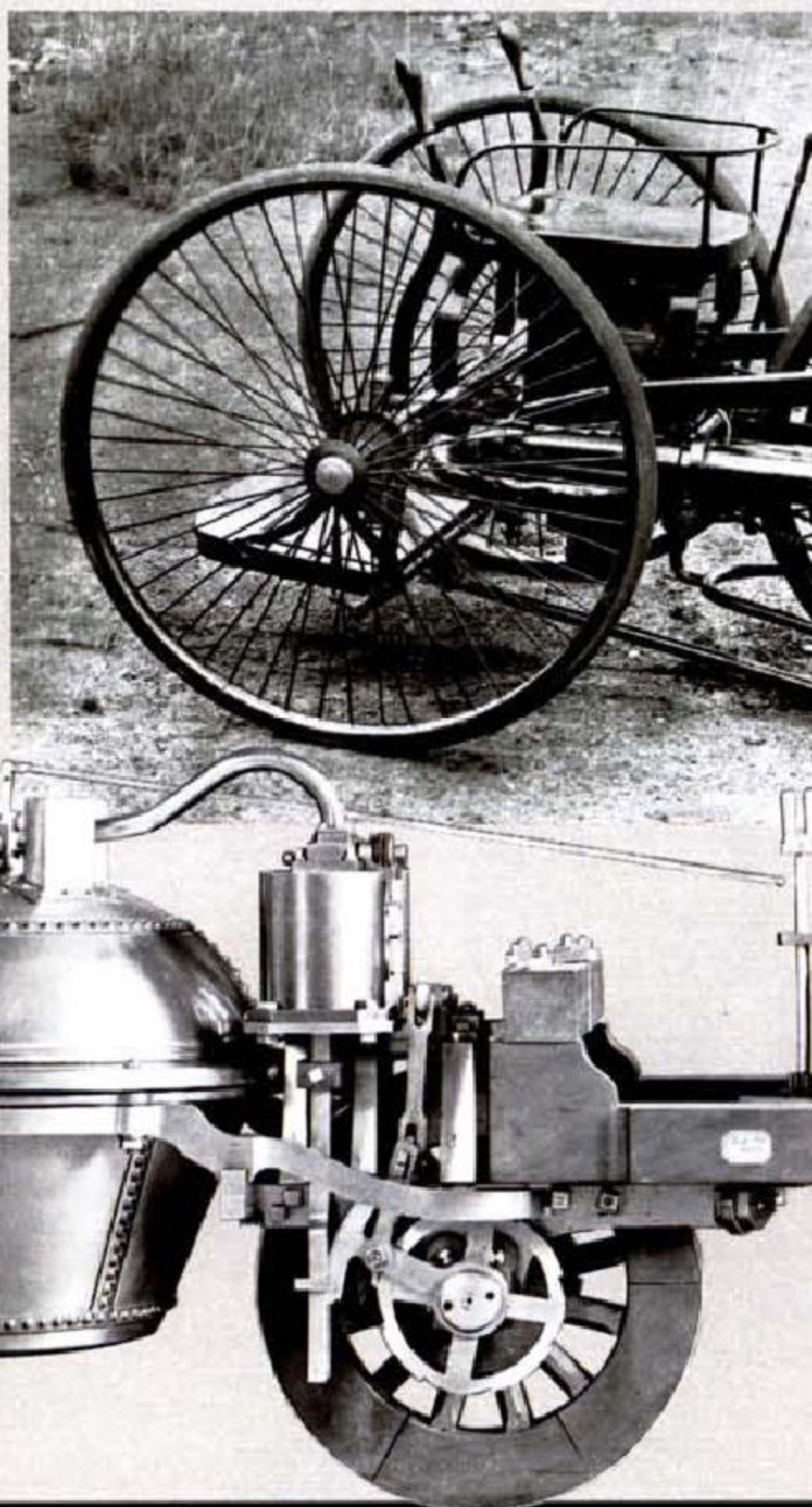
C'est Léonard de Vinci qui, le premier, eut l'idée d'un véhicule autopropulsé dès 1478. Selon ses plans, cet ancêtre de l'automobile au mécanisme sophistiqué (suspensions et colonne de direction étaient prévues) avait justement... trois roues. Mais l'engin n'est jamais devenu réalité. Ce n'est que trois siècles plus tard que l'on vit les premiers véhicules rouler sur trois roues.

Un tricycle à moteur

L'un des plus connus est le Fardier, conçu en 1770 par l'ingénieur militaire français Joseph Cugnot. Cette voiture à vapeur de 7,25 m de long et 2,20 m de large, avec deux roues arrière, était destinée à transporter des charges lourdes (canons...) et souffrait de problèmes de freinage. Faute de financement, elle resta à l'état de prototype. Il fallut donc attendre les débuts de l'automobile, à la fin du XIX^e siècle, pour qu'émergent les véritables ancêtres du scooter à

trois roues. Le plus proche fut le Petrol Cycle, mis au point en 1890 par l'anglais Edward Butler. Avec deux roues à l'avant et une à l'arrière, ce véhicule mono-place – qui ressemblait à un fauteuil roulant – était propulsé par un moteur à explosion à la vitesse maximale de... 16 km/h! Mais il ne fut jamais autorisé à

circuler... Son existence fut éclipsée par la Benz Patent Motorwagen, créée en 1885 par l'inventeur allemand Karl Benz, et commercialisée trois ans plus tard. Dotée elle aussi d'un moteur à explosion, cette voiture biplace aux allures de grand tricycle fut considérée comme la première automobile de l'histoire.



Par la suite, les trois roues furent abandonnées au profit de quatre, jugées plus stables. Ce qui n'empêcha pas la commercialisation de trois-roues entre 1900 et 1960. Ainsi, la société anglaise Morgan Motor Company conçut dès 1910 des voitures équipées de moteur de moto et d'une seule roue arrière. Son but : proposer une alternative bon

marché à ceux qui ne pouvaient pas s'offrir d'automobile. Le concept connut un certain succès, notamment en Grande-Bretagne et en France où l'achat d'un trois-roues donnait droit à un avantage fiscal. Grâce à la largeur de leur train avant (équivalente à une voiture classique), ces modèles démontrèrent leur remarquable stabilité lors de

courses face aux trois-roues du constructeur anglais Reliant, dotés, eux, d'une roue avant unique. Plus tard, en 1948, l'entreprise italienne Piaggio lança le fameux triporteur Ape. Equipé d'une plateforme de chargement arrière, ce petit utilitaire – qui existe toujours – était fabriqué, pour sa partie avant, sur la base du scooter Vespa, né deux ans

plus tôt. C'est justement dans les années 1950 que le scooter devint un véritable phénomène de société à travers le monde, et notamment dans de nombreux pays d'Asie où une version trois-roues, servant généralement de taxi, s'est largement démocratisée. Mais l'un des premiers modèles de scooter à trois roues, le Ariel 3 du groupe anglais BSA, ne fut commercialisé qu'en 1970. Ses deux roues arrière étaient inclinables, ce qui lui conférait un dynamisme plus proche de la moto. Mais il n'eut pas le succès escompté.

Des roues inclinables

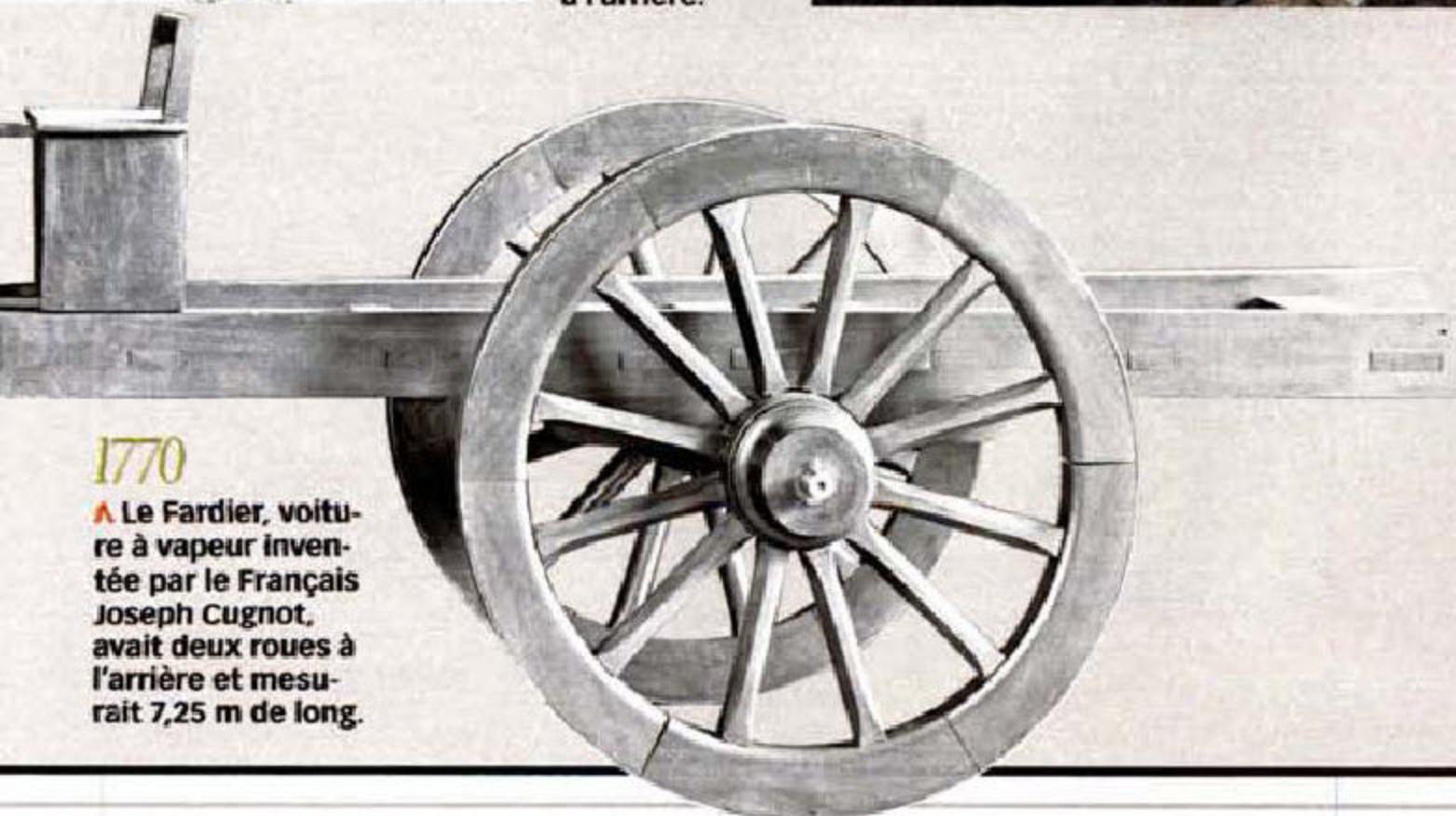
Les rares modèles à trois roues commercialisés ensuite furent, pour la plupart, des véhicules à vocation utilitaire, ludique ou sportive et dotés de roues fixes. Parmi eux, les trikes, sortes de motos de grosses cylindrées assez larges nées aux Etats-Unis dans les années 1970. Ou, en 2007, les roadsters Can-Am Spyder du canadien BRP, conçus pour le mototourisme. En lançant en 2006 son scooter MP3, Piaggio a donc signé l'arrivée d'une nouvelle génération de trois-roues, dotée d'un système inédit d'inclinaison des roues avant. Plusieurs modèles ont suivi, dont certains accessibles avec le permis automobile fin 2008, puis un autre à motorisation hybride fin 2009. Ces dernières années, d'autres fabricants ont dévoilé des concepts de trois-roues sur les salons internationaux, histoire de guetter les réactions des visiteurs. Leur commercialisation à destination du grand public est imminente.

1890

< Avec deux roues à l'avant et un moteur à explosion, le Petrol Cycle de l'anglais Edward Butler atteignait les 16 km/h.

1948

> La marque italienne Piaggio lance son triporteur utilitaire Ape, qui possède une roue avant et une plate-forme à l'arrière.



1770

▲ Le Fardier, voiture à vapeur inventée par le Français Joseph Cugnot, avait deux roues à l'arrière et mesurait 7,25 m de long.

BON À SAVOIR

■ COMBIEN ÇA COÛTE ?

Le prix d'un scooter à trois roues varie actuellement entre 5 870 € (Piaggio MP3 125 RL) et 8 600 € (MP3 Hybrid).

■ QUELLES SONT SES DIMENSIONS ?

Il mesure entre 2,13 et 2,18 m de longueur et 74,5 cm de largeur (au guidon), soit un gabarit quasi-équivalent à un scooter classique.

■ QUELLES CYLINDRÉES SONT DISPONIBLES ?

Il existe en versions 125, 250, 300, 400 et 500 cm³.

■ QUEL PERMIS POUR LE CONDUIRE ?

Pour conduire un modèle à trois roues de 125 cm³, il faut détenir soit le permis B (auto) depuis plus de deux ans, soit le permis A (moto) ou A1. Pour les cylindrées supérieures à 125 cm³, le permis A est exigé. Depuis le 1^{er} juillet 2010, les titulaires du permis B doivent suivre une formation pratique obligatoire de 7 heures pour conduire un trois-roues.

■ POURQUOI CERTAINS MODÈLES DE PLUS DE 125 CM³ SONT-ILS ACCESSIBLES AVEC LE PERMIS B ?

Parce qu'ayant subi plusieurs modifications (augmentation de l'écart entre les roues avant, par exemple), ils sont homologués comme tricycles à moteur, et que la législation autorise de conduire cette catégorie de véhicules avec un permis B.

■ LE RISQUE D'ACCIDENT EST-IL RÉDUIT AVEC CE TYPE D'ENGIN ?

Il est très difficile de répondre précisément car les chiffres officiels ne font pas la distinction entre scooters à deux et trois roues. Mais Patrick Jacquot, P-DG de la Mutuelle des motards, constate que *"le nombre de sinistres en scooter à trois roues est clairement inférieur aux scooters classiques"*.

■ EST-CE QU'IL CONSOMME PLUS ?

Oui, sa consommation avoisine 4 à 5 l/100 km, soit 0,5 à 1 l de plus qu'un scooter classique. En cause : un poids élevé et une plus grande prise au vent.

ET DEMAIN ?

Dévoilé en mars 2010 lors du salon de Genève, le dernier concept 3R-C de Honda, qui se distingue par un design enveloppant très novateur, serait-il l'illustration parfaite du futur scooter à trois roues ? Même s'il n'est pour l'instant pas destiné à être commercialisé, il semblerait que oui. Moteur propre, design à mi-chemin entre le scooter et la voiture, cockpit qui protège les jambes du conducteur... ses caractéristiques résument très bien toutes les évolutions à venir. La première est l'arrivée de modèles écologiques. Là encore, Piaggio se montre précurseur : en octobre 2009, il a lancé le premier scooter hybride du marché (MP3 Hybrid) qui consomme 50 % d'essence en moins (1,7 l/100 km) que ses homologues de 125 cm³ à moteur thermique. Mais il

reste cher : 8 600 euros !

"Pour l'instant, l'achat de ce type de scooter ne bénéficie d'aucune aide de l'Etat, explique Jean-Philippe Dauvau, directeur marketing de Piaggio France. Mais si la loi évolue, la motorisation hybride sera une des clés du succès du trois-roues dans les années à venir."

100 % électrique

Les autres trois-roues concurrents annoncés à ce jour ne seront pas hybrides mais 100 % électriques. Parmi eux, le V3 de la marque américaine Vectrix, un modèle à l'allure sportive, qui devrait être lancé en 2011. Et le Tri'Ode du fabricant français Véleance, destiné d'abord aux entreprises, qui sera lui aussi proposé au grand public l'an prochain. Seul Peugeot Scooters se démarque : son premier trois-roues, attendu pour 2011, sera

"très probablement doté d'un moteur thermique dans un premier temps", précise Frédéric Bart, responsable communication de la marque. Une version écologique – hybride ou électrique, rien n'est encore précisé – sortira, mais plus tard (en 2012). Autre tendance : les trois-roues devraient gagner en confort et en sécurité. A l'image du cockpit du concept Honda, les fabricants reprennent des caractéristiques de certaines voitures et l'adaptent à leur trois-roues. Ainsi, la marque italienne Adiva devrait lancer début 2011 un modèle à trois roues équipé d'un toit escamotable pour se protéger de la pluie. Piaggio envisage, lui, d'équiper ses futurs modèles du freinage ABS (antiblocage des roues), d'un coffre plus grand ou d'un pare-brise plus enveloppant.



▲ Le prototype 3R-C de Honda présente un design à mi-chemin entre scooter et voiture.

ABONNEMENTS À PRIX MINI !!!

Spécial
reentrée!

-45%

jusqu'à

-50%

sur le prix au N°

-35%

-30%



Magazine	Réf.	Nombre de N°	Tarif rentrée	Au Lieu de	Remise
Auto Plus	040	52 N°	69€	93,60€	-26%
Grazia	055	51 N°	49€	76,50€	-35%
L'Auto Journal	042	26 N°	49€	89,50€	-45%
Pleine Vie	018	12 N°	19,80€	39,60€	-50%
Télé Star	051	52 N°	44,90€	54,60€	9 N° gratuits
Chasseur Français	003	12 N°	27,90€	36€	-22%
Top Santé	013	12 N°	16,50€	32,40€	-49%
Télé Poche	050	52 N°	39,90€	51,48€	11 N° gratuits

Encore + de magazines sur www.KiosqueMag.com
+ d'avantages + rapide + écologique



BULLETIN D'ABONNEMENT

A compléter et à retourner à Mondadori
Service Abonnement B805 - 60732 Ste Geneviève Cedex

Je choisis les magazines dans la liste ci-dessus et j'indique la référence des magazines choisis. Le montant de ma commande est de €

☐ Je joins mon chèque libellé
à l'ordre de Mondadori Magazines France

☐ Je préfère régler par carte bancaire :

N° de carte :

Expire le : Notes les 3 chiffres figurant au dos de votre carte :

Signature :

Mes coordonnées :

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Email :

Je souhaite m'offrir le ou les magazine(s) suivant(s) : (liste ci-dessus)

Réf. :

Personne à laquelle j'offre un abonnement :

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Je souhaite offrir le ou les magazine(s) suivant(s) : (liste ci-dessus)

Réf. :



Un drone télécommandé par téléphone

Le fabricant français Parrot lance un nouveau jouet volant: l'AR Drone. Ce quadricoptère, en fait un hélicoptère à quatre pales, se pilote... simplement avec un iPhone, un iPad ou un iPod-Touch d'Apple. D'autres terminaux, notamment les téléphones Android, devraient bientôt être compatibles. Léger (400 g avec sa carène de protection) malgré une envergure de 50 cm, l'engin atteint jusqu'à 18 km/h en pointe. Bardé d'un accéléromètre, de deux gyroscopes et d'un altimètre à ultrason, il est aussi équipé d'une caméra située sous sa structure, qui

mesure sa vitesse horizontale. Grâce à ces capteurs, l'AR Drone peut réaliser des vols stationnaires, même en cas de vent atteignant 15 km/h. Une deuxième caméra, à l'avant, restitue en temps réel sur l'écran du téléphone le champ de vision de l'appareil. Pour le diriger, il suffit alors d'incliner le mobile d'avant en arrière et de gauche à droite, tout en appuyant sur l'écran tactile avec les pouces. Les images et les commandes sont transmises en *streaming* via une liaison wi-fi, ce qui limite la portée des déplacements à une cinquantaine de mètres (l'appareil

se pose doucement quand il perd la connexion). Parrot propose également des jeux vidéo dits à réalité augmentée. Il suffit de coller au préalable des marqueurs de couleurs vives sur le trajet ou sur d'autres drones, et les jeux téléchargés sur l'iPhone transforment, à l'écran, ces marqueurs en ennemis virtuels ou en décors imaginaires. On regrettera juste la faible autonomie de l'engin (12 min de vol pour 90 min de charge) et son prix élevé. **D.M.**

Prix: env. 300 €.

Rens.: <http://ardrone.parrot.com/parrot-ar-drone/fr/>



◀ Ce quadricoptère de 50 cm se pilote par iPhone et autres mobiles affichant ce que voit la caméra fixée à l'avant.

UNE MACHINE À THÉ DE GOURMET

Voici la première machine à thé en dosettes, lancée par le fabricant suisse Nestlé. Sur un modèle similaire à celui de la cafetière Nespresso, la Special T offre à l'utilisateur la possibilité de déguster 25 thés différents. Pour chaque capsule, la machine calcule et adapte le temps et la température d'infusion afin d'obtenir le meilleur arôme de chaque variété de thé. Après utilisation, ces capsules en aluminium, à usage unique, se recyclent complètement, via des points de collecte.

L.Fa.

Prix: env. 129 €.

Rens.: www.special-t.com

Ça change la vie...

Des mini-écouteurs totalement imperméables aux bruits extérieurs

Tous les usagers du métro, les piétons et les coureurs le savent: quelle que soit la qualité du lecteur audio ou des écouteurs qu'ils utilisent, les bruits extérieurs parviennent toujours à se frayer un chemin jusqu'à leurs tympans et à couvrir les basses de la musique.

Bonne nouvelle: les mini-écouteurs TunePal Pro de l'américain Macally offrent une solution à ce problème. Ils isolent le mélomane des bruits environnants grâce à des embouts en silicone à mémoire de forme. Il suffit de les malaxer un peu, afin de réduire leur taille, et de les introduire dans le conduit auditif pour qu'ils s'ajustent spontanément à ses dimensions en gonflant légèrement. Une fois qu'ils ont parfaitement épousé la morphologie du creux de l'oreille, ils conservent leur forme jusqu'à ce qu'on les malaxe à nouveau. Compatibles avec tout appareil audio équipé d'une prise de 3,5 mm, ils disposent de fonctionnalités microphone et télécommande pour tous les modèles iPod et iPhone d'Apple.

La télécommande permet entre autres de choisir les chansons diffusées, de modifier le volume ou encore de prendre un appel ou de raccrocher si l'on se sert d'un téléphone. Détail pratique: lorsqu'un appel survient alors que l'appareil lit de la musique, le fait de décrocher met automatiquement la chanson en pause.

M.K.

Prix: env. 32 €. Rens.: www.macally.com

➤ Les embouts en silicone des écouteurs, à mémoire de forme, s'adaptent parfaitement au conduit de l'oreille.



▼ Frappez plus ou moins fort ou plus ou moins vite: vos performances s'affichent.



LE PUNCHING-BALL QUI JOUE LES COACHS

L'entreprise française Domyos compte un nouveau venu parmi ses appareils interactifs d'entraînement sportif. Il s'agit d'un "sac de frappe" en polyester renforcé, capable d'enregistrer les performances du boxeur grâce à un compteur électronique. Ce dernier mémorise niveau, durée, nombre de touches ou encore temps de récupération... Une dizaine de programmes sont disponibles: de l'échauffement pour tous à l'entraînement intensif pour les plus aguerris, en passant par des jeux de vitesse. Techniquement, l'Interactiv'Boxing fonctionne grâce à des leds éclairant des cibles en silicone dotées de capteurs de chocs. Il faut donc les frapper plus ou moins fort ou plus ou moins rapidement, selon le programme sélectionné. Et contrairement aux punching-balls classiques, celui-ci peut s'accrocher directement au mur.

S.M.

Prix: env. 149 €.

Rens.: www.sac-de-frappe.com

Un vélo électrique bien gardé

Dans la grande famille des vélos à assistance électrique, le petit dernier se nomme Eagle. Il a été lancé dans l'Hexagone au début de l'été par le groupe taiwanais JD. L'une de ses particularités? Il est doté d'une alarme sonore qui se déclenche dès que le vélo est mis en mouvement sans autorisation. Cette sirène se désactive à l'aide d'une carte de déverrouillage sans fil, similaire à celle déjà utilisée pour les voitures.

Autre caractéristique: l'engin, 7 vitesses et 25 kg, loge dans l'une de ses petites roues (20 pouces, soit 43 cm de diamètre) un moteur de 250 W qui fournit un complément de poussée lorsque l'utilisateur appuie sur les pédales. Le moteur fonctionne au choix en mode éco, croisière ou ascension, et délivre alors 30, 50 ou 70 % de sa puissance. Un mode turbo le fait fonctionner à plein régime. Les commandes permettant de passer d'un mode à l'autre sont sur le guidon, à côté d'un afficheur LCD qui indique la vitesse instantanée, la distance parcourue et le mode d'assistance actif. Logée sous

le porte-bagages et protégée derrière une trappe fermée à clef, une batterie lithium polymère de 2,9 kg et de 36 V offre une autonomie maximale de 75 km. Amovible, elle se recharge complètement sur le secteur en 5 h, et supporte 600 cycles de charge et de décharge. E.L.

Prix: env. 2000 €.

Rens.: www.tranzxpst.com





< Une alarme sonne dès que le vélo est mis en mouvement sans autorisation.



> L'appareil est lui-même rechargeable grâce à une petite station solaire.

Le chargeur qui fait le plein d'hydrogène

Fabriqué par le singapourien Horizon Fuel Cell Technologies, le MiniPAK est un chargeur de batteries pour appareil électronique (d'une puissance inférieure à 2 W), qui tire son énergie d'une pile à hydrogène elle-même rechargeable. Pour la première fois, il est donc possible de recharger son smartphone ou son baladeur MP3 avec une pile à combustible à

glisser dans son sac. D'une capacité de 15 Wh, la pile dure cinq fois plus longtemps qu'une pile AA classique, de quoi assurer cinq cycles de recharge. Une fois à plat, elle se recharge avec l'Hydrofill, une petite station solaire, vendue à part, qui hydrolyse de l'eau afin d'en extraire l'hydrogène. **F.G.**

Prix: env. 80 € pour le MiniPAK + 2 piles.
Rens.: www.horizonfuelcell.com

UN ORDINATEUR PORTABLE À DOUBLE ÉCRAN TACTILE

Pour fêter les 25 ans de son premier ordinateur portable, le japonais Toshiba innove en lançant le premier modèle à double écran tactile. Plus petit qu'un netbook (819 g, 202 x 123 x 30,7 mm), le Libretto W100 fonctionne sous Windows 7. D'un glissement de doigt, l'utilisateur utilise conjointement les deux écrans multipoints de 7 pouces. Les applications s'étendent alors sur les deux dalles ou s'affichent séparément sur chacune; et pour piloter le tout, un clavier virtuel peut s'afficher sur l'un des écrans. Côté puissance, il est doté d'un processeur Intel Pentium U5400 (modèle basse consommation) à 1,2 GHz, 2 Go de mémoire vive et un disque SSD de 62 Go. **J.J.**

Prix: env. 1000 €
(disponible en édition limitée).

Rens.: www.toshiba.fr



Des manettes plus précises que celles de la Wii

Le succès de la Wii, la console de jeux vidéo de Nintendo, fait des émules chez la concurrence. Le japonais Sony lance ainsi deux manettes permettant la détection des mouvements des joueurs de sa PS3. La ressemblance avec les manettes de la Wii (Wiimote et Nunchuk) est flagrante :



Sony propose lui aussi une manette principale, le Motion Controller (surmontée d'une boule de couleur vive), et une manette secondaire, le Navigation Controller. Bardées de boutons, elles se transforment en arc, en pinceau ou même en époussette. Sony se distingue toutefois de Nintendo par la meilleure précision de sa technologie. Pour une détection des mouvements supérieure, ces manettes "PS Move" contiennent chacune un accéléromètre et un gyroscope 3 axes, quand celles de la Wii ne contiennent que des accéléromètres. De même, une caméra optionnelle reliée à la PS3 capte les mouvements de la manette à boule pour mieux situer les joueurs. Une vingtaine de jeux compatibles sont d'ores et déjà disponibles. D.M.

Prix: env. 40 € pour le Motion Controller, 30 € pour le Navigation Controller et 30 € pour la caméra Eye.

Rens.: <http://fr.playstation.com/ps3/>



DES PANNEAUX SOLAIRES DEUX FOIS PLUS PERFORMANTS

Les capteurs solaires Vitosol 300-T du groupe allemand Viessmann présentent deux atouts quand on les compare à des capteurs plans: ils s'installent en façade, sans avoir besoin d'être inclinés, et offrent un rendement élevé grâce à leur structure en verre hermétique qui limite les déperditions d'énergie. A surface égale, ces tubes sous vide sont ainsi deux fois plus performants que des capteurs plans: un panneau de 2 m² couvre jusqu'à 60 % des besoins en eau chaude sanitaire d'un foyer de quatre personnes. L.F.

Prix: env. 2000 € (hors pose) pour une installation de 2 m².
Rens.: www.viessmann.fr

SCIENCE
VIE

Il y a 50 ans...

Le robot dactylo est-il pour bientôt? En septembre 1960, un journaliste de *Science & Vie* a voulu en avoir le cœur net: il a dressé un état des lieux des machines à écrire les plus

performantes de l'époque. Verdict? Les machines pneumatiques, à l'image de cette Autotypist (ci-contre), battent effectivement des records en matière d'automatisme: elles permettent

d'atteindre 1200 frappes à la minute... Ceci dit, selon le journaliste, "le robot midinette enregistrant directement une lettre sous la dictée du patron", ce n'est pas encore pour demain! M.V.



L'informatique

du futur.

C'est déjà maintenant.



Découvrez la famille de processeurs Intel® Core™ avec technologie Turbo Boost¹ disponible en 2010¹. Si astucieux, qu'ils savent exactement quand vous avez besoin de plus de vitesse - et accélèrent aussitôt. Si révolutionnaires, qu'ils nous font entrer dans une nouvelle ère. intel.fr/core

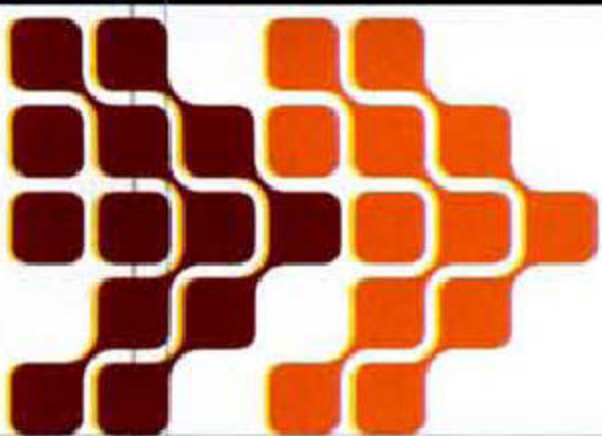


Votre Partenaire du Futur

©2010 Intel Corporation. Intel, le logo Intel, Intel Core, Core Inside, Intel Votre Partenaire du Futur™ et le logo Intel Votre Partenaire du Futur sont des marques déposées d'Intel Corporation dans les États-Unis, le Canada, l'Europe, l'Australie, le Japon, la Chine, l'Inde, l'Amérique du Sud et d'autres pays.

¹ Le bénéfice de la technologie Intel® Turbo Boost suppose que la plate-forme embarque un processeur qui en est doté. Les performances de cette technologie varient selon la configuration matérielle et logicielle. Pour savoir si une configuration donnée en est dotée, renseignez-vous auprès de son constructeur. Consultez www.intel.com/technology/turboboost/ à ce sujet.

ebooks-LAND.net



La science n'a pas besoin d'être belle

Physiciens et mathématiciens invoquent souvent la beauté de leur discipline. Marie Curie déclarait être "de ceux qui pensent que la science a une grande beauté", et Henri Poincaré évoquait "le sentiment de beauté mathématique, l'harmonie des nombres et des forces, l'élégance géométrique". D'où l'idée d'une convergence entre création artistique et recherche technoscientifique. Mais de quelle beauté parle-t-on ? Car, étrangement, l'émerveillement est moins répandu en sciences de la Vie ou de la Terre. Thomas Huxley, biologiste, parlait même à la fin du XIX^e siècle de "la grande tragédie de la science: le massacre de splendides théories par de misérables faits". Et l'art contemporain, lui, aime mettre à distance cette notion esthétique, peintres et musiciens étant souvent embarrassés par toute référence à la



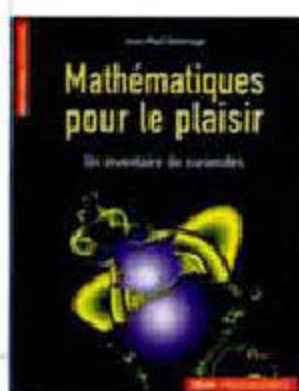
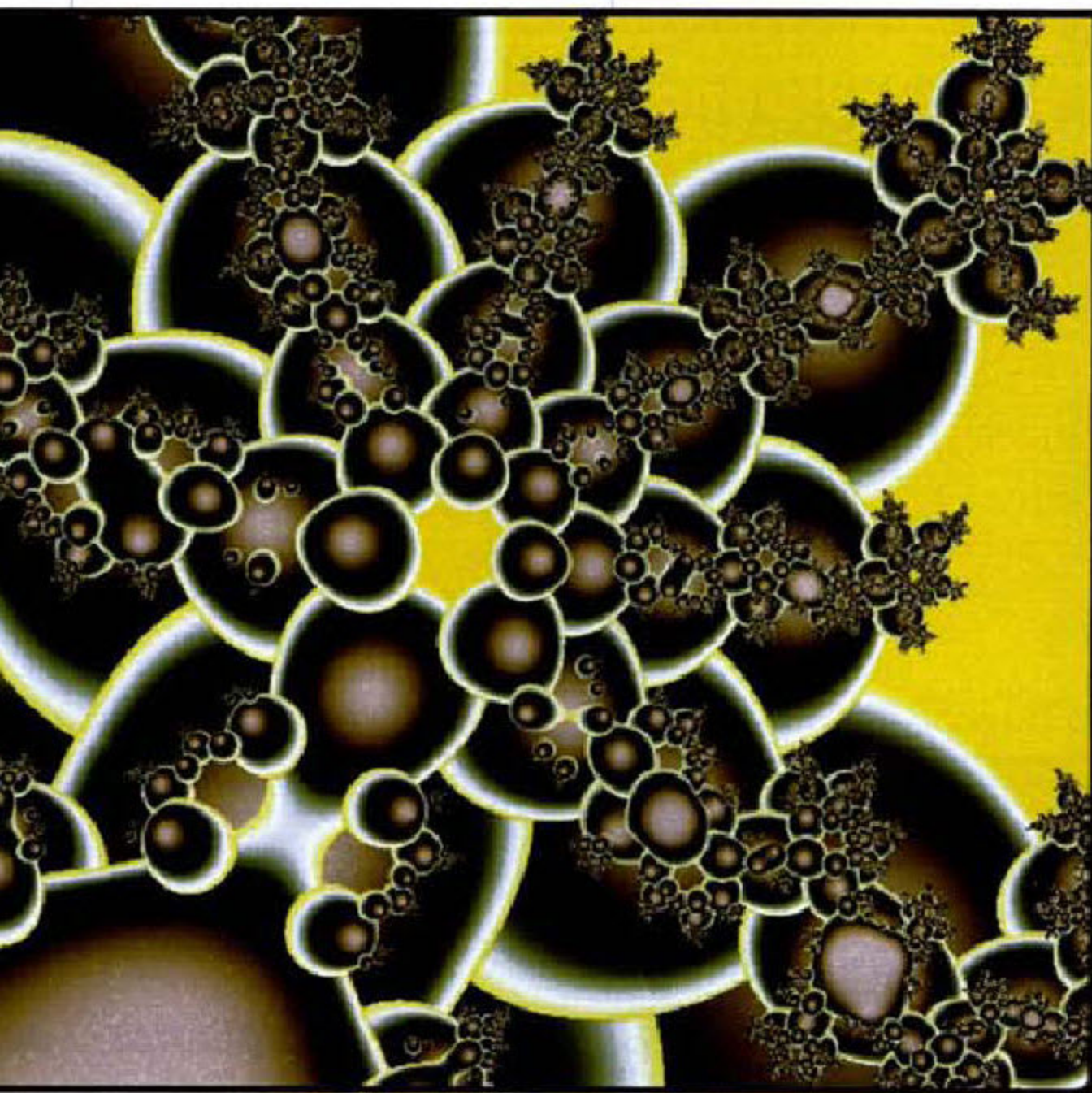
Brèves rencontres:
la science n'est pas l'art

Jean-Marc Lévy-Leblond, Hermann, 222 pages, 24 €.

➤ **Chocolate Drops**, de Prettyju, quand la science fait une incursion dans le domaine des arts visuels.

beauté. Alors pourquoi prôner une réconciliation entre artistes et scientifiques ? La divergence de leurs pratiques n'est-elle pas une richesse à louer ? Dans son ouvrage, le physicien et essayiste Jean-Marc Lévy-Leblond explore ce rapprochement, "poncif de la promotion culturelle contemporaine". "Entre le Louvre et l'Académie des sciences, écrit-il, le pont des Arts est une simple passerelle sur la Seine, fragile, réservée à la flânerie des promeneurs, et interdite à la circulation des engins mécaniques. C'est ainsi, avec prudence et légèreté, que je voudrais m'aventurer sur une passerelle – et d'abord la construire – qui traverse la scène où se joue la rencontre des arts et des sciences." Rafaële Brillaud





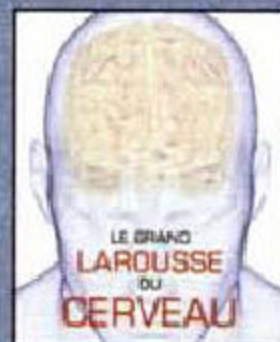
Mathématiques pour le plaisir
Jean-Paul Delahaye,
Belin, 208 pages,
25 €.

La fantaisie des chiffres

"C'est une erreur de croire que les mathématiques sont difficiles et que s'y adonner est toujours une épreuve plus ou moins pénible", affirme Jean-Paul Delahaye. Le professeur de mathématiques le prouve à travers mille et une "curiosités" amusantes. Il y a, pêle-mêle, les jeux optiques de la perspective, les grilles de Sudoku, les casse-tête à pièces coulissantes ou

les tours de cartes. Prenez les lacets de chaussures: grâce aux travaux de John Halton en 1992, des résultats mathématiques aident à choisir le trajet du laçage le plus court, le plus solide ou le plus beau, en croix, en étoile, en zigzag ou démoniaque... Dans un autre registre, on apprend que musique et arithmétique ne sont guère étrangères l'une à l'autre. Haydn, Bach, Mozart ou Chopin pratiquaient la translation (séquence musicale recopiée plusieurs fois) et la symétrie (séquence jouée à l'envers). De nos jours, le compositeur Tom Johnson trace des figures qu'il harmonise ensuite sur une partition. Une mise en musique des formes géométriques en somme! R.B. ➔

Et aussi...



LE CERVEAU DE A À Z

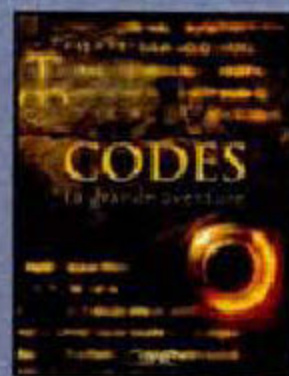
Anatomie en trois dimensions, IRM, scanners, photos et schémas: le cerveau se dévoile dans cette encyclopédie en images et en couleurs. On y détaille ses structures comme ses fonctions (langage, mémoire, conscience...) et ses pathologies. Un ouvrage splendide, précis et particulièrement utile. R.B.
"Le grand Larousse du cerveau", Larousse, 256 p., 29,90 €.



UN ŒIL GÉANT SUR L'UNIVERS

Pierre Christin et Olivier Balez signent un reportage en bande dessinée, au Chili, à 5000 m d'altitude, sur le

chantier d'Alma (Atacama Large Millimeter Array), l'interféromètre le plus puissant du monde. Une découverte originale de l'ambitieux projet financé par l'Europe, l'Amérique du Nord et le Japon. R.B.
"Sous le ciel d'Atacama", Casterman, 72 p., 15 €.



DÉCRYPTAGES À TRAVERS L'HISTOIRE

Du nombre d'or de Pythagore aux multiples codes de notre quotidien donnant accès aux comptes bancaires et aux ordinateurs, en passant par les messages cryptés utilisés par Napoléon lors de la campagne de Russie, trop faciles à briser et responsables de son échec, Pierre Berloquin raconte, avec didactisme, l'histoire des écritures secrètes. R.B.
"Codes: la grande aventure", M.Lafon, 418 p., 19,95 €.



EXPOSITION

Au cœur de notre monde, du big bang à la quête de la particule ultime

Après un premier démarrage avorté à la suite d'une défaillance technique, survenue fin 2008, le LHC, le plus grand accélérateur de particules au monde, a repris sa quête de la particule ultime. Une quête que le Cern, l'institution qui gère le LHC, nous explique dans une nouvelle exposition intitulée "Univers de particules". Au programme, une plongée dans l'infiniment petit, au sens propre comme au figuré: on se déplace en effet entre des sphères lumineuses évoquant des particules, et l'on

découvre leur diversité et les lois auxquelles elles obéissent. Des bornes interactives présentent également le travail qui est réalisé au Cern et reviennent sur l'incroyable odyssée qu'est l'exploration de la trame du monde. Enfin, des vidéos racontent l'histoire de la création de notre Univers, du big bang, il y a près de 15 milliards d'années, à nos jours. Une histoire qui est loin d'être totalement figée. Er.H. ✎

"Univers de particules", au Globe des sciences et de l'innovation, à Meyrin (Suisse). Rens.: www.cern.ch/expoglobe



ÉVÉNEMENT

Trésors enfin exposés

Depuis 1979, près d'une centaine de sites datant du Haut-Empire romain et de l'époque mérovingienne ont été fouillés dans les environs de Louvres (Val-d'Oise). Mais personne, hormis les archéologues, n'avait pu jusque-là

admirer les trésors exhumés. C'est désormais possible avec l'ouverture, ce mois-ci, d'Archéa, un musée mettant en valeur les collections constituées. Archéa, ce sont aussi trois sites archéologiques qui se visitent et où l'on peut s'exercer à cette discipline. Er.H. ✎

"Archéa nouveau musée", à Louvres (95), à partir du 10 septembre. Rens.: www.archea-roissyportedefrance.fr

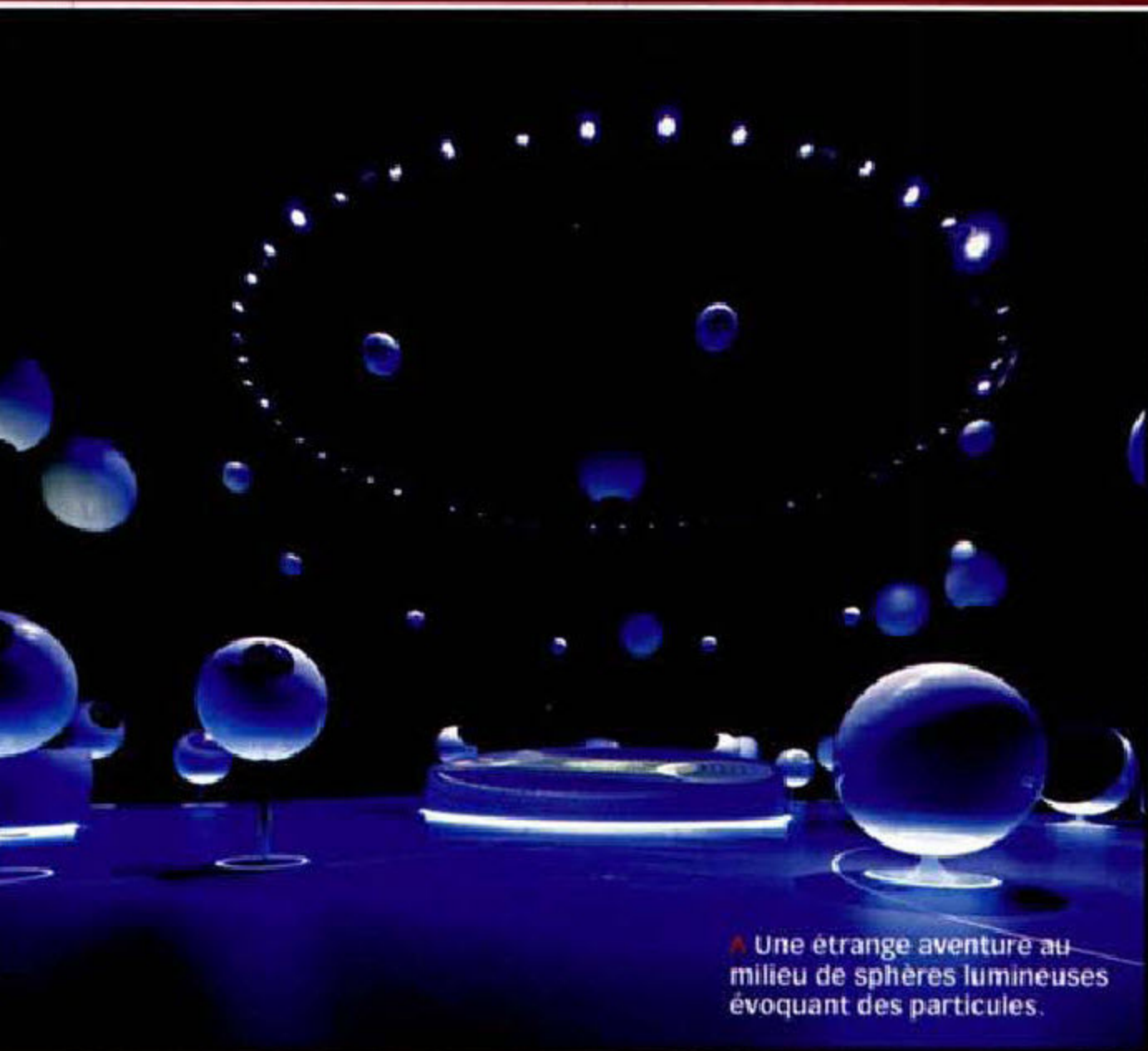
EXPOSITION

Indispensables plantes

Du Néolithique à nos jours, des débuts de l'agriculture aux technologies pharmaceutiques les plus modernes, cette exposition retrace, à partir des résultats de fouilles archéologiques, l'histoire de notre relation aux plantes, pratiques alimentaires, soin du corps et pratiques funéraires. Parmi les vestiges, d'étonnants petits pains carbonisés de l'époque romaine! Er.H. ✎



"Des plantes et des hommes en Auvergne", au musée Henri-Lecoq, à Clermont-Ferrand, jusqu'au 15 mai 2011. Rens.: www.clermont-ferrand.fr



▲ Une étrange aventure au milieu de sphères lumineuses évoquant des particules.



EXPOSITION

Le laser a 50 ans

Pour fêter les 50 ans de l'invention du laser, le musée des Arts et Métiers et le CNRS consacrent une exposition à ses mille et un usages, de la biologie aux sciences humaines, en passant par la chimie et la physique. Impossible

par exemple de téléphoner ou de surfer sur Internet sans les lasers. Ils soignent également et permettent de faire des mesures précises. On célèbre d'ailleurs aussi cette année les 40 ans de la mesure laser de la distance de la Terre à la Lune.

Er.H. ☛

"Le laser à tout faire", au musée des Arts et Métiers, à Paris, jusqu'au 28 novembre. Rens. : www.arts-et-metiers.net

Et aussi...

> Événement

Paris "Portes ouvertes de la Société nationale d'horticulture de France". Pour tous les amateurs de belles plantes : des conseils, des ateliers, des conférences, des rencontres avec des spécialistes... De quoi parfaire

ses connaissances. Cerise sur le gâteau, la récolte (et la dégustation ?) d'un miel *made in Paris*.

Au siège de la Société nationale d'horticulture de France, le 25 septembre. Rens. : www.snhf.org

> Expositions

Paris "Archéologues à Angkor". Découverte des archives photos de l'Ecole française d'Extrême-Orient. Au musée Cernuschi, à partir du 10 septembre. Rens. : www.cernuschi.paris.fr
Paris "Inventaires sans frontières". De bien belles photos prises lors

d'inventaires de la faune et de la flore réalisés dans les hauts lieux de la biodiversité mondiale comme, par exemple, le parc du Mercantour ! Sur les grilles de l'Ecole de botanique et du jardin écologique du Jardin des plantes. Rens. : www.mnhn.fr

> Conférence

Paris "Un pneu... c'est beaucoup plus que rond et noir". Quoi de moins sexy qu'un pneu ? Et pourtant, comme le montre cette conférence, la science du pneu

est variée, complexe et passionnante. A l'Espace des sciences Pierre-Gilles de Gennes, le 20 septembre à 18 h 30. Rens. : www.espci.fr/esp

> Télévision

Arte "Marchands d'anthrax". Dans le cadre d'un Thema, diffusion de l'enquête de Roberto Coen sur les lettres piégées

à l'anthrax reçues en 2001 par des personnalités américaines. Le 7 septembre, à 22 h 35. Rens. : www.arte.tv



CINÉMA

L'homme de Neandertal réhabilité

Neandertal n'était pas ce gros balourd maladroit qu'on a longtemps imaginé. Les progrès de la science en donnent une autre image : chasseur hors pair, artisan émérite, capable de pensée symbolique, doté sans doute d'un langage... Bref, un homme comme les autres. Voire meilleur, comme le propose ce

film de Jacques Malaterre. On y suit le dernier représentant d'une espèce non violente, capable de communion avec la nature mais persécutée par des Sapiens. Une hypothèse. **Er.H.** 🍿

"AO, le dernier Neandertal", un film de Jacques Malaterre, en salle le 29 septembre, Rens. : www.ao-lefilm.com



EXPOSITION PHOTO

Les ailerons de la mort

Plus que quelques jours pour aller voir l'exposition de photographies que consacre l'Institut océanographique de Paris au *fining*, cette pratique de pêche particulièrement cruelle qui consiste à mutiler des milliers de requins en prélevant leurs ailerons, avant de les rejeter à la mer. Tout ça pour en faire... des soupes prisées en Asie ! Un formidable massacre puisque les requins ainsi amputés coulent et meurent. **Er.H.** 🍿

"Requins : pour quelques nageoires de trop", à l'Institut océanographique, à Paris, jusqu'au 13 septembre. Rens. : www.oceano.org

DVD

Magie du corps humain

Elu meilleur film scientifique en 2004, *Danse cosmique* sort en version française. Cet excellent film de vulgarisation montre et explique, à grand renfort d'images scientifiques, les processus impliqués dans la reproduction et le fonctionnement du corps humain. La plupart des images sont réelles mais ne sont pas pour autant statiques : on voit littéralement la vie couler dans nos veines. Une vraie prouesse ! **Er.H.** 🍿

"Danse cosmique, l'éternel voyage de la vie", de Junichiro Takeda, Icam CO, 20 euros. Rens. : www.cerimes.fr



Le ciel du mois

Par Serge Brunier



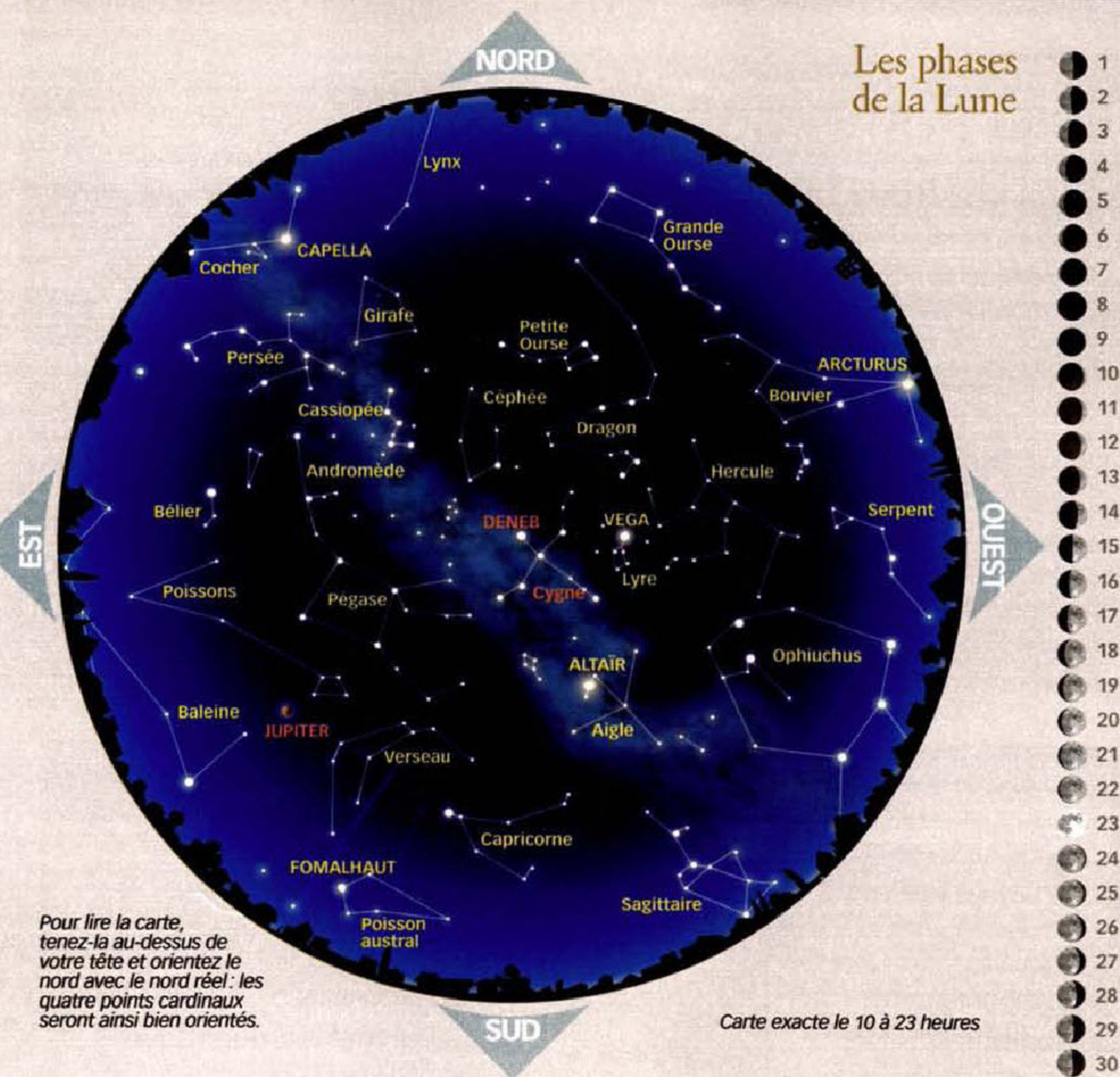
▲ Deneb (à g.) est l'une des étoiles les plus brillantes de notre galaxie.

Deneb du Cygne

Elle passe au zénith, c'est-à-dire juste au-dessus de nos têtes, aux latitudes boréales moyennes, comme l'Europe, entre 22 heures et minuit au mois de septembre. Deneb du Cygne est l'une des plus brillantes étoiles du ciel, elle demeure visible même sous un ciel urbain. Cette jeune étoile supergéante à l'éclat blanc très franc est aussi l'une des étoiles les plus brillantes de notre galaxie... Mais personne ne connaît encore sa distance, estimée entre 1 500 et 3 000 années-lumière. L'éclat réel de Deneb doit être cinquante mille à cent mille fois supérieur à celui du Soleil. Avec la mission spatiale européenne de cartographie céleste Gaia, qui doit être lancée en 2012, la distance et les caractéristiques précises de cette envoûtante étoile seront enfin connues.



Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info tous les samedis et sur www.france-info.com



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.



A ne pas manquer... le 21

Cette nuit, Jupiter, exceptionnellement proche de la Terre, aura un éclat irréal. Voici près d'un demi-siècle que la plus grande des planètes du système solaire ne s'était approchée aussi près : 590 millions de km seulement. Mais c'est tout le mois de septembre que, brillant dans la constellation des Poissons, Jupiter sera intéressante à observer. En plus de ses quatre grands satellites, bien visibles aux jumelles, un télescope grossissant 100 à 200 x montrera nettement les bandes nuageuses marbrant l'atmosphère de la planète et les tempêtes géantes qui y soufflent.

< Un télescope permettra d'observer les nuages de Jupiter, très proche.



OBSERVATOIRE

Voici notre monde en miniature

Si le monde était un village de 100 personnes, combien selon vous y aurait-il d'Européens ? Combien d'individus auraient fait des études secondaires ? Combien sauraient lire ? Combien seraient chrétiens ? Musulmans ? Bouddhistes ? Combien seraient pauvres et combien seraient riches ? Pour le savoir et pour en apprendre bien plus encore sur l'état du monde et de ceux qui l'habitent, il vous suffit de visionner ce petit film réalisé à la suite des travaux de Donella Meadows. La célèbre chercheuse



américaine du MIT, précurseur en matière de développement durable, aujourd'hui décédée, avait publié dans les années 1990 une étude intitulée "Qui vit dans le village global ?". Les chiffres cités dans ce film sont régulièrement remis à jour à partir des chiffres officiels de l'ONU.

Er.H. ✎

www.miniature-earth.com/me_french.htm


BASE DE DONNÉES

Où sont les satellites ?

C'est l'outil idéal si vous voulez savoir quel satellite passe actuellement au-dessus de votre tête. Ixion vous permettra d'obtenir avec précision la position de la plupart des satellites en orbite autour de la Terre et de visualiser leur trace au sol projetée sur un fond de carte de Google Maps. Il permet aussi de localiser les satellites artificiels de la Lune, de Mercure, de Jupiter... Attention, c'est assez technique ! Er.H. ✎

<http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/ixion.html>

NOUVEAU SITE

Mêler l'art et la science

L'art et la science pourraient œuvrer ensemble. C'est en tout cas le point de vue de l'Institut de recherche et de coordination acoustique/musique et d'Universcience qui ont décidé d'unir leurs forces pour créer un site dédié aux deux disciplines. On y trouve un agenda de spectacles mêlant arts et sciences, des conférences en ligne et des vidéos très instructives sur, par exemple, le design acoustique. Er.H. ✎

www.meridien-artsciences.net


WEBVIDÉO

Tout est quantique

Non, la mécanique quantique ne régit pas seulement le monde microscopique. Une équipe du CEA a montré que le fonctionnement d'un circuit électrique pouvait, lui aussi, être décrit par cette physique. Etienne Klein, chercheur au CEA, nous explique, en mots simples et clairs, cette incroyable expérience et en tire pour nous les conclusions philosophiques. Er.H. ✎

www.cea.fr/videos/actualite/une_nouvelle_preuve_du_caractere_quantique_du_mo

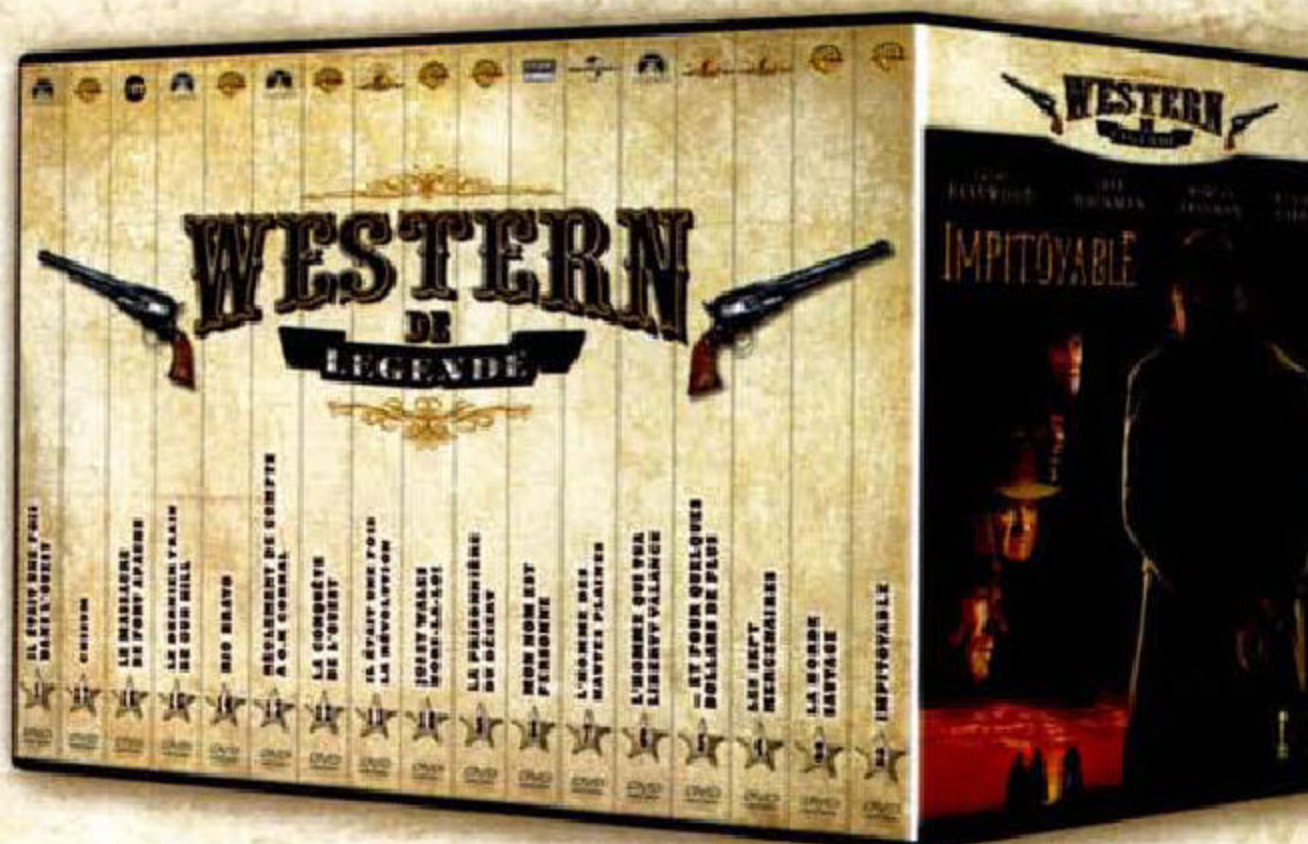
**Télé
Star**

WESTERN DE LEGENDE

Une collection inédite créée pour vous par Télé Star !

Redécouvrez les plus grands films,
les scénarios et les images les plus grandioses,
les meilleurs réalisateurs, les plus grands
acteurs et les plus belles actrices : Sergio Leone,
Claudia Cardinale, Clint Eastwood, John Wayne...
Retrouvez tous les lundis exclusivement avec
le magazine Télé Star les plus grands western
de l'histoire du cinéma :

- ★ Impitoyable
- ★ La horde sauvage
- ★ Rio Bravo
- ★ Les sept mercenaires
- ★ Et pour quelques dollars de plus
- ★ Mon nom est personne...



WANTED

**IL ÉTAIT
UNE FOIS
DANS L'OUEST**

**5€
90***

EN PLUS DE
TÉLÉ STAR

Dès le 6 septembre

Il était une fois dans l'Ouest

Un des plus grands western de tous
les temps. Images grandioses,
distribution éblouissante :
Charles Bronson, Claudia Cardinale,
Henry Fonda...

Le film qui a marqué l'histoire du cinéma !

* Soit Télé Star 1,10€ + le DVD 5,90€ = 7€

CHAQUE LUNDI UNIQUEMENT AVEC

**Télé
Star**

Retrouvez vos DVD Télé Star sur www.kiosquemag.com/boutiques/tele-star

Qu'est-ce qui vous a déjà fait changer d'avis ?

La découverte d'*Orrorin tugenensis*, au Kenya, en 2000. Pour la première fois, on trouvait un préhumain de plus de 6 millions d'années. Avant, j'étais plutôt calée sur la vision traditionnelle de l'apparition du rameau humain : un ancêtre commun vivant il y a 6 millions d'années dans une savane. Avec les ossements d'*Orrorin*, on s'est retrouvés face à une "bête" qui ne correspondait à rien de ce que l'on croyait savoir ! La kyrielle de caractères imaginés pour l'ancêtre commun ne collait plus : il était plus bipède que ce que l'on avait pu croire, plus grand, vivait dans un environnement boisé. En plus, il contredisait les hypothèses de datation des molécularistes et les certitudes de l'establishment anglo-américain. Il a donc fallu réajuster d'autres données dans le temps ! Avec *Orrorin*, l'ancêtre commun prenait forcément de l'âge ; on a ainsi reculé vers les 10 millions d'années proposées plus tôt par Yves Coppens. Certains paradigmes ont dû être reconsidérés et nous avons dû aller vers d'autres hypothèses.



Paléontologue, professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris, elle est codécouvreuse du fossile d'*Orrorin tugenensis*, un des premiers préhumains, au Kenya. Elle a notamment publié *Et le singe se mit debout* (Albin Michel).

Qu'est-ce qui vous semble important et dont on ne parle jamais ?

Il ne s'agit pas tant d'une découverte que du fait que, dans nos disciplines, il n'y a pas de vérité absolue. La paléontologie, entre autres, est une perception culturelle d'une certaine conception de l'évolution. Si j'avais étudié en Chine, aux États-Unis, je n'aurais pas eu la même formation : avec les mêmes fossiles, j'arriverais à des interprétations un peu différentes. On ne peut dissocier le chercheur de son monde social, la culture scientifique est une part intégrante de la culture. Cette diversité est importante, car la science est un débat, où nous avons tous un peu tort et raison. Ce qui est grave, c'est que cette diversité est de moins en moins montrée au grand public. A chaque annonce hypermédiatisée de nouveau fossile, il "faut" prendre parti, annoncer qu'elle "change tout" : c'est perdre la pondération nécessaire, et les chercheurs qui n'acceptent pas ce changement "médiatique" sont marginalisés. C'est le débat tout entier qui finit par s'appauvrir.

De quoi êtes-vous sûre sans qu'il soit possible de le démontrer ?

J'ai la conviction que les langages, les capacités cognitives supérieures, tout ce qu'il y a autour de la perception consciente des odeurs et de ce qui nous entoure, etc., sont apparus plus tôt qu'on ne le croit. On prête en général ce genre de capacités à Neandertal, mais je pense qu'elles sont apparues avec le genre *Homo* – voire même encore avant. Elles ont dû connaître une évolution bien plus longue que ce que l'on

pense. C'est impossible à prouver, car il n'y a guère que pour le langage que l'on peut se faire une petite idée du passé, grâce à quelques ossements... Et encore, il nous manque toutes les parties molles, les connexions nerveuses, et tous les éléments culturels qui les accompagnaient. Si j'avais une machine à voyager dans le temps, je regarderais en accéléré ce qui s'est passé entre -10 et -5 millions d'années, où beaucoup de choses se sont

jouées... Et je ferais également un tour dans le futur ! Car, en tant qu'évolutionniste, je suis persuadée que d'ici un ou deux millions d'années, l'homme aura disparu. C'est une espèce prédatrice à la démographie galopante, donc si rien ne change, c'est le destin logique de notre lignée. A ceci près que nous avons un cerveau particulièrement développé : nous permettrait-il de mieux maîtriser notre évolution, de l'orienter ?

A MONDADORI FRANCE

CAHIERS SCIENCE & VIE

CAHIERS

LES CAHIERS DE

SCIENCE & VIE

LES RACINES DU MONDE



> Grec, latin, hébreu, arabe, chinois, français...
Une seule langue
à l'origine de toutes?



Les origines des langues

Comment elles naissent
comment elles meurent

N° 118 AOÛT-SEPTEMBRE 2010 France index : 5,90 €
DOM. surtaxe : 0,50 € BR. 6,39 € CH. 12,30 € CAN. 8,95 \$ CAN.
AND. 6,00 € ESP. 5,95 € GR. 5,95 € ITA. 6,90 € JUS. 7,00 €
MAR. 6,50 € TUR. 8,50 € TOM. surtaxe : 8,50 € CP. 10,00 €
PORT CONT. : 5,95 € - 11,90 € - 12,30 €

EN VENTE À PARTIR DU 10 AOÛT



MARQUE DÉPOSÉE

Heineken®

BE FRESH



*Pour être fraîche, Heineken doit être servie à 3°C.

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