

BarMBy SCAN

AVRIL 2010 N° 1111

MONDADORI FRANCE

VIDÉO-SURVEILLANCE
LE GRAND BLUFF

ACOUPHÈNES
ENFIN UN ESPoir
DE TRAITEMENT

TROUS NOIRS

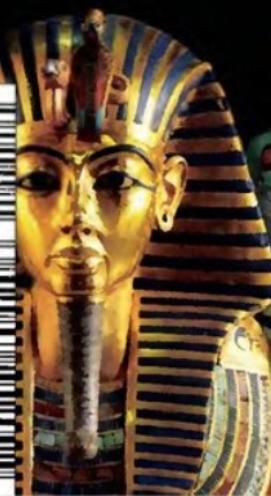
IlS seraient
les créateurs
du monde !

FLEUVES
LEUR DELTA
S'ENFONCE

TOUTANKHAMON

FILS D'AKHENATON ET DE
SA SŒUR "YOUNG LADY"

France métrop. : 4,20 € - DM : 2,80 € - DOP : 2,80 € - CH : 6,50 € - CAN : 6,50 € - BEL : 4,70 € - GRE : 4,50 € - ITA : 4,50 € - LUX : 4,70 € - MAR : 3,70 DH - TOM Surf : 7,50 CFP - TOM avion : 14,00 CFP - PORTUGAL : 4,90 € - TUN : 4,90 € - TU



BMW Motorrad



Le plaisir de conduire

R 1200 GS

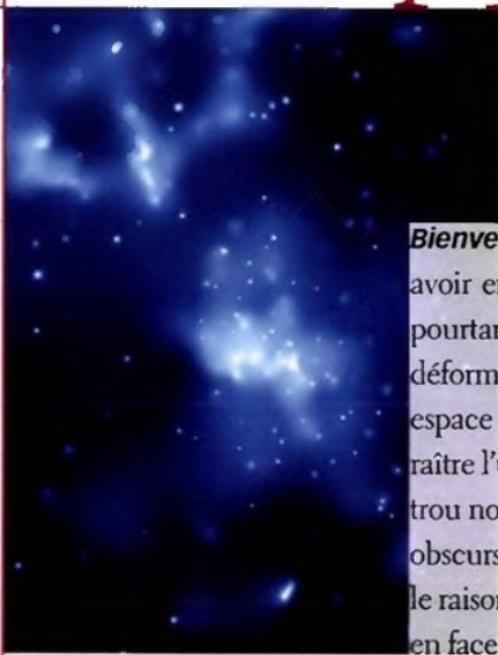


CONÇUE POUR LES 149 400 000 KM² DE TERRES ÉMERGÉES.

Parce que la Terre n'est ni ronde, ni plate, la R 1200 GS s'adapte à toutes les situations. Parce qu'il faut dépasser ses limites, son nouveau moteur Boxer de 107 ch est plus coupleux à tous les régimes. Parce qu'il y a des trous entre les continents, ses suspensions à grands débattements affrontent tous les obstacles. Parce que sur Terre, il faut se faire entendre, son nouveau système d'échappement délivre une sonorité encore plus rageuse. Parce que vous allez l'adorer, vous devriez l'essayer.

**NOUVELLE BMW R 1200 GS
UNSTOPPABLE ENDURO***

Avant-propos



▲ Loin d'être des ogres cosmiques, les trous noirs (ici, celui de la Voie lactée) auraient créé le monde.

Bienvenue dans l'impensable. Au début, personne ne semblait vraiment avoir envie d'y croire. Pas même Einstein. Avec ses théories, il affirmait pourtant que l'espace et le temps ont cette curieuse propriété de se laisser déformer par la matière. Ainsi, face à une matière incroyablement massive, espace et temps pourraient devenir infiniment petits. Allant jusqu'à disparaître l'un l'autre, comme absorbés par un monstre infiniment plus fort. Un trou noir. Einstein avait raison, mais n'aimait manifestement pas ces "astres obscurs" dont certains, dans son sillage, parlaient alors. C'est qu'en poussant le raisonnement aux limites de ce qui est pensable, on se retrouve forcément en face de quelque chose d'impensable. Aussi, le trou noir demeurera longtemps une aberration, un objet mathématique singulier. Avant de devenir cette chose formellement identifiée et effectivement monstrueuse.

Bienvenue dans les ténèbres. Cela ne fait qu'une quarantaine d'années que l'existence des trous noirs est avérée. Ils sont à la mesure de ce que l'on pouvait imaginer: monstrueux! La masse de celui qui trône au cœur de la Voie lactée pèse trois millions de fois notre Soleil. Et les plus gros trous noirs détectés à ce jour font carrément la taille de notre système solaire. Tandis que certains sont d'une densité telle que la marée gravitationnelle qu'ils engendrent déchire et absorbe toute la matière à leur portée. L'espace-temps se plie sur lui-même. Tout disparaît, lumière comprise. Tout, sauf la masse de l'ogre qui ne cesse de tourbillonner de festins en festins... Et de ces astres sombres tapis au cœur des galaxies, il y en a partout dans l'Univers. Evidemment, on ne les voit pas.

Bienvenue dans une nouvelle histoire? On a longtemps pensé que les trous noirs hypermassifs étaient la cause de tous les maux galactiques. Qu'ils ne prospéraient qu'en absorbant les étoiles, mettant en péril le spectacle de nos nuits étoilées et le devenir de l'Univers tout entier. Cette histoire ne tient plus. Une autre histoire de l'Univers s'esquisse aujourd'hui. Et cette fois, n'en déplaise à leurs détracteurs, les trous noirs y tiennent le beau rôle, et depuis la nuit des temps.

S&V

Trous noirs la rédemption

47

Même éteinte depuis longtemps, la cigarette est toujours toxique

20

Toutankhamon : ils ont fait parler son ADN !



9

FORUM

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

14

ILS L'ONT FAIT

Retour en images sur les derniers événements scientifiques.

20

L'EXPLOIT

Toutankhamon : ils ont fait parler son ADN !

D'inédites analyses ont levé le voile sur les secrets du jeune pharaon. Sans épouser le sujet.

30

EN DIRECT DES LABOS

La symétrie des êtres vivants se dévoile ; L'adversité soude les chimpanzés, etc.

38

PLANÈTE TERRE

Environnement
Les aires marines protégées ne bénéficient pas qu'aux poissons ; Du méthane serait bien émis par les plantes, etc.

46

Santé

Un remède chinois contre les AVC est à l'essai ; Même éteinte depuis longtemps, la cigarette est toujours toxique, etc.

52

Technos

Un moteur à plasma sera bientôt installé sur l'ISS, etc.

54

Actualités

A la une

TROUS NOIRS

Un nouveau scénario révolutionne aujourd'hui le récit des origines du monde. De fait, une récente observation astronomique suggère que les trous noirs, loin d'être seulement des dévoreurs d'étoiles, seraient à l'origine des galaxies. Une totale redistribution des rôles qui, *in fine*, ouvre sur une nouvelle genèse cosmique.

SCIENCE & VIE

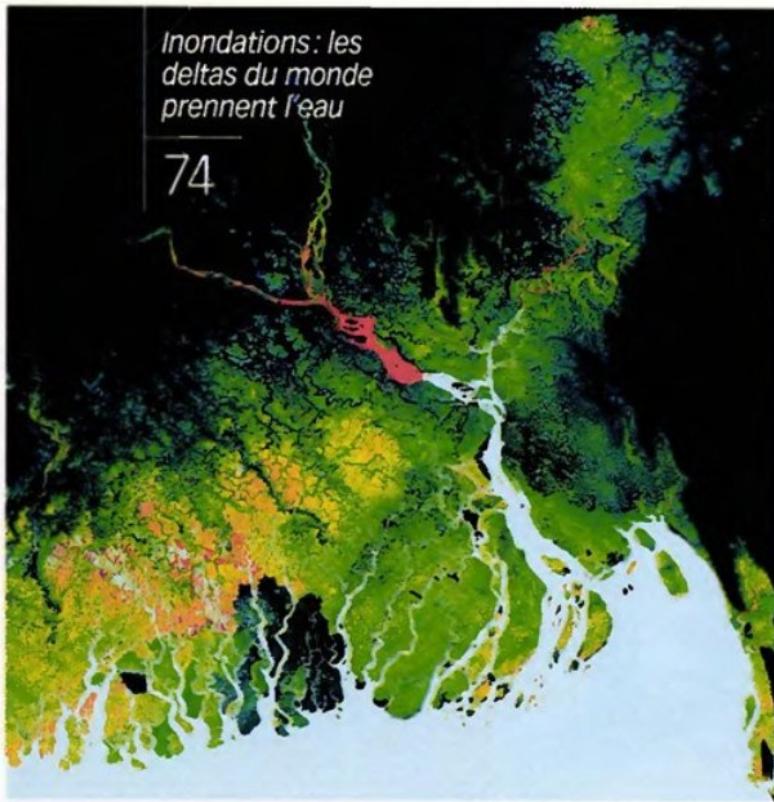
1 rue du Colonel-Pierre-Avia
75503 Paris Cedex 15
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

Recevez *Science & Vie* chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 45. 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 catalogue "Sédaï" est jeté sur la 4^e de couverture des abonnés France métropolitain. Un encart "Plan international" est jeté sur une partie de la diffusion abonnés France métropolitaine. Un encart "Pendule" est jeté sur la 4^e de couverture des abonnés France métropolitaine.

Inondations: les deltas du monde prennent l'eau

74



Vin rouge: on sait pourquoi il est bon pour nos artères

102



130

Cette lampe LED diffuse aussi la musique



Science & Vie d'aujourd'hui

74

INONDATIONS

Les deltas, ces terres gagnées sur la mer par le dépôt des sédiments charriés par les fleuves, représentent 5 % des surfaces continentales, mais près d'un demi-milliard d'individus y vivent. Problème: ces zones sont en train de couler. Les scientifiques qui ont étudié leur topographie sonnent l'alarme.

82

VIDÉOSURVEILLANCE

Censées lutter contre l'insécurité, les caméras de surveillance prolifèrent dans l'Hexagone. Or, la majorité de leurs images ne seront jamais visionnées, faute d'un nombre suffisant de personnes! Et si l'idée de l'analyse automatique paraît séduisante, elle reste expérimentale. Mise au point.

Fondamental

88

Le chaos est finalement partout. On savait le lien entre systèmes complexes et chaos. Des mathématiciens viennent de démontrer que les systèmes simples sont aussi concernés!

96

Virus marins: le climat dépend peut-être d'eux! En infectant la vie marine, les virus jouent un rôle dans les échanges de CO₂ entre l'air et la mer. Un rôle peut-être crucial.

102

Vin rouge. On sait pourquoi il est bon pour nos artères. Boire du vin rouge préserve les Français des troubles liés à une alimentation grasse. Une étude vient d'élucider pourquoi.

106

Acouphènes: enfin un espoir de traitement. Une injection dans l'oreille permet enfin de remédier à ces sons fantômes très handicapants. Explication.

En pratique

112

Q & R

Toutes nos cellules contiennent-elles le même ADN? Pourquoi les édulcorants ont-ils un goût sucré? Le poids de la Terre est-il constant?, etc.

118

LE POINT SUR...

La formule 1

125

TECHNOFOLIES

Ce mois-ci, des objets qui vont rendre nos gestes plus écologiques: un chargeur alimenté par le pédalage, une lampe LED qui diffuse aussi la musique, etc.

134

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".

142

NOS 3 QUESTIONS À...

Un chercheur répond à nos questions. Ce mois-ci, le neurobiologiste Yehezkel Ben-Ari.



Le spectre de la crue de 1910 mobilise Paris

Un siècle après les séries d'inondations de 1910, Paris vit plus que jamais sous le niveau des eaux. Pourra-t-il faire face à une crue aussi importante que celle de 1910 ? Des préoccupations persistent.

En attendant la crue centennale à Paris...

Dans votre article sur la crue de 1910 (S&V n° 1108), la carte page 88 montre le bassin versant de la Seine "contrôlé" par quatre barrages, soit environ le quart ou le cinquième de la zone

bleue "alimentant" Paris. Or, les zones d'intenses précipitations ne sont pas contrôlées par ces barrages. Je ne vois donc pas bien en quoi ils joueront un rôle important dans le contrôle des

inondations. En outre, mais c'est une remarque plus générale, les nombreux articles traitant d'une possible répétition, cent ans après, des inondations de 1910 semblent indiquer que les crues sont "prédictibles comme le passage d'une comète", la date de 2010 apparaissant presque comme une certitude!

Daniel Hilaire, par Internet

S&V L'effet des quatre barrages existants peut paraître faible puisque ceux-ci ne réduiraient une grande crue que de 70 cm. Cependant, l'importance des dégâts croissant de façon exponentielle selon la hauteur de la crue, ces 70 cm restent précieux. Par ailleurs, ces bassins ont déjà permis de

maintenir hors de l'eau de nombreuses villes de la région parisienne. Il n'en reste pas moins que le projet d'aménagement au niveau de La Bassée que nous évoquons dans notre article, celui qui est justement prévu pour faire face à des crues concomitantes de l'Yonne et de la Seine, est sérieusement envisagé.

Prévisibles, les crues ? Ce n'est pas ce qui ressort de notre article. La notion de crue centennale reste statistique : c'est la probabilité de 1/100 qu'une crue du même ordre survienne dans les cent ans qui suivent celle de 1910. Ce qui ne nous met pas à l'abri de deux ou de dix crues consécutives. Mais il se peut aussi qu'aucune n'ait lieu avant encore un siècle.

L'homme peut-il vraiment créer des espèces ?

Dans votre article "Nourrir les oiseaux crée des espèces" (S&V n° 1109), vous allez un peu vite en besogne quand vous parlez de "séparation de deux espèces distinctes" à propos de variations ou de mutations à l'intérieur d'une même espèce. Le lévrier ou le fox-terrier, bien que morphologiquement très différents, font partie de la même espèce. Nos amis des oiseaux britanniques pratiquent simplement l'élevage sélectif, comme M. Jourdain faisait de la prose en son temps.

Paul Pfordt, Roupeldange

S&V Certes, le fait de nourrir les oiseaux n'a pas (encore?) permis de créer deux espèces distinctes, mais il peut s'agir d'une première étape. Au cours de l'évolution, la séparation d'une espèce en deux s'est souvent faite parce que deux populations de l'espèce de départ ont été séparées, soit géographiquement, soit, comme ici, par un autre phénomène. L'adaptation de ces populations à leur nouvel environnement et leur dérive génétique naturelle les distinguent



d'autant plus rapidement qu'elles n'ont pas l'occasion d'échanger des gènes (ce qui est le cas des fauvettes britanniques). Jusqu'à former deux espèces distinctes. Cette étude montre que l'homme peut avoir une influence sur l'évolution des espèces.

Le BCG n'est pas celui qu'on croit

A propos du sigle BCG figurant dans l'encadré page 65 du n° 1109, le "B" ne signifie pas "bacille" mais "bilié" : vaccin bilié de Calmette et Guérin. (Le bacille de la tuberculose pulmonaire a été découvert par le médecin et microbiologiste Robert Koch.)

Alain Kubasik, par Internet

S&V Vous avez parfaitement raison. Depuis de nombreuses années, ce sigle est traduit à tort par "bacille de Calmette et Guérin". Interprétation que l'on trouve d'ailleurs sur le site du ministère de la Santé.



Pas nouvelle, la mandelbulbe ?

Votre article "Fractales, elles entrent dans la troisième dimension" (S&V n° 1109) stipule qu'avant la création de la "mandelbulbe" aucune fractale tridimensionnelle n'avait été créée. Or, les fractales

en 3D existent depuis longtemps, bien plus simples que la mandelbulbe. Citons "l'éponge de Menger". En quoi la mandelbulbe se distingue-t-elle des autres?

Michael Caouette, Québec

S&V Il existe en effet depuis longtemps des fractales tridimensionnelles. Benoît Mandelbrot n'a inventé ce mot qu'en 1974, mais de telles courbes ont été construites avant lui. Par exemple en 1926 par le mathématicien autrichien Karl Menger : il partit d'un cube dont il évida le centre, en creusant trois tranchées carrées traversant chacune des faces et perpendiculaires les unes aux autres ; le cube original étant alors constitué d'un assemblage de 20 petits cubes, il recommença l'opération sur chacun d'eux et répéta ce processus à l'infini.

La sculpture finale, l'"éponge de Menger", est un volume troué à toutes les échelles, un volume fractal. Mais ces objets sont artificiels, leur caractère fractal leur étant imposé par la volonté d'en creuser l'intérieur. Or, la mandelbulbe n'est pas construite ainsi : issue de travaux mathématiques, cette forme se fracture d'elle-même dès lors qu'on la trace, sans qu'il y ait besoin de la faire "à la main". Sa formule n'est pas conçue *a priori* pour donner un objet fractal. Et c'est bien la première fois que la figure fractale en 3D d'un tel système dynamique a été dessinée.

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: svenews@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION
Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF
Matthieu Villiers

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

DIRECTRICE ARTISTIQUE
Yvonne Diraison

CHEFS DE RUBRIQUE
Cécile Bonneau (physique),
Valérie Greffoz (astronomie),
Pierre Grumbert (technologies),
Caroline Tourte (médecine)

RÉDACTEURS
Boris Bellanger, Germain Chambost,
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
Gayane Adourian, Kheira Bettayeb, Laure Blancart, Safia Bouda, Julien Bourdet, Ariele Braye, Serge Brunier, Rafaele Brillaud, Valérie Buron, Grégoire Cirade, Marine Corniou, Marine Cygler, Antoine Dagan, André Debroise, Audrey De Santis, Sylvie Dessert, Olivier Donnars, Véronique Etienne, Ludovic Fery, Fabien Goubet, Matthieu Grousson, Victor Guillot, Eric Hamonou, Coralie Hancock, Florence Heimburger, Joanna Jongwane, Nicolas Kalogeropoulos, Miko Kontente, Erwan Lecomte, Christophe Maillot, Stéphanie Mariaccia, Davide Maume, Dirhill On, Pierre Otzenberger, Philippe Payet, Michel Saemann, Diana Semaska, www.illustrer.fr

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Jean-Luc Breysse

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 DE PUBLICITÉ
Valérie Leclerc

DIRECTRICE COMMERCIALE
Francesca Colin

DIRECTEUR DE CLIENTÈLE
Lionel Dufour

DIRECTRICE DE CLIENTÈLE
Virginie Commun

ASSISTANTE COMMERCIALE
Sylvia Apodaca

TRAFCIC
Véronique Alex

Grande-Bretagne : Publieurope LTD
infodondon@publieurope.com
- 44 (0)20 7927 9800 ; Allemagne :
Publieurope Munich (infomunich@
publieurope.com - 0049 89 2908150) ;
Suisse : Publieurope Lausanne
(infolausanne@publieurope.com
- 0041 21 323 3110) ; Espagne : Publimedia
Madrid (informadrid@publim-gestion.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

EDITEUR : Excelsior Publications SAS
Siège social : 48, rue Guynemer
92865 Issy-les-Moulineaux Cedex 9

Président : Ernesto Mauri

Directeur général et directeur de la
publication : Jean-Luc Breysse

Actionnaire : 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 avril 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 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. : 02 626 14 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 :
sev.lecteurs@mondadori.fr

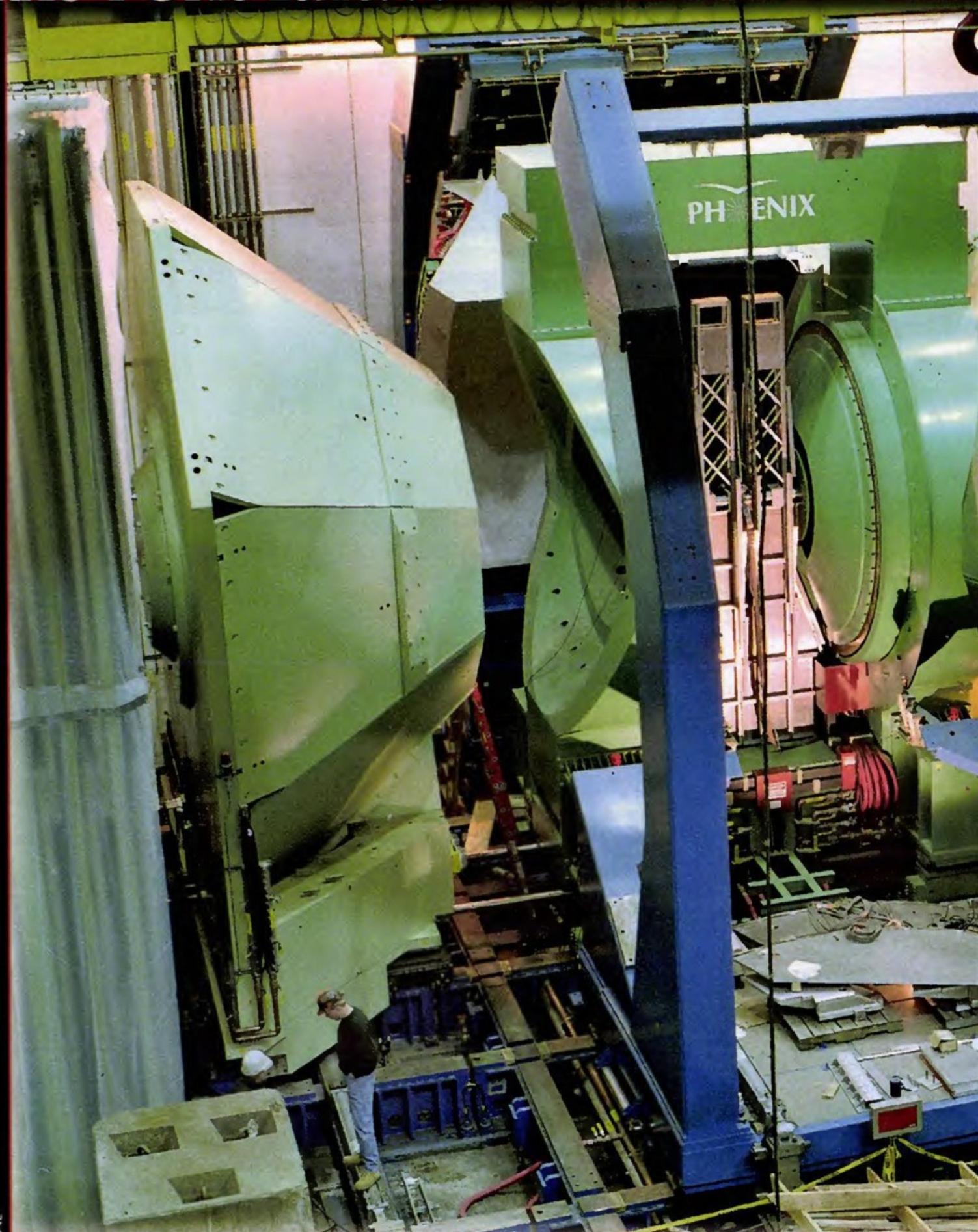
COMMANDE D'ANCIENS
NUMÉROS ET DE RELIURES
Carole Zaragoza,
tél. : 01 46 48 47 18

OJD

PRESSE
PAYANTE

2008

Ils l'ont fait...



BNL



UN PLASMA A BATTU TOUS LES RECORDS DE TEMPÉRATURE

Upton (Etats-Unis), le 15 février. 4000 milliards de degrés. C'est la température inouïe que les physiciens de la "collaboration internationale Phenix" ont mesurée, lors d'une expérience réalisée dans l'anneau de l'accélérateur RHIC, au Laboratoire national de Brookhaven. Soit la température la plus élevée jamais mesurée sur Terre ! Les scientifiques ont projeté l'un contre l'autre deux noyaux d'atomes d'or à très haute énergie. Dans la violence du choc, protons et neutrons ont été pulvérisés, libérant leurs constituants élémentaires. Ceux-ci ont alors formé, durant une fraction de seconde, un plasma de quarks et de gluons. Depuis le début des années 2000, les spécialistes des particules savent recréer cet état extrême de la matière qui remplissait l'Univers quelques microsecondes après le big bang. Mais ils n'étaient jamais parvenus à en mesurer la température prodigieuse, 250 000 fois plus élevée que celle qui règne au centre du Soleil. Pour y parvenir, point de thermomètre... Il aura fallu isoler les photons dits "thermiques" – caractéristiques de la température du milieu – de la myriade de particules de lumière qui s'échappaient du lieu de la collision, sous l'effet de l'annihilation de millions de particules tout juste créées et trop instables pour perdurer. Un travail qui a mobilisé plus de 400 physiciens à travers le monde, pendant plusieurs années.

M.G.

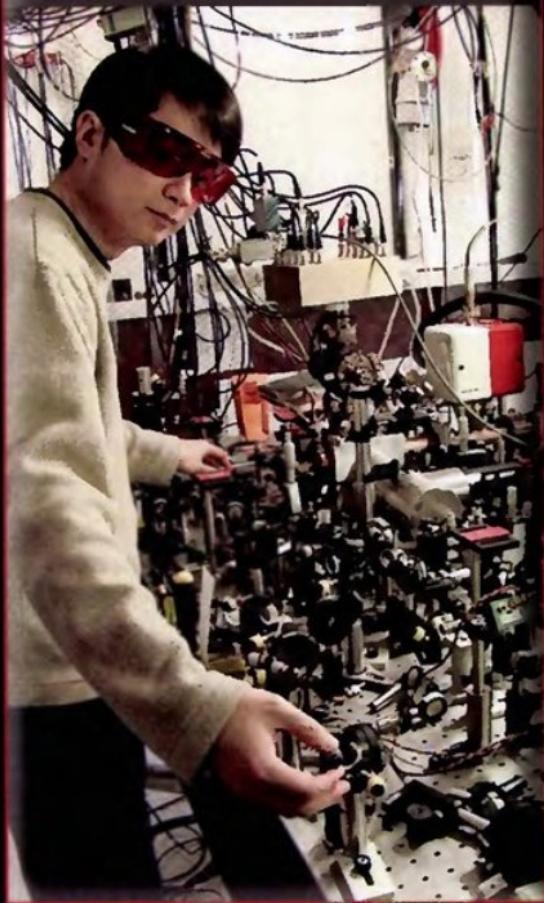
< C'est à l'intérieur du détecteur américain Phenix qu'a été mesurée la température d'un plasma 250 000 fois plus chaud que le Soleil !

Ils l'ont fait...

VOICI L'HORLOGE LA PLUS PRÉCISE DU MONDE

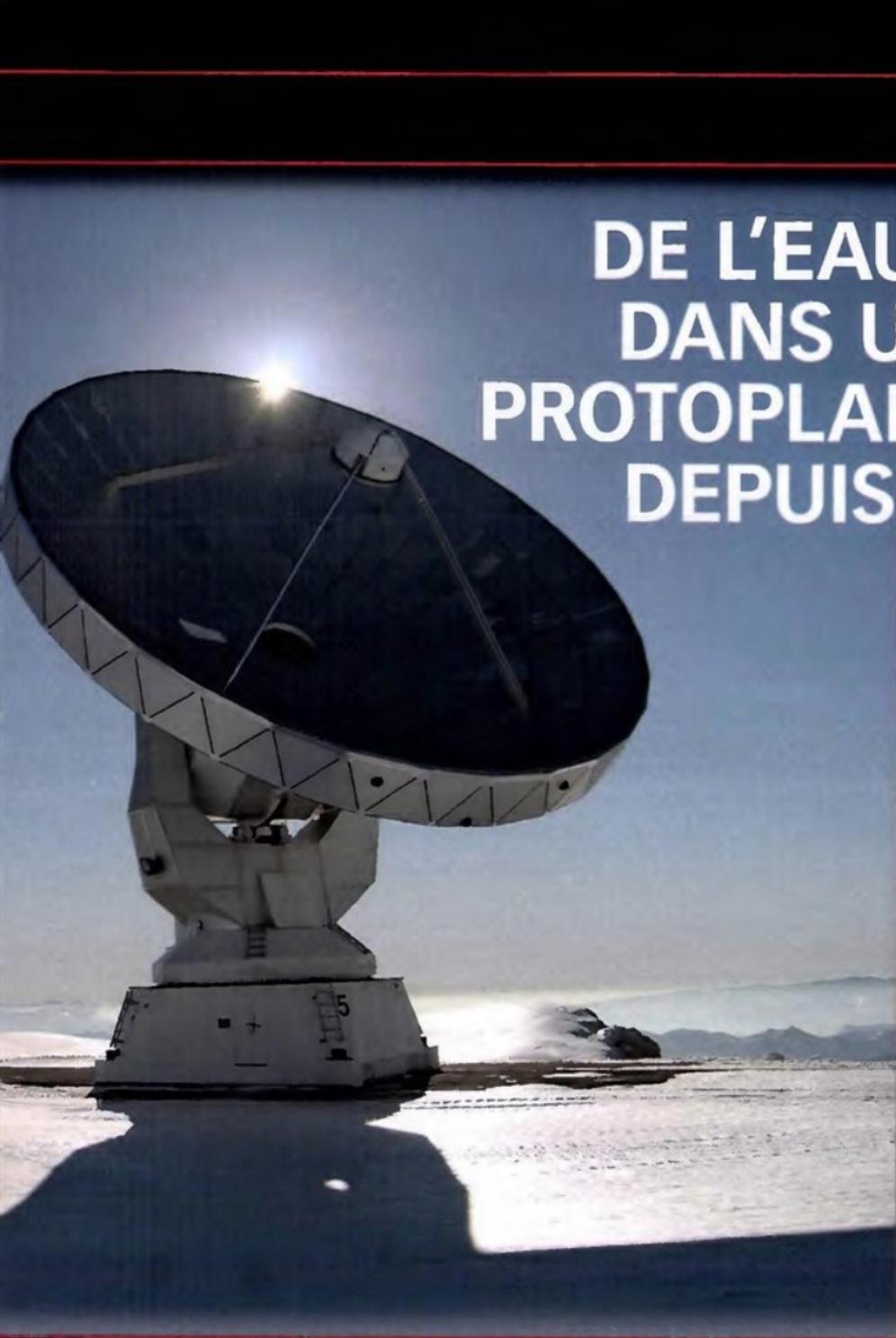
Boulder (Etats-Unis), le 17 février. Elle perd ou gagne une seconde au bout de... 3,7 milliards d'années ! L'horloge du National Institute of Standards and Technology (NIST) est 100 fois plus précise que celles à "fontaine de césum", qui donnent le temps de référence aux horloges parlantes et aux systèmes de localisation par satellite. Son secret : un duo d'atomes (aluminium et mercure), dont les changements d'états quantiques, mesurés par laser, donnent un "tic" d'une extrême précision. Elle pourrait permettre de vérifier la stabilité de certaines constantes de la physique.

F.L.



J. BURROS/NIST - UCL - IRAR/REBIS





DE L'EAU REPÉRÉE DANS UN DISQUE PROTOPLANÉTAIRE... DEPUIS LA TERRE

Plateau de Bure (France), le 8 février. Des astronomes européens ont pour la première fois localisé de l'eau dans un système planétaire en formation. La principale difficulté était de différencier cette eau de celle de l'atmosphère terrestre, qui brouillait les observations. Grâce aux radiotélescopes du plateau de Bure, dans les Hautes-Alpes, ils ont pu capter, dans le disque protoplanétaire, les signaux d'une eau plus lourde, contenant de l'oxygène 18 au lieu de l'oxygène 16. Le disque abriterait environ 100 fois le volume de nos océans, sous forme de vapeur d'eau, concentrée dans une zone située à 4 milliards de km de l'étoile centrale, soit environ la distance Soleil-Neptune. Avec ces observations, les scientifiques espèrent comprendre comment l'eau est arrivée sur Terre. P.O.



DES CHERCHEURS RECONSTITUENT UN FRAGMENT DU CODE GRÉGORIEN

Londres (Royaume-Uni), le 26 janvier. En regroupant dix-sept petits morceaux d'un parchemin à l'écriture latine, retrouvés dans les rayons de la bibliothèque de l'University College, des chercheurs britanniques ont reconstitué des fragments de textes juridiques civils édictés par plusieurs

empereurs romains. Il s'agit d'une partie du Code grégorien, souvent cité en référence par les juristes romains, mais dont il n'existe aucune copie complète. Ancêtre des codes civils actuels, il fut utilisé au début de notre ère depuis Hadrien (117-138) jusqu'à Dioclétien (284-305). O.D.

Ils l'ont fait...

UN CAPTEUR CCD DE 112 MILLIONS DE PIXELS!

Potsdam (Allemagne), le 30 janvier. Voici le plus performant des capteurs CCD jamais construits : sa résolution atteint 112 millions de pixels ! Les chercheurs de l'Institut d'astrophysique de Potsdam ont vu les choses en grand, puisqu'il mesure près de 10 cm de côté, soit le double des meilleurs modèles actuels. Inutile cependant d'espérer le retrouver dans un appareil photo : il a été spécialement conçu pour le Large Binocular Telescope, en Arizona. Deux de ces capteurs vont en effet équiper le grand télescope aux deux miroirs d'ici à 2011, et devraient ainsi permettre de capter des champs magnétiques cosmiques, mais aussi d'observer des exoplanètes de la taille de la Terre. F.G.

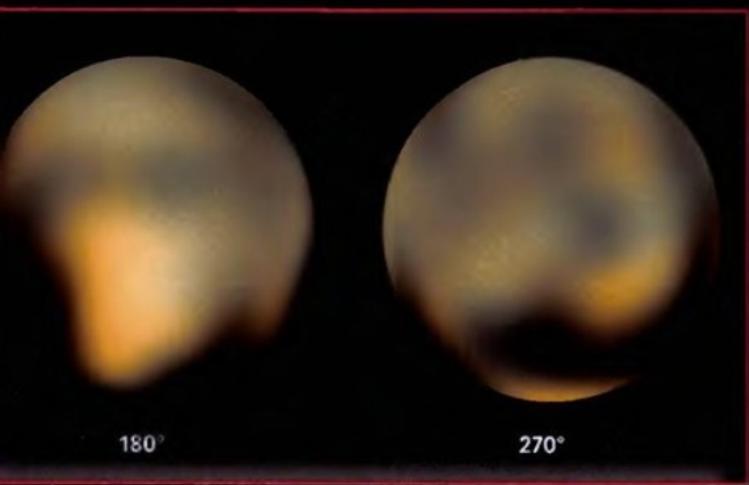


PLUTON DÉTAILLÉE COMME JAMAIS

Orbite terrestre, le 4 février. Pluton a été photographiée par le télescope spatial *Hubble* avec un niveau de détail encore jamais atteint. Jusqu'ici, la planète naine n'était qu'un amas de pixels dans l'objectif du télescope. Ces clichés, pris par la caméra ACS du télescope en 2002 et traités pendant plusieurs années, révèlent des taches noires et orangées. Alors que sur Pluton l'été approche, les rayons UV

du Soleil dissocient le méthane gelé de la planète naine et produisent du carbone, qui prend ces teintes colorées. Plus surprenant, l'hémisphère nord devient plus brillant, probablement la conséquence de la fonte des glaces. Pour voir de meilleures images, il faudra attendre 2015 et la sonde *New Horizons* qui photographiera Pluton à moins de 10 000 km de distance. F.G.





CE VOILIER VA TROIS FOIS PLUS VITE QUE LE VENT

Valence (Espagne), le 14 février. USA 17, le trimaran du BMW Oracle Racing Team, a remporté la Coupe de l'America sur un exploit: Il a atteint, sur une branche du parcours, la moyenne de 26,8 nœuds (49,2 km/h), soit 3,3 fois la vitesse du vent, mesurée à 8 nœuds (14,7 km/h). Ce qui en fait le bateau le plus rapide du monde dans des vents légers (de 6 à 15 nœuds). Un succès d'abord dû à une gigantesque voile-aile (68 m de haut, 650 m² de surface) rigide, munie de volets réglables: "Cela permet de 'vriller' la voilure, en offrant toujours un profil aérodynamique idéal", explique Vincent Lauriot-Prévost, l'architecte du bateau. Et grâce à son poids plume (15 tonnes), associé à des dimensions (27 m de long sur 27,4 m de large), le bateau repose sur un seul flotteur dès 6 nœuds de vent. Ce qui limite son frottement avec l'eau. P.G.





TOUTANKHAMON

Ils ont fait parler son ADN !

B. IVERSON/DISCOVERY CHANNEL - K. GARRETT/NATIONAL GEOGRAPHIC - B. QUILICO/GETTY
COSMOS - R. HARDING/UPPERHALL/GETTY

Une étude d'une ampleur inédite mêlant analyse génétique et imagerie médicale a levé le voile sur la vraie généalogie et la mort du plus intrigant des pharaons. Un succès qui ouvre d'autres horizons.

Ainsi, Toutankhamon est bien le fils d'Akhenaton... mais pas de la belle Néfertiti. Sa mère est finalement une jeune inconnue, qui se trouve être aussi sa tante. Et

il n'a pas été assassiné. Tel est le verdict des généticiens qui ont percé les secrets du petit pharaon à l'incroyable trésor. Des résultats étonnantes, qui sèment aussi leur lot d'interrogations.

C'est le 17 février dernier, au musée du Caire, que Zahi Hawass, secrétaire général du Conseil suprême des antiquités d'Egypte, a

livré aux journalistes le récit des dernières découvertes, obtenues après plus de deux ans d'analyses génétiques et de clichés de CT Scan faits sur 16 momies. Celle de Toutankhamon, bien sûr, mais aussi 10 momies soupçonnées d'appartenir à sa parentèle et 5 autres un peu plus anciennes, à titre de comparaison →



→ morphologique et génétique. Trois illustres invités étaient présents, allongés dans leur cercueil de plexiglas: la dépouille du père, Akhenaton (voir p. 24), la momie de la mère (voir p. 26) et celle de la reine Tiyi – mère d'Akhenaton. Une spectaculaire mise en scène pour dire que l'arbre généalogique direct du petit pharaon est désormais reconstitué sur cinq générations (voir en p. 23).

Avec les progrès scientifiques de ces dernières années, c'est à se demander pourquoi une telle étude n'avait pas été entreprise plus tôt. Car du jeune roi, on ne connaît que sa soi-disant malédiction et son incroyable trésor (plus de 2000 objets, du sarcophage d'or aux bagues, entassés

dans une tombe d'à peine 100 m² – contre 870 m² pour Ramsès II, par exemple). Toutankhamon est un fantôme monté enfant sur le trône, vers 1334 av. J.-C., et mort à 19 ans, au milieu d'une tempête politique. Et c'était pire avant la découverte de son tombeau en 1922 par le Britannique Howard Carter: les archéologues n'avaient de lui qu'un nom mystérieux et l'époque de son règne. Et les dizaines de kilos d'or l'accompagnant dans la mort n'apporteront finalement que peu d'informations – plutôt des questions. Un vide d'autant plus crucial que Toutankhamon règne à une époque charnière du Nouvel Empire égyptien: la

fin chaotique de la longue et prestigieuse XVIII^e dynastie, souvent considérée comme un âge d'or de cette civilisation trois fois millénaire.

L'ADN PEUT VALIDER DES PISTES ARCHÉOLOGIQUES

“Il règne à cette époque une crise politique majeure, qui a donné lieu à une véritable accumulation d'hypothèses, parfois très tortues”, résume Alain Zivie, directeur de recherche au CNRS et chef de la mission archéologique française de Bubasteion de Saqqara (où il a retrouvé la tombe de Maïa, fille d'Akhenaton et nourrice de Toutankhamon): des hypothèses sur les liens de parenté entre les rois ou sur les

maladies de Toutankhamon et Akhenaton. Les nouvelles informations permettent de faire un tri. *“Cette étude est un succès qui soulève de nouvelles interrogations”, constate l'gyptologue Marc Gabolde. En fait, la discipline se félicite de l'apport de la génétique, qui lui permet de valider ou d'inflammer ses hypothèses. Sachant que l'ADN ne règle pas tout: il ouvre des pistes que seules les données archéologiques peuvent mettre en perspectives et, ainsi, éclairer le passé.*

Mais pour obtenir ces données génétiques, il fallait l'accord du Dr Hawass qui a longtemps refusé ce genre d'études: mal menées, elles risquaient d'abîmer les dépouilles pharaoniques; et il se méfiait de leur fiabilité (voir →

LES COULISSES DES ÉTUDES SUR L'ADN ANCIEN

Niché au cœur des cellules, l'ADN peut se conserver sur de très longues durées. Pour l'étudier, les paléogénéticiens effectuent des prélèvements dans les os ou les dents et les broient pour en extraire la précieuse molécule. Différentes solutions chimiques permettent ensuite de l'isoler. L'ADN est alors copié un grand nombre de fois ("amplification" par PCR) pour rendre les résultats lisibles. Un protocole bien rodé, mais des soucis apparaissent. Déjà, l'ADN se fragmente au fil du temps; difficile pour les généticiens de remettre tous ces bouts dans l'ordre pour en tirer une information. De plus, l'ADN des momies égyptiennes est souvent mal conservé: la faute à la chaleur humide des tombes, mais aussi à certains produits utilisés lors de l'embaumement qui peuvent le dégrader ou le piéger. Ensuite, il est fréquemment "contaminé" par de l'ADN moderne, par exemple celui des archéologues qui les ont touchés sans précautions pendant plus d'un siècle. *“Jusqu'à présent, beaucoup de généticiens avaient essayé de travailler sur des momies*



▲ Zahi Hawass a donné le feu vert à des analyses ADN réalisées en Egypte.

égyptiennes mais sans trop de résultats”, rapporte Catherine Hänni, directrice du laboratoire paléogénétique et évolution moléculaire de l'ENS de Lyon. Ainsi, seules 7 momies seulement sur 27 avaient donné des résultats dans l'étude de Woodward. Précautions de base, les analyses génétiques organisées par Zahi Hawass ont été réalisées dans deux laboratoires égyptiens pour comparaison de leurs résultats, et l'ADN des scientifiques intervenus dans

l'étude a été prélevé pour guetter une éventuelle contamination. Ces précautions sont-elles suffisantes? Certains pointent que choisir un laboratoire indépendant aurait été plus judicieux et que les quelques scientifiques de l'étude sont bien peu nombreux à côté de la cohorte d'gyptologues ayant touché les corps embaumés. Eric Crubézy, directeur du laboratoire d'anthropobiologie du CNRS (Toulouse), pointe, lui, que *“l'étude de l'ADN mitochondrial qui permet d'établir la lignée maternelle n'a pas été faite, alors que c'est le plus facile à obtenir. Normalement, on couple son étude à celle des microsatellites mais elle n'est pas indispensable pour régler les questions de filiation.”* Olivier Chassaing regrette, lui, la non-publication des résultats complets des analyses des microsatellites et l'absence de ceux des momies témoins: *“La description approfondie des méthodes utilisées pour l'analyse d'ADN ancien et pour le traitement des données est absolument nécessaire dans ce genre d'étude.”* En fait, conclut Catherine Hänni, *“ce n'est pas que je ne les crois pas, mais il faut trop souvent 'faire confiance' aux auteurs: ils ne donnent pas tous les éléments pour nous permettre de juger par nous-mêmes de leurs résultats.”*

L'ADN DE 10 MOMIES A LIVRÉ LES SECRETS DE FAMILLE DU JEUNE ROI

La comparaison des empreintes génétiques des 11 momies étudiées a permis de confirmer l'identité et les liens de parenté de 10 d'entre elles. La grosse surprise vient des parents du petit roi qui seraient frère et sœur, sachant que l'inceste est une pratique royale connue à l'époque. Par ailleurs, les 2 fœtus sont bien les enfants de Toutankhamon et les tests désignent une mère potentielle.

Début de la XVIII^e dynastie et début de sa lignée royale
1550 av. J.-C.

Thoutmosis IV
1398-1388 av. J.-C.

Aménophis III
1388-1351 av. J.-C.

Aménophis IV-
Akhenaton
1351-1333 av. J.-C.

Smenkhkare ?
Corégence ?

Ankh
Khéperouné ?
Corégence ?

Toutankhamon
1333 (?) - 1324 av. J.-C.

Fin de la lignée royale

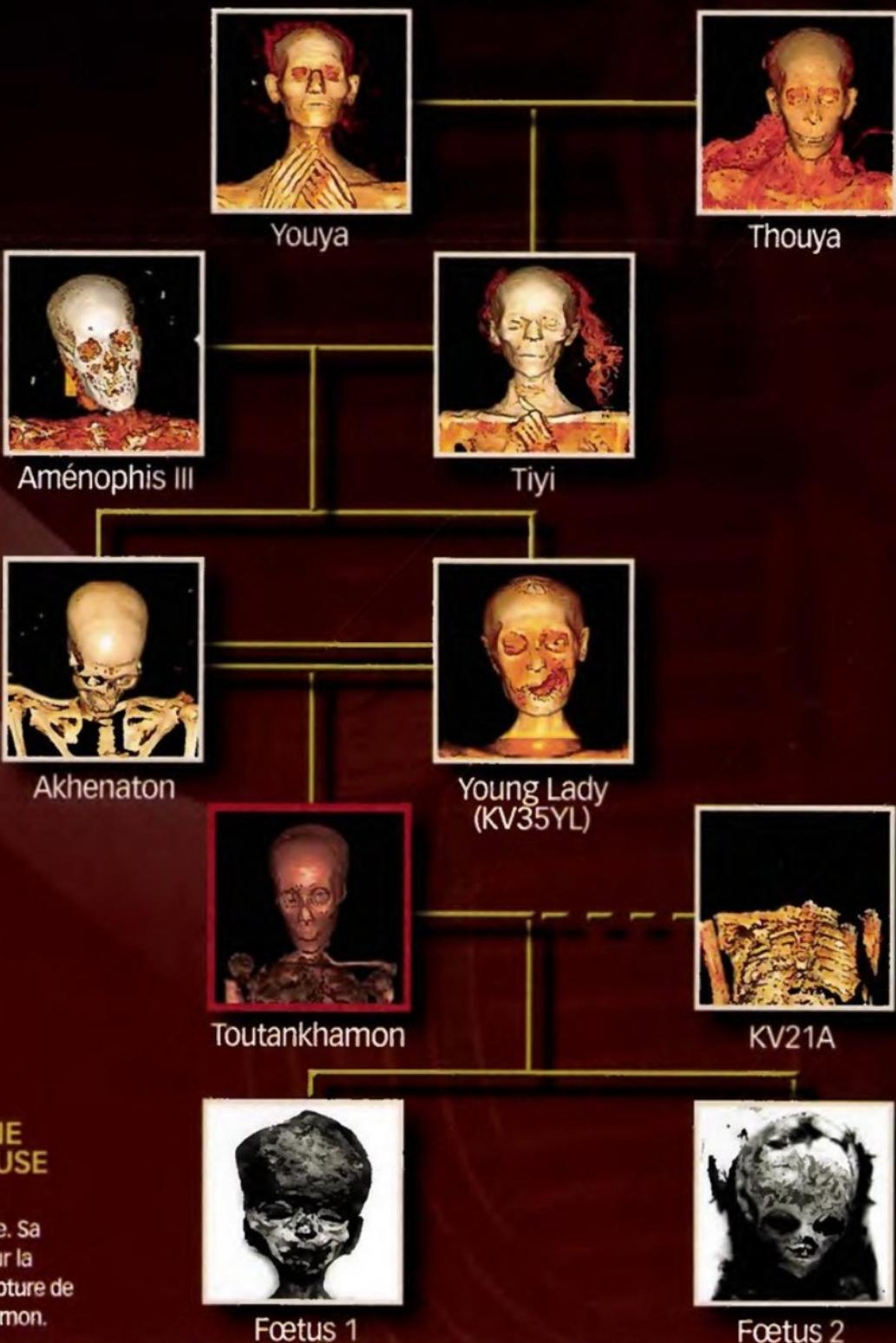
Ay
1324-1320 av. J.-C.

Horemheb
1320-1292 av. J.-C.

Fin de la XVIII^e dynastie

LE CRÉPUSCLE D'UNE DYNASTIE PRESTIGIEUSE

C'est de - 1550 à - 1292 que la XVIII^e dynastie régnait sur l'Egypte. Sa fin fut chaotique : incertitudes sur la régence après Akhenaton, et rupture de la lignée royale après Toutankhamon.



→ encadré). Sans compter qu'elles auraient été menées à l'étranger, l'Egypte ne disposant pas des laboratoires capables d'analyses aussi pointues. Il faut ainsi remonter au milieu des années 1990 et aux travaux du biologiste moléculaire Scott Woodward, alors à la Brigham Young University, pour trouver la trace des dernières analyses génétiques de quelque importance sur des momies royales : 27 momies de la XVIII^e à la XXI^e dynastie avaient été testées, mais les résultats ne furent jamais publiés en totalité... Il y a dix ans, une équipe japonaise s'est vu refuser le droit de faire un prélèvement sur la momie de Toutankhamon ; Woodward connut la même mésaventure deux ans plus tard.

DES MOMIES ANALYSÉES POUR LA PREMIÈRE FOIS

Aujourd'hui, les choses ont changé. Le mécénat de Siemens et de Discovery Channel a permis la création du laboratoire égyptien que Zahi Hawass appelait de ses vœux, ouvrant la voie à "l'égyptologie moléculaire" (génétique, biologie moléculaire, cellulaire, etc., au service de l'étude de l'Egypte ancienne). Et annoncer l'étude de 11 momies suspectées d'être au cœur de l'affaire Toutankhamon, dont certaines analysées pour la

première fois, plus celle d'un groupe témoin, était un bon début. Cinquante-deux biopsies osseuses ont été réalisées sur les 11 dépouilles, dont 6 sur Toutankhamon (et une dizaine sur le groupe témoin) ; toutes les momies étant passées au scanner pour avoir des images 3D précises.

Côté généalogie, les généticiens se sont penchés sur les microsatellites : "Il s'agit de séquences hypervariables des chromosomes où sont répétés de courts motifs. A un endroit donné d'un chromosome, et au sein d'une même population, il peut y avoir 20 ou 30 versions différentes", explique Olivier Chassaing, paléogénéticien à l'ENS de Lyon. Ainsi, comme deux parents (à moins d'être consanguins) vont transmettre leurs microsatellites à leurs enfants, regarder leur répartition chez les momies permet de dessiner les relations entre elles. Seize des microsatellites étudiés ici sont sur le chromosome sexuel "Y", spécifique aux hommes, et dessinent la lignée paternelle. Huit viennent des autres chromosomes. A la clef ? Des informations sur les liens de parenté entre les individus des deux sexes... Sans compter, ultime surprise, que les généticiens ont réussi à mettre en évidence des gènes du *Plasmodium falciparum*, parasite responsable du paludisme, chez le petit roi et trois de ses proches. Ce qui leur a permis de proposer un nouveau et solide scénario sur les circonstances de sa mort...

Emilie Rauscher

"L'étude est un succès qui soulève de nouvelles interrogations"

MARC GABOLDE, ÉGYPTOLOGUE À L'UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

AKHENATON ÉTAIT

Les hypothèses antérieures

Trois candidats majeurs se "partageaient" la paternité de Toutankhamon, né Toutankhaton.

Le premier, le plus évident au niveau des dates, était Aménophis IV, devenu en l'an 5 de son règne Akhenaton. C'est vers l'an 13 de son règne et dans l'éphémère capitale Akhetaton que serait né celui qui deviendra Toutankhamon. Une inscription retrouvée sur place et complétée fin 2008 semblait en parler comme d'un père et son fils. Le second candidat était le père d'Akhenaton,

Aménophis III. Cette hypothèse repose notamment sur des bas-reliefs de Soleb ou Louqsor, représentant Toutankhamon et mentionnant Aménophis III comme son père. Dans ce cas, Aménophis III aurait partagé le trône avec son fils aîné Akhenaton. Mais cette corégence n'est mentionnée nulle part. Dernière possibilité : l'énigmatique Smenkhkaré, un pharaon dont on ne sait quasiment rien sinon qu'il succéda (peut-être brièvement) à Akhenaton. Il aurait alors pu avoir un fils avec Meritaton, fille ainée d'Akhenaton.

Le verdict des tests

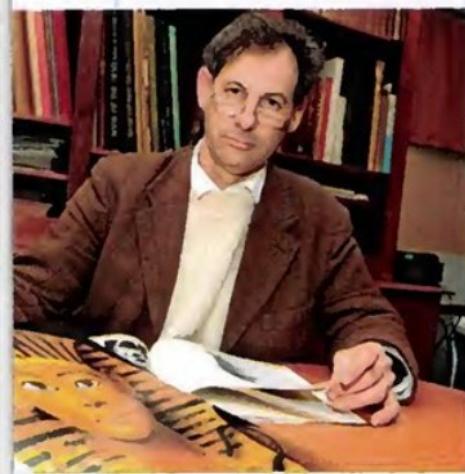
Deux momies suspectées ont été étudiées : celle attribuée à Aménophis III, retrouvée en 1898 dans la tombe 35 de la Vallée des Rois, et celle de la tombe 55, potentiellement celle d'Akhenaton car datant de cette période. Elle est au cœur d'une controverse depuis sa découverte en 1907 car aucun cartouche ne permet de l'identifier. Les analyses

génétiques ont finalement révélé qu'il y avait une probabilité de 99,9999981 % que la momie de la tombe 55 soit celle du père de Toutankhamon. Tandis que la momie de la tombe 35 a 99,9999999 % de chance d'être celle du père de l'individu de la tombe 55 – et donc le grand-père de Toutankhamon ! Ce type de résultat devient significatif au-dessus de 99,73 %.

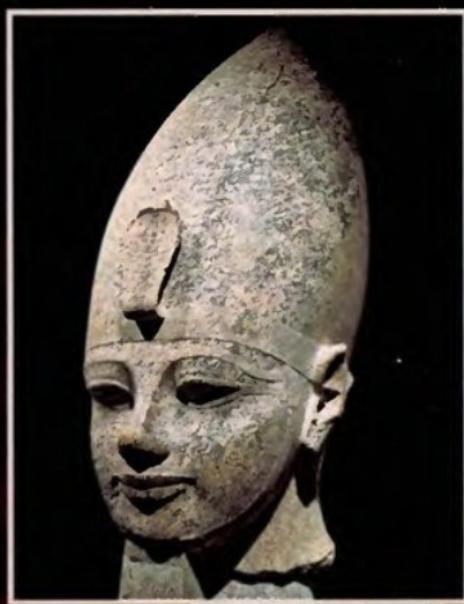
Et maintenant ?

L'étude confirme plusieurs points cruciaux. Déjà, la momie de la tombe 35 est bien celle d'Aménophis III. Ce n'était pas certain car il n'y était pas seul : creusée pour Aménophis II, la tombe fut utilisée au 1^{er} millénaire av. J.-C. par des prêtres égyptiens

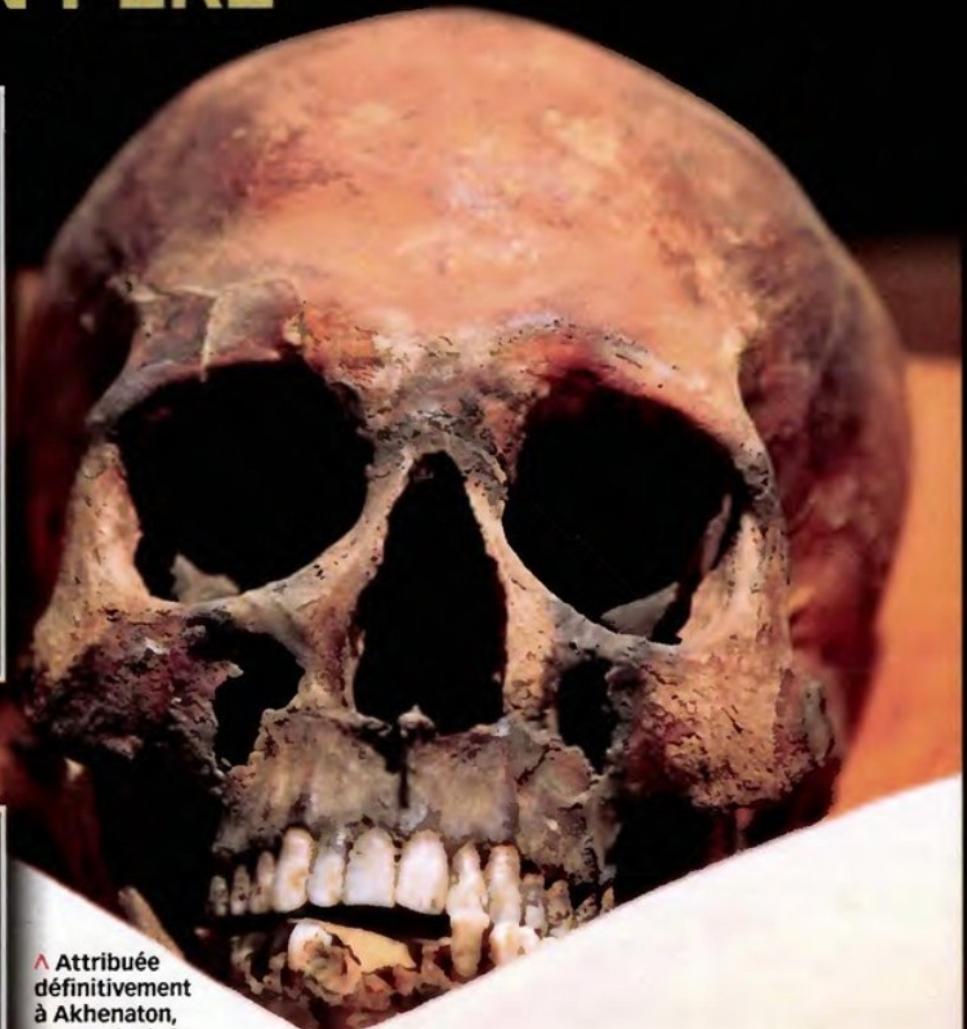
comme cachette pour des momies dont les caveaux avaient été pillés. "Il sera maintenant intéressant, puisque les tests ADN semblent fiables, d'étudier les restes de Thoutmosis IV (père présumé d'Aménophis III) et d'un prince retrouvés dans la tombe 35".



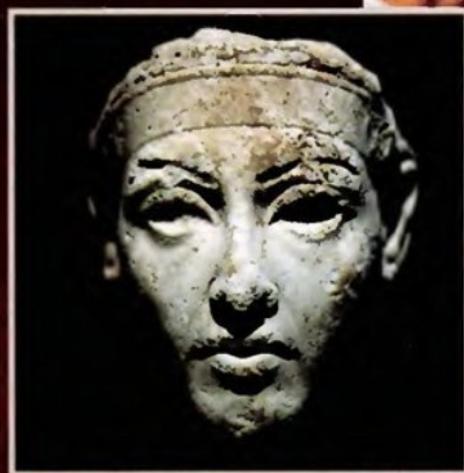
IT BIEN SON PÈRE



▲ Aménophis III est en fait le père d'Akhenaton et le grand-père de Toutankhamon.



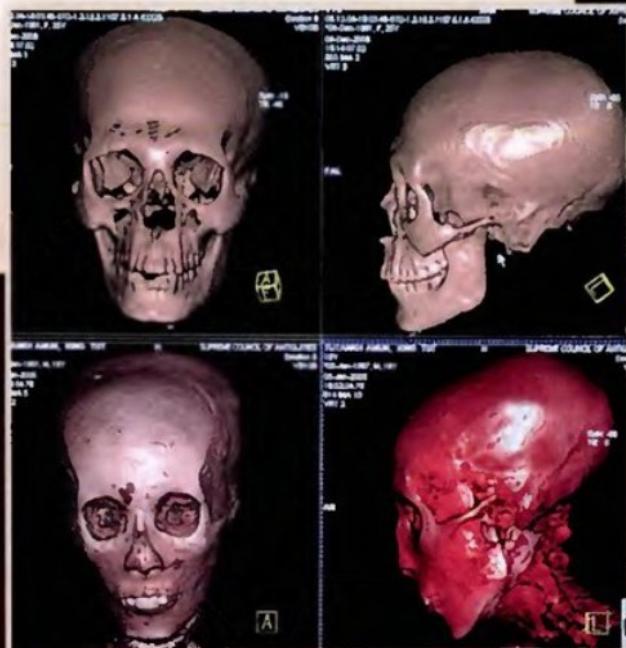
▲ Attribuée définitivement à Akhenaton, la momie de la tombe 55 s'est révélée être celle du père du jeune roi.



◀ Père envisagé, Smenkhkare reste finalement un inconnu. Il pourrait être un prince hittite...

note l'égyptologue Marc Gabolde, afin d'élargir et compléter l'arbre généalogique qui se dessine. Ensuite, la momie de la tombe 55 est définitivement attribuée à Akhenaton. Les archéologues hésitaient encore entre lui et le jeune Smenkhkare. C'est l'estimation de l'âge du corps, qui oscilla longtemps autour d'une vingtaine d'années, qui laissait planer un doute, car Akhenaton est mort plus vieux. Or, en 2005, des

travaux ont montré que cette momie était plutôt celle d'un homme mûr... Ce que les dernières études au scanner viennent de confirmer. Lesquelles prouvent aussi que le physique du roi "maudit" était normal. Les hanches féminines qui avaient tant interpellé les spécialistes sont donc le fruit de choix artistiques et culturels, et non le signe de maladies (voir p. 28). E.R.



▲ L'étude des crânes des momies de Toutankhamon en 2005 et de la tombe 55 évoquait déjà un lien de parenté entre elles, sans pouvoir le préciser.

SA MÈRE N'ÉTAIT PAS NÉFERTITI NI KIYA, MAIS LA SŒUR DE SON PÈRE

Les hypothèses antérieures

L'identité de la mère de Toutankhamon est fortement liée à celle de son père. L'hypothèse d'Akhenaton comme géniteur ayant la faveur d'une bonne partie des égyptologues, deux reines se détachent. Néfertiti d'abord, puisqu'elle était sa grande épouse royale. Toutefois, par le biais d'inscriptions et de bas-reliefs, les égyptologues ne lui connaissent "que" six filles – et pas de fils. La seconde candidate était la reine Kiya, une autre épouse d'Akhenaton. Elle portait le titre d'"épouse grandement aimée" et était la préférée

du pharaon à l'époque de la naissance présumée de Toutankhamon. Mais là encore, son seul enfant connu avec certitude est une fille... Cependant, si le père de Toutankhamon était Aménophis III, sa mère aurait vraisemblablement été sa grande épouse royale, Tiyi. Certes, la reine aurait sans doute été âgée pour enfanter, mais la découverte d'une boucle de ses cheveux précieusement rangée dans un petit sarcophage placé dans la tombe du jeune roi plaide pour un fort lien entre eux deux.

Le verdict des tests

Plusieurs momies féminines ont été génétiquement étudiées, même si toutes n'étaient pas candidates à la maternité de Toutankhamon. La majorité de ces momies étaient par ailleurs non identifiées : il s'agissait de KV35EL (pour Elder Lady, possiblement Tiyi), KV35YL (Young Lady, un temps identifiée à Néfertiti mais sans preuve solide), KV21A et KV21B (KV pour "King Valley", Vallée des Rois, suivi du numéro de la tombe où elles ont été retrouvées). L'ADN montre que la

momie KV35EL est la fille des momies des nobles Thouya et Youya : il s'agirait donc de Tiyi. Surtout, Tiyi et Aménophis III s'avèrent être les parents de la momie KV35YL... qui se révèle elle-même être la mère de Toutankhamon (voir l'arbre généalogique en page 23). Les momies KV21A et B ont donné des résultats très fragmentaires, et donc difficilement interprétables. KV21A pourrait néanmoins être une sœur ou une demi-sœur du jeune roi, mais pas sa mère.



▲ Ce n'est pas avec Néfertiti, sa grande épouse, qu'Akhenaton a eu Toutankhamon...

Et maintenant ?

Paradoxalement, c'est un résultat concernant le père, donc Akhenaton, qui éclaire l'affaire : "La grosse surprise fut d'apprendre que le père de Toutankhamon et sa mère (KV35YL) étaient frère et sœur, tous deux nés d'Aménophis III et Tiyi... Cela était insoupçonné", indique l'égyptologue Marc Gabolde. Or, ni Néfertiti ni Kiya ne sont des sœurs d'Akhenaton. Les deux candidates favorisées jusqu'ici par les égyptologues se retrouvent écartées et une inconnue prend leur place ! "Ce qui permet déjà d'évoquer de nouveaux scénarios pour la généalogie, commente le chercheur. Après avoir échoué à obtenir un fils avec Néfertiti et avec Kiya, Akhenaton se serait uni avec une de ses sœurs. On en connaît



▲ ... mais avec sa sœur Young Lady (KV35YL) ! Un inceste royal que personne n'avait envisagé.

quatre sœurs d'Aménophis III et Tiyi : Satamon, Isis, Henouttaneb et Nebetâh. Young Lady pourrait être l'une d'elles ou une autre, encore inconnue. Hormis une mention pour Satamon, les sœurs d'Akhenaton sont absentes de la documentation de la ville d'Akhetaton." L'ADN des momies de la Vallée des Rois peut encore éclairer plusieurs branches de l'arbre généalogique de Toutankhamon.

E.R.



▼ Les tests ADN ont aussi écarté Kiya, une autre épouse d'Akhenaton, comme mère potententielle.



IL FUT ENTERRÉ AVEC SES FILLES

Les hypothèses antérieures

On ne connaît pas d'enfant à Toutankhamon, ses successeurs n'appartenant pas à la lignée royale. Mais la présence de deux fœtus féminins de 5 et 7 mois dans sa tombe intrigue : s'agissait-il de ses filles ou d'enfants placés là pour l'accompagner dans sa nouvelle vie ?

Le verdict des tests

La comparaison d'ADN des fœtus et de Toutankhamon le désigne comme père à plus de 99 %. Mais si la comparaison entre les fœtus et la momie KV21A laisse penser qu'il y a aussi un lien de filiation, les résultats sont encore trop incomplets pour l'affirmer.

Et maintenant ?

Plus que la confirmation de la paternité du jeune roi, c'est la découverte de la mère potentielle de ses filles qui est intéressante. En effet, la seule épouse connue de Toutankhamon est sa demi-sœur Ankhesenpaaton, fille d'Akhenaton et Néfertiti. Si la momie KV21A est bien la sienne et son empreinte génétique complétée, cela permettra peut-être, en comparant avec d'autres momies anonymes, de retrouver la mystérieuse... Néfertiti ! E.R.

▼ Si les fœtus sont bien les filles de Toutankhamon, le lien maternel reste à confirmer.



IL N'A PAS ÉTÉ ASSASSINÉ MAIS SA SANTÉ ÉTAIT FRAGILE

Les hypothèses antérieures

Visage androgyne, poitrine anormalement développée... les représentations de Toutankhamon ont alimenté bien des hypothèses sur sa santé et sa différenciation sexuelle. Le pharaon était-il atteint d'une maladie génétique comme

celle de Marfan ou du syndrome d'Antley-Bixler qui expliquerait la déformation de son crâne? Sa mort à 19 ans à peine a également été l'objet de multiples scénarios, plus ou moins étayés. La découverte en 1968 d'un trou à l'arrière du

crâne lançait la thèse de l'assassinat. Mais en 2005, la découverte par scanner d'une fracture non cicatrisée de la jambe gauche appuyait deux autres hypothèses: une chute de char mortelle ou une surinfection généralisée de la blessure.

Le verdict des tests

Les images obtenues par scanner et les analyses génétiques réalisées sur la momie de Toutankhamon ont apporté de nombreuses données inédites. Elles ont permis de lister les anomalies qui affectaient le souverain: des orteils trop courts au pied droit, un léger pied-bot à gauche, une déformation de la colonne vertébrale

(cyphoscoliose), son palais était fendu, etc. Toutes les particularités observées ne relèvent cependant pas d'une maladie: la forme de son crâne, large et court, n'a pas de conséquence. Syndrome d'Antley-Bixler et maladie de Marfan ont été écartés. En revanche, la découverte de traces de dégénérescence osseuse au pied gauche semble indiquer une maladie de Köhler II.

Et maintenant?

Si les cannes étaient un symbole de force, les maux dont souffrait le jeune roi éclairent d'un jour nouveau le fait que sa tombe en contenait 130.

Les os de Toutankhamon, fragilisés par la maladie de Köhler, n'auraient pas résisté à une chute, "l'hypothèse d'une mort violente par assassinat ou chute de char est donc inutile, constate l'égyptologue Marc Gabolde. Ce pharaon qui devait s'appuyait sur une canne pour marcher pouvait facilement tomber." D'où la nouvelle hypothèse proposée par l'équipe de Zahi Hawass: il a pu être emporté par les effets cumulés de la fracture

de sa jambe, la dégénérescence osseuse et une crise de paludisme. Mais l'origine des déformations des pieds reste débattue. Ainsi, pour le paléopathologiste français Philippe Charlier, "certaines de ces modifications pourraient être la conséquence de l'embaumement". Le spécialiste déplore que le temps et les manipulations auxquelles la momie a été soumise ne soient pas considérés dans l'interprétation des résultats. M.cy.



▲ Les plantes médicinales déposées près de la momie évoquent déjà un état maladif.





Fracture du fémur

Une fracture a été détectée par scanner en 2005 sur le fémur gauche. Comme elle n'a pas eu le temps de cicatriser, elle a dû survenir peu de temps avant sa mort.

Maladie de Köhler II

Cette maladie inflammatoire très douloureuse détruit certains os, les métatarses, situés entre la cheville et les orteils. Les spécialistes ont découvert que deux métatarses du pied droit étaient touchés.

Déformation du crâne

Plusieurs anomalies, existant aussi chez Akhenaton, sont à noter: la forme inhabituellement large du crâne (brachycéphalie), et l'existence d'une fissure du palais. Mais elles ne sont ni invalidantes ni pathologiques.

Paludisme

Toutankhamon et ses grands-parents avaient contracté le paludisme sous sa forme la plus grave (fièvres et atteintes neurologiques).

Cyphoscoliose

Cette double déformation (bosse et déviation) de la colonne vertébrale se retrouve chez sa grand-mère.

Pied-bot

Son pied-bot et l'absence d'une phalange au pied gauche (hypophalangisme) gênaient la marche du jeune roi et déformèrent son pied droit.



EMBRYOLOGIE

La symétrie des êtres vivants se dévoile

Un nouveau mécanisme qui pourrait concourir au maintien de la symétrie chez les êtres vertébrés vient d'être mis en évidence.

Le cœur à gauche, le foie à droite. Alors que bon nombre de nos organes internes sont latéralisés, notre aspect extérieur, lui, respecte une parfaite symétrie axiale, visible au niveau de la colonne vertébrale. Mais si celle-ci apparaît tôt au cours du développement, elle est le fruit d'une véritable lutte entre des mécanismes moléculaires antagonistes. Après avoir découvert en 2005 que l'acide rétinoïque joue un rôle majeur dans le contrôle de la symétrie des somites, les amas de cellules à l'origine des vertèbres, Olivier Pourquié, chercheur français au Stowers Institute for Medical Research, a montré que cette molécule, dérivée de la vitamine A, n'est pas seule à entrer en jeu. Dans une étude menée sur des embryons de souris, ce dernier a mis en évidence la

formation d'un complexe entre l'acide rétinoïque et trois protéines (Rere, Nr2f2 et p300). "Ce complexe permet de contrer l'action déstabilisante d'autres molécules impliquées dans la mise en place de l'asymétrie", explique-t-il. Et, en effet, lorsque le gène codant pour la protéine Rere est déficient, les souris présentent un retard dans la formation des somites de droite par rapport à celles de gauche, comme si les voies contrôlant l'asymétrie avaient pris le dessus sur celles contrôlant la symétrie. D'après Olivier Pourquié, une défaillance de cette fonction de régulation pourrait être impliquée dans la survenue de troubles de la symétrie tels que les scolioses. C.H.

> Chez l'embryon de souris, un acide associé à trois protéines a contré l'asymétrie.

SPL/BIOSPHOTO - KECK/NASA

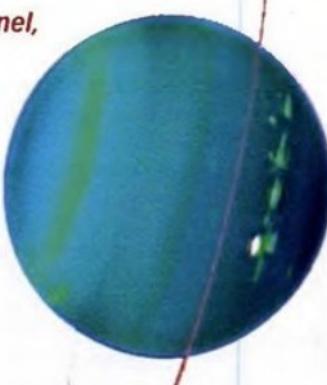




PLANÉTOLOGIE

CE N'EST PAS UN CHOC QUI A FAIT BASCULER URANUS

On a longtemps pensé que la position couchée d'Uranus était due à un choc brutal avec un autre corps céleste. Mais pour quelle raison ses satellites auraient-ils basculé avec la planète ? Deux chercheurs français proposent un scénario original, basé sur des simulations : par un effet gravitationnel, le plus gros des satellites d'Uranus aurait perturbé le mouvement de la planète au point de la faire basculer avec son cortège satellitaire. Le satellite perturbateur aurait ensuite disparu, éjecté lors d'un passage de Neptune à proximité. P.O.



NEUROSCIENCES

Le comportement maternel augmente les neurones

Un comportement maternel peut déclencher le développement de nouveaux neurones dans le cerveau d'une femelle... même si elle est encore vierge. Robert Bridges et Miyako Furuta, de l'université de Tufts (Etats-Unis), ont mis en contact des rates avec des petits qui n'étaient pas les leurs. Au bout de plusieurs jours, la plupart des femelles s'en occupaient, comme l'aurait fait une mère (en regroupant les bébés auprès d'elles, etc.). Et leur nombre de neurones a augmenté. S'agit-il, comme on le connaît déjà chez les mères, d'un effet de la prolactine, une hormone qui stimule le comportement maternel et la production de neurones pendant la grossesse ? Ou cette production de neurones est-elle déclenchée par le fait même de s'occuper des petits ? Mystère. Et, bien sûr, qu'en est-il chez la femme ? V.B.

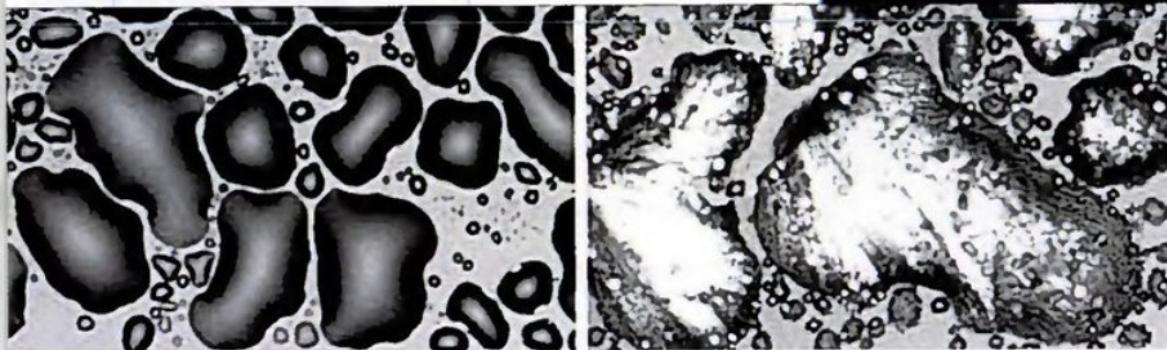
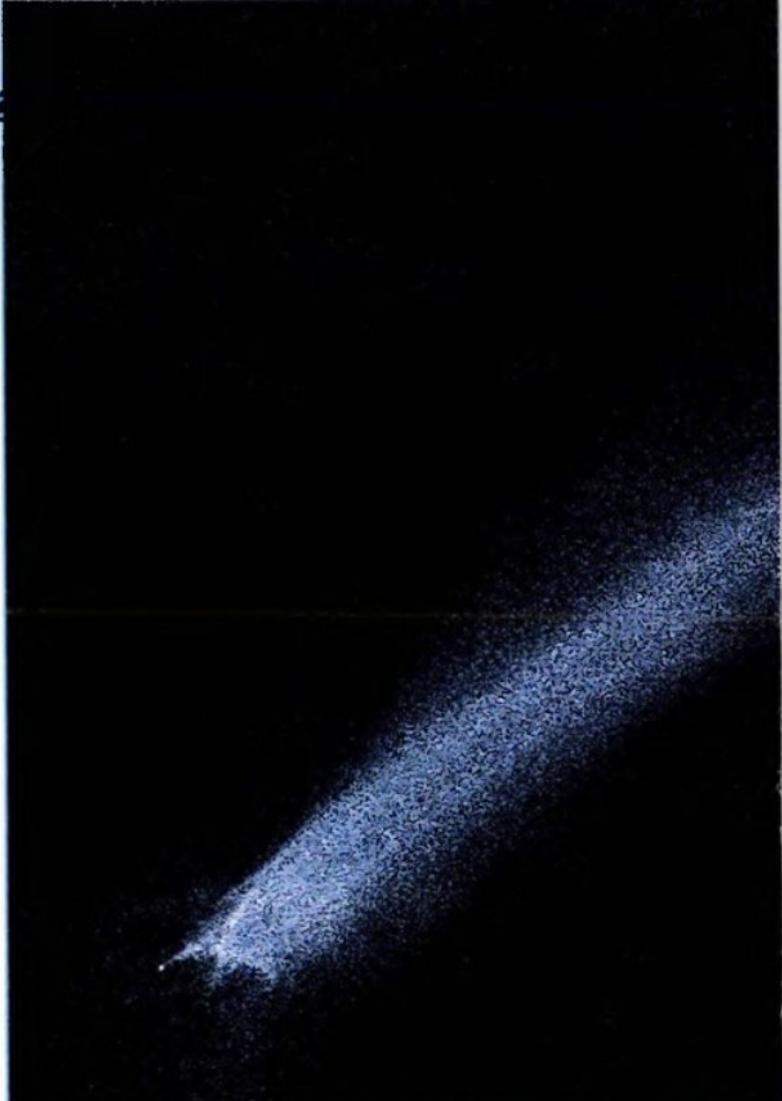
ASTRONOMIE

On a vu les restes d'une collision entre astéroïdes

Pour la première fois, les astronomes ont identifié les vestiges d'une collision récente entre deux astéroïdes. Du violent impact, qui a eu lieu entre Mars et Jupiter, il ne reste plus qu'un petit corps rocheux de 140 mètres de diamètre (le petit point blanc sur la photo) d'où s'échappe une immense traînée de poussière. Alertés par des images du programme américain Linear, les scientifiques croient d'abord à une comète. Mais des observations

plus précises du télescope spatial *Hubble* écartent ce scénario : la queue de poussière est irrégulière et, surtout, elle ne contient pas de gaz. Il s'agit bel et bien des restes d'une collision entre deux astéroïdes. Et pas n'importe lesquels. Selon les astronomes, les protagonistes feraient partie des astéroïdes de la famille Flora, dont l'un des membres aurait frappé la Terre il y a 65 millions d'années... et entraîné la disparition des dinosaures. J.B.

> Des deux astéroïdes initiaux, il ne reste plus qu'un corps de 140 mètres (point blanc) et une longue traînée de poussière.



PHYSIQUE

Il est possible de geler de l'eau... en la chauffant!

NASA, ESA, D. JEWITT (UCLA) - GETTY - SCIENCE

David Ehre et son équipe du Weizmann Institute, en Israël, viennent de faire une étrange découverte en manipulant de l'eau en surfusion. Dans cet état particulier de la matière, de l'eau pure refroidie très lentement reste liquide, même à une température négative. Les chercheurs l'ont alors placée sur une surface

dont la charge électrique varie avec la température. La surprise fut de taille : en la chauffant de -12°C à -8°C , l'eau a gelé ! S'il est admis depuis un siècle que la direction d'un champ électrique influe sur le point de surfusion de l'eau, c'est en revanche la première fois que ce phénomène est observé, notamment grâce

à une surface en tantalate de lithium (LiTaO_3) totalement dépourvue d'impuretés. Le mécanisme mis en jeu reste un mystère, mais cette découverte pourrait avoir plusieurs applications, notamment en ce qui concerne la conservation du sang, ou en météorologie, pour l'ensemencement des nuages. F.G.

▲ En faisant passer de l'eau en surfusion de -12°C à -8°C , les scientifiques ont réussi à la faire geler.

ÉVOLUTION

Des mêmes variations génétiques ont doté chauves-souris et dauphins de la capacité d'écholocation (l'aptitude à se repérer grâce aux échos des sons émis). Que la grande loterie de l'évolution donne les mêmes combinaisons génétiques sur des lignes séparées, cela n'avait encore jamais été observé. Or, comme le montrent deux récentes études menées par des chercheurs anglais et chinois, ce sont des séries de mutations identiques qu'a suivi, chez les dauphins et les chauves-souris, le gène de la prestine, protéine essentielle au développement de l'audition. Les exemples de convergences génétiques pourraient être plus nombreux que la théorie darwinienne ne le laisse croire jusqu'alors. V.G.



D'où viennent les iguanes du Pacifique ?

Alors qu'ils sont communs en Amérique, les iguanes ne sont présents en Océanie que sur les archipels de Tonga et de Fidji. Comment y sont-ils arrivés ? Jusqu'à présent, les biologistes privilégiavaient "l'hypothèse du radeau", selon laquelle ce sont des iguanes américains qui auraient colonisé ces îles, traversant le Pacifique sur des débris végétaux. Mais pour Brice Noonan, chercheur à l'université du Mississippi, cette hypothèse ne tient plus. D'abord parce qu'un périple de près de 8000 km apparaît hautement improbable. Ensuite parce que "des éléments géologiques ont révélé que, contrairement à ce que l'on pensait jusqu'alors, ces îles ne sont pas pleinement océaniques : elles ont été rattachées à l'Asie. De ce fait, les iguanes ont pu les coloniser en marchant, il y a environ 40 millions d'années", explique-t-il. Le chercheur vient justement d'établir un arbre généalogique qui montre que les iguanes du Pacifique sont bien plus proches de ceux dont on connaît quelques fossiles en Asie que des iguanes américains. Fidji et Tonga seraient donc le dernier refuge des iguanes asiatiques, qui ont disparu depuis. C.H.

ÉTHOLOGIE

L'ADVERSITÉ SOUDE LES CHIMPANZÉS

En captivité, les chimpanzés se montrent peu enclins au partage et au sacrifice, mais leur comportement change dans leur milieu d'origine. Observés dans un parc national de Côte d'Ivoire, mâles et femelles se sont avérés capables d'adopter des congénères orphelins. Selon Christophe Boesch, qui a mené l'étude, cela montre le rôle d'un environnement naturel et hostile dans l'émergence de l'altruisme. V.Gu.





BIOLOGIE ÉVOLUTIVE

LES ABEILLES PRÉFÈRENT LA NICOTINE ET LA CAFÉINE

Les abeilles butinent volontiers les fleurs de citronnier ou de tabac. Sont-elles attirées par la caféine ou la nicotine (nocives) qu'elles recèlent ? Oui, selon une étude israélienne qui révèle qu'elles préfèrent les nectars où la concentration en nicotine et caféine est modérée, comme c'est le cas dans la nature. Cela a dû favoriser la pollinisation de ces fleurs. Prochaine étape : vérifier leur éventuelle addiction à ces substances. F.G.



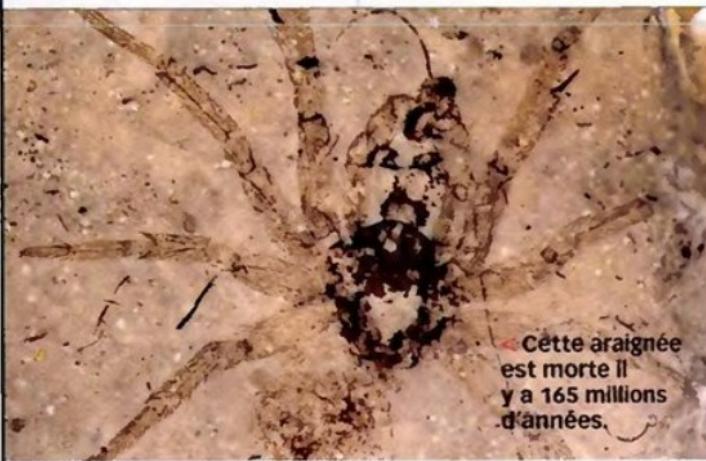
SCIENCES COGNITIVES

Rêvasser est bon pour la mémoire

Rêver les yeux ouverts aide à mémoriser les informations récemment apprises. Des chercheurs de l'université de New York ont scruté par IRM l'activité cérébrale de sujets auxquels ils faisaient regarder sur écran une série de visages associés à des objets (un adulte souriant et un ballon d'enfant) et qui devaient déterminer si les associations étaient crédibles. Ils restaient quelques minutes à ne rien faire, et on leur projetait une autre série, avec des visages et des paysages (un adulte souriant et une plage) : ils devaient imaginer si la personne paraissait heureuse

dans ce décor. À la sortie de l'IRM, les chercheurs leur ont fait subir un test imprévu : tel visage était-il proposé avec tel objet ? Et avec tel paysage ? Si les sujets avaient laissé leur esprit vagabonder entre les deux séries, leurs performances au test étaient meilleures que s'ils y avaient repensé. Et beaucoup de régions avaient été activées dans leur cerveau, y compris l'hippocampe, une structure clé dans la consolidation des souvenirs. Un résultat réconfortant pour les élèves qui s'autorisent une pause entre deux séances de révisions d'examen ! V.B.

< Pendant un instant, ne penser à rien pour mieux se souvenir...



PALÉONTOLOGIE

D'exceptionnels fossiles d'araignées ont été trouvés

Des fossiles d'araignées (*Eoplectreurus gertschi*) datant de plus de 165 millions d'années et très bien conservés ont été découverts en Mongolie, dans la région de Daohugou. Habituellement, les araignées ne se fossilisent pas correctement à cause de leur corps mou. Les mieux conservées, dans l'ambre, ne datent que de 40 millions d'années, et les plus vieux restes fossilisés remontent à l'ére triasique (entre -200 et -250 millions d'années), mais sont des traces partielles. Selon l'Américain Paul Selden, les araignées chinoises ont été recouvertes très vite après leur mort de cendres volcaniques, ce qui explique leur exceptionnel état de fossilisation. G.A.



BOTANIQUE

Pour se protéger, les plantes savent se camoufler

Connue pour attirer les pollinisateurs, la coloration chez les plantes peut aussi servir de camouflage contre les prédateurs. En étudiant la plante *Monotropsis odorata*, l'équipe de Matthew Klooster, de l'université Harvard (Etats-Unis), a découvert qu'elle a des inflorescences asséchées sur ses

organes reproducteurs de couleur marron, appelée bractées, mimant, tel un caméléon, la végétation morte. Pour vérifier que cette coloration permet d'éviter les herbivores, ils ont comparé le taux de prédation entre des plantes natives et des plantes sans bractées: ces dernières subissent entre 20 % et

27 % de prédation de plus que les premières. En outre, les plantes dotées de bractées obtiennent une quantité de fleurs et de fruits à maturité de 7 à 20 % supérieure. On ignore comment le dessèchement se déclenche, mais cela prouve que la coloration peut être un moyen de défense D.O.

▲ Semblable à une plante morte (A), *Monotropsis odorata* est bien vivante (B)!

En bref...

► ON RÉAGIT PLUS VITE QU'ON N'AGIT. Nos mouvements sont plus rapides d'environ 10 % lorsqu'on répond à un geste que lorsqu'on les planifie. Ce bénéfice de la réaction sur l'action serait un reste de l'évolution, selon des chercheurs anglais. V.B.

► LES ÉLÉPHANTS NE SONT PAS TRÈS ÉLÉGANTS QUAND ILS ACCÉLÉRENT car ils courrent et marchent en même temps. Des chercheurs belges ont mesuré les forces que les pachydermes exercent à chaque pas: avec leurs pattes avant, ils courrent; avec leurs pattes arrière, ils marchent. V.B.

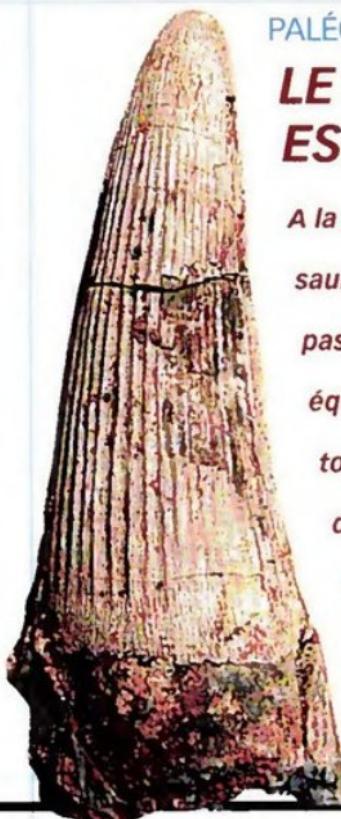
► CONDUIRE EN PARLANT DIMINUE L'ATTENTION AU DISCOURS. C'est la réciprocité établie par Gary Dell de la formule "parler en conduisant diminue l'attention au volant". Le psycholinguiste américain a relevé une baisse de 20 % des performances verbales et mémorielles des conducteurs qui conversent avec un passager. V.Gu.

► LA PEUR DE PERDRE DE L'ARGENT DÉPEND DU BON FONCTIONNEMENT DE L'AMYGDALE. Des personnes atteintes de lésions sur cette partie du cerveau située derrière l'oreille interne montrent une timidité irrationnelle dans les jeux d'argent: ils acceptent bien plus de paris dont les pertes potentielles excèdent les gains que les personnes non malades. V.Gu.

PALÉONTOLOGIE

LE SPINOSAURE VIVAIT ESSENTIELLEMENT DANS L'EAU

A la différence du T-rex, le spinosaure, champion des dinosaures carnivores (18 mètres de longueur, 11 tonnes), passait son temps dans l'eau, à pêcher. La preuve ? Une équipe internationale de paléontologues (dont deux laboratoires français) l'a obtenue en analysant les variétés d'oxygène piégées dans les dents du monstre (ci-contre), témoins de son mode de vie. Résultat, une proximité plus grande entre le spinosaure et les reptiles aquatiques de son époque (crocodiles et tortues) qu'avec des dinosaures carnivores purement terrestres. P.G.



actualités

BIODIVERSITÉ

Voici le réseau qui rend tant d'espèces invasives

Aujourd'hui, 90 % des marchandises transitent par la mer, avec d'énormes conséquences pour la biodiversité. Voyageant dans l'eau de ballast, ou dans les cales, des espèces colonisent de nouveaux territoires, où elles causent des dégâts considérables (disparition de la ressource halieutique). D'où l'importance de cartographier le réseau des échanges maritimes mondiaux, ce que propose pour la première fois une équipe de biologistes marins de l'université Carl von Ossietzky (Oldenbourg, Allemagne). Inspirés par l'étude des pandémies par voie des airs, les chercheurs ont exploité les données de 16 363 navires fournies par le système d'identification automatique (SIA), déclarant les heures de départ et d'arrivée aux autorités portuaires. "Il ne s'agit pas de reconstituer les routes, déjà connues, mais le réseau complexe qui relie plutôt tel port à tel autre", précise Bernd Blasius, le coordinateur de l'étude. Ce premier pas réalisé, les chercheurs vont maintenant tenter de prédire les risques d'invasion, en fonction de la provenance des cargaisons, mais aussi de la durée des voyages, déterminante pour la survie des organismes, ou encore des conditions environnementales (température, salinité de l'eau...) trouvées dans chaque port. P.G.



ROUTES PACIFIQUES

10 milliards de tonnes d'eau de mer sont transportées dans les ballasts chaque année.

120 milliards de dollars de dommages annuels sont générés aux États-Unis par les espèces invasives.

» planète Terre



AGRONOMIE

La sécurité alimentaire chinoise est menacée par l'acidification de ses sols

Une nouvelle menace plane sur l'agriculture chinoise : les sols du pays deviennent de plus en plus acides. En vingt ans, leur pH moyen a baissé d'environ 0,5 unité. Une telle diminution n'aurait dû se produire "qu'au bout de centaines, voire de milliers d'années dans des sols non cultivés", explique Zhang Fusuo, spécialiste des sols à l'université agricole de Pékin. L'analyse de données recueillies depuis vingt-cinq ans dans diverses régions de Chine montre que cette

acidification est directement liée à l'utilisation d'engrais à outrance, non à des pluies acides. Le recours à des fertilisants azotés a été multiplié par trois dans le pays entre 1981 et 2007. Or, ces substances perturbent les réactions chimiques du cycle naturel de l'azote, ce qui mène à la production d'ions hydrogène rendant le sol plus acide. La plupart des cultures prospèrent dans un sol neutre.

► L'acidification des sols constatée en Chine est due à une utilisation abusive d'engrais, non à des pluies acides.

Lorsque celui-ci s'acidifie, elles sont plus sensibles aux maladies et aux parasites, tels que les nématodes, des vers ronds. L'acidité favorise aussi la pollution des eaux, à travers la dissolution des métaux présents dans le sol (aluminium et manganèse). Pour inverser ce phénomène, deux solutions s'imposent : limiter l'usage des engrâis et laisser les résidus de cultures sur les sols pour qu'ils se régénèrent. D.S.



GÉOPHYSIQUE

Des vagues du Pacifique contribueraient à briser la glace en Antarctique

Des vagues qui s'élèvent au cœur du Pacifique, que de puissantes tempêtes propulsent jusqu'au continent américain, qui se brisent sur ses côtes et se transforment en vagues de périodes plus longues, dites "infragravitaires", puis parcourent sous cette forme quelques milliers de kilomètres supplémentaires et viennent contribuer à l'effondrement glaciaire en Antarctique... C'est le scénario aussi rocambolesque que plausible retracé par l'équipe de Peter D. Bromirski, de l'institut d'océanographie Scripps, en Californie. Grâce à de récentes avancées technologiques en sismométrie, les chercheurs ont pu modéliser le lien potentiel entre la création de vagues infragravitaires sur les côtes de l'Amérique du Nord et leur impact sur la calotte glaciaire en Antarctique. Ils ont alors constaté que leurs arrivées estimées le long de la péninsule en 2008, après les tempêtes du Pacifique, coïncidaient avec les multiples dislocations de la plate-forme Wilkins, une vaste étendue de glace qui a fini par se séparer du continent glaciaire début 2009. Reste à savoir si cette houle ne fait qu'accentuer des fragilités préexistantes ou si elle en crée de nouvelles. V.Gu.

◀ Les vagues mises en cause accentuent-elles des fragilités existantes ou en créent-elles ? La question est en suspens.



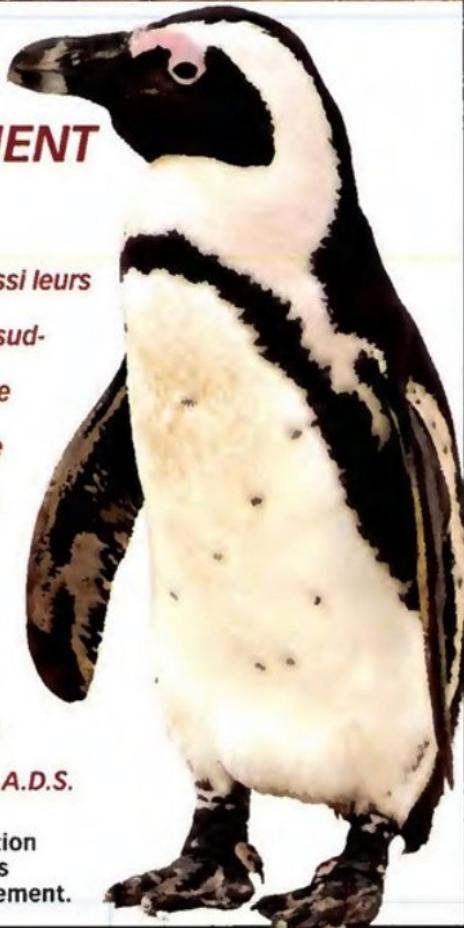


BIODIVERSITÉ

LES AIRES MARINES PROTÉGÉES NE BÉNÉFICIENT PAS QU'AUX POISSONS

Interdire la pêche préserve les poissons mais aussi leurs prédateurs naturels. Des chercheurs français et sud-africains ont observé que trois mois après la mise en place d'une aire marine protégée de 20 km de rayon à proximité d'une colonie de manchots du Cap, ceux-ci cherchaient leur nourriture moins loin et moins longtemps. Réduisant ainsi leur dépense énergétique de 40 %. Cet oiseau marin est en voie d'extinction à cause de la raréfaction des sardines et des anchois dont il se nourrit. A.D.S.

> Le manchot, qui est actuellement en voie d'extinction par manque de nourriture disponible, trouve dans les zones où la pêche est interdite du poisson plus facilement.



ÉNERGIE

Des bactéries ont pour la première fois produit directement des biodiesel en se nourrissant d'hémicellulose, qui est l'un des principaux composants des végétaux. Telle est la prouesse accomplie par Eric Steen, du Joint BioEnergy Institute, en Californie, qui a modifié génétiquement la bactérie *E. coli*. En lui conférant le gène de la xylanase, une enzyme qui dégrade l'hémicellulose, elle est en effet devenue capable de tirer son énergie de résidus végétaux. D'autres gènes ont été modifiés afin de lui permettre de produire avec un rendement triple des ethylestheres d'acides gras, lesquels peuvent être immédiatement utilisés comme biocarburants. F.G.



MÉTÉOROLOGIE

Les cyclones vont être moins fréquents mais plus violents

La fréquence des tempêtes tropicales (cyclones, ouragans, typhons) devrait diminuer de 6 à 34 % d'ici à 2100. Telle est la projection formulée par une équipe internationale de climatologues emmenés par Thomas Knutson (NOAA), sur la base de simulations numériques à haute résolution.

Mais cette apparente bonne nouvelle s'accompagne d'une prévision plus alarmante : le réchauffement devrait avoir aussi pour conséquence une augmentation de 2 à 11 % de la vitesse maximum des vents. Le nombre d'ouragans de catégories 4 et 5 pourrait par exemple être multiplié

par deux dans l'Atlantique. Dernier point, les précipitations associées à ces tempêtes tropicales devraient croître d'environ 20 %. Les scientifiques rappellent cependant que les incertitudes restent importantes lorsque l'on tente de faire des projections à l'échelle régionale. G.A.

BIODIVERSITÉ

LES ESPÈCES INVASIVES SONT LES MIEUX ARMÉES FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Ce sont les espèces invasives qui s'adaptent le mieux au réchauffement. L'examen par Charles Willis (université Harvard) de l'évolution, depuis cent cinquante ans, des dates de floraison dans la région de Concord (Massachusetts) montre que les plantes invasives fleurissent onze jours plus tôt que les espèces autochtones. Ce qui facilite leur propagation au détriment de la flore locale. D.O.

► La saule, plante très répandue, fait partie des espèces invasives.



On en repartie

Du méthane serait bien émis par les plantes

En mars 2006, *Science & Vie* rapportait la découverte par des chercheurs allemands de la responsabilité des plantes dans la libération de méthane dans l'atmosphère. 30 % des émissions globales de ce puissant gaz à effet de serre leur étaient ainsi imputés. En juillet 2007, nous revenions sur cette affaire grâce aux travaux du biologiste néerlandais Tom Dueck, qui s'inscrivait contre une production de méthane par les végétaux après en avoir analysé finement les rejets dans une enceinte hermétique. Or, une étude apporte un nouveau rebondissement. Menée par Andrew Rice, de l'université de Portland (Oregon), elle rouvre le dossier des émissions directes de méthane par les plantes : elles pourraient le produire par voie photolytique, sous une certaine intensité lumineuse. Autre affirmation : récupérant le gaz produit par les bactéries au niveau de leurs racines dans les zones marécageuses, avant de le faire remonter et de le libérer dans l'atmosphère, les arbres agiraient comme des cheminées. Un mécanisme qui rendrait compte de 10 % des émissions globales de méthane. V.Gu.



▲ Des spécimens de 7 cm ont été découverts, contre 1 cm pour ceux exhumés jusqu'à-là.

CLIMATOLOGIE

La vapeur d'eau stratosphérique influe sur la vitesse du réchauffement climatique. D'après les estimations de Susan Solomon (NOAA, Etats-Unis), une diminution de 10 % depuis 2000 de la quantité de vapeur d'eau, un gaz à effet de serre, à 17 km d'altitude aurait réduit de 25 % le rythme d'augmentation des températures au sol. A l'inverse, durant la période



▲ Les ballons-sondes mesurent la quantité de vapeur d'eau dans la stratosphère.

1980-2000, l'augmentation de la vapeur d'eau stratosphérique aurait été responsable d'un réchauffement plus rapide. L'origine de ces fluctuations est à identifier. Car si le rôle joué dans la machinerie climatique par l'eau de la basse atmosphère est bien modélisé, "le réservoir stratosphérique n'est pas bien compris", selon Jean-Pierre Pommereau (CNRS). Reste à savoir si ce phénomène est une source de variabilité du climat à l'échelle de la décennie ou un mécanisme de rétroaction en réponse au réchauffement.

A. BRAYARD, UNIV. BOURGOGNE - ESRL, NOAA - P. ROUSSEAU/CIT'IMAGES

PALÉONTOLOGIE

Les gastéropodes se sont vite remis de la crise du Permien

Après une extinction de masse, la vie reprend ses droits plus vite qu'on ne le pensait. C'est ce que révèlent des fossiles de gastéropodes découverts par Arnaud Brayard (université de Bourgogne). Datant seulement d'un million d'années après la crise du Permien (il y a 252 millions d'années,

90 % des espèces marines disparaissaient), certains mesurent 7 cm – les spécimens exhumés jusqu'alors ne dépassaient pas 1 cm. Cela remet en question "l'effet Lilliput", le fait qu'après une crise biologique, la taille des organismes est réduite par le jeu de conditions environnementales

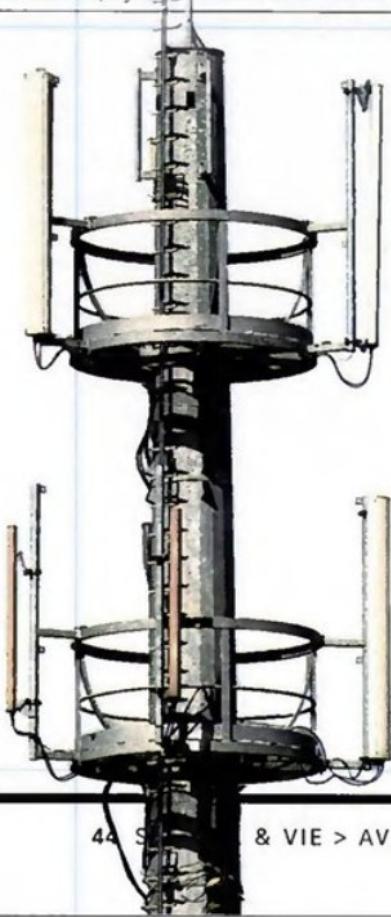
défavorables. Les paléontologues estimaient que des dizaines de millions d'années étaient nécessaires pour qu'ils retrouvent leur taille d'avant la crise. Cette découverte devrait les inciter à revoir leur conception de la dynamique évolutive des espèces après une extinction de masse. C.M.

MÉTÉOROLOGIE

GRÂCE AUX ANTENNES-RELAIS, ON PEUT MESURER L'INTENSITÉ DE LA PLUIE

Plus il pleut, plus les communications téléphoniques sont perturbées. Partant de ce constat, une équipe suisse a conçu un modèle informatique capable de calculer l'intensité des précipitations à partir de l'atténuation du signal radio entre deux antennes-relais. Appliquée à la région zurichoise, cette démarche a permis d'obtenir une résolution spatio-temporelle supérieure à celles des pluviomètres et des radars météorologiques. C.H.

◀ A partir de leur signal radio, un modèle calcule les précipitations.



PHARMACOLOGIE

Un remède chinois contre les accidents vasculaires cérébraux est à l'essai

Testé il y a une dizaine d'années en Asie sur des victimes d'accidents vasculaires cérébraux (AVC), un composé de la pharmacopée traditionnelle chinoise intéresse la recherche médicale occidentale pour traiter les patients qui en ont subi. Ce cocktail, le Danqi Piantan Jiaonang, est obtenu à partir de neuf composants d'origine végétale et cinq d'origine animale. Malgré des résultats prometteurs en Chine et en Asie du Sud-Est, il fallait qu'il soit évalué sur un plus

grand nombre de patients au niveau international. Surtout, le mécanisme moléculaire de ce médicament restait à élucider. C'est ce qui vient d'être testé dans le laboratoire de pharmacologie de l'université de Nice. Des souris ont reçu le produit trois heures après un AVC. Trente heures plus tard, l'infarctus cérébral s'était réduit, et elles avaient mieux récupéré leurs fonctions cérébrales. Dans leur cerveau,

de nouveaux circuits neuro-naux s'étaient développés, le composé chinois activant la synthèse d'un facteur de croissance connu pour stimuler la plasticité neuronale. "C'est la première fois qu'un composé contre l'AVC agit sur la récupération fonctionnelle", déclare Catherine Heurteaux, de l'université de Nice. Les études pharmacologiques se poursuivent, et des essais cliniques sont en cours. O.D.

> Des résultats prometteurs ont déjà été observés en Chine et en Asie du Sud-Est dans la lutte contre les AVC.



NEUROPSYCHIATRIE

L'ocytocine améliore le comportement social de certains autistes

L'inhalation d'ocytocine, appelée hormone de l'amour ou de l'attachement, favoriserait l'interaction sociale de patients souffrant d'autisme. Angela Sirigu et ses collègues du Centre de neuroscience cognitive de Lyon ont administré par voie nasale de l'ocytocine à des patients souffrant du syndrome d'Asperger, autisme associé à d'importantes capacités intellectuelles. Ils ont ensuite observé leur comportement individuellement. D'abord, pendant un jeu de balle, où ils gagnaient de l'argent chaque fois qu'un joueur leur faisait une passe. Puis durant des tests d'observation de photos qui montraient des visages exprimant différentes émotions. Sous oxytocine, les patients avaient tendance à lancer la balle au joueur le plus coopérant avec eux et, face aux photos, ils se concentraient sur les yeux et non pas sur la bouche. Deux attitudes inhabituelles pour des personnes souffrant de ce syndrome. Alors, à quand un traitement avec de l'ocytocine en spray? Pas encore, prévient Angela Sirigu. "Il faut tester la dose et la fréquence d'administration, car l'effet ne dure que quatre-vingt-dix minutes. Et, le syndrome d'Asperger est une forme très spécifique d'autisme. Notre étude est un point de départ." V.B.

< Les patients autistes présentent des troubles de l'interaction sociale. Une aide médicamenteuse est à l'étude.



PNEUMOLOGIE

MÊME ÉTEINTE DEPUIS LONGTEMPS, LA CIGARETTE EST TOUJOURS TOXIQUE

Ecraser son mégot ne stoppe pas les risques pour autrui.

C'est la conclusion de chercheurs de l'université de Berkeley (Californie). Les responsables ? Des nitrosamines spécifiques du tabac, très cancérigènes, retrouvées en quantité dix fois supérieure dans des pièces ayant accueilli des fumeurs. La rencontre entre la nicotine, qui se dépose et reste des mois sur les surfaces intérieures, et l'acide nitreux, un polluant atmosphérique, aboutirait à leur formation. Fumer à l'extérieur ne change rien : la nicotine se dépose sur la peau et réagit de la même façon. F.G.

> Ecraser sa cigarette ne suffit pas pour protéger les autres...



GÉNÉTIQUE

Des mutations sont à l'origine de bégaiements, selon l'analyse des gènes de 123 Pakistanais bégues, dont 46 avaient des liens familiaux. Ces mutations situées sur le chromosome 12 entraîneraient la modification du lysosome, un organite cellulaire important pour la régulation du métabolisme. L'étude de bégues occidentaux a ensuite montré que la plupart d'entre eux sont porteurs des mêmes mutations que les Pakistanais. 9 % présentent aussi des mutations sur deux autres gènes, également impliqués dans la régulation du métabolisme. Reste aux chercheurs de l'Institut national américain des troubles de la communication à comprendre le lien entre ces anomalies métaboliques et le trouble de l'élocution. O.D.

IMMUNOLOGIE

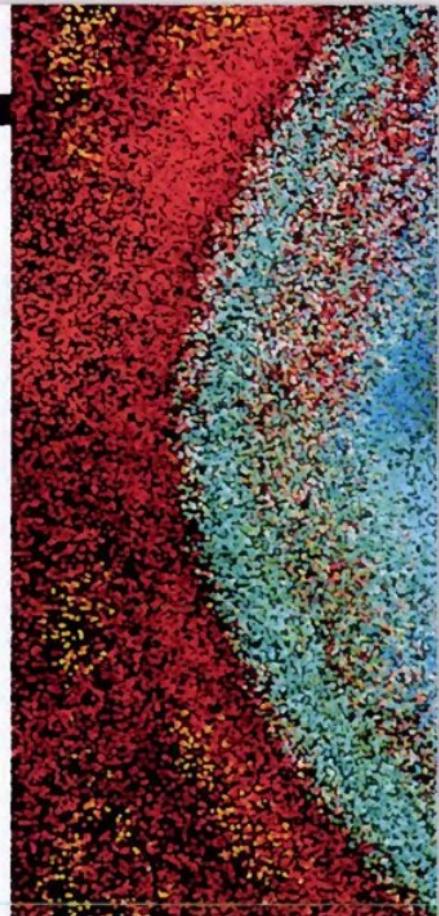
On sait pourquoi la dengue sévit plus fort la seconde fois

Le mystère planait depuis une quarantaine d'années. Certaines personnes infectées une première fois par le virus de la dengue sont plus gravement malades la seconde fois. L'explication vient d'être trouvée par des biologistes de l'Institut La Jolla (Californie). Il existe quatre souches du virus de la dengue. Dans les années 1970, on faisait l'hypothèse qu'une personne infectée par une souche fabriquait à la fois des anticorps la protégeant de

celle-ci, mais aussi des anticorps contre les trois autres souches. Or, au lieu de protéger, ces derniers exacerberaient l'infection. L'hypothèse se vérifie aujourd'hui. Les biologistes californiens ont infecté des souris avec l'une des souches du virus de la dengue, puis leur ont injecté des anticorps reconnaissant l'une des trois autres souches. Certaines n'ont pas survécu à

quatre jours d'infection. Chez ces souris, les anticorps favorisaient bien la surinfection de cellules spécialisées du foie, entraînant de graves hémorragies. Si ces résultats se confirment, l'information sera importante pour la fabrication d'un vaccin enfin efficace. Il devra contenir plusieurs familles d'anticorps, au risque sinon d'être plus dangereux que bénéfique. O.D.

> Le virus de la dengue, transmis par les piqûres de moustiques, frappe les régions tropicales et subtropicales de la planète.



▲ Avec ces doses de vaccin contenant un liquide conservateur (à g.), fini la réfrigération.

PHARMACOLOGIE

Les vaccins pourraient bientôt être conservés à température ambiante

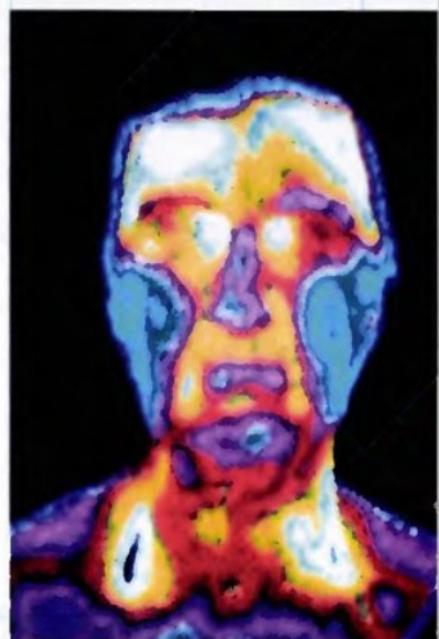
D'ici à cinq ans, les vaccins n'auront peut-être plus besoin d'être conservés au froid. L'équipe de Matthew Cottingham (université d'Oxford, Angleterre) a en effet mis au point une nouvelle forme de conditionnement qui permet une conservation à l'air ambiant. Sa méthode ? Mélanger le vaccin à un liquide sucré puis laisser sécher. Quand l'eau s'évapore, le mélange se transforme en sirop qui se solidifie sur son support. Après avoir passé quatre mois à 45 °C, le vaccin était toujours efficace. D'après les chercheurs, cette technique pourrait être appliquée à de nombreux vaccins et ce alors que la réfrigération représenterait selon l'OMS 14 % du coût de la vaccination. C.H.

CARDIOLOGIE

Avec ou sans aura, la migraine augmente le risque d'attaque cardiaque

Jusqu'à présent, l'augmentation du risque d'attaque cardiaque n'était associée qu'aux migraines avec aura (éclats lumineux). Or, selon Richard Lipton et ses collègues de l'université de New York, les migraineux chroniques sans aura voient également ce risque augmenté par rapport aux personnes n'ayant pas de migraine chronique. Un résultat obtenu en interrogeant quelque 11 000 personnes, dont plus de la moitié souffrait de migraine chronique, avec ou sans aura. 4,1 % des personnes migraineuses ont eu une crise cardiaque contre 1,9 % des personnes saines. Et le risque est triplé dans le cas de la migraine avec aura. Les patients migraineux ont

aussi plus de risque de développer une forte pression artérielle, du diabète et un fort taux de cholestérol. Environ 10 millions de Français souffrent de migraine. V.B.



> Les migraineux (ici, thermographie d'une crise) sont aussi plus sujets au diabète.

Bon à savoir

➤ VOS AMIS MANQUENT DE SOMMEIL? C'EST CONTAGIEUX! Un chercheur californien a analysé les réseaux sociaux de 8000 étudiants et leurs habitudes de sommeil. Conclusion: quand une personne ne dort pas assez, ses proches viennent vite à manquer de sommeil également.

➤ CONSOMMER DU BEURRE DIMINUE DE 20 % LES ACIDES GRAS DANS LE SANG, PAR COMPARAISON AVEC L'HUILE D'OLIVE, selon une étude de l'université de Lund (Suède). Les acides gras sont aussitôt utilisés comme source d'énergie. Mais, sur le long terme, l'huile d'olive reste meilleure pour la santé.

➤ LES ÉMOTIONS POSITIVES PROTÉGERAIENT DES MALADIES CARDIAQUES, selon des résultats collectés durant dix ans. Chaque point d'émotion positive sur une échelle de 1 à 5 réduit de 22 % le risque de maladie cardio-vasculaire.

➤ POUR PRÉVENIR L'OBÉSITÉ INFANTILE, MIEUX VAUT SURVEILLER LE TYPE DE PROGRAMME REGARDÉ QUE LE TEMPS PASSÉ DEVANT LA TÉLÉ. Deux épidémiologistes de l'université de Californie ont recensé les habitudes télévisuelles de 2000 enfants. Les téléspectateurs de programmes avec du contenu publicitaire avaient plus d'embonpoint que ceux d'émissions éducatives ou de DVD.

TOXICOLOGIE

LA CUISSON AU GAZ SEMBLE ÊTRE PLUS CANCÉRIGÈNE QUE L'ÉLECTRIQUE

Inhaler les substances émises par la cuisson de viande sur une gazinière serait plus dangereux que sur une plaque électrique, selon une équipe de l'université norvégienne de sciences et de technologie. Le risque de cancer du poumon serait supérieur, car la température plus élevée de la flamme générera une plus forte concentration d'aldéhydes et de particules ultrafines dans la fumée s'échappant de la poêle. Mais les particules ultrafines pourraient également provenir de la flamme elle-même.

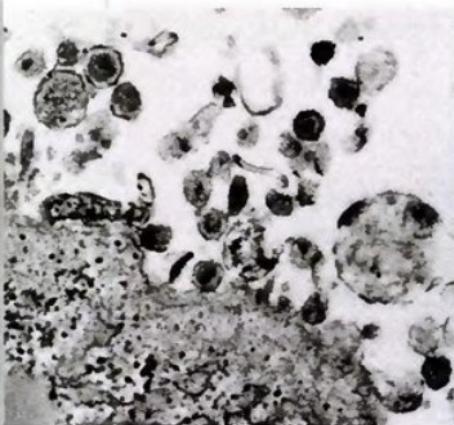
V.Gu.

▲ La température plus élevée de la flamme du gaz serait en cause pour expliquer le risque de cancer.



CANCÉROLOGIE

Les virus à l'origine de cancers et se cachant dans nos cellules se dévoilent. 8 % de notre génome est truffé de vestiges de virus dont certains, les rétrovirus oncogéniques, sont à l'origine de cancers. Des chercheurs de l'Institut Gustave-Roussy (Villejuif) viennent d'expliquer comment ceux-ci persistent dans notre génome. Ils ont muté l'un après l'autre les gènes du virus FMLV, un rétrovirus causant une forme de leucémie chez les souris, identifiant ainsi le gène indispensable à la persistance dans les cellules. Soit un gène codant pour la fabrication d'une protéine à la double action. La première, déjà connue, permet au virus de pénétrer dans la cellule. La seconde, découverte par les chercheurs, inhibe la réponse immunitaire de l'hôte. Et le rétrovirus



▲ Le virus XMRV pénètre les cellules et serait en lien avec le cancer de la prostate.

se propage sans résistance. Ils ont retrouvé cette fonction dans la protéine d'enveloppe du HTLV et du XMRV, rétrovirus associés à des pathologies humaines (leucémie, cancer de la prostate). Ils ont muté ponctuellement ce gène pour voir quelles séquences permettraient d'être reconnues par le système immunitaire. D'où la possibilité d'élaborer des vaccins anticancéreux. O.D.

VIROLOGIE

Il est possible de s'immuniser contre le virus Ebola

Au Gabon, 15,3 % de la population rurale possède des anticorps contre le virus Ebola. « Ces anticorps sont des marqueurs de l'immunité; leur présence signifie qu'il y a eu contact avec le virus », explique Eric Leroy, chercheur à l'Institut de recherche pour le développement du Gabon. Une vaste étude englobant 4 349 habitants de 220 villages a mis en évidence de fortes disparités géographiques. Tandis que moins de 3 % des habitants de zones lacustres possèdent des anticorps, ce taux monte à plus

de 20 % dans certaines zones forestières, et ce bien qu'il n'y ait pas eu d'épidémie à ces endroits. Or, ces forêts abritent d'importantes populations de chauves-souris, connues pour être le réservoir naturel d'Ebola. « Ces personnes ont peut-être développé des anticorps après avoir consommé des fruits souillés par la salive des chauves-souris », suggère Eric Leroy. La faible charge virale présente dans celle-ci et l'exposition du virus à l'air libre expliqueraient le fait qu'Ebola n'ait provoqué qu'une forme modérée de la maladie. C.H.



> Au Gabon, des chercheurs ont découvert des porteurs sains de l'Ebola et ce, même dans des zones où l'épidémie ne s'est jamais déclarée.

PÉDIATRIE

LES JOUETS DE SALLES D'ATTENTE SONT PROPICES À LA TRANSMISSION DE VIRUS

Les salles d'attente pédiatriques seraient-elles des endroits propices à la transmission de maladies virales ? Pour le déterminer, des chercheurs de l'université de Virginie ont enquêté dans deux d'entre elles, afin de vérifier la présence de virus respiratoires sur les jouets, mais aussi sur les mains qui les manipulent. Verdict : 20 % des objets sont contaminés, que ceux-ci soient nettoyés avec une lingette antiseptique ou non. Quant à la transmission virale vers les mains, elle n'a pas été mise en évidence, ce qui laisse la question en suspens.

F.G.

> Dans les salles d'attente, 20 % des jouets sont contaminés.





Ils ont dit

➤ "LE VACCIN OBLIGATOIRE CONTRE LA TUBERCULOSE NE SERT À RIEN. IL N'EMPÈCHE PAS LES ÉPIDÉMIES." Rober Cohen, hôpital de Crétell.

➤ "L'ORGANE PRINCIPAL DE LA SEXUALITÉ EST LE CERVEAU, LA CASTRATION CHIMIQUE DES DÉLINQUANTS SEXUELS EST UN LEURRE." Pierre Lamotte, médecin dans les prisons.

➤ "L'OMS ASSURE SA PROTECTION AVANT DE CONSIDÉRER L'INTÉRÊT COMMUNAUTAIRE. LE PHARE SANITAIRE DE L'HUMANITÉ N'ÉCLAIRE PAS GRAND-CHOSE."

Marc Gentilini, Académie de médecine.

Colloque international, 6 et 7 mai 2010

CULTURES des LAITS du MONDE



WORLD MILK CULTURES

International Symposium, May 6 and 7, 2010

Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle

Autour du lait, des histoires d'hommes se sont construites, ancrées dans des systèmes de relations sociales, culturelles, économiques, exprimant des savoir-faire et des territoires spécifiques. Le colloque « Cultures des laits du monde » vous invite à découvrir les multiples facettes des laits du monde.

Jeudi 6 mai 2010

• Introduction générale par Bertrand Hervieu, Inspecteur Général de l'Agriculture

Session 1 présidée par Jean-Denis Vigne, archéozoologue, CNRS/Muséum National d'Histoire Naturelle

Le lait des origines :
lait des dieux, lait des hommes

Session 2 présidée par Catherine Baroin, anthropologue, CNRS/Équipe Afrique
Lait, hommes, cultures et sociétés

Vendredi 7 mai 2010

Session 3 présidée par Bernard Faye, vétérinaire et ingénieur agronomie, Inra/Cirad
Terres de lait, terres durables ?

Session 4 présidée par Françoise Sabban, sinologue, EHESS

À chacun son lait

Traduction simultanée français - anglais

Tarif préférentiel pour inscription avant le 31 mars

OCHA
Observatoire Chinois des Aliments et de l'Alimentation
www.lemangeur-ocha.com

www.lemangeur-ocha.com

ESPACE

Un moteur à plasma sera bientôt installé sur l'ISS

C'est peut-être le moteur spatial de demain. Le système de propulsion Vasimr, imaginé en 1979 par l'astronaute costaricain Franklin Chang-Díaz, et mis au point par la société américano-costaricaine Ad Astra Rocket Company, devrait être installé à des fins expérimentales sur la Station spatiale internationale, vers la fin de l'année 2013. Selon ses concepteurs, ce moteur pourrait assurer le maintien en orbite de la station pour 1/20 des coûts, actuellement estimés à 210 millions de dollars par an. Son principe consiste à ioniser et à accélérer fortement

de l'argon, du xénon ou de l'hydrogène sous l'effet d'un puissant champ électromagnétique. Le gaz, qui passe alors à l'état de plasma, est confiné par le champ magnétique, puis guidé vers une tuyère qui module la force de la poussée grâce à des électroaimants. Ce moteur présente l'avantage de pouvoir fournir une poussée supérieure à celle des autres moteurs ioniques et une consommation inférieure à celle des moteurs chimiques. Les tests effectués en septembre 2009

ont permis à un prototype de ce moteur de passer la barre des 200 kW de puissance. D'après Franklin Chang-Díaz, lorsque la puissance aura atteint 200 mégawatts, il sera même possible de rallier Mars en trente-neuf jours seulement au lieu des six à huit mois avec des moteurs-fusées traditionnels. Il faudra alors un réacteur nucléaire pour alimenter les propulseurs, ainsi qu'un lanceur pour la mise en orbite, car ce moteur ne fonctionne que dans le vide.

E.L.

➤ Après les essais sur l'ISS et l'amélioration de sa puissance, le système Vasimr pourrait permettre de rallier Mars en 39 jours !



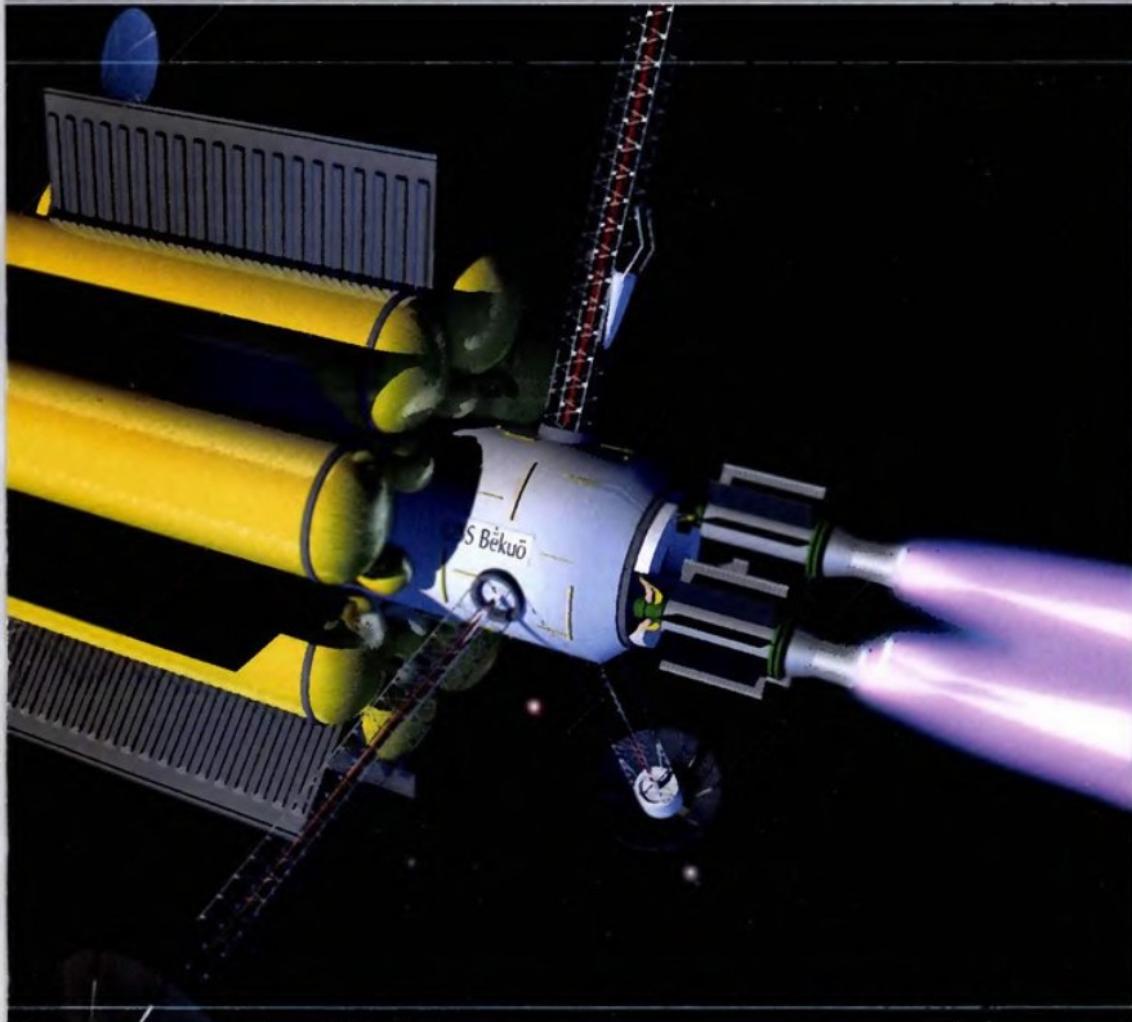
IMAGE

Dans le monde des écrans, la prochaine révolution pourrait être celle du laser

Une nouvelle technologie promet de rendre nos téléviseurs moins gourmands en énergie. Appelée LPD (Laser Phosphor Display), elle est développée par la start-up californienne Prysm. Son principe ? Comme sur un téléviseur à tube cathodique, l'image est créée lorsque le phosphore qui recouvre l'écran est excité. Mais, au lieu des électrons, ce sont des diodes laser qui sont utilisées pour activer chaque pixel. Or ces diodes sont capables de faire varier leur intensité lumineuse et même de s'éteindre dans les zones où l'image est noire. Une dalle LPD consomme ainsi, selon son inventeur, un quart de l'énergie d'un écran LCD – qui, lui, fonctionne avec un rétro-éclairage permanent – et moins qu'un écran OLED. Son image haute définition est lumineuse et visible quel que soit l'angle de vue; sa fréquence de rafraîchissement (nombre d'images par seconde) atteint 240 Hz et sa durée de vie équivaudrait au LCD (65 000 heures). Enfin, la technologie LPD a un atout de taille: elle permet d'assembler plusieurs unités, et donc de créer des écrans géants (3,60 m de diagonale, voire plus) et de formes différentes! Les premiers écrans LPD équipent sûrement d'abord des lieux publics et salles de concert avant de rejoindre nos salons. L.B.



➤ Outre des qualités énergétiques, les écrans LPD peuvent s'assembler pour former un écran géant.



ÉLECTRONIQUE

LE GRAPHÈNE MET LE CAP SUR LA PRODUCTION DE MASSE

Ce carbone pur aux performances semi-conductrices prometteuses pourra être produit à l'échelle industrielle avant 2020, grâce au dernier procédé de fabrication du National Physical Laboratory (Royaume-Uni). L'idée est de chauffer du carbure de silicium à 2000 °C dans un gaz inerte. Le silicium se vaporise alors, laissant en surface le carbone qui se réarrange en graphène. Ce procédé dit d'"épitaxie" permet de produire des surfaces de 50 mm², contre quelques micromètres carrés jusqu'ici. P.G.



▲ Le graphène ci-dessus sera produit à partir de carbure de silicium.

En bref...

FILMER À LA VITESSE DE 400 IMAGES PAR SECONDE et prendre des photos en très haute résolution avec un même appareil est possible grâce au capteur mis au point par des chercheurs de l'université d'Oxford. Permettant d'étudier des processus biologiques très rapides en laboratoire, ce capteur pourrait vite se démocratiser.

LE PREMIER LASER AU GERMANIUM VIENT D'ÊTRE MIS AU POINT PAR DES CHERCHEURS DU MIT. Permettant de produire une lumière dont la longueur d'onde convient aux communications optiques, il constitue une avancée importante pour remplacer l'électricité par la lumière dans le transfert des données informatiques.

STOCKER UN TÉRAOCTET DE DONNÉES DANS UN DISQUE DUR NOUVELLE GÉNÉRATION (SSD) PAS PLUS GROS QU'UN TIMBRE-POSTE, c'est ce que promet un prototype élaboré dans les laboratoires de Toshiba et de l'université de Tokyo.

UN BALLON CAPABLE DE RÉCUPÉRER L'ÉNERGIE DÉPENSÉE SUR LES STADES DE FOOT, c'est le principe du prototype "sOccket", inventé par 4 étudiantes de Harvard. Chaque coup de pied fait bouger un aimant à l'intérieur d'une bobine, ce qui induit un courant aussitôt stocké dans un condensateur. 10 minutes de foot suffisent à alimenter une LED pendant 3 heures!

à la une



Au commencement étaient... les trous noirs! Eux qui dévorent tout, lumière comprise, ils auraient allumé les premières lueurs de l'Univers. Déduite d'une observation astronomique, cette redistribution des rôles à l'aube des temps permet d'expliquer l'origine des galaxies. Bienvenue dans la nouvelle genèse cosmique.

TROUS NOIRS

Ils seraient
les créateurs
du monde

Au début, il n'y avait rien. Durant des centaines de milliers de siècles, l'aube du monde s'étirait dans un ciel uniformément noir, une obscurité sidérale d'une inimaginable profondeur, sans planète, étoile ou nébuleuse, ni le moindre témoin de ce néant. Pourtant, →

quelques millions de siècles plus tard, l'Univers se retrouve peuplé de cent mille milliards de milliards de mondes. Comment cette genèse cosmique s'est-elle déroulée? Par quel miracle une galaxie comme notre Voie lactée a-t-elle pu émerger de ce vide quasi absolu?

Par Serge Brunier



→ Dans la grande histoire du cosmos, depuis le big bang jusqu'à aujourd'hui, cet épisode crucial de la formation des galaxies est baptisé par les astronomes "l'Age des ténèbres". Une expression à prendre littéralement – sans étoiles, l'Univers était alors totalement obscur –, mais aussi métaphoriquement, les modèles imaginés ayant beaucoup de mal à simuler les événements de cette période, située dans la première centaine de millions d'années après la grande explosion primordiale (voir frise p. 58).

UNE VISION RÉVOLUTIONNAIRE

Or, voici qu'un nouveau scénario vient bouleverser la donne : à travers ce qu'il appelle "un nouveau paradigme", l'astrophysicien David Elbaz, du Commissariat à l'énergie atomique de Saclay, propose une genèse du monde radicalement différente de celle qui

présence, un peu partout dans l'Univers, certains ayant une masse de quelques soleils, tandis que d'autres, des milliards de fois plus lourds, trônent au centre de quasiment toutes les galaxies (voir article p. 68). Ces objets défient l'imagination : la Terre comprimée dans un dé à coudre deviendrait un trou noir dont le champ gravitationnel serait tellement intense qu'il absorberait tout ce qui passe à sa portée, y compris la lumière. Il ne faut donc pas s'étonner que, dans l'imaginaire collectif, ces abîmes sans fond où se perdent matière, énergie, espace et temps aient toujours été associés à la destruction, au chaos, au néant... Mais les rôles pourraient maintenant être redistribués. Car, d'après David Elbaz, les premières lueurs dont nous sommes aujourd'hui les infimes héritiers seraient venues de ces objets singuliers : durant l'Age des

Tel un doigt divin, le jet des trous noirs aurait enfanté les étoiles par milliards

était, jusqu'ici, envisagée. Une genèse surprenante dont les acteurs principaux semblent y jouer à contre-emploi. Car selon le chercheur français, au commencement étaient... les trous noirs !

Les trous noirs ? Il s'agit de ces monstres cosmiques dont les astrophysiciens, à la fin du xx^e siècle, ont dévoilé la

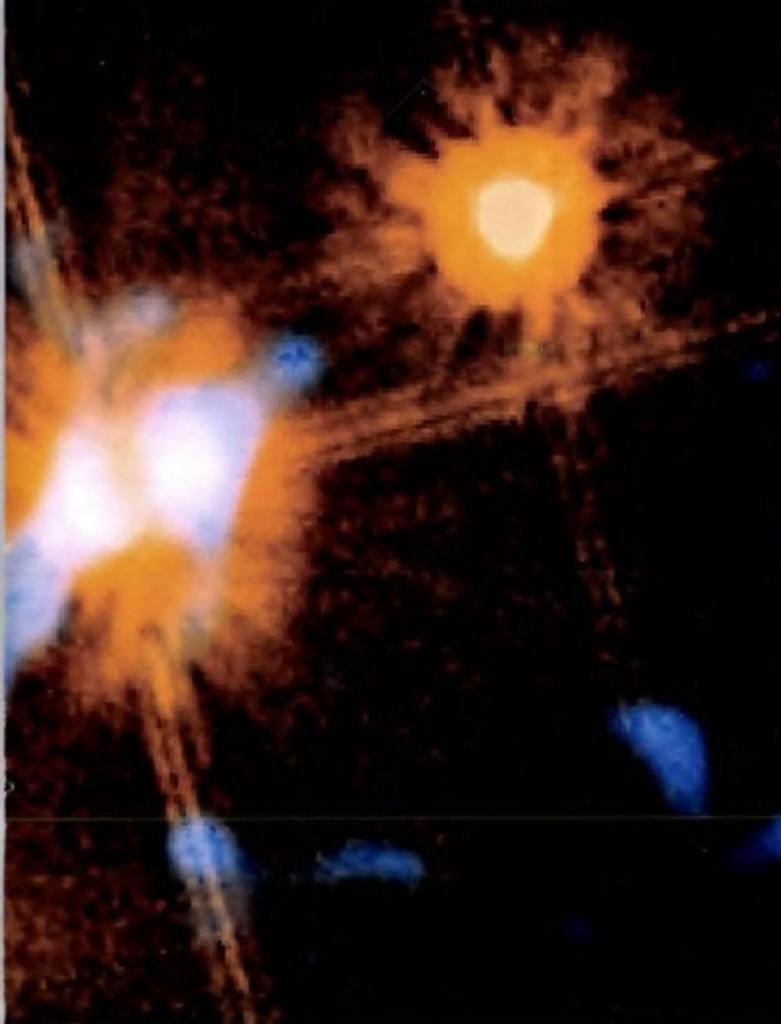
ténèbres, ces Leviathan de l'espace auraient été les grands architectes du cosmos. Et sans ces démiurges invisibles, nous ne serions tout bonnement pas là pour en parler...

Pour se lancer ainsi dans l'écriture d'une nouvelle genèse, il faut, bien sûr, avoir quelques solides arguments



à l'appui. David Elbaz et son équipe d'astronomes avaient en tout cas suffisamment de crédibilité pour que l'Observatoire européen austral mette à leur disposition son fleuron, le Very Large Telescope (VLT), et que leur soit même confié le télescope spatial *Hubble*. Les astronomes ont ainsi pu braquer les deux plus puissants télescopes du monde vers un étrange point lumineux, situé à plus de 3 milliards d'années-lumière de la Terre, découvert en 1983 et baptisé HE0450-2958.

Sous ce doux nom se cache un astre mesurant la taille du système solaire, mais mille milliards de fois plus brillant, soit beaucoup plus que la Voie lactée elle-même ! Un tel objet est appelé un quasar. Un nouveau venu dans le bestiaire cosmologique inventé dans les années 1960 pour résoudre cette énigme : aucune étoile supergéante, aucun amas d'étoiles ne pouvait rendre compte du volume minuscule de ces astres et de leur débit d'énergie faramineux. Comment expliquer un tel rayonnement ? Ce n'est qu'à partir des années 1990



Une observation décisive...

C'est l'image de l'astre HE0450-2958 (ci-contre) situé à 3 milliards d'années-lumière, obtenue grâce à *Hubble* (ci-dessous) et au VLT, qui a permis à l'astrophysicien David Elbaz (à g.) de faire cette découverte qui éclaire d'un jour nouveau l'origine des galaxies: au centre de HE0450-2958, le trou noir géant caché derrière la tache brillante expulse un puissant jet (à g., en bleu) qui vient frapper une galaxie en train de se former...



que l'évidence est apparue. Car un seul processus connu permet d'expliquer une telle débauche d'énergie: sous leur enveloppe de lumière, les quasars doivent cacher de... gigantesques trous noirs, de plusieurs millions à plusieurs milliards de masses solaires!

Un trou noir, cet archétype de l'obscurité, qui émettrait de la lumière? Le paradoxe n'est qu'apparent. En effet, lorsqu'il dévore la matière aux alentours, le trou noir devient l'astre le plus énergétique du cosmos! Lui-même ne brille pas: il reste une sphère opaque, dont la taille dépend de sa masse, et dont le pouvoir d'attraction déforme tellement la trame de l'espace-temps qu'il en perd toute forme. Toutefois, lorsque de la matière passe à sa portée (gaz, planètes, étoiles), avant d'être engloutie, elle spirale autour de lui, de plus en plus vite, créant un disque de gaz de plus en plus chaud. Ce qui est devenu un plasma brûlant en rotation, soumis à des tensions capables de disloquer des étoiles entières, libère alors une énergie sans équivalent dans l'Univers – l'efficacité

énergétique d'un trou noir est de dix à cent fois supérieure à celle d'une étoile! Et le trou noir brille ainsi de mille feux. Mais HE0450-2958 n'est pas un quasar comme les autres: contrairement à la plupart de ses congénères, il est "nu", c'est-à-dire isolé dans l'espace, sans une myriade d'étoiles autour de lui. Une singularité qui a poussé l'équipe de David Elbaz à y regarder de plus près, pour réaliser qu'il est en fait relié à une galaxie, par un fin pinceau lumineux long de 22 000 années-lumière.

QUI DE L'ŒUF OU DE LA POULE?

L'observation, là encore, peut sembler étrange: comment un quasar peut-il émettre un tel jet de lumière? Au vrai, la réponse est connue depuis une trentaine d'années: le plasma brûlant en rotation créé un champ magnétique extraordinairement intense, aux deux pôles duquel s'échappe une partie de la matière, concentrée dans un fin pinceau lumineux, mais extraordinairement puissant... "Les jets émis par les trous noirs sont constitués de rayonnement

et de gaz, éjectés à très haute vitesse, plusieurs milliers de km/s, explique Damien Le Borgne, astronome à l'Institut d'astrophysique de Paris, spécialiste de l'évolution des galaxies. *Dans certains cas, la masse de gaz éjectée atteint même mille masses solaires par an!*"

En pointant leurs lunettes au bout du jet émis par HE0450-2958, les astronomes ont observé que la galaxie associée est riche en très jeunes étoiles supergéantes. Ils ont même été étonnés par sa fécondité: chaque jour y naît une nouvelle étoile, alors qu'il s'en crée seulement quatre ou cinq par an dans une galaxie spirale comme la Voie lactée. Et les positions du jet et de ces nouvelles étoiles les ont conduits à formuler une première hypothèse: "C'est probablement le jet émis par le quasar qui est à l'origine de cette extraordinaire flambée d'étoiles dans la galaxie voisine", avance David Elbaz.

L'hypothèse est crédible: "Lorsque le jet rencontre des nuages de gaz, il provoque des chocs qui entraînent une augmentation locale de la densité, jusqu'à →

"Lorsque le jet rencontre des nuages de gaz, il peut précipiter la formation d'étoiles"

DAMIEN LE BORGNE, ASTRONOME À L'INSTITUT D'ASTROPHYSIQUE DE PARIS



"Une infime partie seulement de toutes les étoiles des galaxies est formée par des jets de quasars"

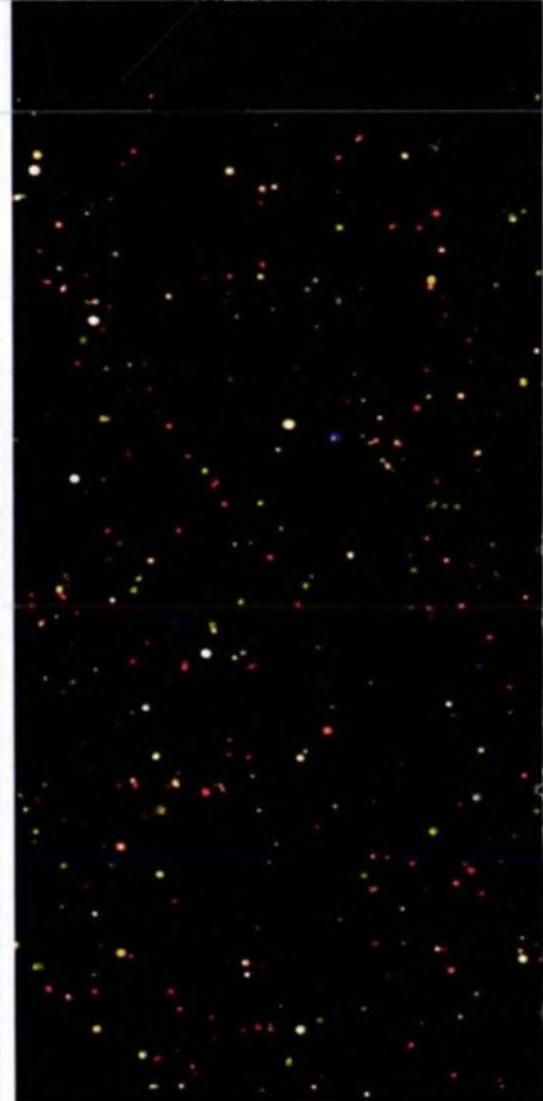
FRANÇOISE COMBES, ASTRONOME À L'OBSERVATOIRE DE PARIS

→ *précipiter la formation d'étoiles*", décrit Damien Le Borgne. Mais David Elbaz va plus loin : "Nous pensons que nous assistons à la création de la galaxie par le quasar. Dans quelques millions d'années, le processus sera terminé, le quasar, aujourd'hui 'nu' sera 'habillé' par sa galaxie". Un phénomène qu'il propose aujourd'hui de généraliser au cosmos tout entier : "Les cosmologistes n'échappent pas à cette devinette célèbre : de l'œuf ou de la poule, qui vient en premier ? En clair, qu'est ce qui se forme d'abord : la galaxie ou le trou noir qui se trouve en son cœur ? Eh bien, nous pensons que c'est la deuxième solution : notre étude suggère que les trous noirs supermassifs peuvent créer de grandes quantités d'étoiles, voire provoquer la naissance de galaxies entières..."

Ainsi se dessine une nouvelle histoire du monde. D'abord il y eut le big bang. Puis, durant l'Age des ténèbres, comme le raconte le scénario standard, le gaz dense, brûlant et homogène laissé par l'explosion primordiale se serait lentement condensé en refroidissant, dessinant une sorte de vaste toile d'araignée tridimensionnelle dans l'espace qui, après quelques dizaines de millions d'années, se serait condensée en grumeaux de plus en plus massifs.

DES MODÈLES DÉPASSÉS

Mais, au lieu de former des étoiles comme les scénarios jusqu'ici envisagés tentaient de le conter, ces grumeaux seraient devenus de gigantesques trous noirs. Lesquels, dans un souffle créateur, auraient enfin enfanté les galaxies.



Est-ce ainsi que les mondes naissent ? Est-ce ainsi que les cent milliards de galaxies connues dans l'Univers sont apparues ? En postulant que les premiers astres furent les trous noirs, et non les étoiles, cette théorie, publiée par la revue scientifique *Astronomy & Astrophysics* en décembre 2009, tourneboule les schémas classiques. Jusqu'ici, il était en effet admis que les trous noirs au centre des galaxies s'étaient formés en dévorant les étoiles aux alentours, détruisant peu à peu le monde qui les a fait naître. Or, les astrophysiciens ont aujourd'hui du mal à rendre cette histoire cohérente.

Il faut dire qu'avant les années 1990 et la mise en service de puissants télescopes, comme le VLT ou

La fin de "l'Age des ténèbres" percée à jour

Juste après le big bang, l'Univers est tout noir. C'est "l'Age des ténèbres", au terme duquel apparaissent les premières galaxies. Un prodige qui restait à expliquer...

BIG BANG

100 millions d'années

1,7 milliard d'années

Age
Naissance
des
ténèbres
des premières galaxies

Naissance
de la Voie lactée



< Chacun des points de cette image aux rayons X est un trou noir supermassif. Tous ont-ils engendré des galaxies ?

de l'Univers à 6, puis 8, 10, 12 et enfin 13 milliards d'années-lumière, ils ont été surpris d'y découvrir à chaque fois des galaxies. Une première révolution...

Seconde surprise : les galaxies actuelles ne se sont pas formées lentement, à partir de petits amas d'étoiles s'agrégant progressivement, comme des cristaux de glace qui se collent pour former des flocons.

UNE THÉORIE QUI FAIT DES VAGUES

Cette idée, dominante depuis trois décennies, a été battue en brèche dans les années 2000. « Nous avons découvert des galaxies géantes témoignant d'une longue évolution à des distances énormes dans l'Univers, explique Damien Le Borgne. Cela prouve que les

situées entre 8 et 11 milliards d'années-lumière, et semble même descendre sous les 150 pour les galaxies plus lointaines. Une relation difficilement compatible avec une histoire qui fait des étoiles les premiers objets de la création. Ce qui ramène à l'hypothèse d'Elbaz : « Tout se passe comme si les trous noirs se formaient avant les galaxies qui les entourent... » Qui plus est, ce nouveau scénario a l'avantage d'expliquer la vitesse à laquelle se sont formées les galaxies. Selon lui, « les jets des trous noirs supermassifs étaient capables d'expulser l'équivalent d'une galaxie entière en 10 millions d'années seulement ! » Il suffit donc de supposer que se soient formés de gigantesques trous noirs, quelques dizaines de millions d'années après le big bang, pour que s'écrive une genèse plus cohérente que celle racontée jusqu'ici.

Dans le milieu astronomique, cette

Ce nouveau scénario élucide enfin de façon cohérente l'origine des galaxies

Hubble, la situation était plus simple : les astronomes ne disposaient d'aucune information sur l'évolution des galaxies au-delà de quelques milliards d'années-lumière, et leurs modèles théoriques, qui n'étaient contraints par aucune observation, semblaient pleinement satisfaisants. Depuis, tout s'est compliqué : les modèles, sommés de rendre compte des nouvelles observations, ont, les uns après les autres, dû être remisés au rayon des fausses bonnes idées.

C'est, tout d'abord, le timing des événements qu'il a fallu revoir. Avant, les théoriciens pensaient que les galaxies se formaient tranquillement, 1 à 2 milliards d'années après le big bang. Patatras ! En repoussant les limites observables

galaxies géantes, celles qui comptent jusqu'à mille milliards d'étoiles, existaient déjà un milliard d'années après le big bang ! » Comment des structures aussi grandes se sont-elles formées si vite ? Aucun modèle actuel ne permet de répondre clairement.

Et il y eut une troisième surprise : l'étrange relation entre la masse des galaxies et celle des trous noirs massifs cachés en leur sein. En clair, plus on observe des galaxies lointaines, donc jeunes, plus leur trou noir central apparaît massif. Dans les galaxies situées entre 1 et 8 milliards d'années-lumière, les étoiles ont en effet une masse totale 700 fois supérieure à celle du trou noir, mais ce rapport tombe à 400 dans celles

théorie, toute jeune, ne fait toutefois pas l'unanimité. Ainsi, pour Françoise Combes, astronome à l'Observatoire de Paris, spécialiste de la structure et de l'évolution des galaxies, « même si dans de rares cas, les jets des quasars peuvent en effet déclencher la formation d'étoiles, le nombre d'étoiles ainsi formées n'est qu'une infime partie de toutes les étoiles des galaxies. La plupart du temps, l'énergie fantastique déployée par le quasar autour du trou noir va chauffer le gaz environnant, ou le repousser loin dans l'espace, ce qui diminue ou même stoppe la formation d'étoiles ».

Face à cet argument, la théorie d'Elbaz a reçu un soutien de poids : Joseph Silk, l'une des voix les →

9 milliards d'années

Naissance
du système solaire

11,2 milliards d'années

Apparition
de la vie sur Terre

13,7 milliards d'années

Aujourd'hui

→ plus respectées de la cosmologie contemporaine. "C'est une nouvelle approche d'une importance décisive", juge le professeur à la chaire d'astronomie de l'université d'Oxford. La puissance du jet, au lieu de forger des étoiles, disperse-t-elle le gaz? "En fait, à mon avis, les trous noirs font les deux... D'abord, au début, comme le propose David Elbaz, leurs jets créent des étoiles, puis, lorsque celles-ci se sont formées et commencent à exploser en supernovae, le gaz qui reste est soufflé en dehors des galaxies, sous l'effet conjugué du souffle des supernovae et du jet du trou noir central."

LE RÔLE DES "ÉTOILES NOIRES"

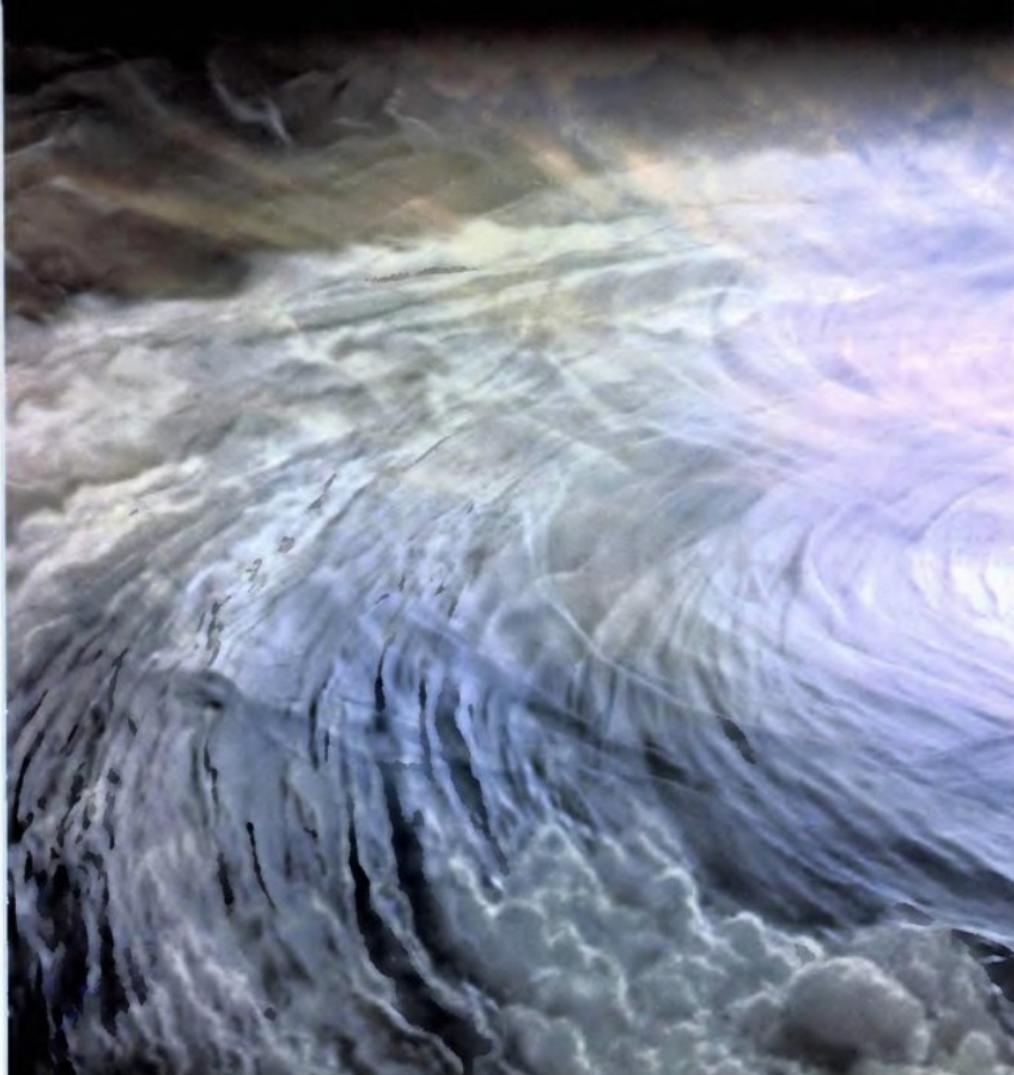
Le débat ne fait commencer et David Elbaz comprend parfaitement que sa théorie fasse des remous. En général, les astronomes préfèrent baser leurs travaux sur de très grands échantillons d'astres et se méfient des cas particuliers, *a priori* dénués de valeur statistique. "Si HE0450-2958 est un objet rare aujourd'hui, c'est que l'activité des quasars dans l'Univers actuel est très réduite. Mais il y avait mille fois plus de quasars voici 10 milliards d'années! C'est donc dans le passé lointain que nous allons essayer de surprendre des trous noirs en train d'allumer des étoiles..."

Si les futures observations le confirment, ce ne sera pas pour autant la fin de l'écriture du grand livre de l'histoire de l'Univers. Il restera par exemple à comprendre comment, durant l'Age des ténèbres, ces trous noirs titaniques sont apparus: sont-ils nés de l'accrétion de gaz cosmique, ou à la suite de l'effondrement des gigantesques "étoiles noires" dont une physicienne américaine vient de théoriser l'existence (voir S&V n° 1110, p. 92)? Mais, avec cette nouvelle genèse, fascinante et inattendue, une des plus belles pages aura assurément été écrite. Au début, il n'y avait rien; puis apparurent les trous noirs; et la lumière fut.

LA NOUVELLE GENÈSE

Le "nouveau paradigme" de l'astrophysicien David Elbaz propose une genèse du monde à contre-courant de ce qui était admis jusqu'ici. Selon lui, les trous noirs furent les tout premiers astres... Totalement obscur durant les premières dizaines de millions d'années après le big bang (l'Age des ténèbres), l'Univers en expansion est rempli d'un gaz dense, chaud et homogène. En se refroidissant, certaines régions deviennent plus denses et commencent, par effet de gravitation, à aspirer le gaz aux alentours. Au fil du temps, le mouvement s'accélère, le cœur du tourbillon augmentant peu à peu sa masse, et donc son pouvoir d'attraction.

DANS LA NUIT DE L'UNIVERS PRIMORDIAL,



SE DU MONDE EN 6 ÉTAPES



UN IMMENSE NUAGE DE GAZ SE FORME...

... EN TOURNANT SUR LUI-MÊME, IL JETTE
DE PREMIÈRES LUEURS ET CRÉE UN TROU NOIR...

Sous la pression de la gravitation, devenue gigantesque, le gaz aspiré se comprime dans le cœur du maelström. Au bout du compte, il forme un trou noir, dont la masse ne cesse de s'accroître, au fur et à mesure que la matière y est irrésistiblement happée. Durant sa chute accélérée et sans retour vers l'abîme, ce gaz chauffe et se met à briller. Ce sont les premières lueurs jetées à travers l'Univers.



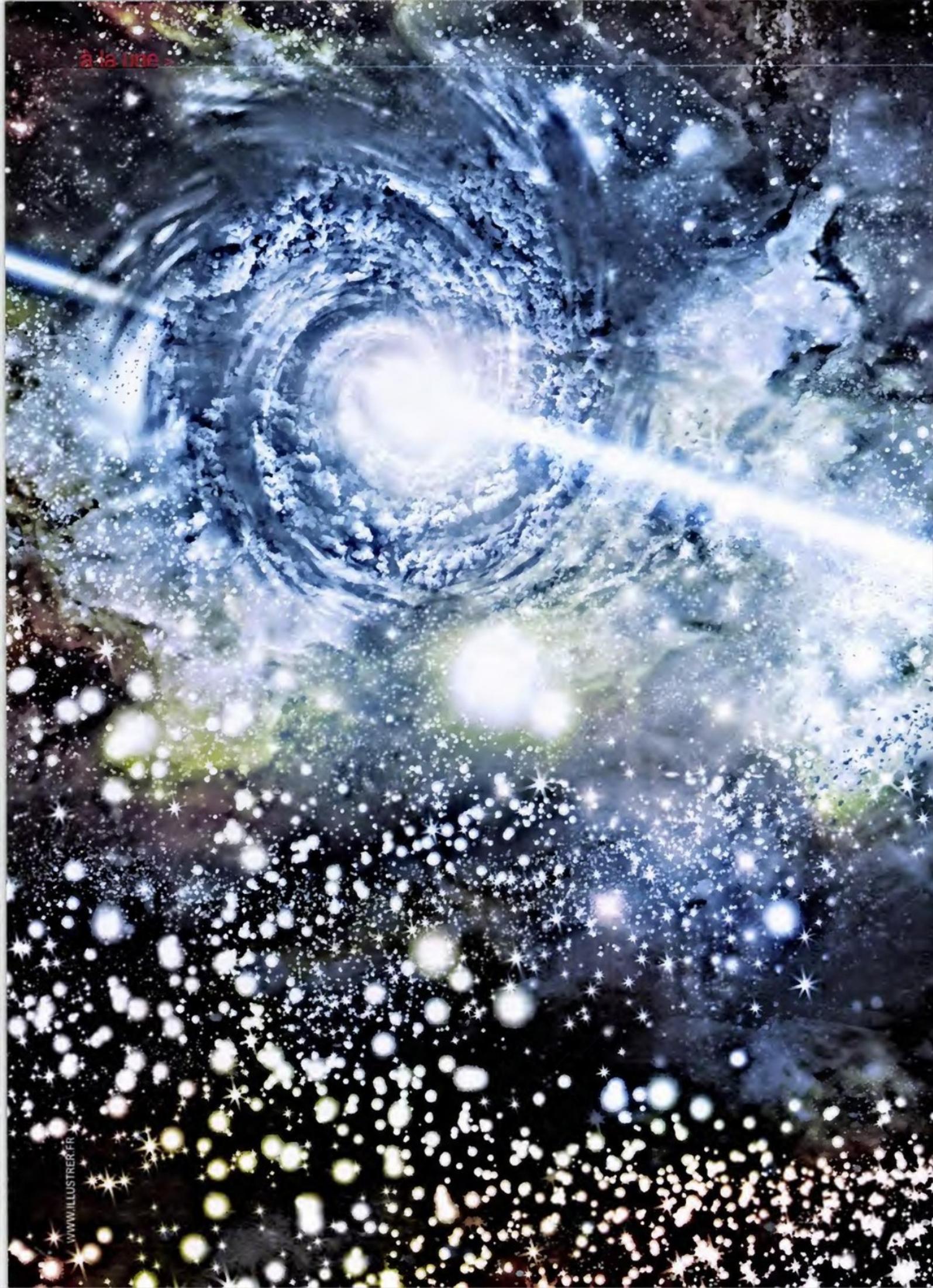
Après quelques millions d'années, la masse du trou noir approche celle d'un million de soleils. La violence du tourbillon de gaz brûlant qui gravite autour de lui crée un champ magnétique extraordinairement intense, aux deux pôles duquel s'échappe une partie du gaz en rotation, concentré dans un fin pinceau lumineux. Ce souffle, tranchant comme un laser, se met à expulser à chaque seconde plusieurs milliards de milliards de tonnes de gaz surchauffé, à plusieurs milliers de kilomètres par seconde.

... DEVENU LOURD COMME UN MILLION DE SOLEILS, LE TROU NOI



EXPULSE UN JET DE GAZ COLOSSAL...

à la une >



... LE JET RENCONTRE DES NUÉES DE GAZ QUI SE CONDENSENT EN ÉTOILES...

Le jet devient de plus en plus puissant au fur et à mesure que le trou noir grossit. En perçant l'espace sur plusieurs dizaines de milliers d'années-lumière, il traverse des nuées de gaz, principalement composées d'hydrogène et d'hélium, et y provoque de très violentes ondes de choc. Celles-ci augmentent localement la densité du gaz qui atteint une température suffisante pour amorcer des réactions de fusion nucléaire. Un filet d'étoiles s'allument dans le ciel.

... AU FIL DU TEMPS, CE SONT DES MILLIARDS D'ÉTOILES QUE LE JET DU TROU NOIR ALLUMÉ.

Après plusieurs dizaines de millions d'années, le trou noir a atteint une masse d'un milliard de soleils. Son jet a rencontré une partie considérable des grandes volutes de gaz qui tournent lentement en sa lointaine périphérie et y a engendré une fantastique flambée d'étoiles qui éclairent l'Univers en un ballet chaotique. Ce jet traverse aussi des régions gazeuses plus lointaines, qui formeront des amas indépendants d'étoiles.



... AU FINAL, CES ÉTOILES DONNENT NAISSANCE À UNE GALAXIE



Au bout de quelques dizaines à quelques centaines de millions d'années, le trou noir, devenu supermassif, a englouti tout le gaz à sa portée. Les astres les plus proches, qui forment un bulbe lumineux autour de lui, sont établis sur des orbites définitives. Faute de matière à attirer puis à expulser, le jet s'est éteint. Les quelque cent milliards d'étoiles qu'il a enfantées, gouvernées par la gravitation, dessinent dans le ciel les élégantes spirales d'un vaste disque en rotation. Le trou noir peut maintenant se reposer: la genèse de la galaxie est achevée.

Trou noir: la fin du côté obscur

“Ogres cosmiques”, “monstres invisibles”: Les trous noirs sont longtemps apparus des entités négatives. Hors normes, leurs propriétés constituaient un défi, voire une menace pour l’astronomie. Une époque révolue. Récit d’une métamorphose.

On le sait, les figures des contes révèlent l’imaginaire des hommes, leurs fantasmes et leurs angoisses. Et l’avènement de la pensée rationnelle n’y change rien. Surtout là où règne l’inconnu, le noir, l’immensité... Le cosmos n’est-il pas une sorte de forêt sidérale? Auquel cas, la figure de l’ogre y est assurément tenu par... le trou noir. Tapi dans l’ombre des galaxies, monstre saturnien dévorant tout ce qui passe à sa portée, il concentre le pire, sinon du cosmos, du moins des hommes. Au point d’effrayer les cosmo-

aucun de ses rayons jusqu'à nous; il est donc possible que les plus grands corps lumineux de l'Univers soient, par cela même, invisibles”.

En cette période sombre de l’histoire de France, ces corps n’ont pas encore de nom: ils sont juste “*obscurs*”. Et si c’est Laplace qui s’en fait le héraut, leur paternité en revient à Isaac Newton: en vertu de la théorie de la gravitation du physicien anglais, si un corps est assez massif et dense, la lumière émise à sa surface doit finir par retomber dessus, tel



> Au cœur de la galaxie NGC 383, un trou noir géant expulse à plus d'un million d'années-lumière deux puissants jets lumineux.

Etrangement, l'idée est évoquée lors de périodes sombres

logistes eux-mêmes, qui ont longtemps préféré bannir cet ogre de leurs calculs. Comme on évite d'affronter sa peur.

Une peur qui remonte à la fin du XVIII^e siècle. Et ce n'est peut-être pas tout à fait un hasard: c'est en pleine période de la Terreur que l'existence de ces ogres cosmiques a été entrevue pour la première fois. Dans *Exposition du système du monde*, publiée en 1796, Pierre-Simon Laplace pressent qu’“*il existe dans les espaces célestes des corps obscurs aussi considérables [...] que les étoiles.*” Le mathématicien et astronome précise: “*Un astre lumineux de même densité que la Terre, et dont le diamètre serait 250 fois plus grand que celui du Soleil, ne laisserait, en vertu de son attraction, parvenir*

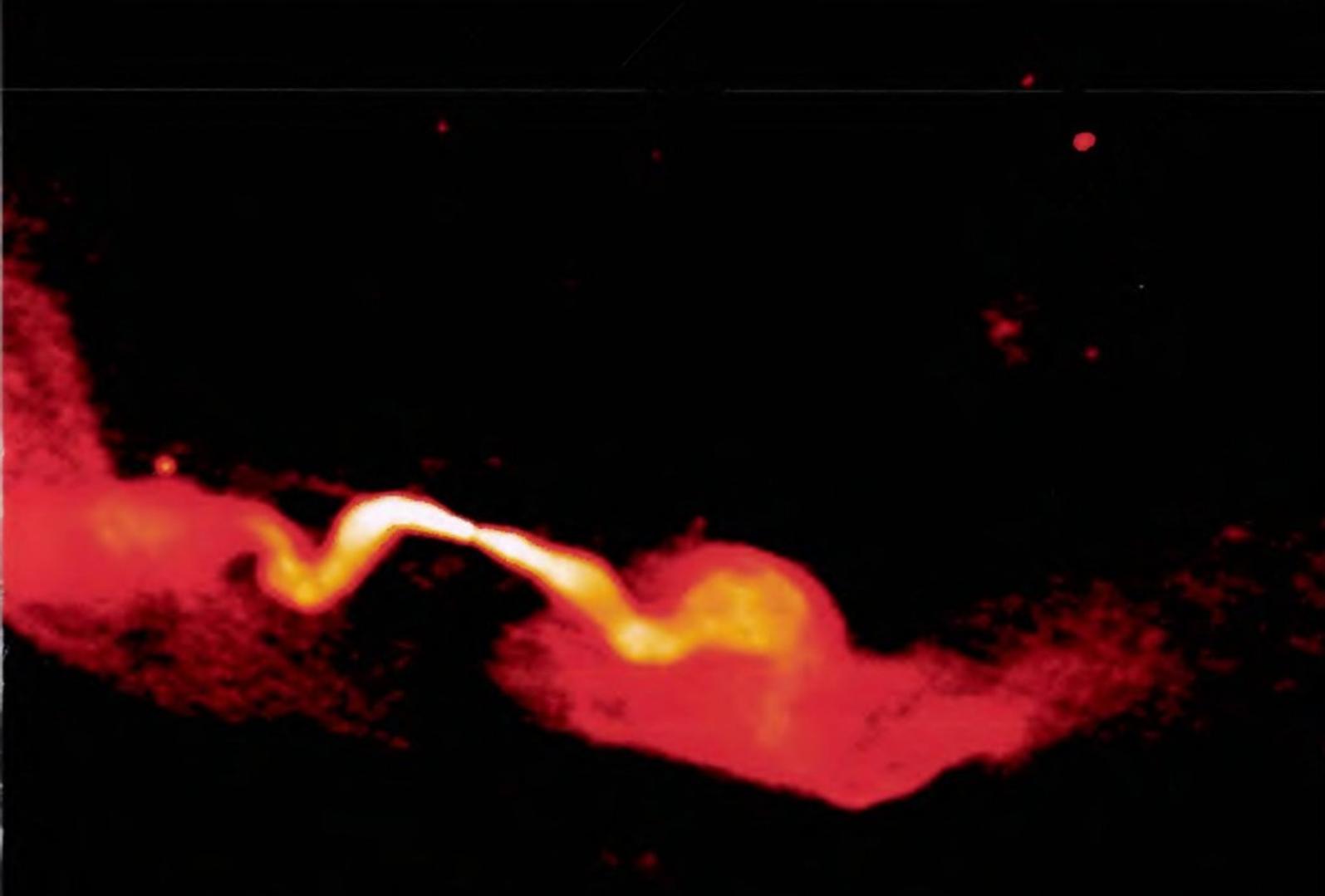
“d’astres obscurs” périodes sombres

un boulet de canon. Cette première vision des trous noirs sera toutefois éphémère: quelques années plus tard, quand les savants décrèteront que la lumière n'est pas une particule, mais une onde, Laplace supprimera ces réflexions des éditions ultérieures de son ouvrage. Et l’ogre tombera dans l’oubli, alors que s’ouvrent des temps moins troublés.

SCHWARZSCHILD TROUVE L’OGRE

Faut-il s'étonner que ce soit en pleine Grande Guerre que l'idée refait surface? En tout cas, c'est en 1916, alors qu'il est sur le front russe, que Karl Schwarzschild, lieutenant d'artillerie de l'armée allemande et excellent astronome, calcule les caractéristiques et le comportement des astres, en suivant les équations d'une nouvelle théorie de la gravitation publiée l'année précédente par un certain Albert Einstein. Cette théorie de la relativité a des conséquences bizarres: elle prédit que l'espace et le temps se déforment en présence de matière. Et c'est en calculant la déformation de l'espace-temps que Schwarzschild fait cette découverte: si la masse du Soleil était comprimée dans une sphère de 3 km de diamètre, la déformation spatio-temporelle à la surface d'un tel astre serait telle que la lumière ne devrait plus pouvoir s'en échapper... En un mot, il vient de trouver l'ogre.

Un “malheur”, une “catastrophe”: Einstein accueille ainsi la trouvaille. Car lorsque ses chères équations tentent de décrire ce qui se passe à l'intérieur de cette région singulière, appelée →



LE TROU NOIR EN 5 QUESTIONS

Comment les trous noirs se forment-ils ?

Certains sont des résidus d'étoiles, de 10 à 100 fois plus massives que le Soleil: à la fin de leur existence, privées de combustible nucléaire, ces étoiles s'effondrent sur elles-mêmes, formant un trou noir "stellaire" dont l'horizon mesure 3 à 30 km de diamètre. D'autres, beaucoup plus massifs, plusieurs millions à plusieurs milliards de fois plus lourds que le Soleil, trônent au centre de la plupart des galaxies, avec un diamètre compris entre 10 millions de km et plus de 10 milliards (soit la taille du système solaire!): s'ils se sont probablement formés très tôt dans l'histoire de l'Univers, leur origine est

encore mal comprise. Un troisième type de trou noir, dit "primordiaux" a été imaginé, mais encore jamais observé: ces trous noirs, formés au moment du big bang, auraient la taille d'une particule élémentaire!

Comment les observe-t-on ?

En étudiant leur influence sur leur environnement. Ainsi, la grande vitesse des étoiles au centre d'une galaxie peut indiquer la présence d'un trou noir supermassif... Autre méthode: quand un trou noir engloutit de la matière, celle-ci chauffe et émet avant de sombrer dans le néant une quantité énorme de rayonnement X et gamma, qu'il est possible de détecter.

Le trou noir est-il noir ?

Oui et non. En principe, comme son nom l'indique, il est totalement obscur, avec une surface d'un noir absolu, et une température très proche du zéro absolu. Pourtant, Stephen Hawking a découvert en 1975 que le trou noir pouvait rayonner de l'énergie, sous forme de particules créées spontanément sur son horizon par des "fluctuations du vide quantique". Un phénomène infinitésimal, jamais observé, mais qui viole, d'un point de vue théorique, l'absolue noirceur des trous noirs.

Que se passe-t-il dans un trou noir ?

Personne ne le sait. D'après les équations d'Einstein, à

l'intérieur de l'horizon, l'espace-temps s'effondrerait perpétuellement jusqu'au point central, infiniment dense et infiniment petit: une impasse conceptuelle, qu'espèrent contourner les physiciens, grâce à de nouvelles théories, comme la gravité quantique ou la théorie des cordes.

Les trous noirs sont-ils éternels ?

Peut-être pas. Si la théorie de Stephen Hawking est juste, alors les trous noirs s'évaporent lentement, en émettant de temps à autre une particule élémentaire. Un trou noir stellaire s'évaporerait en 10^{65} ans environ, un trou noir supermassif en 10^{100} ans...

Une longue traque qui va durer près de deux siècles



< 1796 P.-S. LAPLACE

Aussi bon astronome que mathématicien, Pierre-Simon Laplace est le premier à imaginer le concept de trou noir, qu'il appelle "astre obscur" dans son traité *Exposition du système du monde*. Mais il abandonne très vite cette idée.

> 1916 K. SCHWARZSCHILD

A partir du concept de Laplace, il travaille dans le cadre de la relativité générale d'Einstein. Mais, faute d'observations et de connaissance sur l'évolution des étoiles, le trou noir reste un objet purement mathématique.



→ "sphère de Schwarzschild", le temps s'arrête et toutes les grandeurs physiques deviennent infiniment grandes, dans un espace réduit à zéro... Face à cette absurdité conceptuelle, Einstein voudra sauver sa relativité: en quelques feuillets d'équations bien senties, il tentera de démontrer que les soleils de 3 km de diamètre n'existent pas dans la nature. Et l'ogre de se rendormir, en même temps que les canons.

Il reviendra roder dans les années 1930. A la suite de la découverte de nouvelles particules et des processus thermonucléaires, des théoriciens imaginent que les résidus d'étoiles mortes se condensent en des astres constitués

Mais les astronomes refusent toujours de croire en l'existence d'une telle monstruosité. Et quand, en 1939, Robert Oppenheimer, le père de la bombe atomique américaine, remarque qu'une étoile à neutrons qui dépasse 3,3 masses solaires s'effondre sur elle-même et s'enferme dans une "sphère de Schwarzschild", personne ne fait attention...

UN MODÈLE DU BIG BANG ?

En fait, l'ogre ne sortira du bois qu'au cours des années 1960. En ces temps de guerre froide, l'astronomie fait des pas de géants, en partie grâce aux progrès technologiques réalisés durant la guerre. En 1963, un nouveau type d'astre, minus-

lation du Cygne, à 6 000 années-lumière de nous, il se révèle binaire: d'un côté, une étoile supergéante, de l'autre, une formidable source de rayons non visibles: des rayons X. Or, voilà qui pourrait être la signature de la "catastrophe" d'Einstein, les rayons X pouvant venir de la matière surchauffée que ce tourbillon obscur soustrait à sa partenaire.

Mais peut-être fallait-il que l'ogre ait un nom pour qu'il soit enfin admis dans le grand conte du cosmos: en 1968, période pour le moins agitée, l'Américain John Wheeler baptise "trous noirs" ces objets que la plupart de ses collègues refusent de voir dans le ciel. Et en 1971, les astronomes, à bout d'hypothèses, finissent par admettre que Cygnus X-1 est probablement l'un d'eux.

Dès lors, une fois nommé et débusqué, le trou noir va connaître une carrière fulgurante. Sans cesser d'être effrayant, comme en écho à d'autres peurs. Dans les années 1970, la description du mathématicien néo-zélandais Roy Kerr est adoptée. Les spécialistes de la théorie d'Einstein admettent que le trou noir est intégralement décrit par sa masse et sa

A force de se confronter aux trous noirs la science a changé son regard sur eux

principalement de neutrons, qui deviennent massifs, minuscules et hyperdenses. D'après les calculs, une étoile à neutrons de la masse du Soleil ne mesurerait que... 10 km de diamètre! Une taille proche de la bizarrerie spatio-temporelle imaginée par Schwarzschild.

cule et très lumineux, est découvert. Certains avancent que cette source incroyablement énergétique, baptisée quasar, pourrait cacher en son sein le monstre tant craint (voir p. 54)... Deux ans plus tard, un autre astre, Cygnus X-1, attire l'attention. Situé dans la constel-



< 1939 R. OPPENHEIMER

Il découvre que l'effondrement d'une étoile morte peut donner naissance à une "sphère de Schwarzschild" comme on appelle alors les trous noirs. La communauté astronomique ne croit guère à une telle théorie.

▼ 1968 J. WHEELER

L'astronome américain réfléchit à ces "étoiles figées", ces "étoiles effondrées", et leur donne leur nom définitif (*black holes* en anglais).



▲ 1971 CYGNUS X-1

Le télescope spatial *Uhuru* observe l'astre Cygnus x-1. L'enveloppe gazeuse de cette étoile supergante, à 6 000 al de la Terre, est aspirée par un objet sombre, dense et massif, éloigné de seulement 30 millions de kilomètres de l'étoile... C'est le tout premier trou noir formellement identifié.

vitesse de rotation, qu'il est clos par une surface imaginaire, appelée horizon (la sphère de Schwarzschild), qui est une membrane spatio-temporelle à sens unique, où l'information peut entrer mais pas sortir, et que tout ce qu'elle absorbe – lumière, étoiles, planètes ou rats laveurs – a pour effet d'augmenter sa masse, et donc son pouvoir d'attraction. L'ogre a enfin un visage!

Et il excite l'imagination, en même temps qu'il devient populaire dans le grand public. Des théoriciens voient en lui le moyen de marier relativité générale et mécanique quantique. Voire un modèle pour décrire le big bang. Plus fascinant encore: ne serait-il pas possible que l'intérieur d'un trou noir soit à l'extérieur de notre univers et que nous habitions alors dans le trou noir d'un autre monde, bien plus vaste (voir encadré)?

1 MILLIARD DANS LA VOIE LACTÉE

Mais les astronomes ne sont pas encore définitivement convaincus de son existence... A chaque fois que sa signature est repérée dans l'espace, ils la signalent en tant que "candidat trou noir", tâchant

de lui opposer une alternative – amas d'étoiles, étoile anormale, masse de gaz ou quoi que ce soit qui puisse leur éviter de voir le monstre en face. La bascule va se faire au tournant des années 1990. Les observations deviennent si précises que le doute n'est plus permis: le ciel est bien tapissé de trous noirs. Aujourd'hui, il est admis qu'un milliard de spécimens tourment silencieusement dans la Voie lactée et que près de cent milliards de milliards d'autres naviguent, plus loin dans l'espace.

A force de s'y confronter, la peur du monstre tapi dans l'espace a été apprivoisée. Le voile qui rendait si obscurs les trous noirs s'est déchiré, ouvrant la possibilité de les considérer d'un regard neuf. A la clé? La toute nouvelle dramaturgie cosmique imaginée par l'astronome David Elbaz en donne un avant-goût: ces astres, loin d'être ces figures noires et destructrices, sont en passe d'atteindre le statut de créateur des étoiles et de grand ordonnateur du monde! Mais n'est-ce pas un classique des contes: à la fin, comme par magie, la bête se métamorphose en prince charmant.

VIVONS-NOUS DANS UN TROU NOIR ?

Notre univers et le trou noir présentent de troublantes similitudes. Comme le trou noir, il possède une singularité, un point de densité infini et de dimension nulle: le big bang... De plus, comme le trou noir, l'Univers a un horizon, une surface sphérique impossible à traverser, où le temps semble suspendu: le diamètre de cet horizon cosmologique correspond tout simplement à la taille de l'Univers, dont la frontière reflète indéfiniment l'instant du big bang. Cela a amené certains cosmologistes à faire cette incroyable proposition: nous vivons peut-être dans un trou noir!

L'astrophysicien Jean-Pierre Luminet imagine même que nous vivons dans un univers gigogne, regroupant une infinité de trous noirs enfermés les uns dans les autres, *ad infinitum...*

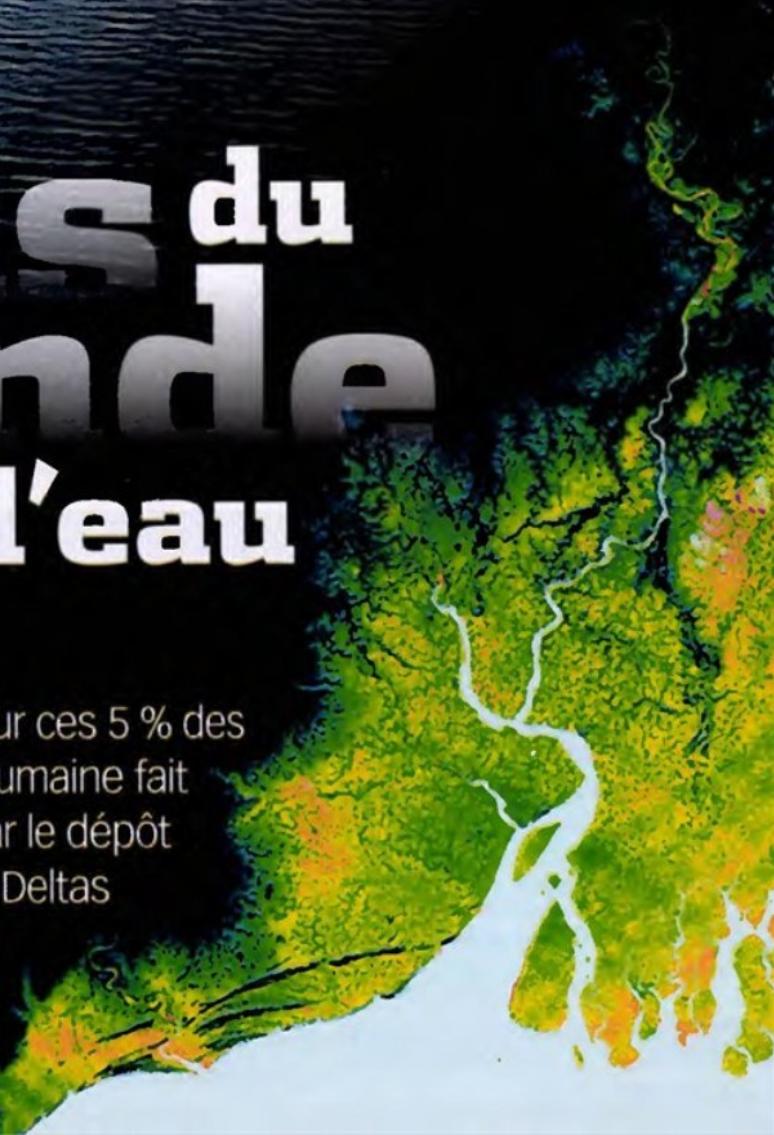


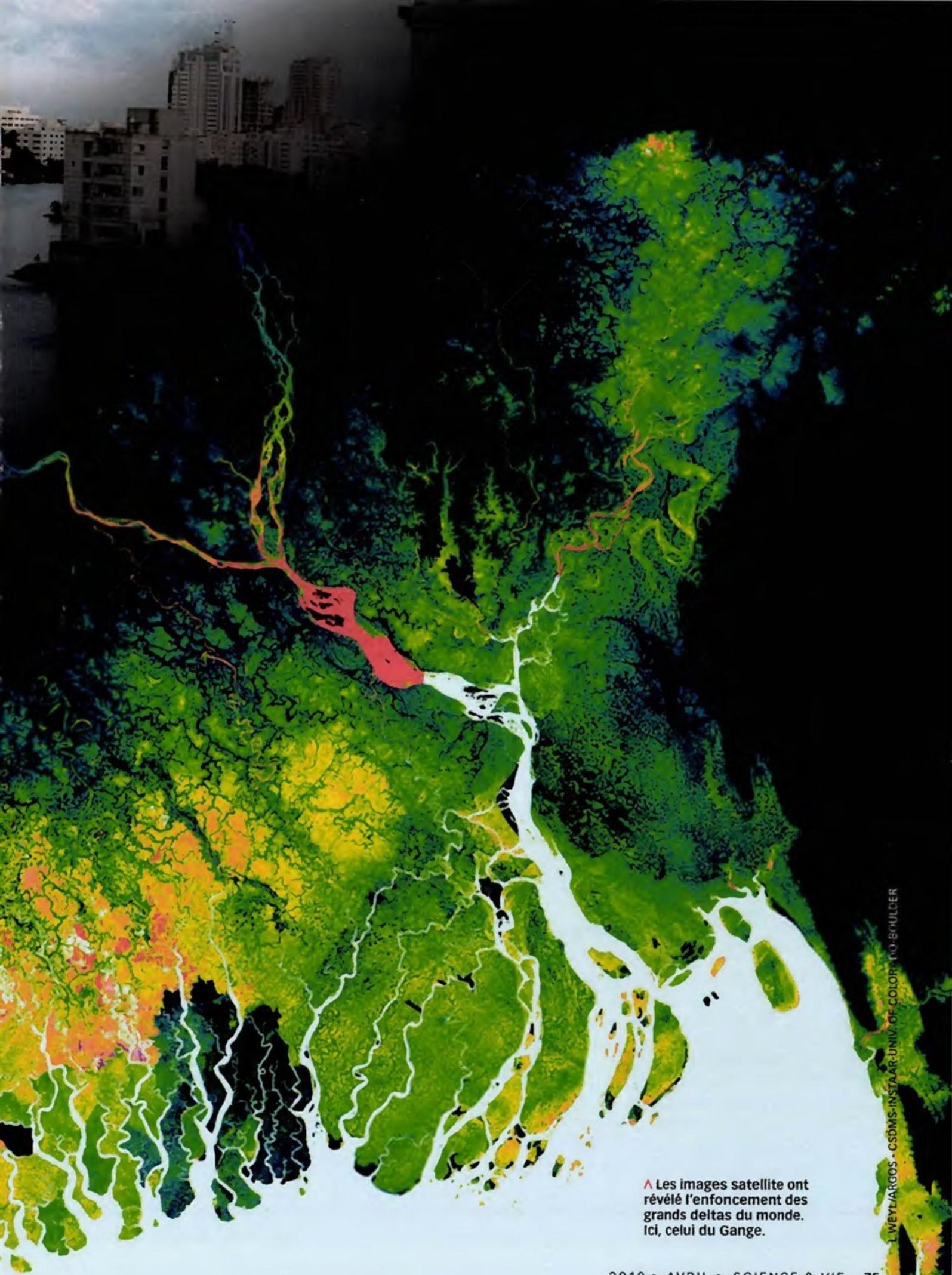
INONDATIONS

Par Boris Bellanger

Les deltas du monde prennent l'eau

Un demi-milliard de personnes vivent sur ces 5 % des surfaces continentales. Mais l'activité humaine fait couler ces terres gagnées sur la mer par le dépôt des sédiments charriés par les fleuves. Deltas du Nil, du Gange et même du Rhône, les scientifiques sonnent l'alarme.

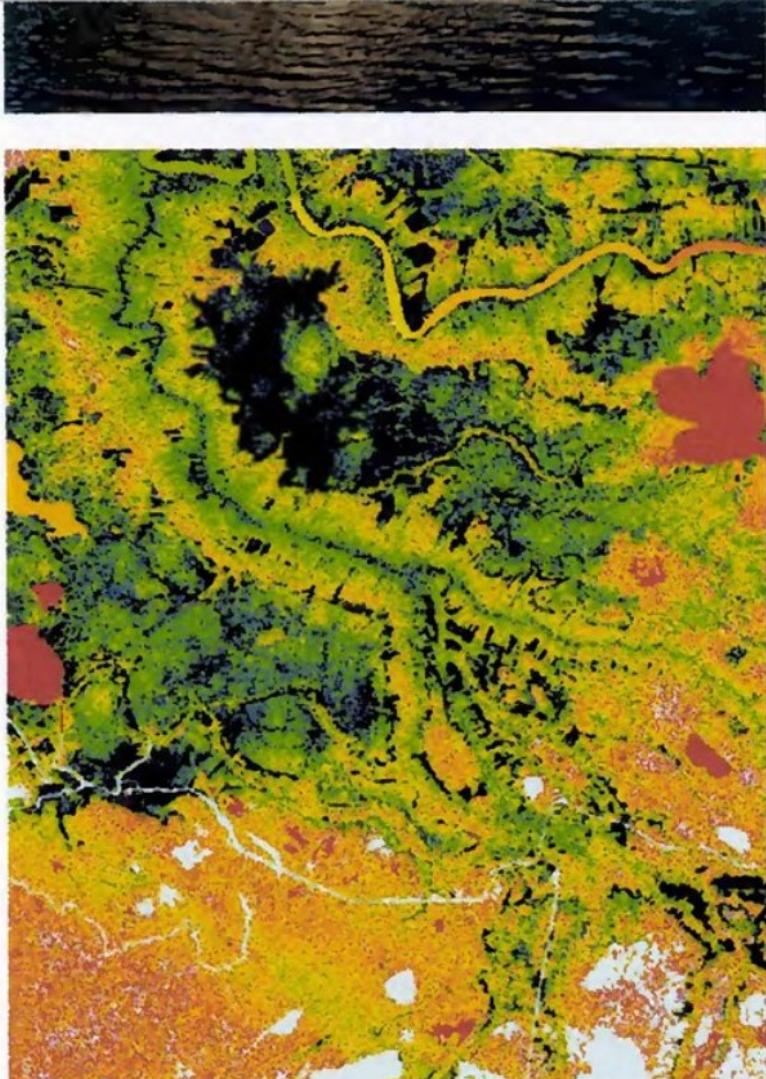




▲ Les images satellite ont révélé l'enfoncement des grands deltas du monde. Ici, celui du Gange.

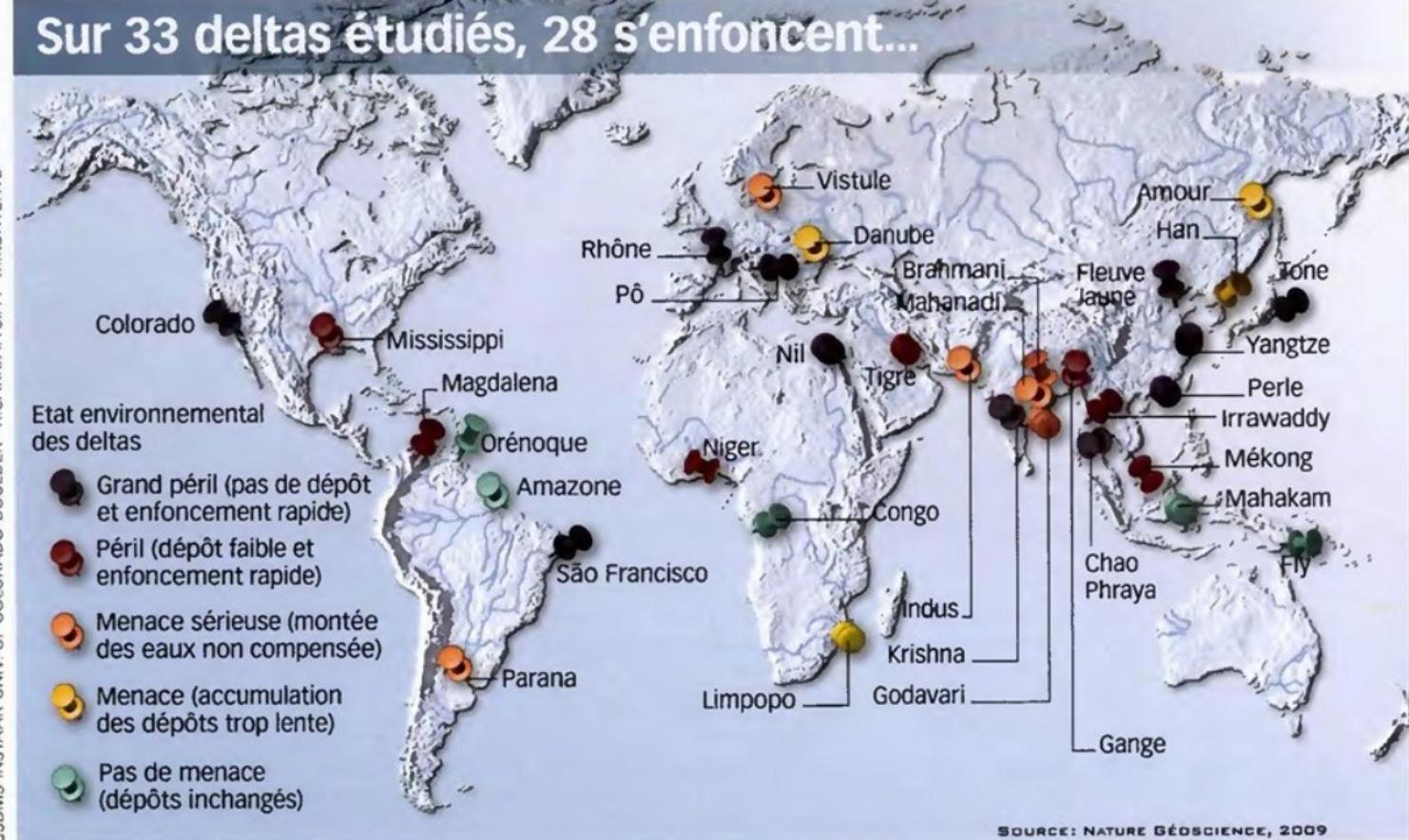
En péril!" Tel est le tampon que James Syvitski, géologue de renom de l'université du Colorado, pourrait apposer sur une carte pointant les deltas des grands fleuves du monde. Ces terres gagnées sur la mer au fil des millénaires par le dépôt des sédiments charriés par les fleuves, sont en effet menacées aujourd'hui de perdre pied. Selon l'étude des 33 plus grands deltas du globe par James Syvitski et ses collègues américains, anglais et japonais, seuls cinq pourraient gagner leur duel face à l'océan (voir carte). Dans la mesure où près d'un demi-milliard de personnes ont élu domicile sur ces étendues propices à l'agriculture, qui ne représentent pourtant que 5 % des surfaces continentales, la perspective d'une immersion des deltas a de quoi inquiéter.

D'autant plus que si la menace vient de la mer, la cause première est à chercher sur la terre ferme. "Les deltas s'enfoncent d'eux-mêmes plus rapidement que la mer ne monte!", précise James Syvitski. Ainsi, si le niveau des mers s'élève de 2 à 3 millimètres par an en moyenne, certains deltas, comme celui du Mississippi ou du Niger, s'affaissent, eux, de plusieurs centimètres par an. Les deltas sont donc en train de couler! L'origine de ce naufrage? Principalement →

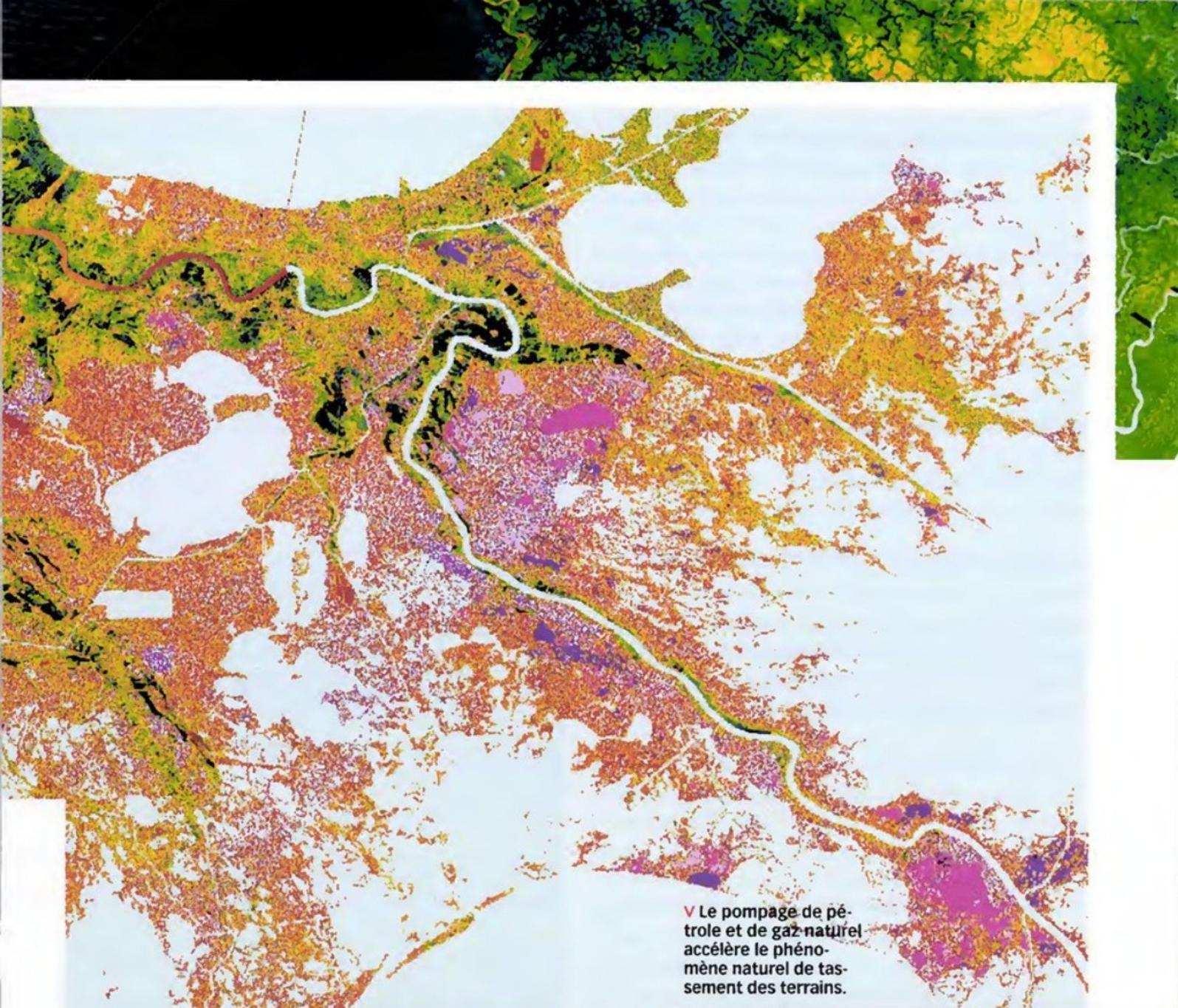


Sur 33 deltas étudiés, 28 s'enfoncent...

CSDMS-INSTAAR-UNIV. OF COLORADO-BOULDER • R.CARR/AP/SIPA - M.KONTENT



SOURCE: NATURE GÉOSCIENCE, 2009



Le pompage de pétrole et de gaz naturel accélère le phénomène naturel de tassement des terrains.

DELTA DU MISSISSIPPI

L'extraction du gaz a sapé ses fondements

L'extraction de pétrole et de gaz du delta du Mississippi depuis le début du xx^e siècle est la cause principale de sa destruction. La compaction des sols a en effet été exacerbée par le pompage des hydrocarbures, et le delta s'enfonce de 0,5 à 2 cm par an. Soit dix fois plus vite qu'au cours des siècles précédents. D'importantes surfaces de zones humides ont ainsi disparu en Louisiane. Et ce, de façon proportionnelle à l'activité pétrolière. Lors du pic d'exploitation des hydrocarbures, dans les années 1970, 11 000 hectares



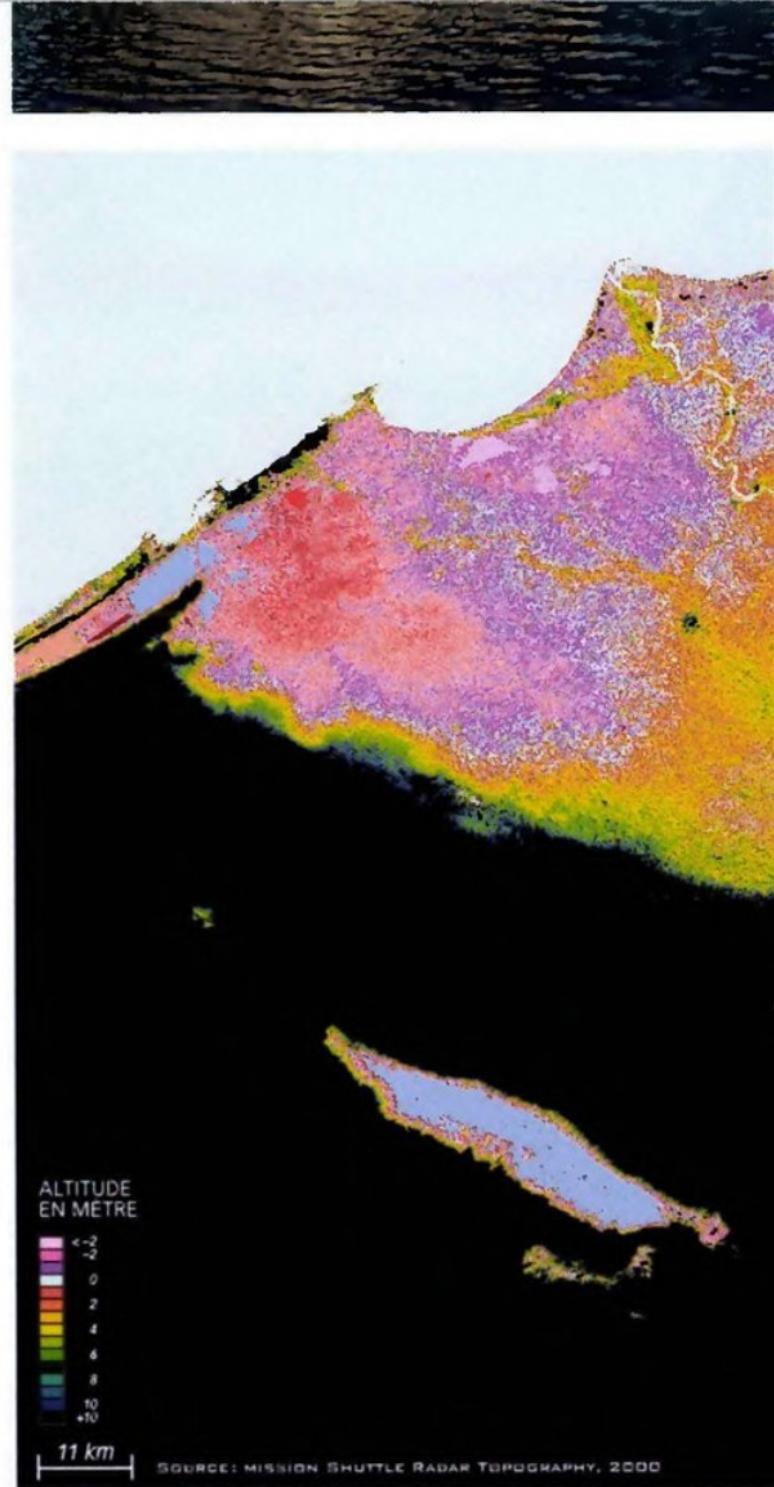
disparaissaient sous l'eau chaque année. Avec la baisse de la production, les pertes n'étaient plus que de 2 600 ha par an entre 1990 et 2000. Pour contrer le naufrage, un projet envisage de faire sauter des digues afin de réalimenter le delta en sédiments.

→ l'activité humaine, qui a perturbé la dynamique naturelle de construction et de maintien des deltas. Comment? En domestiquant les fleuves à grand renfort de barrages et de digues, l'homme a certes dompté les crues, mais il a réduit les quantités de sédiments qui parvenaient jusqu'aux deltas. "Le désir de stabilité de l'homme s'oppose au dynamisme par lequel les deltas se maintiennent naturellement", résume Charles Vörösmarty, du City College de New York, co-auteur de l'étude. Par ailleurs, le pompage des réserves souterraines d'eau, de gaz ou de pétrole au sein des deltas accélère le phénomène naturel de compaction des terrains sous leur propre poids. Au cours du xx^e siècle, le delta du Pô en Italie s'est ainsi enfoncé de 3,7 mètres, et 80 % de cet affaissement sont attribués à l'extraction de gaz naturel.

RISQUES D'INONDATION ET ÉROSIONS CÔTIÈRES

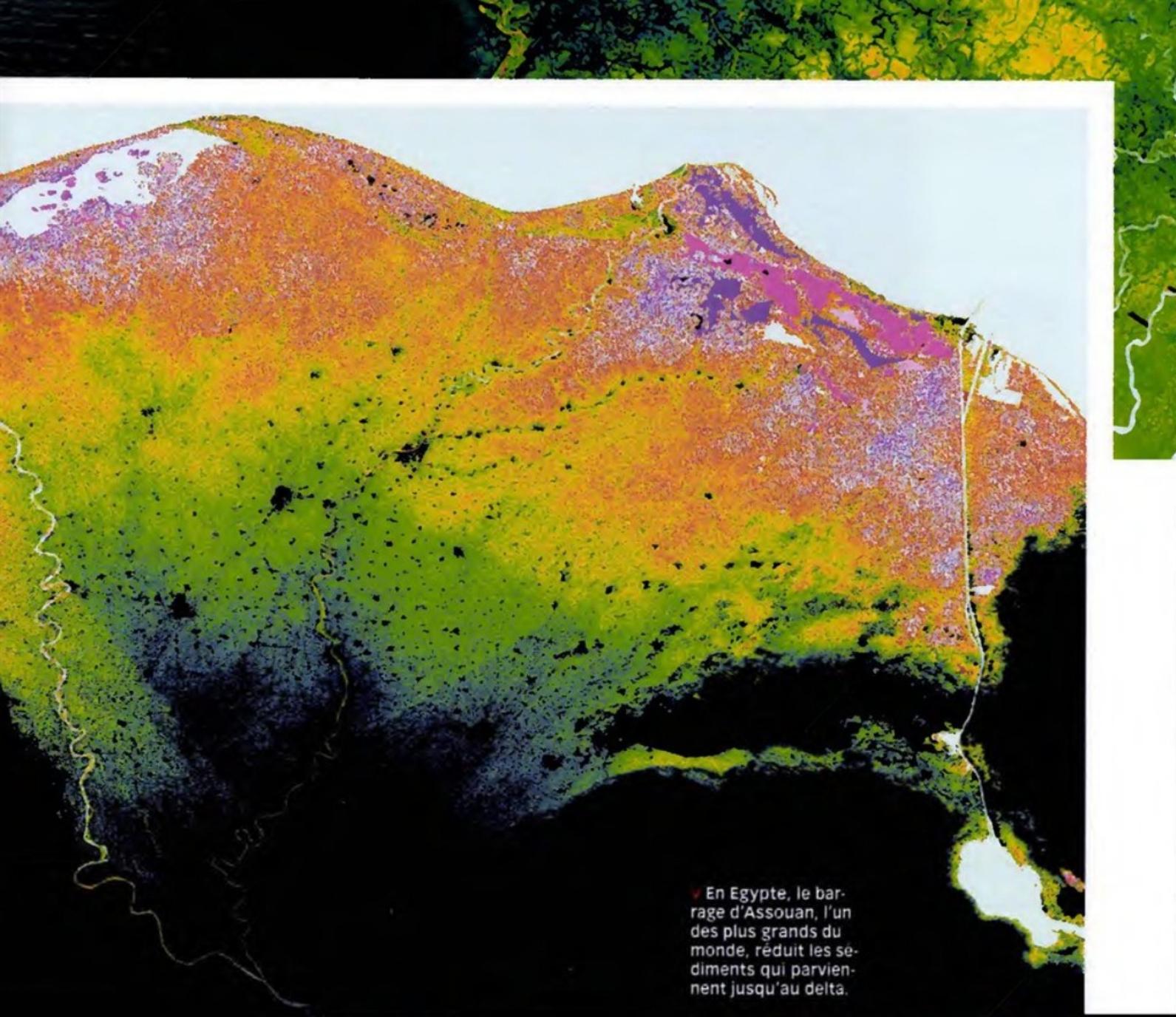
Le résultat de cette confrontation entre l'homme et la nature saute d'ailleurs aux yeux dès que l'on se penche sur la topographie de ces deltas. Après avoir étudié des photos satellite, James Syvitski a ainsi conclu que, tous deltas cumulés, 33 000 km² de terrains sont actuellement situés sous le niveau des mers, juste protégés des inondations par des barrières naturelles (dunes) ou artificielles (digues). Soit une superficie à peu près équivalente à celle de la Belgique, mais avec une densité de population deux à trois fois plus importante. "Parviendra-t-on éternellement à empêcher la mer d'envalir ces zones?", se demande le géologue. A ces dépressions s'ajoutent 70 000 km² de terres s'élevant à moins de 2 mètres, et donc susceptibles d'être confrontées à des inondations côtières en cas de tempête. Pour mémoire, lors du passage du cyclone Nargis, qui a frappé le delta de l'Irrawaddy (Birmanie) en mai 2008 – faisant 138 000 morts et disparus –, les vagues ont recouvert des zones situées à 6 mètres au-dessus du niveau des mers... Et il n'y a pas que le risque d'inondation: un peu partout, on observe un recul de la côte, lié à l'érosion côtière accélérée par la montée des eaux. Le littoral du Rhône a par exemple reculé en moyenne de 4 mètres par an entre 1945 et 1985!

Rongés et amaigris, les deltas du monde sont donc dans une phase critique. "Sans tomber dans le catastrophisme, il est justifié de tirer la sonnette d'alarme, estime Mireille Provensal, géographe à l'université d'Aix-Marseille. D'ailleurs, certains pays envisagent de restaurer la dynamique naturelle des deltas pour faire face à cette menace." Comme aux Etats-Unis, où les autorités ont le projet de faire sauter des digues sur le Mississippi pour réalimenter le delta en sédiments et freiner le recul du trait de côte. 2 000 km² de nouveaux terrains pourraient ainsi être créés... en un siècle. Et, dans le même temps, 4 000 km² du delta seraient forcément voués à disparaître... Autre piste, aux effets plus immédiats: réduire la pression sur les ressources souterraines. "Lorsque l'on réduit le



pompage d'eau ou d'hydrocarbures, le delta réagit en quelques années seulement, note James Syvitski. Le taux d'enfoncement diminue alors significativement, mais le processus de compaction naturel ne s'arrête pas pour autant." On le voit, sauver les deltas du monde constitue un défi d'envergure.

Ironie de l'histoire, nombre de ces deltas doivent leur existence à l'homme. Déforestation, agriculture, fragilisation des sols ont en effet favorisé l'érosion des continents. Les quantités de sédiments transportées par les fleuves au cours des derniers millénaires ont ainsi fortement augmenté, permettant de gagner sur la mer de précieuses surfaces. "Sans l'homme, je ne pense pas qu'il y aurait eu un delta de l'Ebre ou du Pô, ni que le delta du Rhône serait tel qu'il est aujourd'hui", estime James Syvitski. En un mot, si rien d'efficace n'est fait, l'homme va continuer de détruire ce qu'il avait créé, hier, sans le savoir. ■



En Egypte, le barrage d'Assouan, l'un des plus grands du monde, réduit les sédiments qui parviennent jusqu'au delta.

DELTA DU NIL

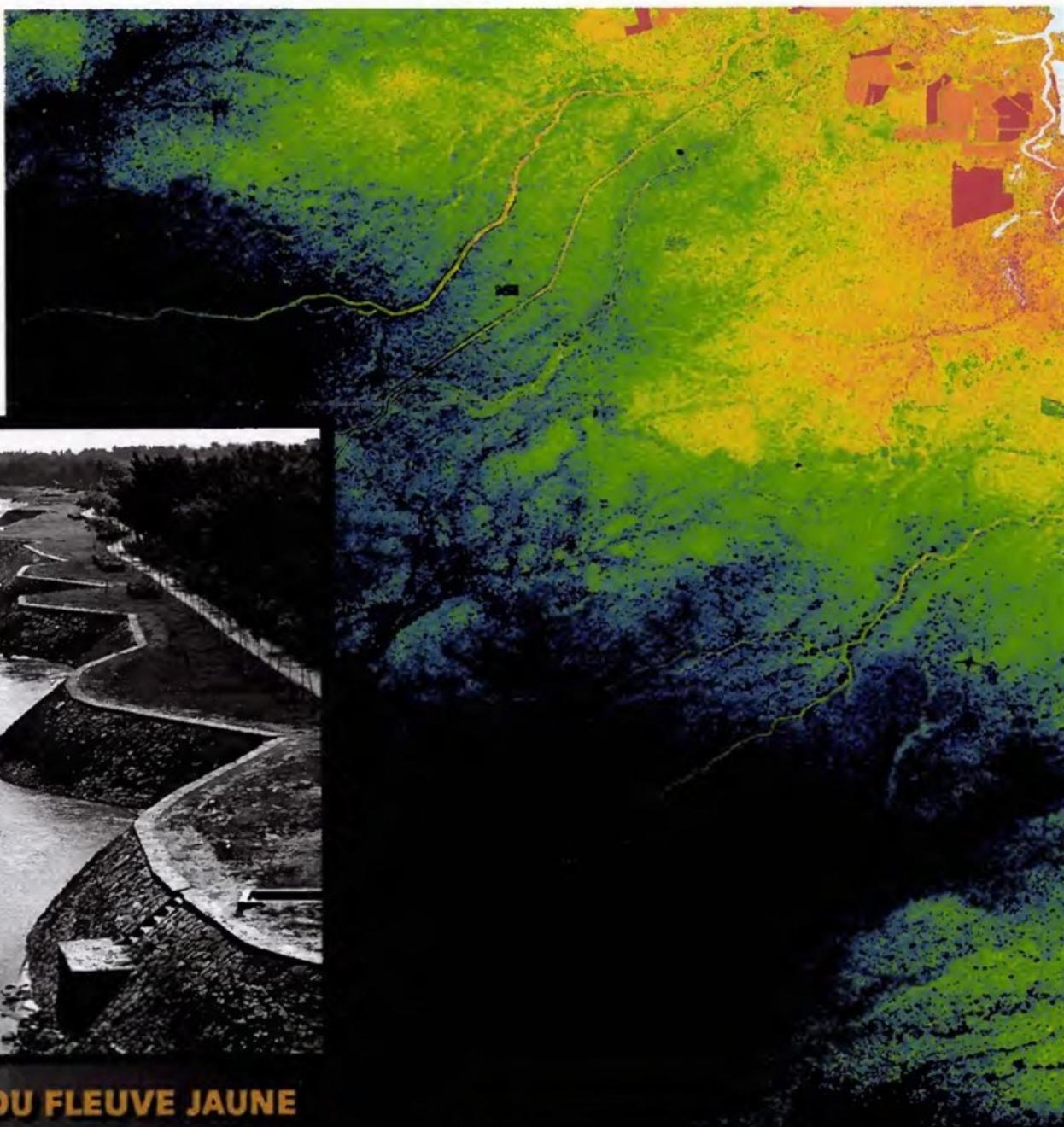
Le barrage d'Assouan le prive de sédiments

Avec la mise en service du barrage d'Assouan, inauguré en 1970, la quantité de sédiments transportés par le Nil a été réduite de 98 %. Le peu qui parvient jusqu'au delta se dépose dans le réseau de canaux d'irrigation. De plus, le nombre de bras du Nil serpentant dans le delta est passé de 16 à 2 à la suite du contrôle du débit du fleuve par le barrage. Le delta du Nil n'est donc plus alimenté en sédiments lors des crues et la compaction des terrains se traduit par un enfoncement de près de 5 mm par an. Au sein du delta,



qui concentre 50 millions de personnes et l'essentiel de la production agricole du pays, près de 10 000 km² de terrains sont actuellement situés à moins de 2 m au-dessus du niveau des mers; 5 000 km² sont même sous le niveau des mers.

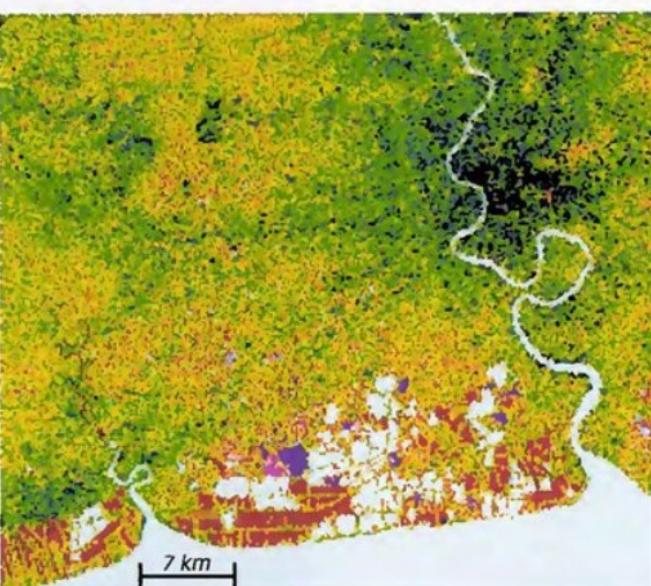
▼ Les digues érigées pour empêcher les crues du fleuve interdisent tout apport de sédiment dans le delta.

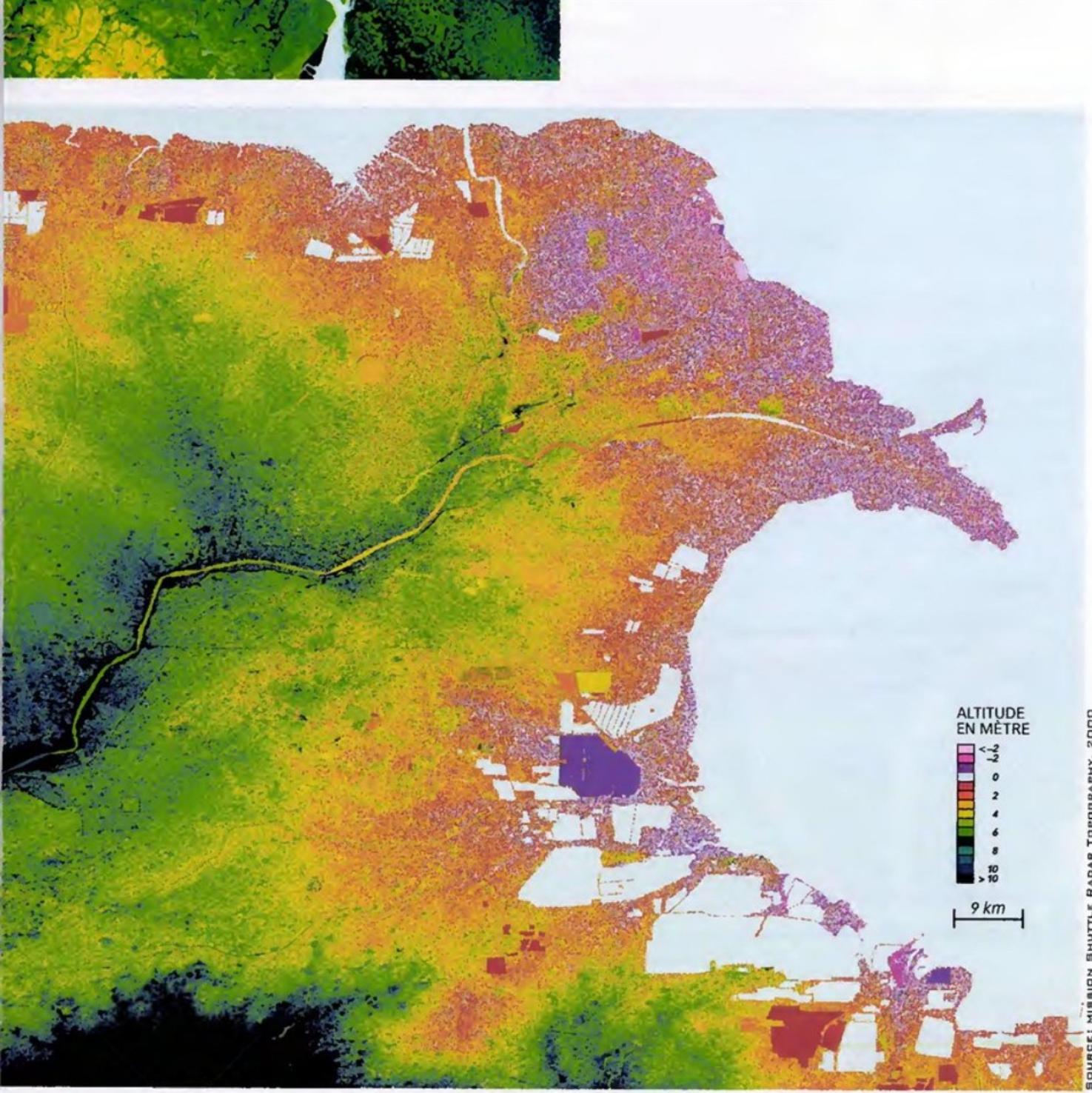


DELTA DU FLEUVE JAUNE

Les digues en ont fait un fleuve suspendu

La mise en place de digues artificielles, pour prévenir les crues dévastatrices du fleuve Jaune, empêche les sédiments transportés par le fleuve de se répandre dans la plaine deltaïque. Celle-ci s'enfonce de 8 à 23 mm par an selon les secteurs. Autre conséquence de l'endiguement: une partie des sédiments se dépose dans le lit du fleuve, ce qui élève son niveau d'année en année. Et impose de surélever toujours plus les digues... De sorte que le fleuve Jaune est devenu sur son cours inférieur une "rivière suspendue". Il coule ainsi jusqu'à 20 mètres au-dessus de la plaine environnante! Cette configuration augmente le risque d'inondation si une digue venait à rompre. 50 millions de personnes vivent sur ce delta.





DELTA DE LA CHAO PHRAYA

Le pompage d'eau douce le fait sombrer

La surexploitation des aquifères sous l'agglomération de Bangkok a causé un enfoncement du delta de 2 m en quarante ans. Dans les années 1980, le taux d'affaissement atteignait 12 cm par an! Des mesures visant à réguler l'exploitation des ressources en eau ont depuis eu pour effet de limiter l'enfoncement à 3 cm par an. Ce delta souffre aussi d'une importante érosion côtière. Dans certaines zones, la mer a fait reculer la côte d'un kilomètre par rapport à sa position de 1970.



▲ L'exploitation des aquifères pour alimenter Bangkok en eau douce fait reculer la côte.



Le bluff de la vidéo surveillance

INSÉCURITÉ

Par François Lassagne

Censées lutter contre la délinquance, les caméras de surveillance prolifèrent dans l'Hexagone. Or, le flot d'images qu'elles diffusent est humainement impossible à regarder ! Et l'analyse automatique reste expérimentale. Mise au point.



Pour faire baisser le taux de criminalité en France, le gouvernement a tranché : la vidéosurveillance se trouve désormais au premier rang des dispositifs à développer pour lutter contre la délinquance. Et les moyens semblent à la hauteur de cette décision puisqu'en 2009, l'essentiel des 37 millions du "Fonds interministériel de prévention de la délinquance" a été dédié à cet arsenal technologique que les Etats plébiscitent de plus en plus, Grande-Bretagne en tête. Avec un objectif concret : tripler dans l'Hexagone le nombre de caméras observant directement la voie publique d'ici à 2011. Sachant que, selon le recensement effectué par le Comité de pilotage stratégique pour le développement de la vidéoprotection, dépendant du ministère de l'Intérieur, ce nombre s'élevait à 22 000 fin 2009 (sans compter les dizaines de milliers de →



> Selon les experts, un observateur ne peut surveiller efficacement que 6 à 8 écrans. En pratique, ce chiffre est toujours très largement dépassé !

→ caméras installées dans les lieux fermés comme les halls de gares, les magasins, les musées...). L'objectif est d'en installer 40 000 en plus. Déjà, les autorisations préfectorales d'installation de caméras sont en forte hausse. Et si Paris donne le la, la préfecture de police prévoyant 1 000 caméras supplémentaires d'ici à 2012, contre 293 aujourd'hui, le mouvement ne concerne pas que les départements urbanisés : le nombre de caméras dans le Doubs a augmenté de 173 % de 2007 à 2009, passant de 487 à 1 331 !

AU MIEUX, 3 % DES IMAGES SONT SURVEILLÉES...

Sauf que cet emballage, au-delà des questions éthiques qu'il peut susciter (voir "Que dit la loi?"), pose une question simple : qui regardera concrètement les images que toutes ces caméras vont produire en masse ? Comment les délits filmés en direct pourront-ils être visionnés et analysés en temps réel,



justifiant dès lors des interventions, sous l'autorité de la commune, de la police ou de la gendarmerie ? La réponse à cette question est non moins simple : la quasi-totalité des images enregistrées ne seront jamais visionnées... faute d'un nombre suffisant de personnes en mesure de suivre leur prolifération. Ironiquement, la vidéosurveillance risque bien d'être laissée sans surveillance ! Surtout que les techniques de reconnaissance automatique des événements sont si peu au point que ce n'est pas demain qu'elles remplaceront l'œil humain. Voilà qui éclaire d'un jour nouveau le débat sur l'efficacité de la vidéosurveillance. D'autant que son effet dissuasif ou son aide à l'élucidation des affaires, via l'enregistrement des images, ne sont pas démontrés (voir encadré p. 87).

Du reste, d'ores et déjà, la plupart des images envoyées dans les salles de contrôle par les caméras filmant la voie publique ne sont pas surveillées. Dominique Legrand, président de l'Association nationale des villes vidéosurveillées, qui rassemble élus, experts et entreprises de vidéosurveillance, le reconnaît : "On sait qu'un œil humain n'appréhende correctement une situation grave que sur 6 ou 8 moniteurs, grand maximum. Dans le cas des villes de plus de 100 000 habitants, qui ont 50, 100, voire 200 caméras, on a en général un ou deux opérateurs. A Lyon, par exemple, il y a 2 opérateurs pour 200 caméras. A Paris, on doit être proche d'un opérateur pour 100 à 150 caméras." Le calcul est ici vite fait : il y a déjà 10 à 20 fois plus d'écrans à surveiller que ce que les opérateurs peuvent faire.

Que dit la loi ?

En France, l'installation de caméras de vidéosurveillance est libre, dès lors que le système ne risque pas de porter atteinte à la vie privée, et à condition que les personnes filmées soient informées. C'est le cas des caméras dans les locaux n'accueillant pas de public (locaux d'entreprise, par exemple) ou celles installées sur la voie publique, mais où les visages sont floutés. Lorsqu'une caméra donne à voir le visage, le responsable doit présenter un dossier à la préfecture, décrivant les lieux, le matériel, et justifiant l'installation. Si les images sont reliées à un fichier (la liste du personnel d'une entreprise...), la décision d'autorisation relève de la Cnil. Les vidéos enregistrées peuvent être conservées, au plus, pendant trente jours. Gendarmes et policiers ont un droit de visionnage des images produites par les collectivités locales. Les enregistrements ne sont mis à disposition de la justice que sur réquisition judiciaire, et deviennent alors des scellés de justice.

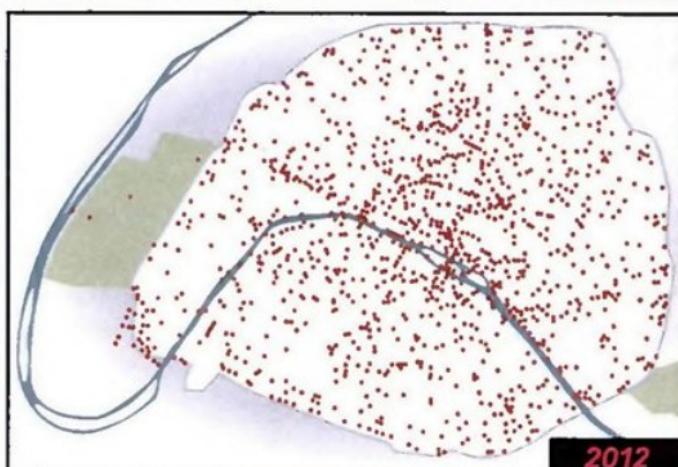


Le grand boum des caméras à Paris

Aujourd'hui, près de 300 caméras de vidéosurveillance sont disséminées dans Paris. Les autorisations préfectorales vont bon train, et c'est quelque 1000 caméras supplémentaires que la préfecture de police prévoit d'installer d'ici à 2012.



2009



2012

Le Royaume-Uni, bastion historique de la vidéosurveillance, n'échappe pas à cette situation un tantinet ubuesque : une étude publiée en 2007 indiquait qu'il y a entre 4 et 30 fois moins d'écrans dans les salles de visionnage que de caméras dans la ville... Estimant qu'un opérateur ne peut efficacement surveiller plus de 4 écrans à la fois, et non 8 comme Dominique Legrand, les auteurs de l'étude estiment qu'en moyenne, pour une installation typique, de celles constatées majoritairement sur le terrain de 100 caméras et trois opérateurs – meilleure que les exemples lyonnais et parisien actuels, donc –, c'est au mieux 3 % des images reçues qui sont surveillées.

30000 OPÉRATEURS POUR ÊTRE EFFICACE !

Et le déséquilibre ne peut que s'aggraver avec la multiplication prévue des caméras. En partant du principe qu'un opérateur ne peut surveiller plus de 8 écrans à la fois, et qu'il faut 6 personnes par poste pour assurer une surveillance 7 jours sur 7, 24 heures sur 24 (en tenant compte des congés, de l'horaire maximum hebdomadaire, etc.), il faudrait alors embaucher environ 30000 opérateurs pour que soient en permanence surveillées les 40000 caméras qui seront installées en France d'ici à 2011. Ce qui n'est pas à l'ordre du jour, tant au niveau de l'Etat que des collectivités locales... Comme l'admet Philippe Melchior, président du Comité de pilotage stratégique pour le développement de la vidéoprotection, "on est devant un problème important d'économie de personnel".

La solution idéale pour palier ce déficit chronique d'yeux aurait été de confier ces avalanches d'images à des machines. L'idée est des plus séduisantes : limiter le nombre d'écrans actifs dans une salle de contrôle à ceux sur lesquels est en train de se produire un événement significatif, celui-ci ayant été étiqueté comme tel par un logiciel d'analyse de flux vidéo en temps réel, l'opérateur n'ayant plus qu'à vérifier si l'événement détecté mérite une alerte. En soi, le principe de l'analyse automatique d'images n'offre pas de vraie complexité. La plupart des systèmes actuellement développés reposent sur la distinction entre l'arrière-plan et les éléments mobiles qui la traversent régulièrement : les logiciels gardent en mémoire l'image qui leur est présentée comme étant la scène de fond (un parking, par exemple), et la comparent avec chaque image nouvellement filmée (l'arrivée d'un véhicule, etc.), les points de l'image qui diffèrent étant assimilés à des objets nouveaux, dont le temps de présence, la trajectoire, la forme ou la couleur peuvent servir à établir des alertes de franchissement (par exemple, tel objet de telle forme n'a pas le droit de se trouver dans telle zone de la →



→ scène de fond), à comptabiliser un nombre de passages, à suivre la trajectoire d'un ou plusieurs objets, etc.

Dans le principe, c'est l'idéal. Et cela fonctionne même plutôt bien... dans certains cas. Ainsi la détection automatique d'incident (DAI) est-elle efficace, notamment dans les tunnels routiers. Un véhicule sur une voie d'arrêt d'urgence, un départ d'incendie... peuvent être automatiquement détectés par une caméra sans trop de difficulté. Mais les scènes de la vie quotidienne sont autrement plus compliquées. "La vidéosurveillance intelligente, c'est LE challenge en 2010!", s'exclame d'ailleurs Dominique Legrand. Sauf qu'on est très en retard, par rapport à la DAI. Car il faut décrire en termes informatiques ce qu'il faut détecter. Or, la question se résume, pour aller vite, à 'c'est quoi un méchant, dans la rue?' Voilà qui est très difficile à couper sur papier!"

DES SYSTÈMES AUTOMATIQUES BIAISÉS

Le projet VANAHEIM, financé par la Commission européenne, doit notamment donner d'ici quatre ans aux responsables des métros parisien et turinois de nouveaux moyens d'analyse automatique des images captées par leurs réseaux de vidéosurveillance. Jean-Marc Odobez, spécialiste de la vision artificielle à l'institut de recherche IDIAP et impliqué dans ce projet, reconnaît la difficulté de la tâche: "On arrive vite à de très hauts niveaux d'abstraction dans les algorithmes, pour réussir à repérer et suivre les différents objets et savoir ce qu'il faut induire d'une scène, explique-t-il. Remettre à jour

l'image de fond est déjà un problème difficile, notamment en extérieur où la lumière change beaucoup et où des objets peuvent stationner de manière prolongée dans la scène. Dans les espaces intérieurs comme le métro, l'image du fond est en principe plus stable, mais la forte densité de personnes et son occultation permanente rend la distinction automatique entre individus quasiment impossible."

Une autre difficulté provient de la variété infinie des mouvements qu'il faut analyser. "En 2003, on avait installé un système pendant une semaine dans le métro de Barcelone, relate François Brémond, responsable du groupe "Compréhension de scène" du projet Pulsar à l'Institut national de recherche en informatique appliquée (Inria). Globalement, les résultats étaient satisfaisants, mais uniquement dans certaines conditions. Ainsi, on arrivait à détecter les gens qui sautaient par-dessus la barrière de validation, mais seulement

Gare au gorille !

J.-M. ODOBEZ/IDIAP - COURTESY D. SIMONS - DVD VISCIG PRODUCTIONS

Une expérience célèbre, réalisée en 1999 (1), a montré qu'un phénomène baptisé "aveuglement au changement" peut perturber la lecture de séquences vidéo: censés compter les passes d'une équipe de basket en maillots blancs, les sujets de l'étude

ne virent pas un homme déguisé en gorille passer au milieu des joueurs. Focalisés sur un détail – ici, les maillots blancs –, nous ne percevons pas certains événements, aussi aberrants soient-ils, d'autant plus qu'ils sont brefs. Comme le souligne Kenneth

Scott-Brow, spécialiste à l'université d'Abertay (Ecosse), "les systèmes de vidéosurveillance basculent d'une source d'image à une autre en un clin d'œil: un environnement parfait pour l'aveuglement au changement!"

(1) Simon D.J., Chabris C.F. et doi. 10.1068/p2952.





La détection automatique

Le futur projet VANAHEIM des métros de Paris et de Turin utilise trois techniques d'analyse automatique des images. A g., la "soustraction" détecte les zones mobiles d'une scène : les pixels de l'image sont comparés à un modèle sans "objet" de la même scène. En reliant les localisations de personnes, le "suivi" (au centre) établit les trajectoires individuelles. La reconnaissance des individus en temps réel (ci-dessus) s'appuie sur un modèle informatique basé sur de nombreuses images de l'apparence d'une personne.

pour certaines manières de sauter et si la personne était seule. Car en amont, le système est 'entraîné' à reconnaître des comportements spécifiques que l'on a demandés à des acteurs de jouer. Et c'est un biais : il suffit que quelqu'un saute la barrière d'une autre manière et il n'est pas détecté.' Une faiblesse propre à tous les systèmes de détection automatique actuels, qui fait dire à Jean Cueugniot, du Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGIET), qui suit de près les évolutions de la vidéosurveillance, que *'pour l'instant, la vidéosurveillance intelligente en est, au mieux, au stade de l'expérimentation'*.

Comment remédier alors au paradoxe de la vidéosurveillance ? Au Royaume-Uni, la société Internet Eyes propose une solution pour le moins radicale : diffuser sur Internet en temps réel les images produites par les caméras et demander aux internautes de cliquer aussitôt qu'un

L'efficacité des caméras en question

Empêcher les accidents, retrouver les auteurs de crimes ou de délits : la vidéosurveillance, dans les lieux publics, remplit-elle ces objectifs ? Le rapport publié par le ministère de l'Intérieur en juillet 2009, intitulé "Sur l'efficacité de la vidéoprotection", conclut que *"la délinquance a baissé en moyenne plus fortement dans des communes équipées de vidéoprotection que dans celles qui ne disposent pas de vidéoprotection urbaine"*, et que *"le taux d'élucidation global ne progresse significativement que dans les villes où une forte densité de caméras a été installée"*. Mais ce bilan positif est remis en cause par le sociologue Tanguy Le Goff et Eric Heilmann, maître de conférence à l'université de Dijon. Quand le rapport affirme que *"l'évolution [des atteintes aux biens] est mieux maîtrisée dans les zones ayant une densité de caméras comprise entre une pour 1000 à 2000 habitants que dans celles où la densité est inférieure"*, les chercheurs s'interrogent : *"Comment expliquer que dans les zones où la densité de caméras est plus importante, le nombre des atteintes aux personnes y soit nettement supérieur ? Tout simplement parce qu'il n'y a pas de corrélation systématique entre la densité de caméras et leurs supposés effets préventifs."* Et de conclure que, à bien lire le rapport, *"l'efficacité préventive de la vidéosurveillance est bien mince et son aide à l'élucidation marginale"*.

événement mérite d'être signalé. Avec même, pour les meilleurs "surveillants", un lot d'environ 1 000 euros à se partager chaque mois. D'après la société, qui revendique déjà quelques milliers d'abonnements, cette technologie, elle, est au point. Oui, mais face au tollé des associations de défense des libertés et à la difficulté des concepteurs de ce "Big Brother" grandeur nature de se conformer à la loi, notamment sur le respect de l'anonymat des personnes filmées, il est probable que l'initiative fera long feu. Elle illustre cependant l'impasse dans lequel s'enfonce la vidéosurveillance : des dizaines de milliers de caméras filmeront bientôt la voie publique en temps réel, mais personne ne sera devant les écrans pour surveiller ces images... ■



< Alors qu'ils devaient se focaliser sur les maillots blancs de gens jouant au basket, les sujets d'une étude n'ont pas vu qu'un homme déguisé en gorille s'était invité dans le film...

Depuis le début du xx^e siècle, on sait que la plupart des systèmes dynamiques complexes sont gouvernés par le chaos : il est intrinsèquement impossible de prévoir leur devenir. Deux jeunes mathématiciens viennent de prouver que cette réalité s'applique même au système dynamique le plus simple que l'on puisse imaginer ! Démontrant que le chaos est la règle. Ce qui complique singulièrement le travail des physiciens...

Le Chaos est finalement partout !

Par Mathieu Grousson

“Il existe des ensembles de Julia d’aire strictement positive.” Après plusieurs années de vérification, la démonstration de ce théorème par Xavier Buff et Arnaud Chéritat, tous deux à l’Institut de mathématiques de Toulouse, vient d’être acceptée pour publication définitive. C’est donc désormais une chose avérée : il existe bien des ensembles de Julia d’aire strictement positive...

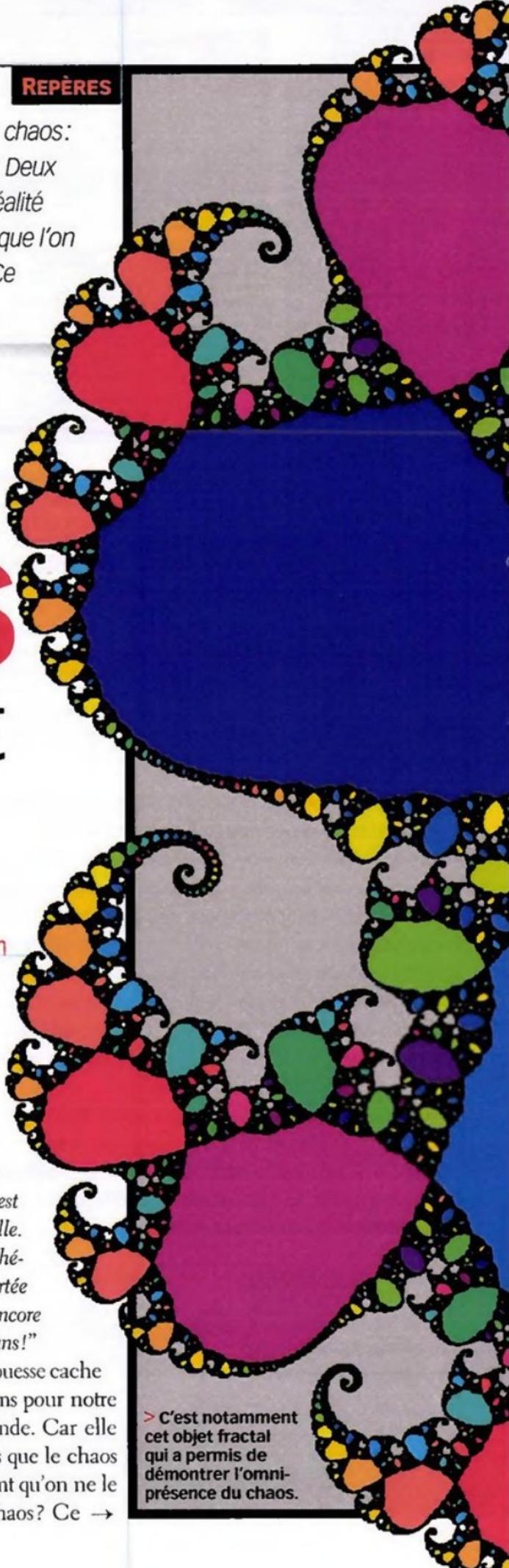
Pour le profane, ces quelques mots ne signifient rien. Mais pour l’expert, ils mettent un terme à une conjecture qui, depuis quatre-vingt-dix ans, tenait en haleine les spécialistes des fractales et du chaos. Au point que Benoît Mandelbrot, célèbre pour avoir remis cette branche des mathématiques au goût du jour, s’avoue lui-même “enchanté par

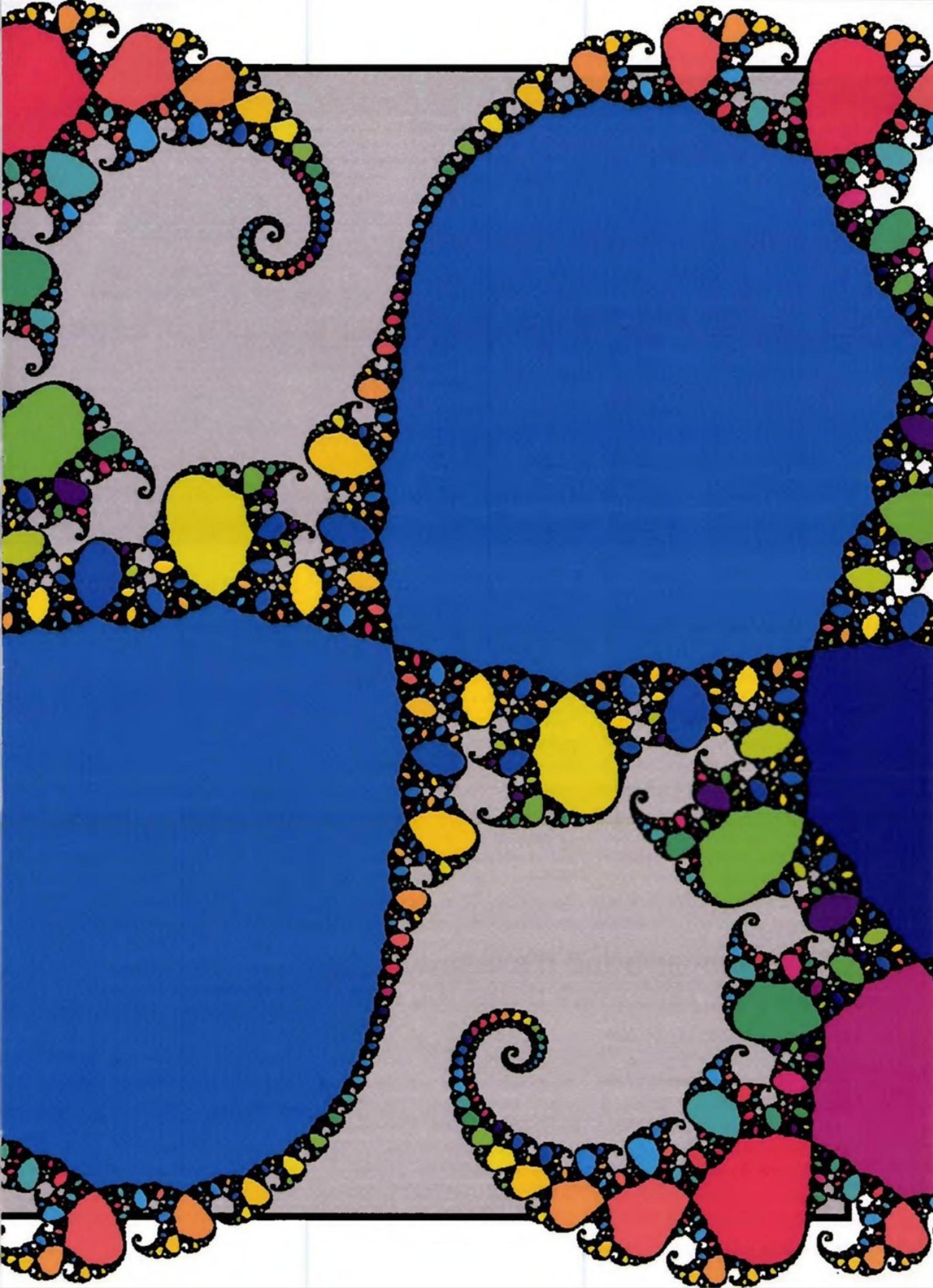
le résultat obtenu par ces deux mathématiciens”.

Ce à quoi John Hubbard, professeur à l’université Cornell et à celle de Provence, ajoute : “La démonstration de Buff et Chéritat est tout à fait exceptionnelle. C’est un tour de force phénoménal quant à sa portée et sa technicité. Ce sera encore une référence dans cent ans !”

Il faut dire que cette prouesse cache de profondes implications pour notre compréhension du monde. Car elle signifie ni plus ni moins que le chaos est beaucoup plus présent qu’on ne le pensait jusqu’ici ! Le chaos ? Ce →

> C'est notamment cet objet fractal qui a permis de démontrer l'omniprésence du chaos.





Les conquérants du chaos



< H. POINCARÉ

Dès la fin du xixe siècle, il comprend que l'évolution de la plupart des systèmes dynamiques réels est fondamentalement instable. Et il introduit une méthode fondée sur l'itération de fonctions pour étudier qualitativement leur devenir flou.



P. FATOU ▲ ET G. JULIA ▶

Dans les années 1910, ces deux chercheurs s'intéressent, indépendamment, à l'itération de fonctions très simples. Découvrant un comportement à la complexité inouïe, ils sont conduits à se poser la question de la place du chaos dans ces systèmes.



B. MANDELBROT ▲

Mathématicien touche à tout, il relance l'étude des systèmes dynamiques itératifs à la fin des années 1970. Il popularise ainsi le concept du chaos grâce à ses images d'objets fractals réalisées par micro-ordinateur.

→ terme désigne la tendance d'un système physique à évoluer de façon radicalement différente, pour peu que soient substitués aux conditions initiales d'autres paramètres, aussi proches soient-ils des premières. Et cette caractéristique, baptisée "sensibilité aux conditions initiales", ruine définitivement la possibilité de prédire le comportement à long terme de tels systèmes... Que la preuve soit aujourd'hui faite que ce chaos n'est pas exceptionnel complique donc singulièrement le travail des physiciens...

Certes, ces derniers avaient depuis longtemps conscience de l'existence

paramètres sont susceptibles de faire varier... Or, le théorème de Buff et Chéritat se penche sur un système autrement plus simple. Et il démontre que le chaos n'a pas besoin de complexité pour prendre une place importante! "Avec ce nouveau théorème, le chaos gagne clairement du terrain", résume Jean-Christophe Yoccoz, lauréat de la médaille Fields 1994, l'équivalent du Prix Nobel en mathématiques.

Pour saisir ce lien, il faut pénétrer plus avant dans la spécialité des deux Toulousains. En l'occurrence, l'étude des systèmes dynamiques dits itératifs, une branche des mathématiques qui

$(3^2 = 9 ; 9^2 = 81 ; 81^2 = 6561 \dots)$; à l'inverse, si le nombre de départ est inférieur à 1, la suite tend vers la valeur 0 ($0.9^2 = 0.81 ; 0.81^2 = 0.6561 \dots$).

NOMBRES RÉELS ET COMPLEXES

Mais cet exemple n'intéresse pas beaucoup les mathématiciens. En effet, même si la valeur 1 est singulière, puisque deux nombres qui se trouvent de part et d'autre de cette frontière engendrent deux itérations divergentes (l'une fonçant vers zéro, tandis que l'autre file à l'infini), il suffit de savoir si le nombre de départ est supérieur ou inférieur à cette valeur pour connaître le devenir de l'itération. En ce sens, le système n'est pas chaotique.

En pratique, pour débusquer le chaos, les spécialistes des systèmes dynamiques itératifs ne s'intéressent pas aux cas où les valeurs de départ sont des nombres réels, mais des nombres complexes. Au lieu d'être simplement alignés sur une droite, comme les nombres réels, ces derniers couvrent tout le plan. Le principe, lui, reste le même: regarder le comportement des itérations successives suivant les valeurs que l'on intègre

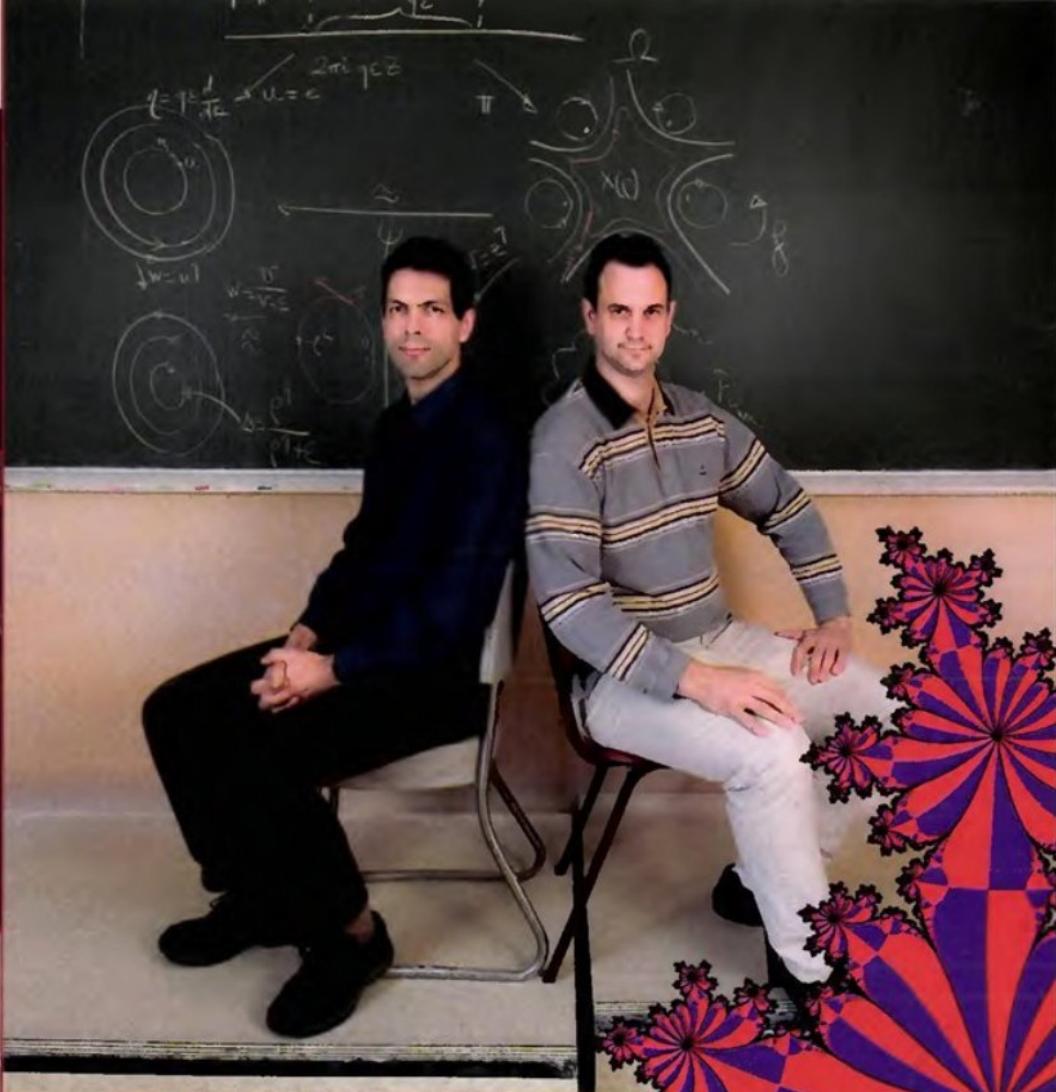
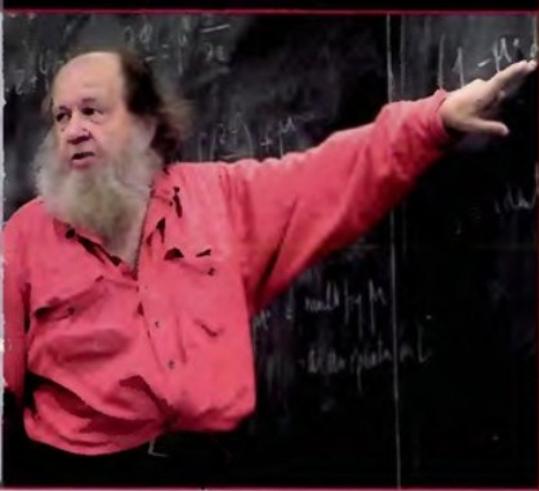
"Une démonstration d'exception, qui restera une référence dans 100 ans!"

de ce chaos: dès la fin du xixe siècle, Henri Poincaré avait pressenti que le système solaire recelait cette instabilité intrinsèque qui, depuis, a été mise en évidence dans de nombreux autres systèmes, comme la météorologie ou l'écoulement des fluides. Mais cela n'était guère surprenant: il s'agit là de multiples

systèmes complexes que de multiples

V A. DOUADY

Dans les années 1980, le système dynamique itératif le plus simple est censé n'être chaotique qu'exceptionnellement. Ce mathématicien entend démontrer le contraire. La conjecture de Fatou et Julia devient l'une des plus importantes du domaine.



A. CHÉRITAT ET X. BUFF

En s'inspirant d'Adrien Douady, leur ancien directeur de thèse, ils démontrent que le chaos est omniprésent dans les systèmes dynamiques. Un véritable tour de force!

au départ dans la fonction, puis étudier les zones frontières autour desquelles les éclans se renversent brusquement. Et ce passage des réels aux complexes rend les calculs bien plus intéressants. Le cas le plus emblématique, parce que le plus simple à présenter un comportement qui ne soit pas élémentaire, fut étudié dès les années 1910 par Pierre Fatou et Gaston Julia: indépendamment l'un de l'autre, ces deux Français étudièrent le comportement itératif de la fonction consistant à éléver un nombre complexe au carré et à lui ajouter une constante donnée. Pour chaque point d'un plan, représenté par un nombre complexe, il s'agissait de regarder si les itérations successives conduisent à des valeurs infinies, ou restent cantonnées dans une zone restreinte. But de la manœuvre: caractériser les frontières qui séparent ces zones où les calculs sont emportés vers des directions opposées.

Le résultat? D'abord, la forme de ces frontières varie suivant la valeur de la constante choisie pour la fonction d'itération – il en existe une infinité. Mais là n'est pas le plus spectaculaire. Car la frontière entre zones aux

comportements antagonistes n'a ici rien d'une simple courbe, même sinuose: elle est constituée d'un enchevêtement de lignes ramifiées et bourgeonnantes lui donnant l'allure d'une dentelle inouïe dont les détails recèlent toujours plus de complexité. En un mot, cette frontière est un objet fractal.

POINTS D'INSTABILITÉ

Ainsi, la situation n'a plus rien à voir avec l'exemple précédent où seul le nombre 1 représentait un point de bifurcation. Désormais, dans le voisinage de la frontière, il est impossible de séparer clairement les points menant à des valeurs itératives finies de ceux menant à l'infini: le chaos s'installe. Cet ensemble de points, appelé "ensemble de Julia" de la →





→ fonction, celui-là même dont il est question

dans le nouveau théorème de Buff et Chéritat, représente ainsi les points d'instabilité du système, les conditions où son devenir est sensible à une infime variation des paramètres de départ.

“L’ensemble de Julia est tout simplement l’ensemble des points pour lesquels le système présente un comportement chaotique”, résume Arnaud Chéritat.

A l’époque de Fatou et Julia, l’étude

La preuve par les “ensembles de Julia”

La première étape de la démonstration de Buff et Chéritat consiste à partir d’un ensemble de Julia d’aire nulle (les plus nombreux). En clair, le tracé comme celui représenté en noir sur la figure 1. Il s’agit alors de construire une succession d’ensembles de Julia où chaque nouvelle étape résulte d’une déformation de la précédente, de sorte que, lorsque le nombre d’étapes tend vers l’infini, émerge un ensemble d’aire strictement positive. Les figures 2 et 3 montrent deux de ces étapes. Sur la première, l’ensemble initial est désormais criblé de sillons qui rognent des points de l’espace intérieur. Sur la suivante, l’ensemble exhibe une dentelle de plus en plus complexe, qui paraît pleine là où elle est la plus fine. Les étapes suivantes, non représentées, conduiront vers de nouveaux ensembles grignotant de la surface dans les parties en forme de fleurs. Jusqu’à ce que la dentelle couvre quasiment tout l’espace intérieur. Au point de posséder une aire.

des points constituant cette frontière. Autrement dit: quelle est l’aire de l’ensemble de Julia?

Cette question revient à évaluer la place du chaos dans ce système dynamique. En effet, si tous les ensembles de Julia ont une aire strictement nulle, cela signifie qu’en choisissant un point au hasard sur le plan, la probabilité de tomber sur la courbe, et donc de se retrouver face à une dynamique chaotique, est égale à... zéro! A l’inverse, si certains ensembles possèdent une aire, l’occurrence du chaos cesse d’être nulle.

La question a cependant de quoi surprendre puisqu’une frontière, même ramifiée à l’extrême, n’est qu’un enchevêtrement de lignes qui ont, par définition, une épaisseur

sait par quel bout la prendre sans être écrasé par une avalanche de calculs. John Hubbard s’en amuse: “*Lars Ahlfors, premier lauréat de la médaille Fields, en 1936, me confia que cela lui avait semblé être la ‘fosse à purin’ des mathématiques!*”

LES FRACTALES AU GOÛT DU JOUR

Il faut attendre le début des années 1980 pour que la situation commence à se débloquer. Les micro-ordinateurs personnels permettent maintenant de dessiner les ensembles de Julia avec précision. Et Benoît Mandelbrot y voit l’une des plus belles illustrations de l’universalité de ses fractales, qu’il s’attache alors à repérer dans tous les domaines mathématiques et physiques. Avec les outils forgés par le fondateur de cette nouvelle géométrie, et sous l’impulsion d’autres mathématiciens tels Adrien Douady, professeur à l’université d’Orsay, ou John Hubbard, son élève, l’intérêt pour le domaine explose.

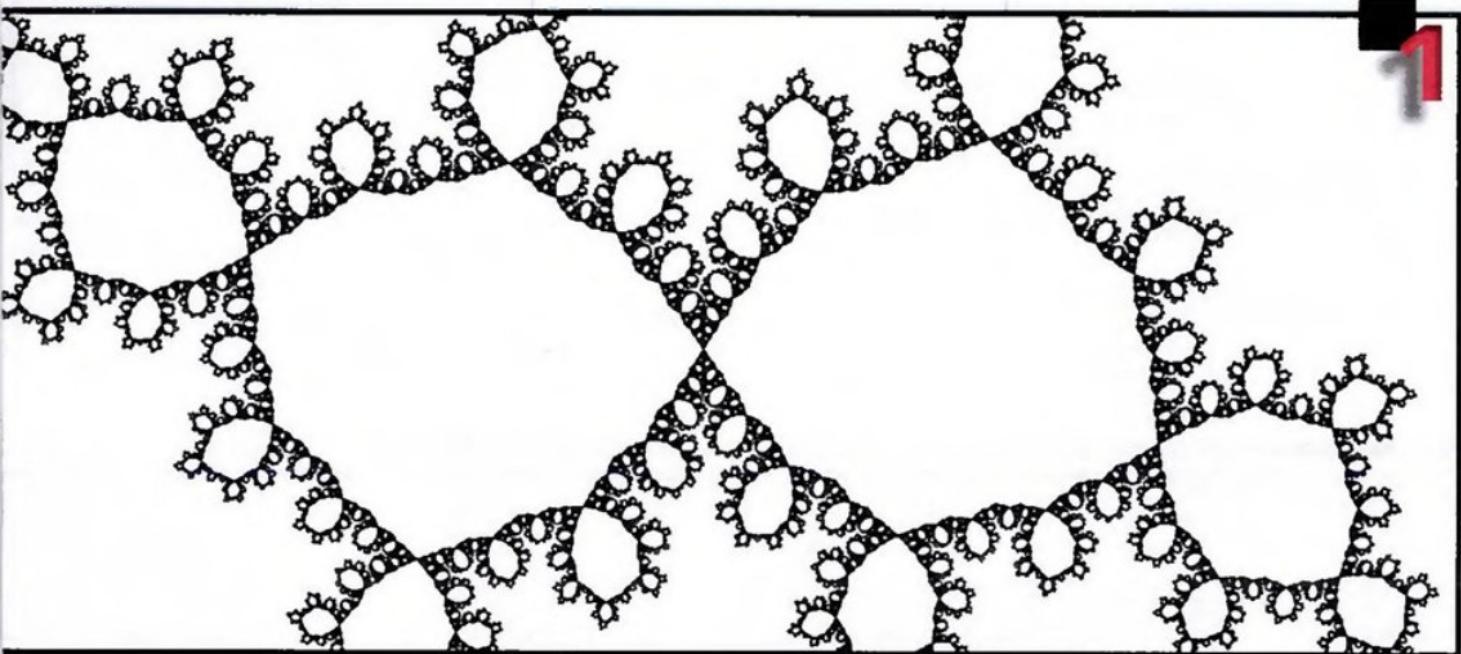
Dans cet engouement pour les fractales et les systèmes dynamiques itératifs, la question de Fatou apparaît centrale. Ces dessins qui émergent du plan ont-ils, oui ou non, une aire? Le chaos a-t-il des chances de se développer même dans un système aussi élémentaire? Jusque-là, tous les ensembles de Julia se sont révélés d’aire nulle, mais →

Au cœur du problème: savoir si une courbe peut avoir une aire non nulle

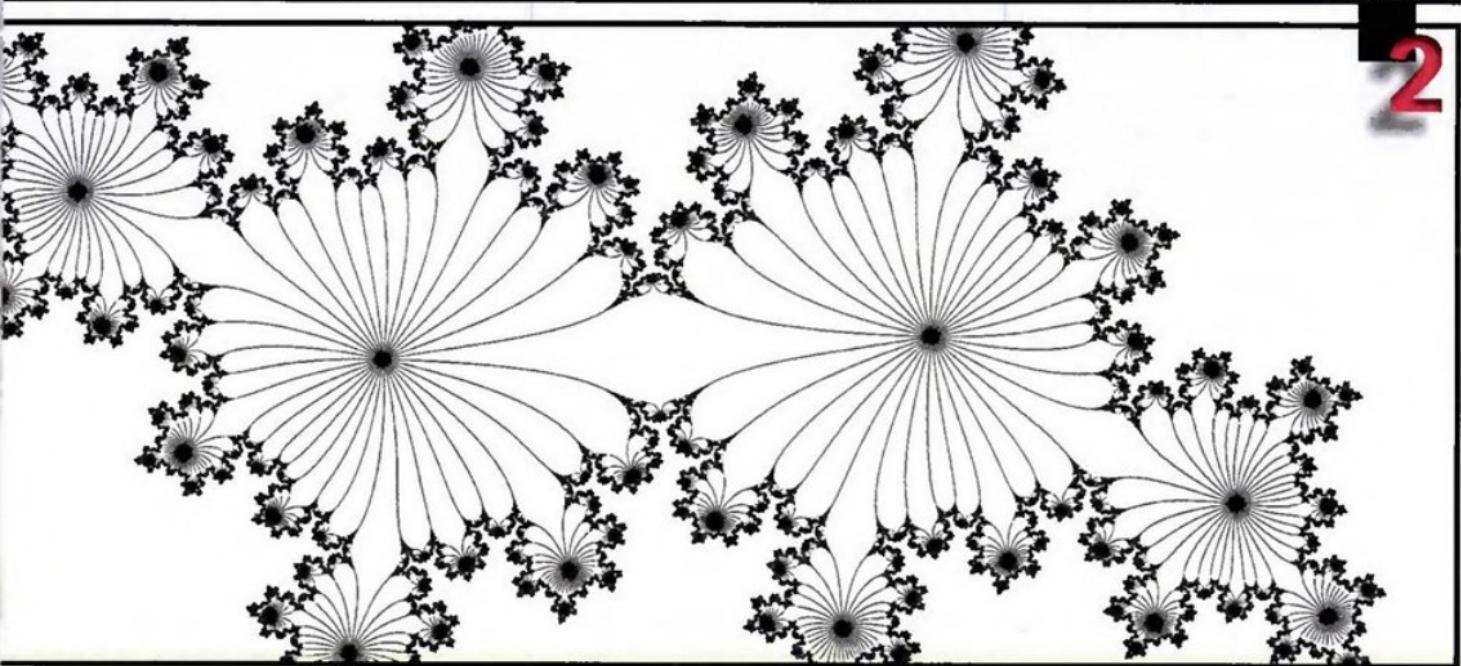
de tels ensembles s’avère cependant inextricable tant les moyens pour se les représenter font défaut. Les deux mathématiciens sont, par ailleurs, plus intéressés par des questions de géométrie que de dynamique – le mot “chaos” n’est alors pas encore prononcé dans ce contexte. Pour autant, Pierre Fatou, dans les années 1920, se pose la bonne question: il se demande quelle est la place occupée par l’ensemble

nulle: comment pourrait-elle acquérir une surface? Mais les systèmes dynamiques itératifs génèrent des formes qui n’ont plus grand-chose à voir avec les figures de la géométrie classique: qui veut pénétrer dans les méandres de ce nouveau domaine doit laisser de côté les confortables certitudes léguées par Euclide et ses successeurs.

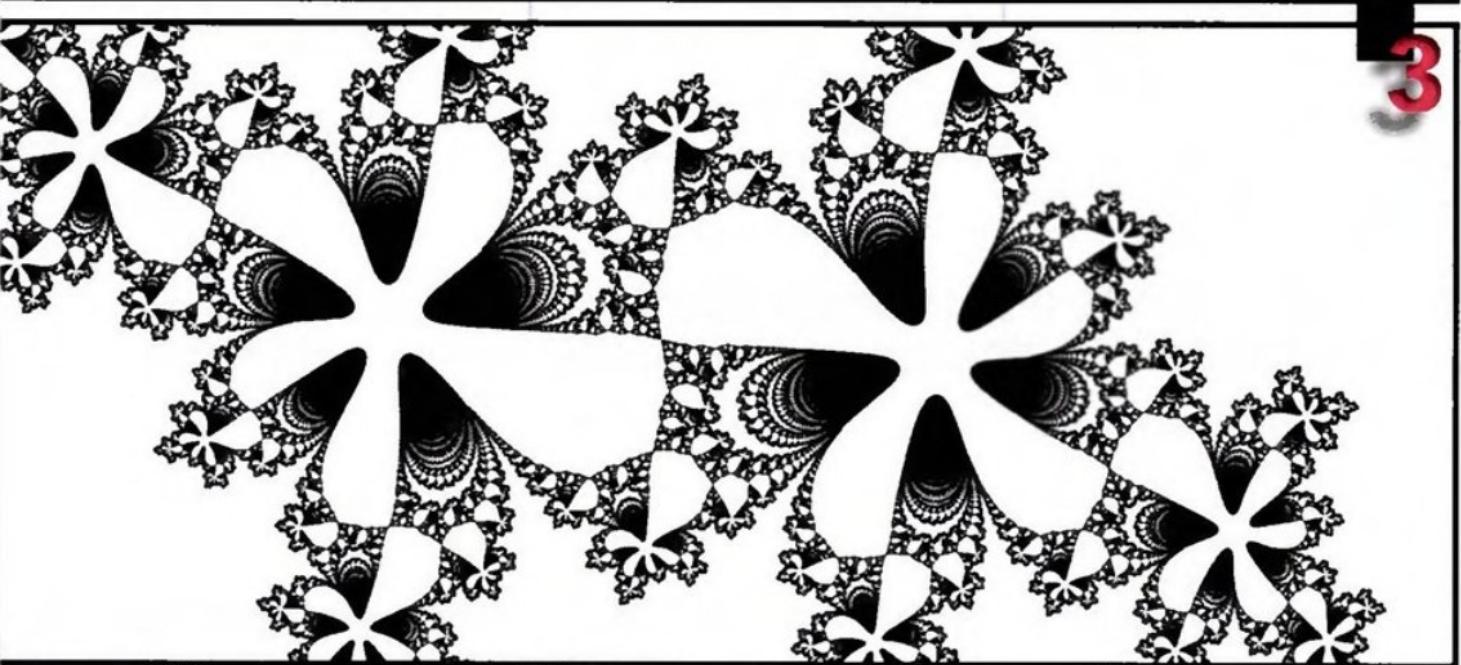
Durant cinquante ans, la question n’avance d’ailleurs guère. Personne ne



1



2



3

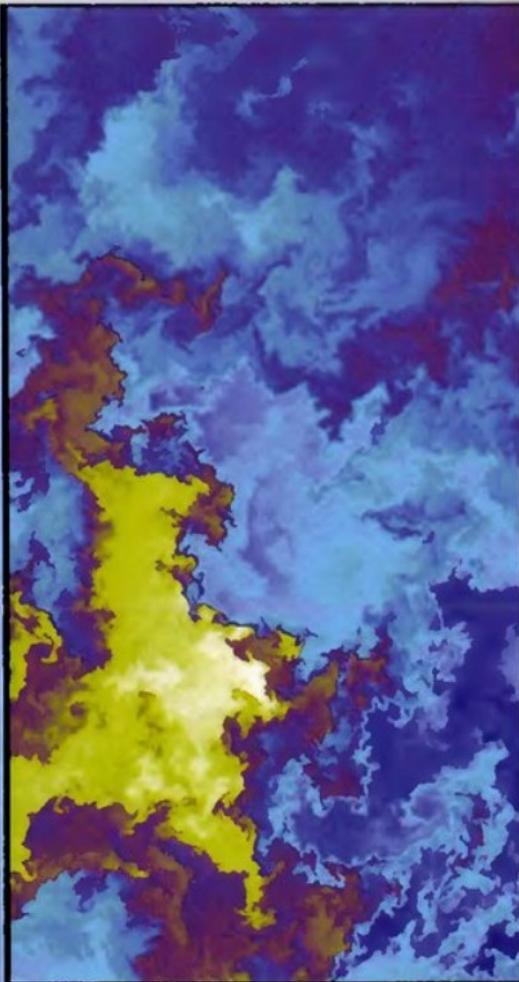
LE CHAOS RUINE LES PRÉDICTIONS

Quelle est loin l'époque où Pierre-Simon Laplace, en 1812, affirmait qu'il suffirait de connaître la position de toutes les particules de l'Univers, et les forces qui les animent à un instant donné, pour prédire le futur sans la moindre ambiguïté... Depuis, les physiciens ont admis qu'il est intrinsèquement impossible de prédire le devenir de la plupart des systèmes dynamiques. Prenons l'exemple de la météo: plus ses prédictions sont à

long terme, moins elles sont fiables! Une réalité qui vaut pour tous les systèmes complexes constitués d'un nombre innombrable de particules – gaz, liquides, plasmas –, soumis à d'incessants mouvements turbulents. Mais pas seulement: des systèmes plus simples peuvent eux aussi être le jouet du chaos. En 1989, le Français Jacques Laskar a

montré qu'au-delà de 100 millions d'années, le devenir du système solaire est intrinsèquement insondable. Et dernièrement, le Japonais Makoto Hosada a prouvé qu'il suffisait de mettre en regard deux circuits électriques circulaires pour que le champ magnétique engendré par le courant qui les traverse exhibe une géométrie quasi aléatoire.

> La dilution d'un produit dans une eau turbulente est chaotique: impossible d'obtenir deux fois le même dessin des zones de forte concentration (jaune) et de faible concentration (bleu).



→ comment savoir s'il n'en existe pas certains, correspondant à des constantes spécifiques de la fonction à itérer, qui couvrent une véritable surface?

Jusqu'au début des années 1990, la majorité des spécialistes penchent pour la négative: tous les ensembles de Julia auraient une aire nulle. Mais Adrien Douady n'est pas de cet avis. Et ce mathématicien de premier ordre a même l'intuition d'une méthode susceptible de prouver qu'il existe des ensembles d'aire strictement positive: à partir d'un cas particulier d'aire nulle, il imagine le déformer petit à petit, de telle sorte que sa structure, représentant à chaque étape un nouvel ensemble de Julia, devienne

pp. 92-93). Et même s'il n'en donne pas la preuve formelle, le chercheur fait bouger les lignes. Comme le souligne Jean-Christophe Yoccoz: "Au début des années 1990, les gens pensaient que l'on ne trouverait pas d'ensemble de Julia avec une aire. Puis vers la fin de la décennie, c'est devenu 50-50."

"ORFÈVRERIE MATHÉMATIQUE"

Adrien Douady lance alors ses étudiants successifs à l'assaut de cette forteresse. Xavier Buff est l'un d'eux. "Au moment où je travaillais à ma thèse, un mathématicien hollandais a proposé une démonstration de la conjecture de Fatou. Or, en 1996, deux semaines avant ma

pas finie. Mais j'apporte suffisamment d'indices pour convaincre Adrien que sa stratégie devrait être gagnante."

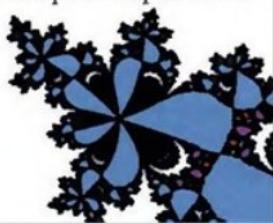
Si bien qu'une fois installés à Toulouse, les deux anciens thésards acquièrent rapidement la conviction que toutes les pièces du puzzle sont désormais entre leurs mains, mais ils ne savent pas encore comment les assembler. Le salut survient par hasard, alors que les deux collègues prennent connaissance d'une conférence donnée en 2003 par Mitsuhiro Shishikura, spécialiste des systèmes dynamiques à l'université de Kyoto. "Ce mathématicien proposait un nouvel outil d'analyse dont nous avons tout de suite compris qu'il était la solution à nos problèmes, raconte Xavier Buff. Cela dit, il nous a fallu encore plusieurs années pour apprendre à nous en servir!"

De fait, ce n'est qu'en 2005 que la démonstration est enfin prête. Impossible à appréhender pour un profane, elle utilise les armes les plus en pointe d'un domaine appelé "analyse complexe", où

Prochain défi? Mettre bon ordre au chaos que cet exploit mathématique a semé

à ce point ramifiée et complexe qu'elle finisse, hypothétiquement, par acquérir une aire. Ce plan de démonstration, extraordinairement difficile à déployer, revient un peu à tracer de nouvelles lignes à l'intérieur du dessin jusqu'à ce qu'il soit totalement noir (voir

soutenance, j'ai trouvé une faille dans cette preuve, qui s'est alors écroulée tel un château de cartes." A sa suite, Arnaud Chéritat reprend le combat: "Adrien Douady m'a lancé sur son plan de démonstration en 1998. Lorsque je soutiens ma thèse, en 2001, elle n'est





> EN SAVOIR PLUS

Chaos, systèmes dynamiques, éléments pour une épistémologie, collectif, Hermann, 2007.

John Hubbard, qui fut son premier élève. *Au moins a-t-il vécu assez longtemps pour savoir que le théorème était démontré. Et avoir une idée du comment... ”*

Les mathématiciens en ont-ils pour autant fini avec les ensembles de Julia, et plus généralement, avec la question du chaos dans les systèmes dynamiques ? Loin s'en faut ! Comme le reconnaît Xavier Buff, “nous avons obtenu une preuve de l'existence de tels ensembles, mais nous ne savons pas combien il y en a ni comment en construire un explicitement”. Jean-Christophe Yoccoz, lui aussi, souligne l'ampleur des travaux qu'il reste à mener : “La conjecture résolue par Buff et Chéritat est liée à d'autres problèmes toujours ouverts. Or la réponse qu'ils apportent laisse penser que nous ne pourrons pas nous y attaquer par le chemin le plus direct. En un certain sens, ils nous mettent des bâtons dans les roues. Mais rendent aussi la situation plus intéressante.”

On le croit sur parole ! Il a fallu neuf décennies pour que les mathématiciens accordent au chaos toute la place qu'il mérite. Gageons qu'il en faudra encore de nombreuses avant qu'ils jugent y avoir mis suffisamment d'ordre... ■

règnent des fonctions déformables par un jeu subtil de symétries. Comme le reconnaît Xavier Buff, “c'est un peu de l'orfèvrerie mathématique !”

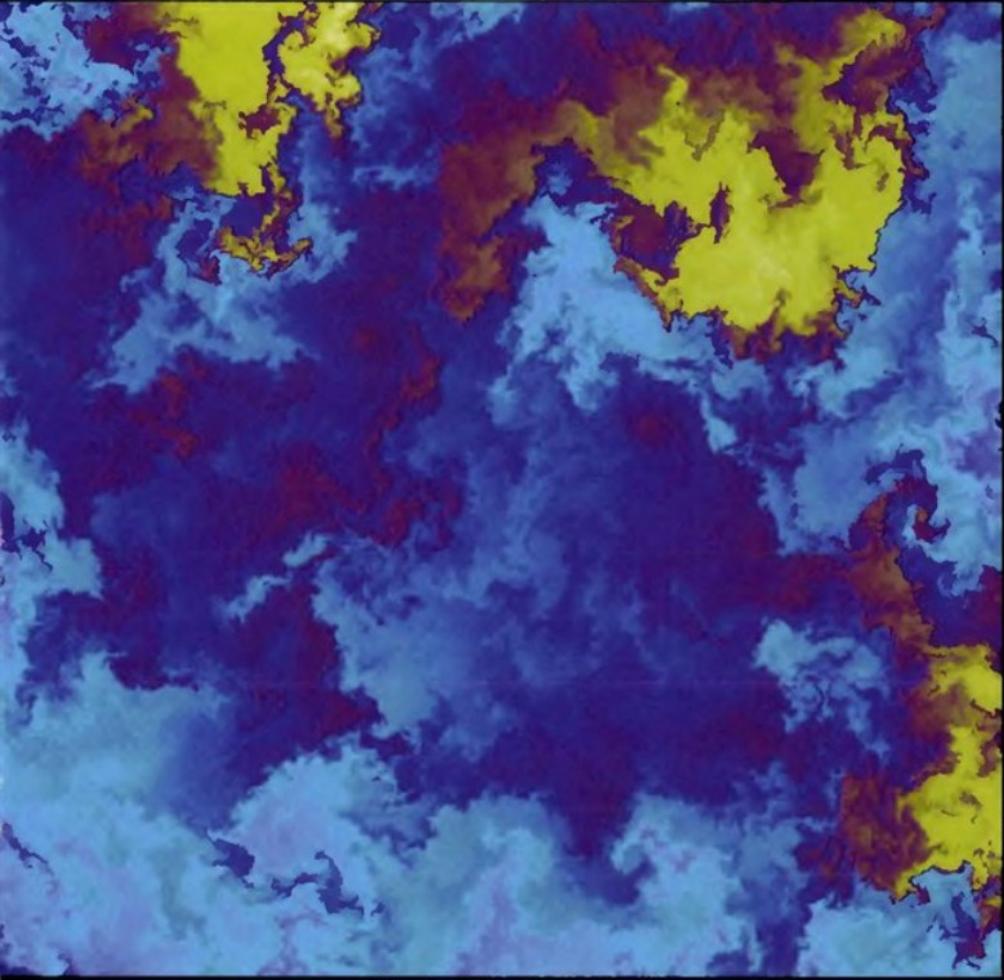
Présentées à la communauté, leurs 60 pages serrées passent alors à la moulinette de plusieurs cerveaux experts qui vont mettre plusieurs années avant de rendre leur verdict. Lequel vient donc de tomber : la conjecture énoncée par Fatou quatre-vingt-dix ans auparavant doit désormais être considérée comme une vérité incontestable. Un théorème que les deux Toulousains sont invités à présenter au Congrès international des mathématiques, en août prochain.

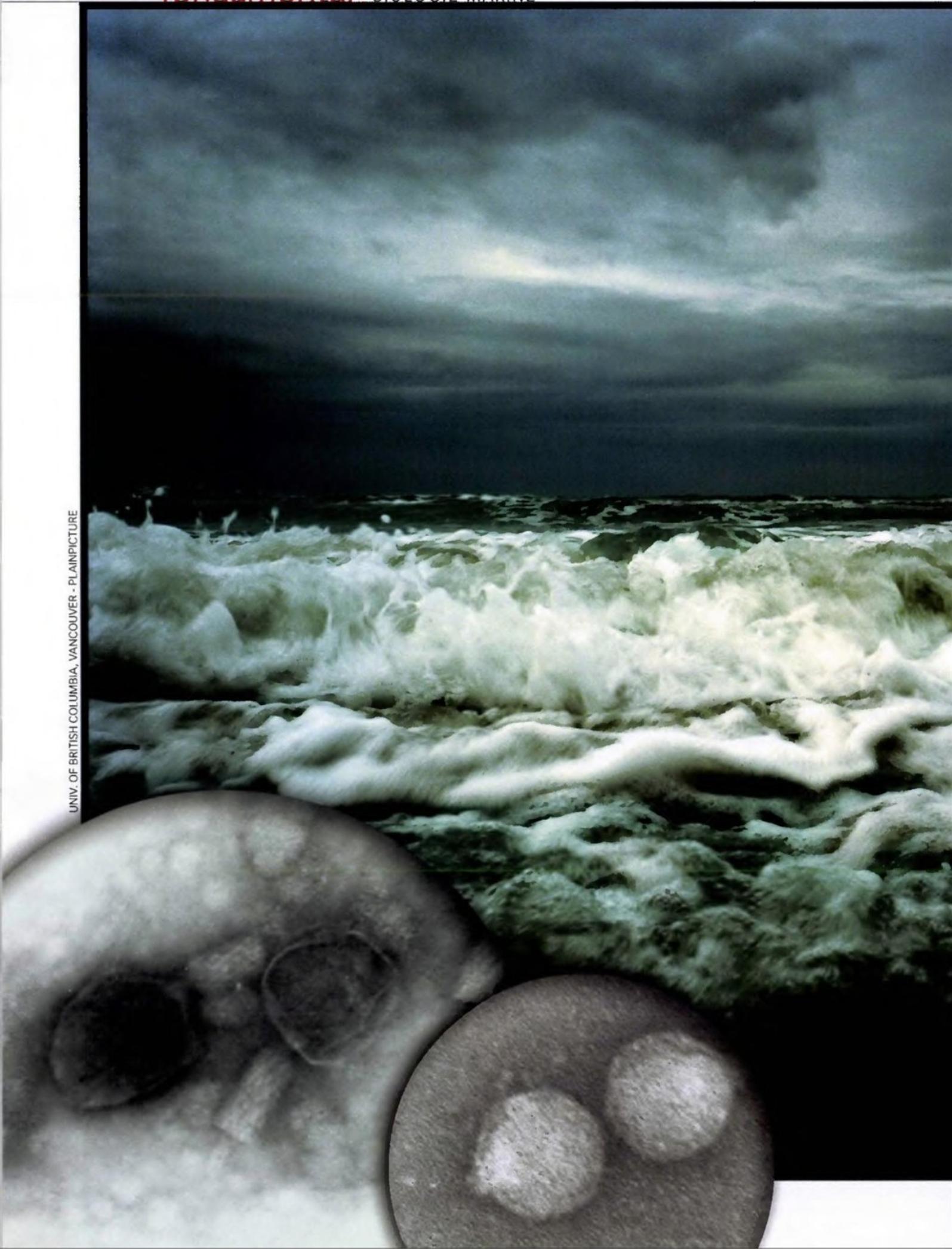
Même si cela reste difficile à imaginer, force est donc d'admettre qu'il existe des ensembles de Julia qui possèdent un tel luxe d'ornements à toutes les échelles qu'ils finissent par recouvrir une portion de

surface non négligeable. Et cela implique que les systèmes associés possèdent une probabilité significative d'adopter un comportement chaotique. Telle est la leçon de ce théorème : même le système le plus simple peut présenter une évolution imprévisible, semblant faire du chaos l'essence même de toute dynamique. John Hubbard est admiratif : “Si on a la possibilité d'assister à deux moments comme celui-ci dans une carrière, c'est fantastique !”

DOUADY SERA MORT TROP TÔT...

Sa joie est néanmoins largement tempérée par le décès accidentel de Douady, en 2006, à qui la démonstration est dédiée. “J'aurais aimé évoquer en détail la démonstration avec Adrien, explique





REPÈRES

Inconnus il y a vingt ans, les virus marins apparaissent aujourd’hui comme un rouage essentiel de la machinerie climatique. Car les plus petites entités biologiques de la planète sont aussi les plus nombreuses dans les océans. A ce titre, en infectant la vie marine, ces virus pourraient contrôler les échanges de dioxyde de carbone entre l’atmosphère et l’océan. Or, comment vont-ils réagir au réchauffement climatique ?

Virus marins

Le climat dépend peut-être d'eux !

Par Anne Debroise

Ces eaux cachaient “une bombe”... Claire Evans, de l’Institut royal de recherche marine des Pays-Bas, ne mâche pas ses mots. Pourtant, sur le pont de l’Amundsen, le brise-glace de recherche canadien, tout semble calme. A quelques centaines de mètres seulement, l’océan glacial arctique, libre, est à peine agité de vaguelettes. La biologiste n’a pas l’air inquiète. Pourtant, elle n’est pas la seule à penser que sous la surface se cache une armée de terroristes en puissance. Leur nom ? Les virus marins (voir “Jargon”) : minuscules, ces véritables tueurs sont capables d’infecter et de décimer massivement la vie marine, toutes espèces confondues, et de libérer par la même occasion des

tonnes de carbone dans l’atmosphère. Au risque de décupler l’effet de serre... Enfin, c’est une hypothèse. Car le rôle que jouent ces virus dans l’écosystème marin reste un mystère. Et il se pourrait qu’à l’inverse leurs victimes sombrent en emportant avec elles le carbone qui les constitue... Un casse-tête pour les scientifiques qui cherchent à mesurer l’importance de cette nouvelle clé de l’écologie océanique.

D’ÉNORMES CONCENTRATIONS

La scène se déroulait à l’été 2007. En attendant les résultats de cette virée au pôle Nord, Claire Evans a publié en 2009 ceux d’une précédente expédition, menée au sud de l’Australie. →

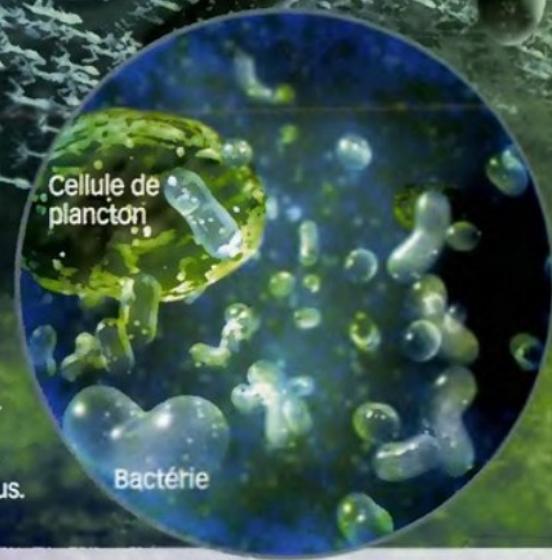


Les virus : dans l'océan Arctique, ils sont 4 à 16 millions pour le volume d'une cuillère à café.

Les virus marins influent sur la concentration en CO₂ de l'océan

Les virus infectent la biomasse marine

Chaque jour, 20 % de la biomasse marine (plancton, bactéries, poissons, mollusques) serait tuée par les virus.



→ Avec son équipe, la biologiste a relevé des concentrations faramineuses de particules virales : de 6 à 20 milliards par litre d'eau de mer ! En infectant des micro-organismes mais aussi d'autres espèces plus volumineuses, ces virus rejettent 2 à 3 microgrammes de carbone par litre d'eau chaque jour. Et cela fait craindre le pire pour le climat

mondial : avec le réchauffement, ce dégazage pourrait s'emballer.

En septembre 2009, une équipe italienne a en effet montré une nette corrélation entre la température des eaux de surface en Méditerranée et le développement de la "neige marine", des amas blanchâtres qui se forment à la surface des mers et sont de véritables pouponnières à virus. Avec le réchauffement et l'acidification des océans, c'est tout l'écosystème marin qui est en plein bouleversement. Or, au cœur de celui-ci, on trouve les virus. Si l'activité virale change, le climat pourrait s'en trouver affecté, comme l'indique Laurent Bopp, spécialiste de modélisation climatique au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement à Gif-sur-Yvette : "L'océan absorbe près d'un tiers des émissions anthropiques de CO₂, soit 2 milliards de tonnes de carbone par an. Cette pompe à carbone est aujourd'hui représentée en ne modélisant que les variations de la chimie et de la physique de l'océan. La biologie est au

contraire représentée de façon très simplifiée dans les modèles... mais l'on sait que des variations de certains paramètres biologiques pourraient avoir un impact important sur cette pompe à carbone et donc sur l'évolution du climat."

10²³ INFECTIONS PAR SECONDE

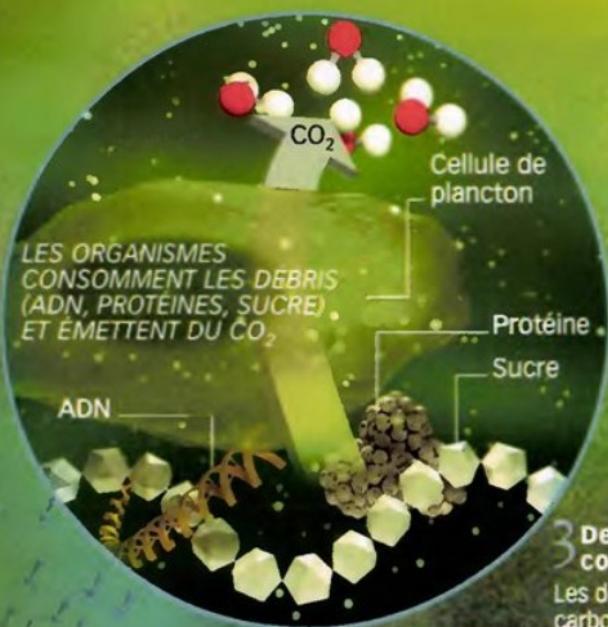
Pourtant, les virus marins ont longtemps été ignorés des scientifiques. Jusqu'au seuil des années 1990, où trois publications ont brisé le dogme. La première, en 1989, provenait du laboratoire de Gunnar Bratbak, un microbiologiste norvégien. Elle révélait l'incroyable abondance de virus dans les milieux aquatiques. Que Claire Evans illustre ainsi : "Si je préleve une cuillère à café d'eau de l'océan Arctique, pourtant froid, elle contiendra entre 4 et 16 millions de virus." Malgré leur petite taille, les virus marins sont 15 fois plus nombreux que les bactéries et les autres microbes... En 1990, deux autres articles du microbiologiste américain Curtis Suttle, de l'université de Colombie-Britannique

> JARGON

Virus : plus petites entités biologiques connues, avec une taille variant entre 20 et 200 nm (une exception à 400), les virus sont des agents infectieux. Ils se composent d'un acide nucléique entouré par une coque protéique. On ne les considère pas comme vivants, en général, car ils ne sont pas capables de se reproduire seuls. Ils utilisent pour cela une cellule qu'ils infectent.

2 Les organismes infectés sont détruits

Lorsque les cellules infectées éclatent, elles libèrent des quantités de nouveaux virus et des débris cellulaires de taille différente.



Zone éclairée
— au-dessus de 100 m de profondeur — riche en plancton

3 Des fragments sont convertis en CO₂...

Les débris cellulaires — du carbone sous toutes ses formes — sont dégradés par des organismes marins qui, en respirant, rejettent de grosses quantités de dioxyde de carbone. Dissous, ce CO₂ vient saturer l'eau des océans dont le pouvoir d'absorption du CO₂ atmosphérique diminue.

LES PETITS DÉBRIS CELLULAIRES SONT CONSOMMÉS PAR LES ORGANISMES MARINS

à Vancouver, enfonçaient le clou. En se basant sur des observations de terrain et en les extrapolant, il aboutit à des estimations monstrueuses : "Chaque seconde, environ 10^{23} infections ont lieu dans les océans. On estime que, chaque jour, les virus tuent ainsi 20 % de la biomasse marine vivante. Et cette hécatombe libère entre 100 millions et un milliard de tonnes de carbone dans les océans par jour."

Sur mer ou sur terre, les virus ont le même mode opératoire. Incapables de se reproduire seuls, ils détournent les outils reproductifs des cellules qu'ils infectent. Ils se collent à une cellule hôte et injectent leur matériel génétique à l'intérieur, qui s'y multiplie. Des centaines de particules virales filles peuvent alors s'y former, avant de quitter les lieux en faisant exploser la cellule hôte. C'est ce qu'on appelle la lyse virale. Résultat du carnage : une cellule au tapis, et des débris cellulaires en tout genre, morceaux →

La mort de la biomasse marine libère 100 millions à 1 milliard de tonnes de carbone dans les océans chaque jour.

LES GROS DÉBRIS CELLULAIRES TOMBENT AU FOND DE L'OCEAN

Morceau de membrane

LE CARBONE EST PIÉGÉ

Sédiments

4 ... d'autres finissent au fond de l'océan

Les gros débris cellulaires coulent sous leur propre poids. Lorsqu'ils dépassent 120 m de profondeur, les conditions physico-chimiques qui règnent empêchent leur retour vers la surface. Le carbone se retrouve piégé au fond de l'océan, c'est l'effet puits de carbone.

→ de membranes, protéines, glucides, lipides... Bref, du carbone sous toutes ses formes. Ce fameux carbone qui soulève tant d'inquiétude chez les climatologues. Et dont les scientifiques ont reconstitué le sort.

En fait, tout dépend de la taille des débris. Les plus gros coulent, entraînés par leur propre poids, quittant (à raison de quelques mètres par jour) la zone éclairée pour rejoindre les profondeurs sombres de l'océan. Plus ils s'enfoncent et plus la probabilité qu'ils soient dégradés par des organismes (bactéries, plancton, etc.) et rejettent du CO₂ diminue. Les plus petits et les moins denses séjournent dans la zone éclairée,

océans à absorber celui de l'atmosphère (voir infographie p. 98).

Dans les conditions actuelles, les océans du globe se gorgent de plus de 2 gigatonnes de carbone sur les 8 émises par les activités humaines (le fameux puits de carbone océanique). Et justement, c'est ce puits que les virus marins menacent de boucher... ou pas.

CHIFFRER LA NUISANCE DES VIRUS

La première raison est chimique: plus les eaux de surface contiennent de dioxyde de carbone dissous, plus leur capacité à en absorber diminue. La deuxième raison concerne la composante biologique du puits de carbone.

Si l'activité virale change, le climat pourrait alors s'en trouver modifié

grossièrement au-dessus des 100 m de profondeur. Là, ils peuvent être dégradés par le rayonnement solaire. Ou être consommés par les êtres vivants tels que bactéries, plancton, corail... Comme les êtres humains, ces organismes marins respirent: ils absorbent de l'oxygène, qu'ils utilisent pour casser les liaisons chimiques de la matière organique (les aliments), et expulsent du dioxyde de carbone. Respiration ou dégradation solaire ont le même résultat: les molécules carbonées, dépouillées de l'énergie de leurs liaisons chimiques, sont réduites à leur plus simple expression: de l'eau et du CO₂. Lequel, une fois dissous, vient augmenter la pression de CO₂ dans l'eau et réduire d'autant la capacité des

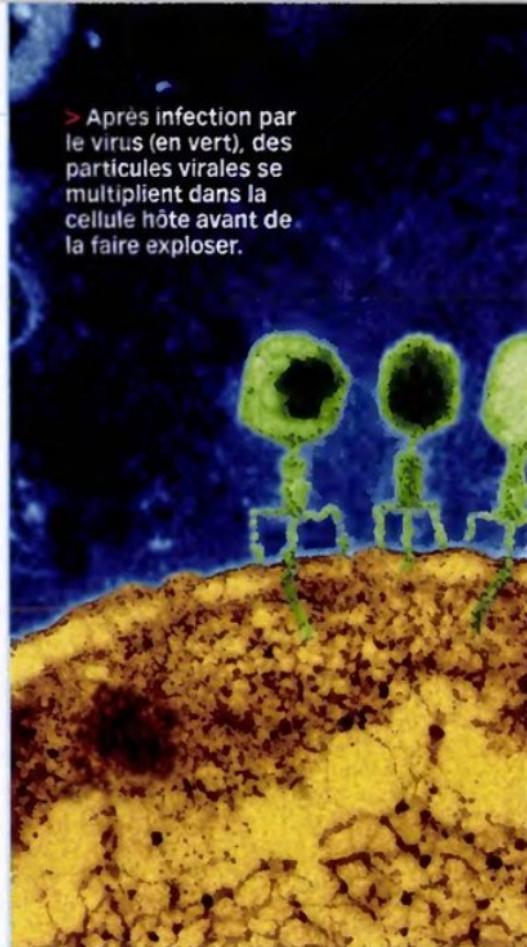
Si le puits ne sature pas, c'est qu'une partie de la matière carbonée dissoute est intégrée dans les plantes marines. Ce sont des algues (phytoplancton) capables, comme les végétaux terrestres, d'effectuer la photosynthèse, c'est-à-dire d'utiliser le dioxyde de carbone pour fabriquer, avec l'énergie solaire, des substances carbonées plus complexes. A leur mort, ces organismes coulent jusqu'à atteindre des profondeurs où la densité et la pression sont telles qu'ils ne remonteront pas. Le carbone est ainsi stocké durablement. S'ils augmentaient la proportion de carbone dissous par rapport à celui qui est intégré dans des tissus vivants, les virus gripperaient la pompe biologique. C'est l'effet privilégié aujourd'hui par les spécialistes.

Mais pour l'heure, ceux-ci sont incapables de chiffrer le potentiel de nuisance des virus dans le domaine climatique.

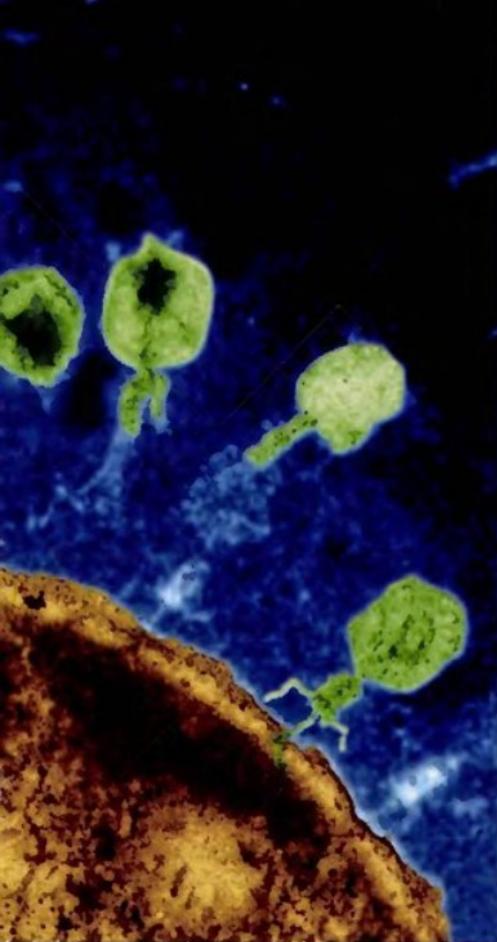
"Pour l'instant, le rôle des virus n'est pas pris en compte dans les modèles"

LAURENT BOPP, DU LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT

> Après infection par le virus (en vert), des particules virales se multiplient dans la cellule hôte avant de la faire exploser.



LA CHASSE AUX VIRUS EST OUVERTE



Les virus marins suscitent les convoitises. Même Craig Venter, initiateur du projet de décryptage du génome humain, sillonne les mers à leur recherche. But de l'expédition qu'il dirige depuis 2006 : décrypter les génomes des virus et y trouver les codes de nouvelles protéines, futurs médicaments à forte valeur ajoutée. D'autres campagnes ont la volonté de comprendre comment le changement climatique modifiera le rôle des virus. C'est le cas du programme

Polar Aquatic Microbial Ecology, mené par le Norvégien Gunnar Bratbak jusqu'en fin 2010. Ce programme voguera en partie sur l'*Amundsen* au nord du Canada. Enfin, le 5 septembre 2009, la goélette *Tara* est partie de Lorient grossir la flotte des pêcheurs de virus. Les échantillons d'eau, prélevés à différentes profondeurs, sont de vraies pochettes-surprises. Lors des expéditions précédentes, plus de 90 % des virus pêchés étaient inconnus. Il s'agit donc de les distinguer, soit

par leurs caractéristiques visuelles, soit par leur génome par des méthodes de séquençage. Il faut aussi les dénombrer, ce qui s'avère fastidieux, puisque le comptage se fait "manuellement" à travers l'œilleton du microscope. Il faut aussi évaluer leur capacité d'infection, en les comptant avant et après incubation. Et estimer d'après cela la quantité de carbone qu'ils rejettent chaque jour. Cela, à différentes profondeurs, à différentes saisons, dans différents milieux...

de serre) et quelle proportion coule (et participe au puits océanique, ce qui atténue le réchauffement)? Mais les choses ne sont pas si simples : d'autres pièces s'ajoutent au puzzle.

UN EFFET REFROIDISSANT?

Prenez le rôle joué par le diméthylsulfure (DMS). Ce gaz se forme lorsque du phytoplancton est infecté et meurt. Il y a une vingtaine d'années, le biologiste James Lovelock avait fait l'hypothèse que ce composé, une fois dans l'atmosphère, facilitait la formation de nuages et participait au refroidissement du climat. Les infections virales auraient-elles un effet refroidissant? "L'hypothèse est sérieuse, mais on ne sait toujours pas si le changement climatique va amplifier ou réduire les émissions de DMS par l'océan", soupire Laurent Bopp.

En cas d'augmentation de l'activité virale, lequel de ces phénomènes va l'emporter? L'augmentation de la libération de CO₂ dans l'atmosphère ou son contraire? Pour Laurent Bopp, la réponse à cette question cruciale n'est pas pour demain: "Pour l'instant, le rôle des virus n'est pas pris en compte



< Pendant trois ans, la goélette *Tara* sillonnnera toutes les mers du globe.

dans les modèles. On en est encore à recenser les virus, et à étudier sur le terrain comment les variations de l'intensité de la lyse modifient l'écosystème. Ensuite, il faudra modéliser cette modification sur une petite échelle spatiale, puis passer à l'échelle d'une région avant d'avoir une idée de leur effet à l'échelle globale."

La tâche est immense : identifier les virus, leurs hôtes, et connaître dans chaque cas et dans différents milieux la part de matière organique dissoute et de matière particulière résultant de la lyse virale. C'est dans ce but que les expéditions en mer (voir encadré) se

multiplicant. Pour Markus Weinbauer, qui préside un groupe de travail international sur le rôle des virus dans les écosystèmes marins, "la plus grande partie du champ de l'écologie virale est inconnue. Mais ce qu'on sait, c'est que l'effet des virus sur les organismes en fait les régulateurs, voire les dirigeants ultimes de la vie à l'échelle nanométrique". Et peut-être, *in fine*, du climat.



EN SAVOIR PLUS

Un document de l'Inra : www.inra.fr/dpenn/pdf/PersonnicC53.pdf

Cela fait cinquante ans que le "french paradox" intrigue : à savoir que les Français ont beau manger des plats riches en graisses saturées, ils sont trois fois moins frappés de crises cardiaques que les Américains ! Depuis, une explication a été avancée : c'est la consommation (modérée) de vin rouge qui ferait la différence. De vin rouge... ou, plus largement, d'alcool ? La polémique est vive, et connaît aujourd'hui un vrai rebondissement.

Vin rouge

On sait pourquoi il est bon pour nos artères

Par Marine Corniou

La gastronomie française est peut-être l'une des meilleures au monde, mais elle est loin d'être la plus légère. En termes de graisses et de calories, la charcuterie et le confit de canard n'ont en effet pas grand-chose à envier aux hamburgers américains. Pourtant, les Français ont beau avaler des graisses saturées à longueur d'année, ils se portent à merveille. Avec des taux de cholestérol bas, trois fois moins de crises cardiaques que les Américains et une espérance de vie qui bat des records, notre population fait un pied de nez aux préceptes nutritionnels fondamentaux. Et le phénomène n'est pas nouveau : dès les années 1960, des études épidémiologiques ont attiré l'attention des scientifiques

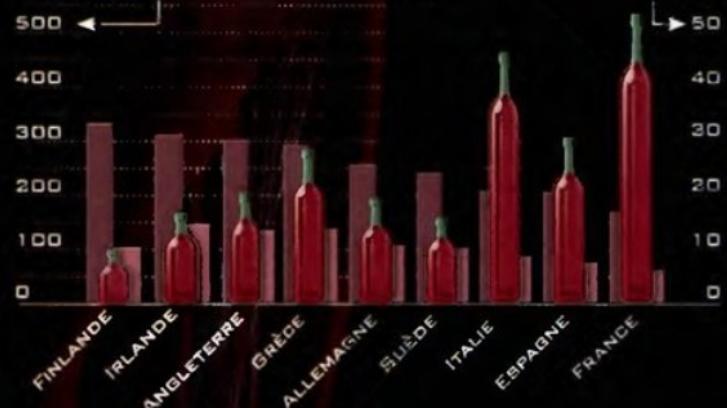
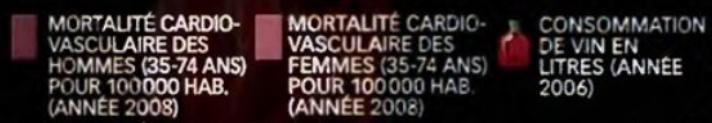
du monde entier sur cette étonnante "exception française", connue sous le terme "french paradox".

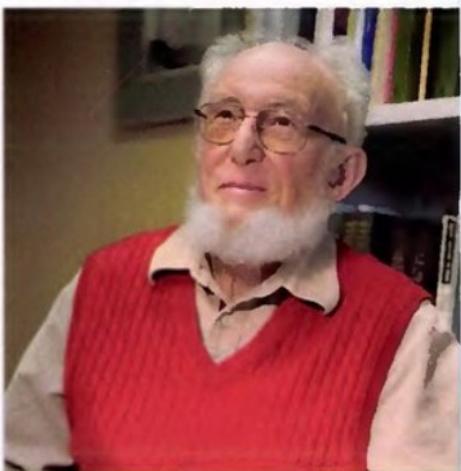
Depuis, les études n'ont pas manqué pour tenter d'élucider le phénomène. Et, en 1992, les travaux épidémiologiques d'un médecin français, Serge Renaud, ont révélé que le vin rouge, et lui seul, permettait de l'expliquer ! Chiffres à l'appui : une consommation modérée de vin rouge (jusqu'à deux verres par jour pour les femmes et trois pour les hommes) réduit d'environ 30 % le risque d'infarctus du myocarde et d'accidents vasculaires cérébraux. Aujourd'hui, cette thèse fait consensus... mais elle a ouvert la voie à une polémique. Car par quel mécanisme le vin rouge parvient-il à protéger nos artères ? →





Les pays qui consomment le plus de vin sont moins touchés par les maladies cardio-vasculaires





"Les données animales ne peuvent pas remplacer les preuves épidémiologiques"

ARTHUR KLATSKY, CARDIOLOGUE AU CENTRE KAISER PERMANENTE (CALIFORNIE)

"L'aorte des souris à qui on a fait ingérer un extrait de vin rouge s'est dilatée"

RAMAROSON ANDRIANTSITOHAINA,
CHERCHEUR À L'INSERM D'ANGERS



→ Pour certains chercheurs, ce serait l'alcool qu'il contient, l'éthanol, qui aurait des effets protecteurs, au même titre que l'alcool de la bière ou du vin blanc. Autrement dit, les vertus du vin rouge ne lui seraient pas spécifiques. Il faut dire que, depuis 1992, les études épidémiologiques se contredisent. Nombre d'entre elles montrent que la consommation modérée de n'importe quelle boisson alcoolisée est bénéfique pour le cœur.

Entretenue par les différents lobbies, la polémique est donc vive. Mais des travaux rendus publics en janvier dernier par des chercheurs de l'Inserm d'Angers apportent un nouvel argument en faveur de la "supériorité" du vin rouge. Ils dévoilent pour la première fois le mécanisme d'action des polyphénols, composés qui y

que les œstrogènes protègent des maladies cardio-vasculaires, qui tuent d'ailleurs cinq fois plus d'hommes que de femmes. Et pour cause : ces hormones stimulent la libération de monoxyde d'azote, un gaz "dilatateur" et fluidifiant, dans les vaisseaux. En augmentant le diamètre vasculaire, ce gaz diminue le risque de formation de caillot sanguin, l'une des causes majeures d'accident cardio-vasculaire.

DES ESPOIRS THÉRAPEUTIQUES

Dans les faits, les œstrogènes, qui circulent dans le sang, viennent s'ancrer sur la paroi des vaisseaux en se fixant à un récepteur (appelé RE alpha), comme une clé s'insère dans une serrure. Cette "fixation" déclenche une série de réactions moléculaires qui aboutissent à la libération de monoxyde d'azote dans

Le secret des polyphénols ? Un même effet dilatateur que les... œstrogènes

sont présents en abondance. Leur découverte ? Les polyphénols (ou tanins) entraînent une dilatation bénéfique des artères... en empruntant le mécanisme d'action des hormones féminines, les œstrogènes ! On sait

les cellules qui tapissent les vaisseaux. Et l'équipe d'Angers a découvert que les polyphénols contenus dans le vin rouge se fixent eux aussi au récepteur RE alpha ! "Le provinol, l'extrait de vin rouge que nous avons étudié, s'encastre

Les polyphénols agissent sur les parois des artères

DU MONOXYDE D'AZOTE EST LIBÉRÉ

Cellule épithéliale

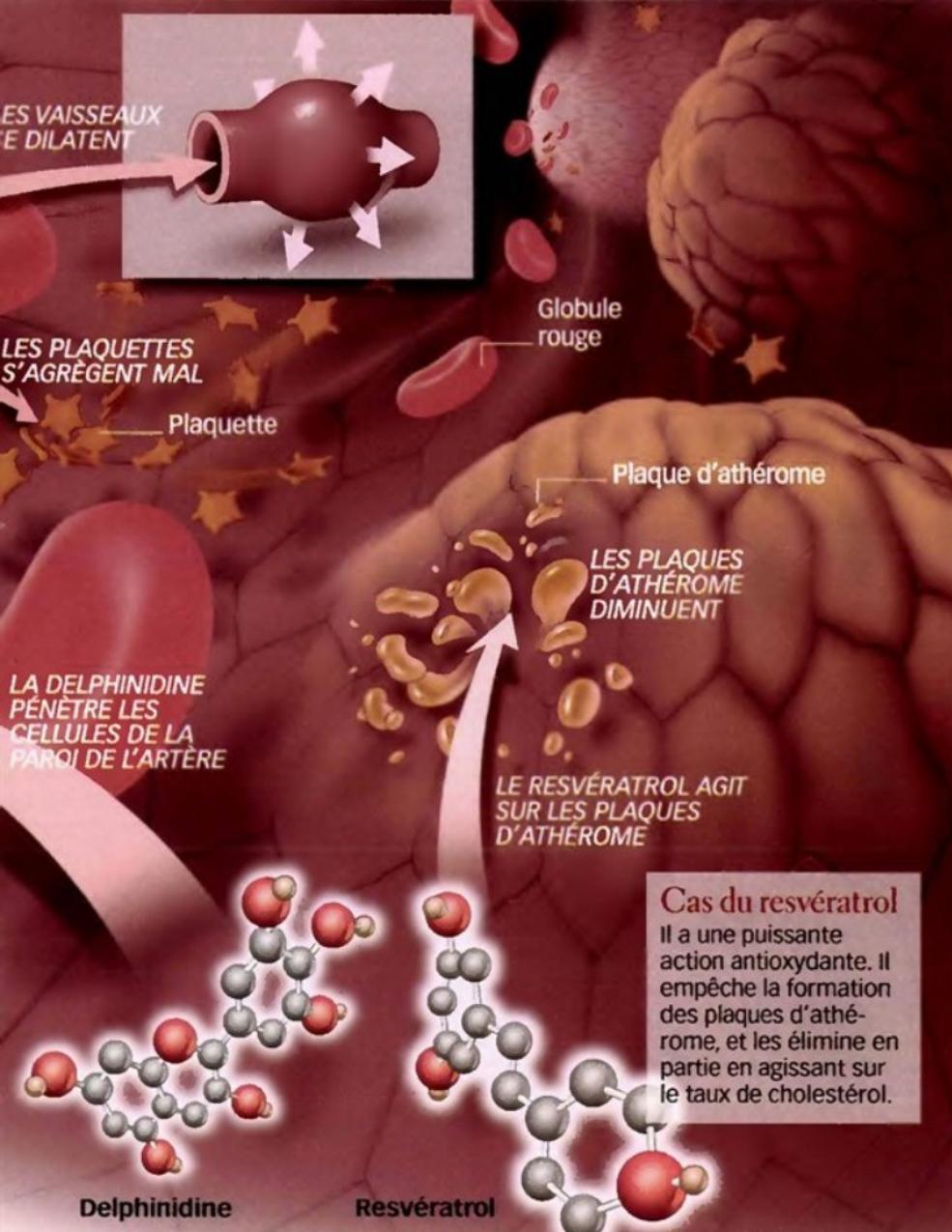
Récepteur d'œstrogènes

LA DELPHINIDINE SE FIXE

Cas de la delphinidine

Comme beaucoup de polyphénols, la delphinidine se fixe sur les récepteurs d'œstrogènes. Ce qui induit une libération de monoxyde d'azote. Résultat, les vaisseaux se dilatent et les plaquettes, responsables de la coagulation, peinent à s'agrèger.

tout à fait dans le récepteur aux œstrogènes alpha, avec une forte affinité, comme l'ont montré nos modélisations bio-informatiques", explique Ramaroson Andriantsitohaina, de l'unité Biologie neurovasculaire intégrée, qui a dirigé l'étude. Et les polyphénols déclenchent exactement les mêmes réactions que les œstrogènes. Avec à la clé, là aussi, la libération de monoxyde d'azote, comme l'ont confirmé les chercheurs en utilisant des souris génétiquement modifiées, dépourvues de RE alpha. "Lorsqu'on fait ingérer du provinol à des souris normales, on observe une dilatation de l'aorte, explique Ramaroson Andriantsitohaina. En revanche, chez les souris modifiées, qui ne possèdent pas de RE alpha, il n'y a aucune dilatation des vaisseaux." Selon les auteurs de l'étude, la compréhension de ce mécanisme laisse entrevoir des voies thérapeutiques prometteuses contre



les maladies cardio-vasculaires, par exemple en mettant au point des médicaments qui activeraient ces récepteurs.

Pour certains chercheurs, cette nouvelle étude ne change rien : le pouvoir de l'éthanol reste supérieur à celui des polyphénols. "L'effet cardio-protecteur du vin est avant tout lié à l'éthanol", affirme Jean-Louis Schlienger, chef du service de nutrition à l'hôpital de Hautepierre, à Strasbourg. *L'alcool en tant que tel permet d'élever le 'bon' cholestérol (HDL) et de diminuer la coagulation sanguine*", deux mécanismes qui protègent des maladies cardio-vasculaires. "Les études de comparaison entre populations consommatrices de vin et de bière montrent souvent, mais pas toujours, un léger avantage pour le

vin rouge. Cette supériorité, lorsqu'elle existe, est donc loin d'être flagrante", résume le médecin.

Seul un essai clinique normalisé, comparant le vin à un placebo et à d'autres alcools dans une population homogène et sur plusieurs dizaines d'années, permettrait de trancher. En attendant qu'il soit envisagé (ce qui est peu probable, pour des raisons de faisabilité et de coût), les seuls arguments disponibles restent les études de laboratoire. Et les résultats obtenus par l'équipe d'Angers viennent s'ajouter à la longue liste de celles qui attribuent au vin rouge des propriétés uniques. Une étude menée en 2004 à l'université de médecine d'Athènes (Grèce) a en particulier montré que l'ingestion

de vin rouge non alcoolisé entraînait une dilatation plus importante des vaisseaux que celle de vin rouge "classique". L'alcool n'est donc pas le seul acteur en jeu ! En outre, les polyphénols, qui sont plus abondants dans le vin rouge que dans le vin blanc ou la bière, ont fait la preuve de leurs qualités cardio-protectrices. Là encore, les études sont formelles. Le résvératrol, polyphénol du vin le plus étudié, a une action antioxydante très puissante. Il neutralise les radicaux libres, ces composés nocifs résultant de l'activité chimique des cellules. Bilan : il protège nos cellules du vieillissement, et limite la formation des plaques d'athérome (contenant du cholestérol), susceptibles d'obstruer les artères.

ENCORE DU PAIN SUR LA PLANCHE

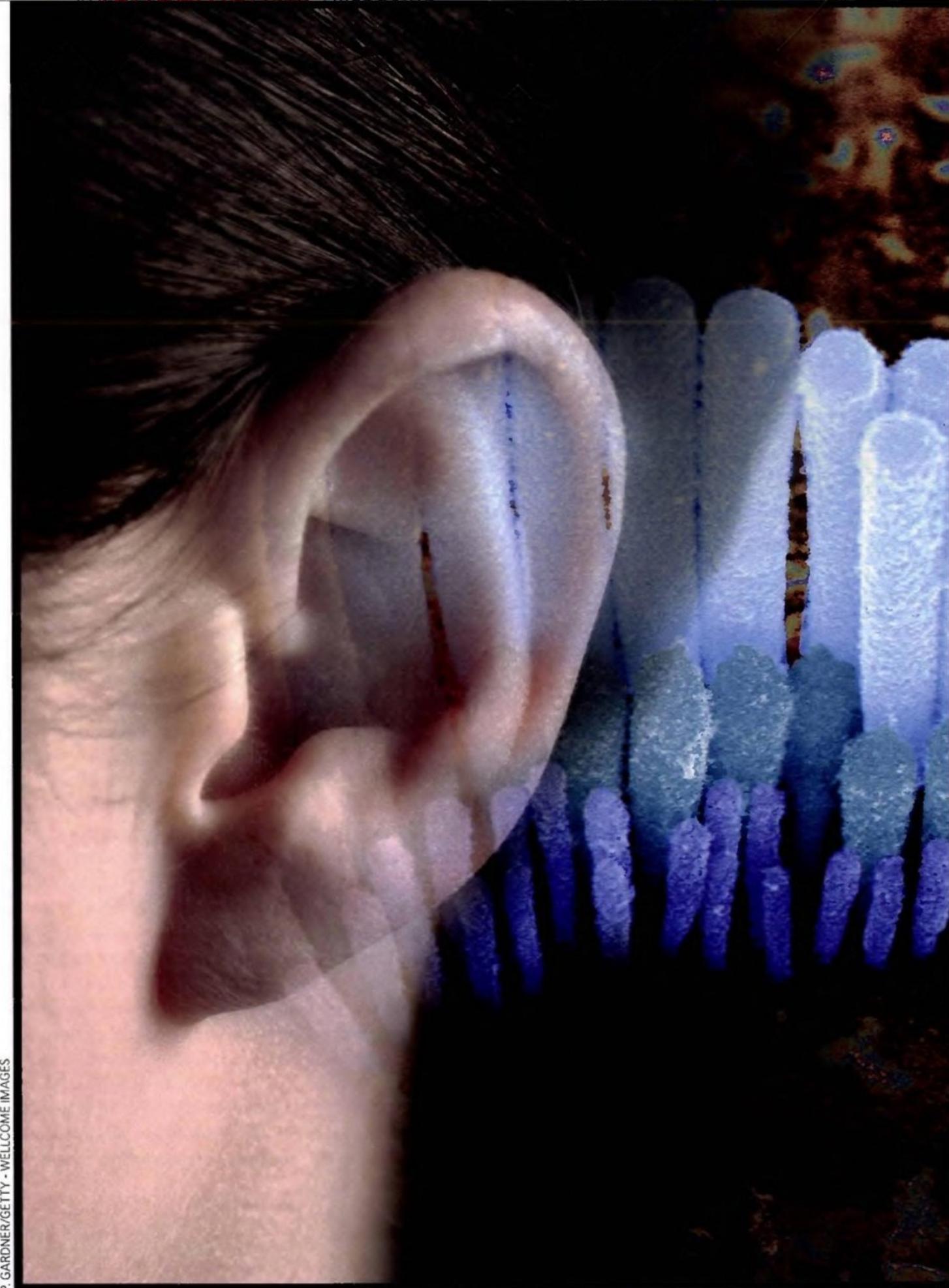
Mieux, les polyphénols en général sont capables de détruire jusqu'à 40 % de ces plaques d'athérome, comme l'ont montré plusieurs études sur des animaux. Le mécanisme est cependant encore mal connu. Enfin, ils fluidifient le sang en inhibant l'agrégation des plaquettes, éléments sanguins qui assurent la coagulation et participent ainsi à la formation des caillots.

Mais ces études expérimentales ne convainquent pas tout le monde. Arthur Klatsky, cardiologue au centre Kaiser Permanente (Californie), spécialiste des relations entre l'alcool et la santé, rappelle que "*les données animales ne peuvent pas remplacer les preuves épidémiologiques*". Et, s'ils veulent déchiffrer tous les effets biologiques d'un bon verre de rouge, les chercheurs ont du pain sur la planche : seule une poignée des cinq cents composants du vin rouge a été étudiée. Il n'empêche, pour l'heure, c'est bien lui qui tient la corde pour expliquer le paradoxe français. ■



> EN SAVOIR PLUS

<http://www.canal-u.tv>
vidéo "Polyphénols, vin et santé"



P. GARDNER/GETTY - WELLCOME IMAGES

REPÈRES

Les acouphènes, ces sons qui sifflent ou bourdonnent dans la tête de manière plus ou moins permanente sans que la moindre source sonore extérieure ne puisse les expliquer, gâchent la vie de 5 millions de Français. Longtemps considérés comme un trouble psychologique, ces sons fantômes ne bénéficiaient jusqu'ici d'aucun traitement efficace permettant de les faire taire. Une situation en passe de trouver une issue...

Acouphènes

Enfin un espoir de traitement

Par Marine Cygler

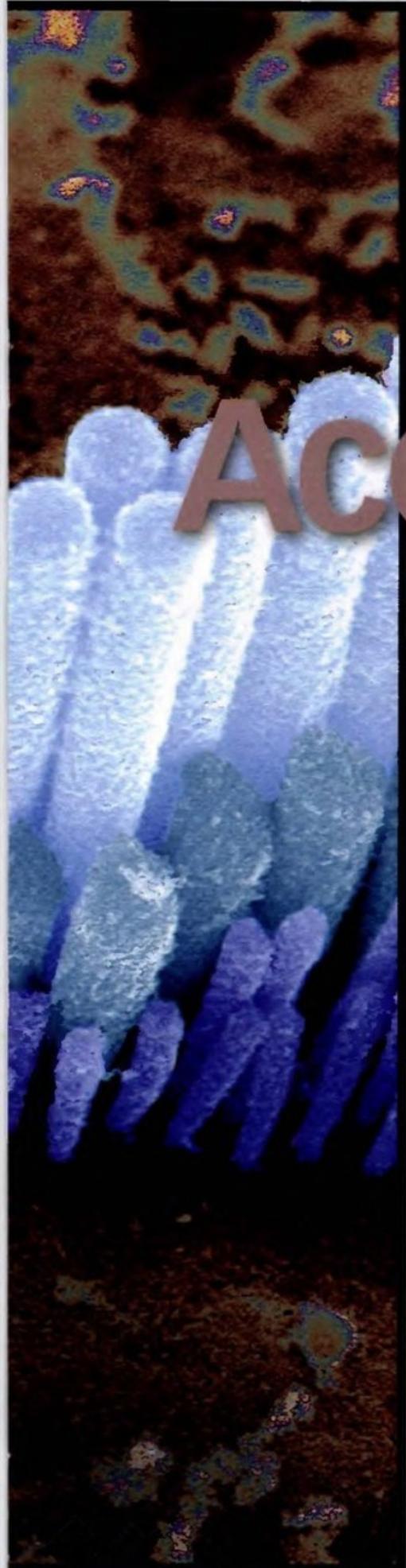
Pénibles, obsédants, parfois douloureux et dans tous les cas handicapants: tels sont les acouphènes, ces vrombissements, bourdonnements ou sifflements aigus qui, omniprésents, perdurent dans la tête alors qu'aucun son ne parvient de l'extérieur. Un mal plus fréquent qu'on ne pourrait le croire puisqu'il gâche la vie de près de 5 millions de Français (Insee, 1999).

Il est aujourd'hui établi que les acouphènes ne résultent pas d'un désordre psychologique, mais d'un dysfonctionnement du système auditif lié à une perte d'audition (voir encadré p. 110). Et la médecine se révèle bien impuissante à les traiter: au mieux réussit-elle parfois à soulager les patients... C'est que, faute d'études, les connaissances fondamentales concernant les acouphènes apparaissent

encore parcellaires. Or, voici que s'ouvrent aujourd'hui deux nouvelles voies de recherche: un traitement médicamenteux administré directement dans l'oreille et une méthode de stimulation magnétique.

DES RÉSULTATS ENCOURAGEANTS

Le traitement chimique consiste, via l'injection d'un produit, à bloquer l'activité anormale du nerf auditif. Et cela marche: six patients allemands en ayant bénéficié ont été guéris, du moins temporairement. Publié en octobre dernier dans *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, les bons résultats de cette première étude encouragent la multiplication d'essais cliniques à plus grande échelle. "Nos patients ont été soulagés et heureux: après une seule mais longue perfusion dans l'oreille →



> Jean-Luc Puel (à gauche) dirige l'équipe "oreille interne" de l'Inserm à Montpellier, qui a réussi à mettre au point le premier modèle animal d'acouphènes, préalable à tout test de médicament.

▼ Après avoir conditionné des rats à réagir à un son, l'équipe les a rendus acouphéniques: les rats réagissaient sans stimulation sonore extérieure, signe qu'ils entendaient des sons fantômes.



> FAITS ET CHIFFRES

Sur les **5 millions** de Français touchés par les acouphènes, **1,6 million** les qualifient d'**agressifs** et **300 000 d'intolérables**. On estime que chaque ORL reçoit chaque année **70 nouveaux cas**, lesquels dans la grande majorité perçoivent des **acouphènes de haute fréquence** (sons aigus). **Vieillissement** de la population mais aussi utilisation généralisée de **baladeurs type MP3** sont montrés du doigt en ce qui concerne la **perte d'audition** s'accompagnant parfois d'**aberrations auditives**.

→ – *puisque elle dure entre quarante et soixante-trois heures –, ils n'ont plus entendu leurs acouphènes pendant en moyenne trois semaines. Cela peut paraître peu, mais c'est un début très intéressant*”, explique Gentiana Wenzel. Entre 2006 et 2008, cette chirurgienne ORL de l'hôpital de Hanovre (Allemagne) a traité six patients avec des injections dans l'oreille moyenne de gacyclidine, une substance déjà utilisée pour ses propriétés neuroprotectrices chez les patients atteints de traumatismes cérébraux. “*Nous ne voulions pas percer*

La substance s'est écoulée jusqu'à sa cible: la jonction entre la cochlée et le nerf auditif. Le signal sonore fantôme était neutralisé.

Belle réussite, qui ne s'est pas faite sans mal. Car, avant d'expérimenter un tel traitement sur l'homme, il s'agissait de le tester sur l'animal. En l'occurrence des rats de laboratoire. Oui, mais pour traiter les acouphènes d'un rat, encore faut-il s'assurer qu'il en entende! On mesure ici assez vite la difficulté... que des chercheurs de l'Inserm de Montpellier (équipe “oreille interne”) ont pourtant

Après l'injection, les acouphènes ont cessé pendant trois semaines!

la fenêtre ronde à la frontière de l'oreille interne, car nous craignions l'apparition d'infections, si bien que nous avons posé un cathéter dans l'oreille moyenne, où il suffisait de percer le tympan de patients souffrant d'acouphènes très invalidants et pour lesquels les différents traitements avaient échoué”, décrit Gentiana Wenzel (voir infographie ci-contre).

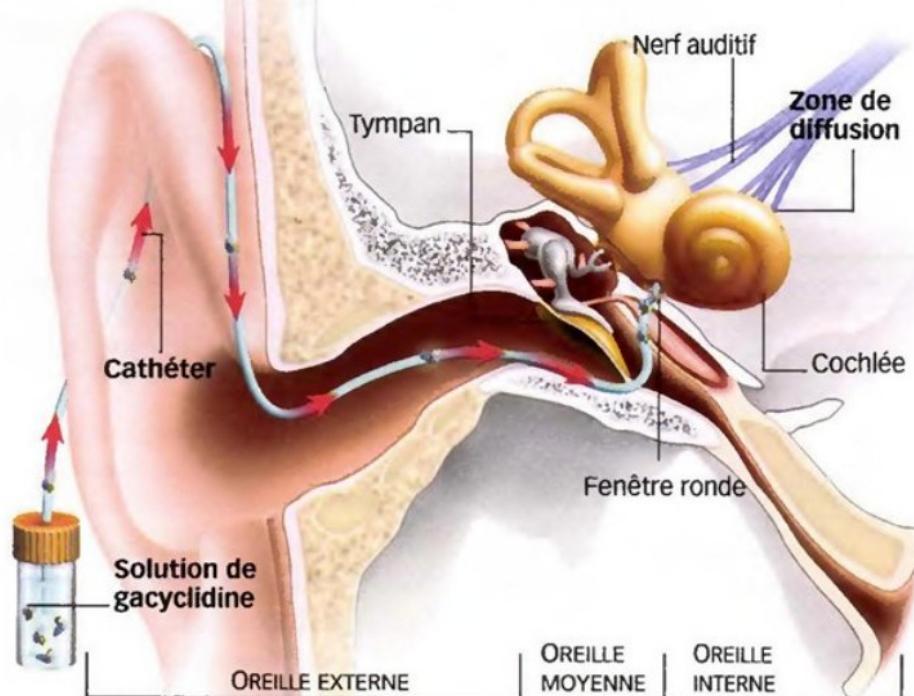
réussi à surmonter. Leur directeur, Jean-Luc Puel, est en effet parvenu à créer le premier modèle animal d'acouphènes. De quoi dérypter certains mécanismes qui les induisent et tester les traitements les plus efficaces.

En 2000, ce scientifique a réussi à faire “dire” à des rats qu’ils souffraient d'acouphènes: il leur a appris à monter



Un traitement qui parvient à bloquer l'activité anormale du nerf auditif

Une solution de gacyclidine est administrée à l'aide d'un cathéter. Elle est soit déposée, après percement du tympan, à proximité de la fenêtre ronde, soit injectée à travers cette dernière. La solution s'écoule alors jusqu'à la jonction entre la cochlée et le nerf auditif, et bloque le dysfonctionnement de celui-ci.



sur un poteau dès qu'ils entendaient un son. C'est ce qu'on appelle un conditionnement, dans la lignée de Pavlov: le son était immédiatement suivi d'une décharge électrique dans le plancher. L'apprentissage terminé, certains rats ont été traités avec des doses importantes d'aspirine, dont le composant actif, le salicylate, est connu pour être responsable de l'apparition d'acouphènes chez l'homme (voir encadré p. 110). Et ce que Jean-Luc Puel attendait s'est produit: devenus acouphéniques, les rats grimpent au poteau, signe qu'ils entendaient des sons, alors qu'il n'y avait pas la moindre stimulation extérieure. "Disposer d'un bon modèle comportemental était l'étape préliminaire indispensable pour découvrir le mécanisme moléculaire des acouphènes et tester ensuite des médicaments susceptibles d'éliminer ces bruits", explique le chercheur, qui, en analysant la cochlée de ses rats, a pu déterminer que leurs acouphènes étaient causés par un afflux intempestif de glutamate dans l'oreille interne,

à la jonction du nerf auditif et des capteurs sonores que sont les cellules ciliées externes. Le glutamate étant la substance naturelle qui transmet le signal d'excitation entre ces cellules nerveuses. Et Jean-Luc Puel a logiquement eu l'idée d'étudier l'action que pourraient déclencher des molécules anti-glutamate. Parmi ces dernières, la gacyclidine a été choisie, car, utilisée en neurologie, c'est celle qui a montré le moins d'effets secondaires.

ENCORE QUELQUES OBSTACLES

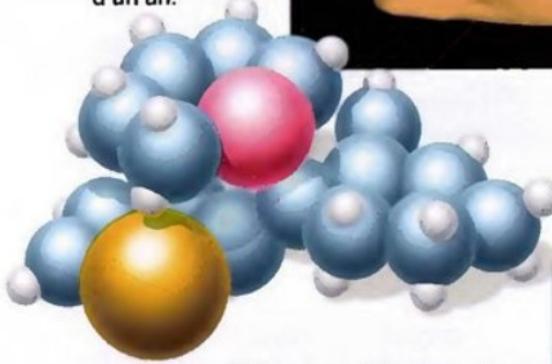
"Nous avons maintenant des outils qui font plus qu'améliorer la tolérance au bruit: ils luttent vraiment contre les acouphènes", résume Bruno Frachet, chef du service ORL de l'hôpital Avicenne (Bobigny), qui a initié en septembre 2009 un nouvel essai avec la gacyclidine. Cette fois, l'injection s'est faite directement dans l'oreille interne, au niveau de la cochlée, sur le lieu même de la création des acouphènes, grâce à une microaiguille placée au travers de la fenêtre ronde. "Nous en sommes à →

SOIGNER LES ACOUPHÈNES... PAR LE BRUIT

Il est souvent préconisé de traiter les acouphènes par le silence, à tort: le bruit a montré son efficacité. "Lors de la perte auditive, il y a réduction des entrées sensorielles. Pour compenser, le cerveau augmente sa sensibilité au son. Cette amplification peut être à l'origine de perceptions aberrantes", explique Arnaud Norena (CNRS, Marseille). L'idée à l'étude est de stimuler les aires auditives pour réorganiser le cerveau. L'acouphène est caractérisé par une acouphénométrie. Le son *ad hoc* est copié, et le patient repart avec un CD. La prescription? Ecouter ce son chaque jour. "On obtient des disparitions d'acouphènes, mais il semble qu'il faille stimuler durant plus de six mois", indique Arnaud Norena.

> La stimulation magnétique transcrânienne est aussi étudiée pour traiter les patients acouphéniques chroniques.

▼ Les injections de la molécule de gacyclidine ne soulagent que les patients qui sont atteints d'acouphènes depuis moins d'un an.



→ la surveillance des effets secondaires de ce nouveau procédé de traitement", explique Bruno Frachet. Mais pour que la technique soit durablement efficace, un obstacle supplémentaire devra être franchi. "L'effet des injections est transitoire. Dans notre étude, l'efficacité du traitement n'a pas excédé trois semaines. Or, il n'est pas pratique de faire revenir les patients à l'hôpital à un rythme aussi soutenu", indique Gentiana Wenzel, qui préconise le développement d'un système de délivrance implantable, une micropompe que le patient activerait et sur laquelle planche l'Institut des technologies de la santé de l'Inserm.

Efficace, cette stratégie ne l'est hélas que sur les acouphènes récents...

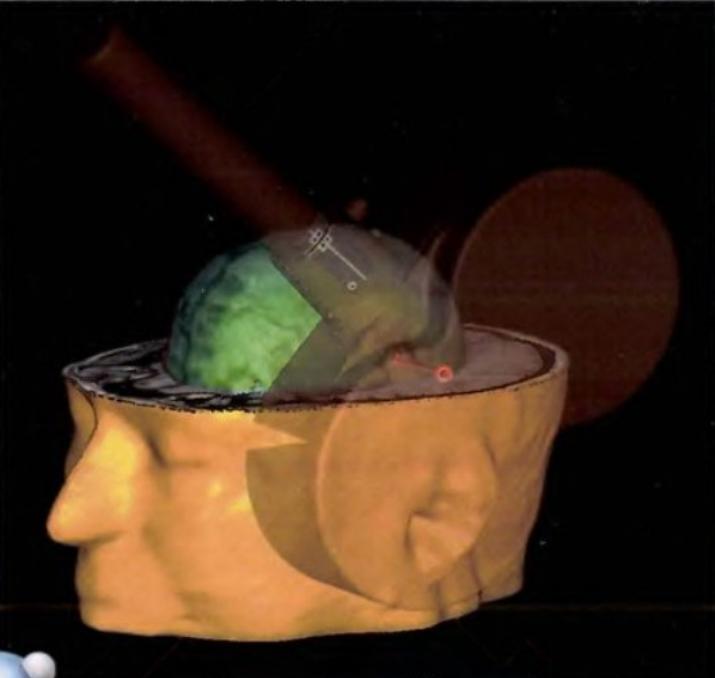
Reste un bémol : ces premiers résultats encourageants concernent des patients dont les acouphènes sont récents. Les études montrent que la stratégie anti-glutamate ne donne pas de résultats pour les acouphènes de plus d'un an. Quand les bruits fantômes sont trop anciens, ils se chronicisent. On dit alors qu'ils deviennent centraux : ils

sont générés directement dans l'aire auditive du cerveau. Que proposer à ces patients ? "La stimulation magnétique transcrânienne répétitive, répond Xavier Perrot, neurologue au centre hospitalier Lyon Sud. Déjà utilisée pour les dépressions graves et les hallucinations auditives, elle est en train de faire ses preuves pour le traitement des acouphènes."

LEVER LES DERNIÈRES INCONNUES

Cette stimulation magnétique consiste à appliquer une bobine-aimant à la surface du crâne pour modifier le fonctionnement électrique anormal du cortex auditif et, ainsi, limiter la perception de l'acouphène. A Lyon, entre août 2005 et février 2009, une soixantaine de patients souffrant d'acouphènes chroniques invalidants ont participé à un essai, l'étude MagTIN, afin d'optimiser les paramètres de stimulation et de lever les dernières inconnues sur la tolérance

de la stimulation magnétique transcrânienne à long terme. "Nous en sommes à l'analyse des résultats, mais, après un suivi de six mois à un an, et sur les huit cents séances de stimulations (chaque patient ayant fait de cinq à vingt séances), aucun problème n'est apparu", indique Xavier Perrot. Les résultats définitifs sont attendus avant la fin de l'année 2010. ■



UNE PATHOLOGIE ELUCIDÉE EN PARTIE

Les acouphènes sont liés pour l'immense majorité des cas à une perte auditive, conséquence de dommages survenus au niveau de la cochlée, l'organe sensoriel de l'oreille qui transforme le signal acoustique en message nerveux. Ils peuvent être le symptôme d'une pathologie, comme la présence d'un bouchon de cérumen, l'otospongiose, qui touche la chaîne des osselets, ou encore la maladie de Ménière, qui associe vertiges, acouphènes et surdité. Souvent associés à une hyperacusie (hypersensibilité à certains sons), les acouphènes peuvent aussi survenir après une exposition à un son trop fort ou un choc barométrique. Certains médicaments, notamment l'aspirine – consulter dans tous les cas les notices pharmaceutiques – peuvent provoquer des bourdonnements. Quant à savoir où se forment les acouphènes, les avis des spécialistes divergent. Certains penchent pour une origine périphérique au niveau de l'oreille, d'autres pour un dysfonctionnement au niveau du cerveau, quand d'autres encore prennent une position médiane, jugeant que les deux organes sont impliqués. Pour trancher, il faudrait approfondir les recherches fondamentales. Car, bien qu'ils fassent souffrir un nombre considérable de personnes, ces bruits fantômes ne suscitent pas assez d'efforts de recherche.



EN SAVOIR PLUS

www.france-acouphenes.org, le site de l'association France Acouphènes



Le Bar des sciences,
organisé par
Centre national du livre
et universcience
le nouvel établissement
regroupant le Palais
de la découverte
et la Cité des sciences
et de l'industrie –
invite le public,
les professionnels
du livre, mais aussi
les jeunes lecteurs,
à rencontrer
des scientifiques
et des écrivains
venus présenter
leurs ouvrages,
et à assister
aux tables rondes
consacrées
à la biodiversité,
aux dinosaures,
à la promotion
du livre de science
et aux nouveaux
outils de lecture.

stand A43

Centre national du
Livre
universcience

cité
Palais de la
découverte

En partenariat avec

SCIENCE & VIE

Tables rondes et rencontres avec des auteurs

LES RENDEZ-VOUS DU BAR DES SCIENCES

vendredi 26 mars

- 11h Cosmologie à l'usage du piéton : un voyage dans les mystères de l'Univers - Philippe de La Cotardière (*L'Archipel*)
- 12h **THEMA** La place de l'Homme dans l'évolution avec Patrick Tort et Pascal Picq
- 14h Le ciel à découvert - Jean Audouze [CNRS Éditions]
- 15h Paysages : itinéraire d'un géologue et Quand la terre bouge - François Michel (*Belin*)
- 16h Penser comme un rat - Vinciane Despret (*QUAE*)
- 17h Le cerveau volontaire - Marc Jeannerod (*Odile Jacob*)
- 18h **THEMA** Chercheur, une passion !

samedi 27 mars

- 11h Étonnant bestiaire - Michèle Mira Pons (*Actes Sud Junior*) ☺
- 12h Quand le gène est en conflit avec son environnement - Bernard Swynghedauw (*De Boeck*)
- 13h Paroles d'amour - Serge Feneuille [CNRS Éditions]
- 14h Yves Coppens raconte nos ancêtres : l'histoire des singes - Yves Coppens (*Odile Jacob*) ☺
- 15h **THEMA** Sacrés dinosaures ! avec Stéphanie Ledu, Anne Eydoux et Anne Sophie Baumann ☺
- 16h Dis maman, c'est quoi l'environnement ? - Sophie Tovagliari et Tommaso Levente Tani (*Arthur & Cie*) ☺
- 17h Mini-monstre : chefs d'œuvre de la biodiversité - Patrick Landmann, Yves Paccalet et Thierry Berod (*Jean di Sciullo*)
- 18h **THEMA** Controverse sur le climat avec Hervé Le Treut et Benoît Rittaud

dimanche 28 mars

- 11h Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture - Laetitia Fontaine et Romain Anger (*Belin / Cité des sciences*)
- 12h Aux origines de la sexualité - Pierre-Henri Gouyon et Priscille Touraille (*Fayard*)
- 13h Vie et mort de la population mondiale - Hervé Le Bras (*Le Pommier / Cité des sciences*)
- 14h De vingt mille lieues sous les mers à SeaOrbiter - Jacques Rougerie (*Democratic Books*)
- 15h Les Gaulois expliqués à ma fille - Jean-Louis Bruneaux (*Le Seuil*) ☺
- 16h Dokéo : comprendre comment ça marche (*Nathan*) ☺
- 17h Bonnes nouvelles des étoiles - Jean-Pierre Luminet et Élisa Brune (*Odile Jacob*)
- 18h La simplexité - Alain Berthoz (*Odile Jacob*)

lundi 29 mars JOURNÉE PROFESSIONNELLE

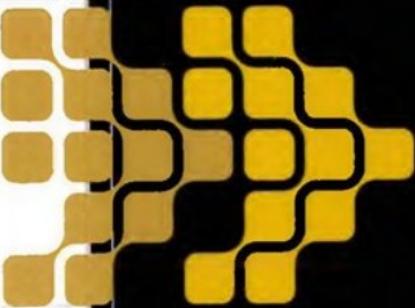
- 11h Éditer, vendre, faire lire des ouvrages scientifiques : comment s'y prendre ?
- 12h Les nouveaux outils de lecture : quelles opportunités pour l'édition scientifique ?
- 14h Éditeur, libraire, bibliothécaire : trois métiers, trois regards sur l'édition scientifique jeunesse.
- 15h Est-ce si difficile de constituer un fonds documentaire en sciences et techniques ?
- 16h Le livre a-t-il encore une place dans l'enseignement des sciences ?
- 17h Traiter l'actualité et l'information scientifiques :
livres, revues, radios, Web TV sont-ils nécessaires et complémentaires ?

mardi 30 mars

- 11h **THEMA** Génétique, avec ou sans gènes ! avec Andras Paldi et Jean-Pierre Tambourin
- 12h Voir et pouvoir – Qui nous surveille ? - Jean-Michel Ganascia (*Le Pommier*)
- 14h Maux d'artistes. Des œuvres d'art sous l'œil des neurosciences - Sébastien Dieguez (*Belin*)
- 15h Le laser, 50 ans de découverte - Michèle Leduc
- 16h Histoire de l'illustration naturaliste - Valérie Chansigaud (*Delachaux Et Niestle*)
- 17h Anaximandre de Milet ou la naissance de la pensée scientifique - Carlo Rovelli (*Dunod*)
- 18h **THEMA** Maths : plaisir ou tourment ! avec Jean-Michel Salanskis et Leny Dumraou
- 19h Le temps des crises - Michel Serres (*Le Pommier*)
- 20h **NOCTURNE** Biodiversité, quel avenir pour le vivant ?

mercredi 31 mars

- 11h Monstruosités et chimères du monde végétal - Yves-Marie Allain et Guy Prouveur (*Ellipses*)
- 12h Quand la science transforme l'humain - Jean Leonetti (*Plon*)
- 14h Le ciel et les étoiles sans complexe - Émilie Martin et Alain Lecavelier des Étangs (*Hugo&Cie*)
- 15h Je dépasse mes peurs et mes angoisses - Christophe André (*Points*)
- 16h Que grignotent les plantes carnivores pour leur goûter ? - Alain Karkos et Christine Beigel (*La Martinière*) ☺
- 17h Un iceberg dans mon whisky : quand la technologie dérape - Nicolas Chevassus-au-Louis (*Le Seuil*)



Toutes nos cellules contiennent-elles le même ADN ?

Question de Luca Olmastroni, Rome (Italie)

C'est un fait bien établi par la biologie moderne : porteuse de tous les gènes de l'individu et divisée en 46 chromosomes, la molécule d'ADN se retrouve dans le noyau de toutes les cellules, qu'il s'agisse d'un neurone, d'une cellule de peau ou d'une cellule osseuse.

GÈNES EXPRIMÉS OU PAS

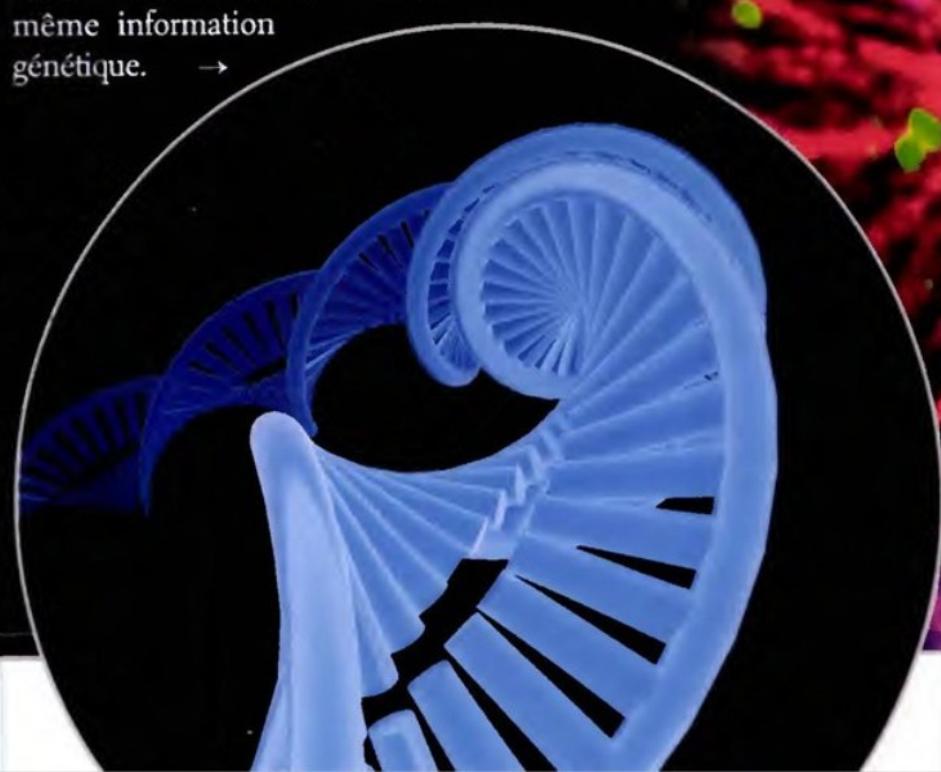
Mais – et peut-être est-ce là l'origine de votre question – ces cellules n'ont ni la même forme, ni la même fonction, elles ne produisent pas les mêmes substances et ne réagissent pas aux mêmes signaux. De là à penser que l'ADN est impliqué, c'est à la fois vrai et faux. Faux parce que l'ADN de toutes ces cellules est le même, mais vrai car parmi tous les gènes que contient leur ADN, seuls certains s'expriment, tandis que d'autres restent silencieux.

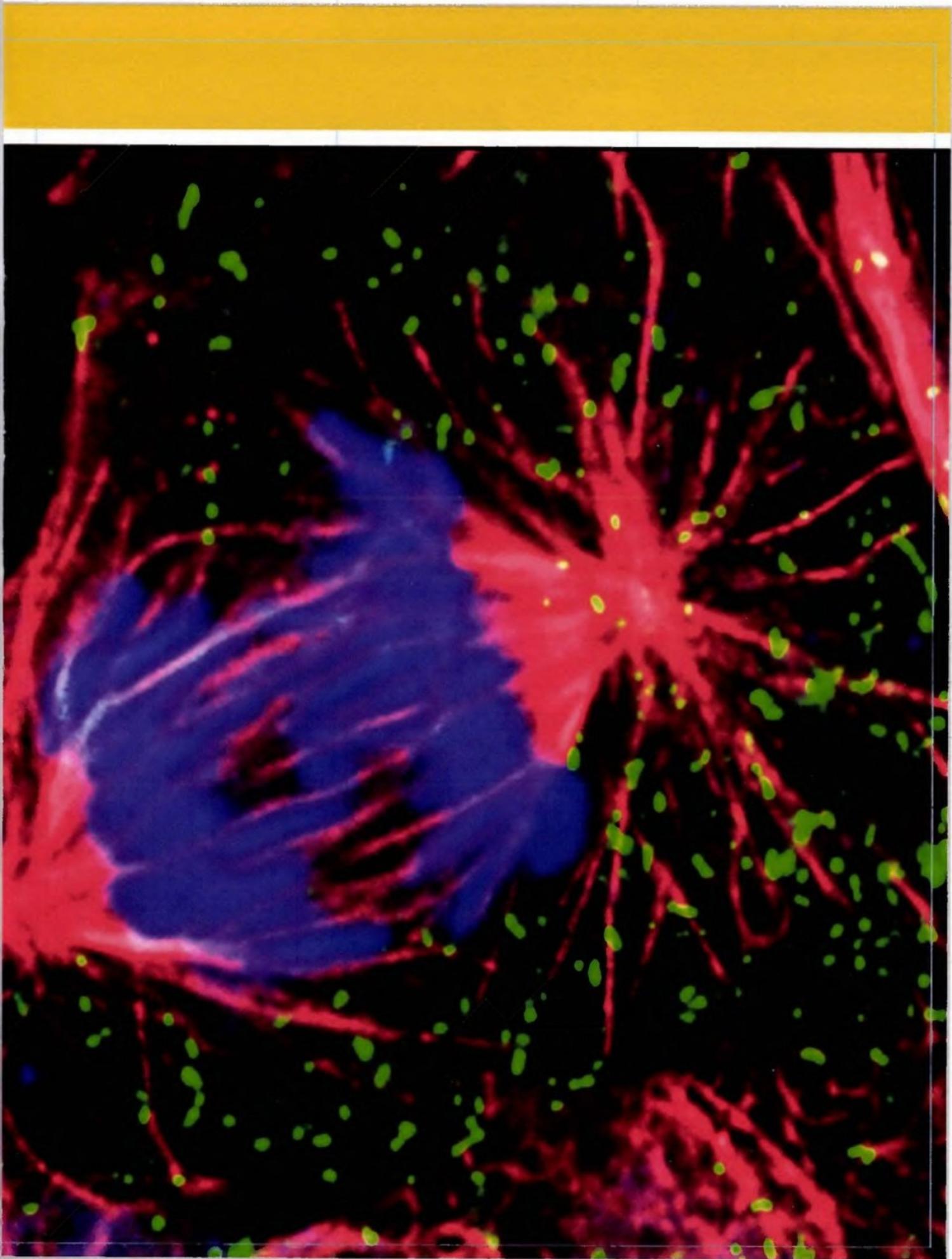
Cela étant, il existe effectivement deux catégories de cellules contenant un ADN différent des autres. D'une part, les lymphocytes B, cellules de l'immunité dont une

partie de l'ADN est sans cesse réorganisée (on dit recombinée) afin de produire une infinité d'anticorps adaptés à la défense de l'organisme. D'autre part, les gamètes, ou cellules sexuelles, qui ne portent chacun que 23 chromosomes uniques. Ces derniers sont assemblés à partir d'un mélange aléatoire des gènes de chaque paire de chromosome contenues dans les cellules qui produisent les gamètes. Toutes les autres cellules contiennent la même information génétique. →

> Au cours de la mitose (division cellulaire), l'ADN de la cellule mère est dupliqué de façon à ce que les deux cellules filles reçoivent le même matériel génétique.

▼ Chez l'homme, la molécule d'ADN est constituée d'une suite de 3,2 milliards de paires de "barreaux" – les bases – !







▲ Les lymphocytes B, comme les gamètes, ont un ADN différent des autres cellules.

→ Enfin, presque. Car un ultime processus intervient, qui fait que si quasiment toutes les cellules contiennent le même ADN, celui-ci, en réalité, n'est pas parfaitement identique. Pour comprendre, partons de la première cellule, celle qui forme l'œuf fécondé. Cette cellule est créée à partir de la rencontre de deux gamètes (l'un provenant du père, l'autre de la mère) apportant chacun leurs 23 chromosomes qui formeront les fameuses paires. Cette cellule, point de départ de toutes les autres, subit un processus de division (la mitose), qui permet d'obtenir

deux cellules filles en tout point identiques à celle qui leur a donné naissance. Y compris au niveau de l'ADN. Car, au cours de la mitose, l'ADN est dupliqué de façon à ce que chaque cellule fille reçoive le même matériel génétique.

ERREURS DE COPIE

Seulement voilà, ce mécanisme de réPLICATION n'est pas parfait et il arrive que des erreurs de copie se produisent. Même si elles sont très peu fréquentes, on compte environ une erreur pour 10 milliards de bases d'ADN répliquées sur les 3,2 milliards de paires que compte

la molécule humaine. "Toutes les cellules d'un organisme ont sans doute au moins une paire de bases de différence (rarement la même) avec celle dont elles sont issues", souligne Anne Plessis, du laboratoire Génétique du développement et évolution de l'Institut Jacques-Monod à Paris. Ces mutations peuvent être de trois types : la substitution d'un élément par un autre, l'insertion d'un élément supplémentaire à l'intérieur de la chaîne moléculaire ou, à l'inverse, une délétion. Ces deux derniers types d'erreurs peuvent avoir des conséquences importantes puisqu'ils décalent la chaîne moléculaire et peuvent ainsi fausser certains mécanismes cellulaires comme la création de protéines. Elles peuvent parfois être à l'origine de maladies génétiques extrêmement graves comme la mucoviscidose ou l'hémophilie. Mais heureusement, ces mutations spontanées sont le plus souvent dites "silencieuses", c'est-à-dire qu'elles n'altèrent pas le fonctionnement de la cellule ou l'expression correcte d'un gène, car elles surviennent dans des parties de la molécule qui ne correspondent pas à des gènes.

Gayané Adourian

**GAGNEZ UN ABONNEMENT
D'UN AN À**

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous ! Nous ne pourrons 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.

LES MUTATIONS DE L'ADN VIENNENT AUSSI DE SOURCES EXTERNES

Les erreurs "naturelles", dues à la réPLICATION, ne sont pas les seules à altérer notre ADN. Les rayons UV, le rayonnement radioactif, des virus ou encore certaines substances chimiques comme la fumée de cigarette peuvent également causer des mutations. Ces facteurs externes, appelés agents mutagènes, modifient la structure de l'ADN par exemple en brisant des paires de bases. Quand les dispositifs naturels de réparation de l'ADN échouent, c'est toute une chaîne de réactions qui est modifiée et qui peut conduire au mieux à la mort de la cellule, au pire à sa prolifération chaotique et envahissante... Il peut arriver cependant qu'une mutation qui affecte les cellules sexuelles soit source d'évolution d'une espèce via la création d'un nouveau gène.



« Certains édulcorants ont un pouvoir sucrant 3000 fois plus élevé que le sucre.

Pourquoi les édulcorants ont-ils un goût sucré ?

Question de Dominique Marsaut, Saint-Cyr-sur-Mer (83)

Votre question fait certainement allusion aux édulcorants autres que le sucre, car le saccharose lui-même est un édulcorant, terme qui désigne les substances au goût sucré. Les scientifiques ont d'ailleurs fait du sucre l'édulcorant de référence, lui attribuant un indice 100. Cet indice permet de comparer la sensation de sucré que provoquent d'autres édulcorants – ce qui ne dit rien, au passage, de l'apport énergétique fourni au métabolisme. En comparaison, le glucose et le fructose, autres édulcorants naturels, ont respectivement un pouvoir sucrant

de 70 et 130. Pour sa part, l'industrie agroalimentaire propose des édulcorants dont le pouvoir sucrant dépasse de très loin celui du sucre. C'est le cas de l'aspartame, produit de synthèse (E951) deux cents fois plus sucrant, ou du sucralose (E955), six cents fois plus sucrant.

ILS TROMPENT LES PAPILLES

Certains, comme la thaumatine (E957), peuvent même être jusqu'à trois mille fois plus sucrants ! Leur goût sucré est dû au fait que ces substances activent, notamment sur la partie antérieure de la langue,

les mêmes récepteurs papillaires que le sucre. Elles les activent en établissant une liaison chimique plus ou moins stable avec eux. Plus cette liaison dure longtemps, plus la sensation de sucré est forte. Quand cette liaison se relâche, la sensation de sucré disparaît. Mais, quelle que soit la molécule, si le cerveau ne fait effectivement pas la différence au niveau du goût, il ne se laisse plus berner une fois le faux sucre dans le sang. Ce dernier n'apportant presque aucune calorie, l'organisme réclame et recherche la ration énergétique promise, généralement en augmentant l'appétit et donc la prise alimentaire. Ce décalage explique pourquoi l'usage d'édulcorants très puissants n'a que peu d'intérêt lorsqu'il s'agit de perdre du poids, car il réduit la ration de sucre tout en entretenant l'appétit pour les aliments sucrés.

N.K.



Le poids de la Terre est-il constant ?

Question de Lucie Viver, Paris 20^e

Parlons plutôt de sa masse, car la notion de poids (sur Terre) est le résultat de la gravité exercée par notre planète sur une masse, comme l'a découvert Newton en 1684. Pour parler du poids, il faudrait donc pouvoir peser la Terre... sur la Terre. Mais alors comment connaître sa masse ? Simple : elle peut être calculée à partir de la constante de gravitation universelle G qui a été

définie à la fin du XVIII^e siècle. Aujourd'hui, la valeur de cette masse a été affinée par des mesures très précises de la forme de la Terre effectuées par satellite. Elle est globalement estimée à $5,97 \times 10^{24}$ kg et, pour répondre à votre question, cette masse n'est pas constante. De fait, elle augmente de 100 à 1000 tonnes par jour selon l'intensité du bombardement météoristique qu'elle subit en

permanence. Parallèlement, elle perd un peu d'atmosphère, de l'ordre du microgramme par jour. Ces variations de matière sont toutefois si dérisoires par rapport à la masse de la Terre que cela ne l'influence pratiquement pas. Mais ce ne fut pas toujours le cas, car dans les débuts de l'histoire de la Terre, il y a quelque 4,5 milliards d'années, sa masse grandissait par absorption des corps voisins. G.A.

> Bombardements de météorites et perte d'atmosphère font varier la masse de notre planète presque imperceptiblement.



Pourquoi les électrons ne s'écrasent pas sur le noyau ?

Question de Philippe Vasset, Paris 19^e

Au vrai, votre question se poserait si la structure de l'atome correspondait à celle qu'avancait en 1911 le découvreur du noyau atomique, Ernest Rutherford. Le physicien anglais proposait de considérer l'atome comme un système solaire miniature avec le noyau au centre, les électrons en orbite et la force électromagnétique jouant le rôle de la gravité. Ici, les électrons seraient maintenus en orbite circulaire grâce à l'équilibre entre force centrifuge, qui tend à les éloigner du noyau, et force électromagnétique, qui les attire vers

le noyau. Mais dans ce modèle, rien n'interdit à l'électron de ralentir au point d'entrer en collision avec l'un des protons du noyau. De la même façon que si la Terre ralentit, elle finira par entrer en collision avec le Soleil.

NIVEAU D'ÉNERGIE MINIMUM

Sauf qu'il y a un souci : s'il en était ainsi, les atomes n'étant pas stables, nous ne serions pas là pour en discuter !

Le modèle planétaire de Rutherford n'est donc pas suffisant pour rendre compte de la réalité de l'atome.

Relevant d'une conception classique de la physique, il ne tient pas compte des phénomènes quantiques, comme le fait que l'énergie, la vitesse et la trajectoire d'un électron dans un atome sont des paramètres quantifiés qui ne peuvent pas prendre n'importe quelle valeur. Il existe ainsi un niveau d'énergie minimum, qualifié de fondamental, en deçà duquel l'électron ne peut descendre. Ce niveau est associé à une vitesse précise et à une orbite bien définie qui déterminent la trajectoire la plus proche du noyau que l'électron



La circoncision protège-t-elle vraiment du sida ?

Question de Pierre Hamouda, Pierrefitte-sur-Sauldre (41)

En fait, la face interne du prépuce est une muqueuse fragile où se concentrent de nombreuses cellules immunitaires, les cellules dendritiques, très sensibles au VIH. En pratiquant l'excision complète ou partielle du prépuce, la circoncision réduit la surface de cette muqueuse et donc le nombre de cellules ciblées par le virus. C'est ainsi que le risque d'acquisition

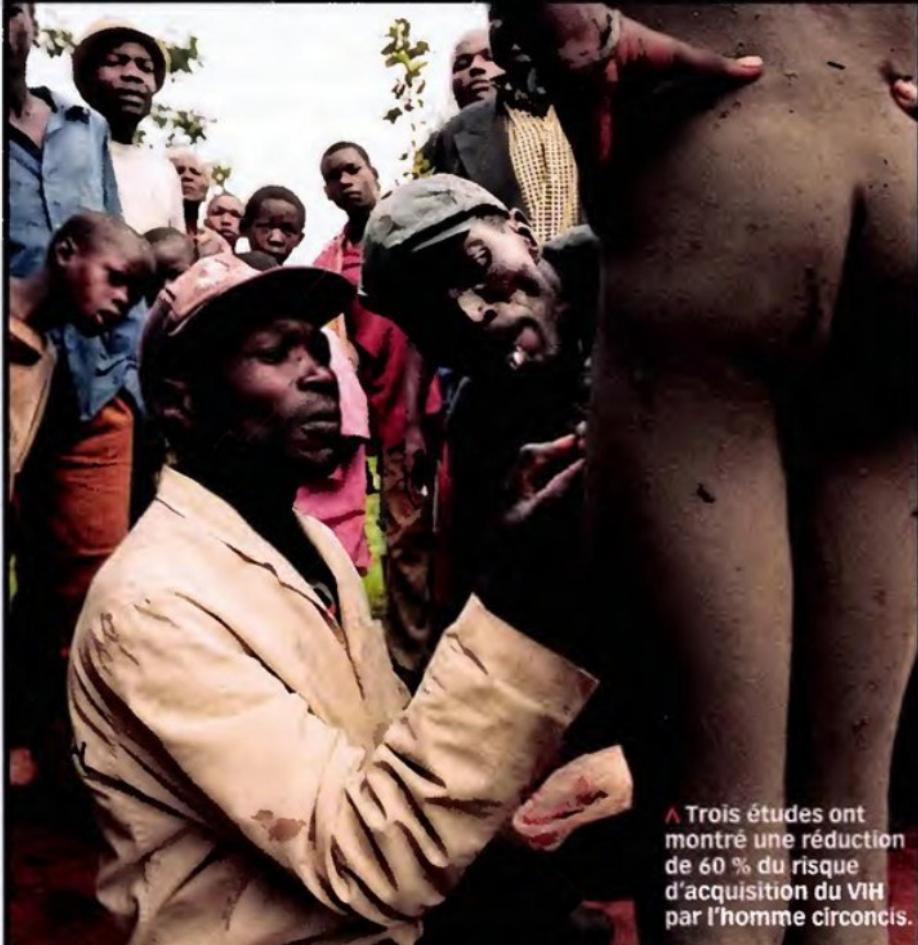
du VIH par l'homme circoncis est réduit de 60 %, comme l'ont démontré trois études menées en Ouganda, au Kenya et en Afrique du Sud en 2005 et 2007. Cela étant, cette protection n'est que partielle. Et surtout, la circoncision d'hommes infectés par le VIH ne réduit pas la transmission du virus à leurs partenaires par le sperme. Par ailleurs, la circoncision réalisée

dans de mauvaises conditions laisse parfois des saignements ou des infections qui, adjoints à une reprise des rapports sexuels trop précoce, peuvent accroître la transmission du virus au partenaire. Ce pourquoi l'OMS comme l'Onusida préconisent la pratique de la circoncision, mais par des praticiens formés et dans des conditions sécurisées. A.B.

peut espérer suivre – et ce n'est pas une trajectoire de collision.

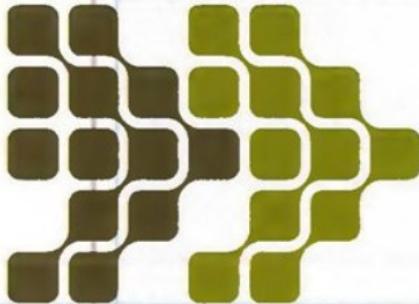
C'est Niels Bohr, physicien danois, qui introduit, en 1913, la quantification des niveaux d'énergie dans le modèle planétaire de l'atome. Reste que, même ainsi amendé, ce modèle n'est pas totalement satisfaisant. Car parler de trajectoire pour rendre compte des déplacements de l'électron supposerait que l'on sache où il se trouve à chaque instant. Or, on ne peut connaître que la probabilité qu'il occupe telle ou telle région de l'espace autour du noyau : ce sont les orbitales. Ainsi, à chaque niveau d'énergie correspond une orbitale de forme et d'extension différentes. Celle du niveau fondamental est une sphère centrée sur le noyau. Lorsqu'il est dans ce niveau d'énergie minimale, l'électron peut être n'importe où à l'intérieur de cette sphère – y compris dans le noyau !

E.H.



▲ Trois études ont montré une réduction de 60 % du risque d'acquisition du VIH par l'homme circoncis.

le point sur



La formule 1

Le 14 mars, le Grand Prix de Bahreïn, dans le Golfe, a lancé le championnat 2010 de formule 1. Que réserve cette nouvelle saison ? A quelles démonstrations ces monoplaces uniques en leur genre vont-elles se livrer durant ces huit mois ? Faut-il s'attendre à de multiples rebondissements, comme ce fut le cas en 2009 lorsque les modifications du règlement et les nouvelles technologies embarquées sur les véhicules ont chamboulé le classement ?

DES INNOVATIONS MARQUANTES

Une chose est sûre : depuis le premier championnat du monde des pilotes en 1950 ("Un peu d'histoire"), la formule 1 (ou F1) attire les plus grands constructeurs automobiles mondiaux : Ferrari, Mercedes, BMW, Renault, Toyota, etc., qui investissent des sommes colossales ("Bon à savoir"), pour tirer profit des retombées médiatiques en cas de succès. Sachant que leur objectif est double : développer des monoplaces qui roulent le plus vite possible, mais tout en respectant une série de contraintes dictées par un règlement très strict. Remis à jour tous les ans

par la Fédération internationale de l'automobile (FIA), ce règlement implique que les ingénieurs mènent des travaux de recherche permanents sur la légèreté du véhicule, son adhérence au sol, son aérodynamisme ou encore sa motorisation.

Les deux dernières avancées de 2009 ? Le SREC (Système de récupération de l'énergie cinétique, ou "KERS" en anglais), qui permet de fournir de la puissance supplémentaire pour propulser la F1. Normalement, l'énergie cinétique, liée au mouvement d'un véhicule, est éliminée sous forme de chaleur lors de son freinage. Avec le SREC, cette énergie n'est pas perdue mais récupérée et stockée. Ce système l'emmagsine en effet dans des batteries (au maximum 60 kilowatts par tour de piste) et la restitue ensuite à la demande, lorsque le pilote appuie sur un bouton pendant un maximum de 6 secondes à pleine puissance (de manière continue ou en plusieurs fois). Au final, cela représente près de 80 chevaux supplémentaires, soit 10 % de puissance en plus ("Comment ça marche") ! →

Poids minimum : 620 kg
Poids avec pilote (sans lest) : 570 kg
Poids du lest : 50 kg
Poids d'essence en plus : 140 kg
Régime moteur maxi : 19 000 tr/min
Masse moteur : 95 kg mini
Diamètre des roues : 660 mm



Largeur : 1 800 mm

Roues motrices

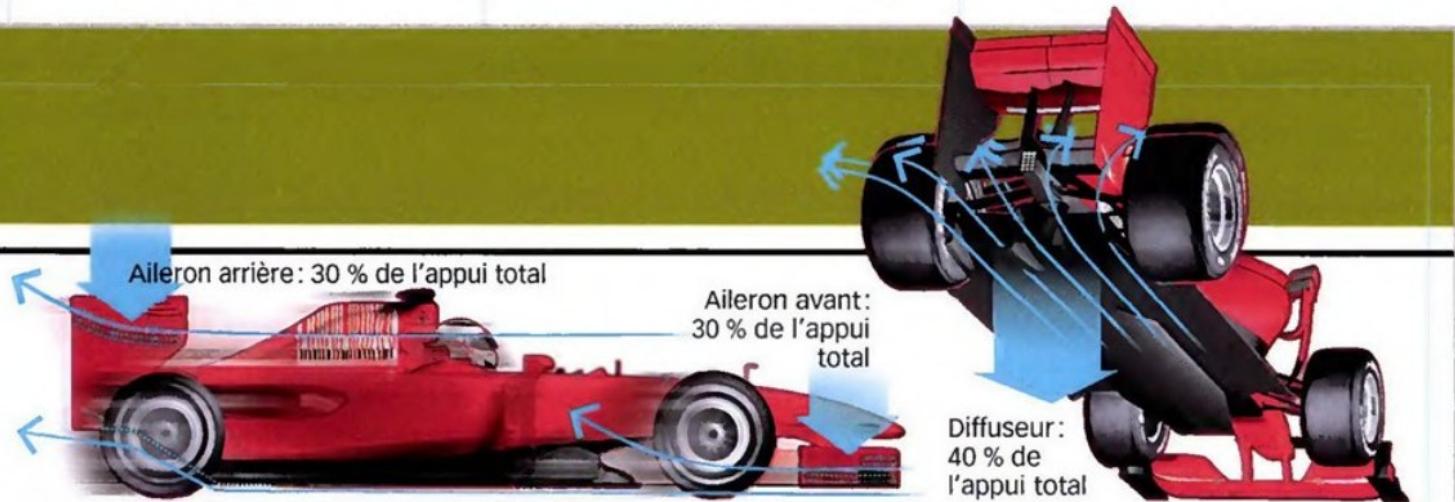


Hauteur : 950 mm

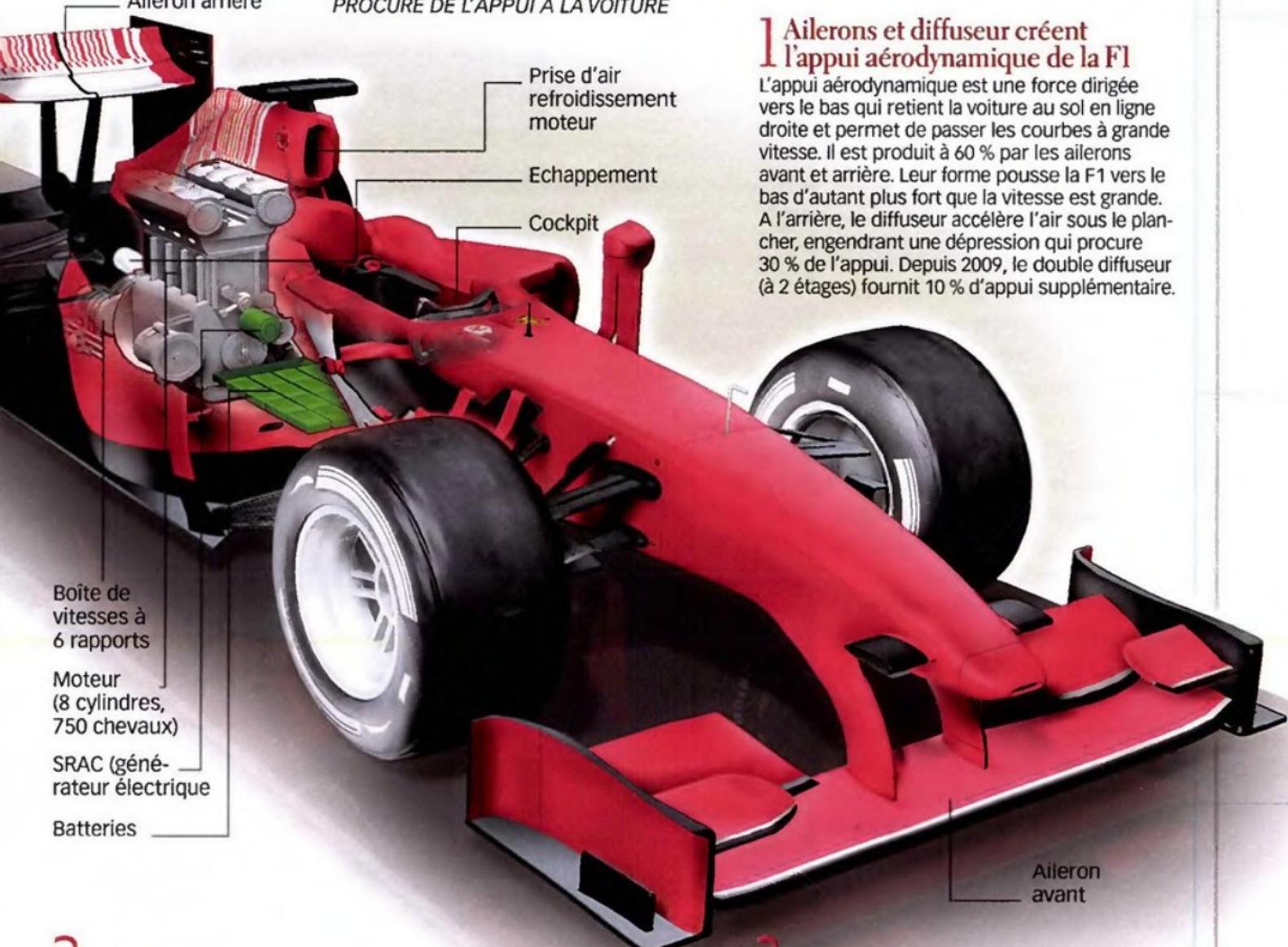
Longueur : elle est libre. Mais elle ne peut se prolonger au-delà de 500 mm de l'axe des roues arrière et de 1 200 mm de l'axe du train avant.

COMMENT ÇA MARCHÉ

Les formules 1 ne sont pas des véhicules extrêmes. Ils sont bridés pour assurer à la fois le spectacle et garantir la sécurité des courses. Ainsi, leur vitesse est limitée à 320 km/h, leur poids doit respecter un minimum de 620 kg, l'effet d'appui aérodynamique est limité, etc. Tout le défi des ingénieurs est alors de faire les voitures les plus performantes possibles dans les limites du règlement.



LE PROFIL EN AILE D'AVION INVERSÉE PROCURE DE L'APPUI À LA VOITURE



2 Le SREC procure un surplus d'énergie

Le SREC (Système de récupération de l'énergie cinétique) est un générateur électrique connecté à l'axe du moteur. Au freinage, le générateur transforme la décélération en courant électrique, qui est stocké dans une batterie. A l'accélération, ce même générateur devient un moteur complémentaire de près de 80 chevaux. Le tout pèse 25 kg et permet au pilote de gagner de 3 à 4 dixièmes au tour.

1 Ailerons et diffuseur créent l'appui aérodynamique de la F1

L'appui aérodynamique est une force dirigée vers le bas qui retient la voiture au sol en ligne droite et permet de passer les courbes à grande vitesse. Il est produit à 60 % par les ailerons avant et arrière. Leur forme pousse la F1 vers le bas d'autant plus fort que la vitesse est grande. A l'arrière, le diffuseur accélère l'air sous le plancher, engendrant une dépression qui procure 30 % de l'appui. Depuis 2009, le double diffuseur (à 2 étages) fournit 10 % d'appui supplémentaire.

3 Les pneus froids changent la donne

Préparer les pneus avant la course à l'aide de couvertures chauffantes permet une adhérence optimale dès le départ. Cette saison, la FIA abandonne cette pratique. Il faudra donc deux tours pour amener les pneus lisses (obligatoires désormais) à la bonne température (100 °C) et à la bonne pression. Avec une tenue de route réduite et des risques d'éclatement importants...



→ Seconde innovation qui a bouleversé la F1 en 2009, au point de permettre aux petites écuries de surclasser les plus grandes (Ferrari, BMW, Renault...): les "doubles diffuseurs", ces extracteurs visibles à l'arrière des monoplaces, qui servent à faire circuler l'air sous la voiture afin de l'aspirer vers le sol et lui donner plus d'appui. De manière générale, les extracteurs garantissent près de 30 % de l'appui aérodynamique des F1. Quant aux doubles extracteurs, ils ont apporté 10 % d'appui supplémentaire, ce qui a permis des gains de 0,5 à 1 seconde sur les temps au tour...

ENCORE DES RÉFORMES...

Introduits sur les voitures des constructeurs Toyota, Williams et Brawn GP, les doubles diffuseurs ont provoqué une âpre polémique au début de l'année 2009 parce que certaines écuries qui ne s'étaient pas équipées, Ferrari en tête, remettaient en cause leur légalité. Après examen du dossier, la FIA les a finalement acceptés en avril 2009 et les écuries plaignantes ont fini par cravacher pour s'en doter à leur tour.

Pour 2010, d'autres réformes sont au menu du championnat. A commencer par l'interdiction des ravitaillements en essence pendant les Grands Prix, afin d'inciter les motoristes à trouver des solutions plus économiques en matière de consommation de carburant. Cette contrainte a d'ores et déjà obligé les ingénieurs des écuries à concevoir des réservoirs plus grands, capables de contenir 150-170 litres d'essence au lieu de 80 à 100 litres et des moteurs moins gourmands. A l'avenir ("Et demain"), les constructeurs de F1 devraient s'orienter vers des technologies plus propres, s'appuyant notamment sur l'utilisation accrue de biocarburant.

K.B. ■

UN PEU D'HISTOIRE...

L'histoire de la F1 a commencé avec les premières courses automobiles disputées dès... la fin du xixe siècle! La première eut lieu au pont de Neuilly le 20 avril 1887, 117 ans après l'invention de l'une des premières voitures à vapeur en 1770 par l'ingénieur français Joseph Cugnot (1725-1804). Il n'y avait alors qu'un seul véhicule au départ, puisque le but était d'arriver à finir le trajet... sans accident. La voiture en question était un quadricycle à quatre places, propulsé par une chaudière à vapeur. Les premières voitures monoplaces datent de 1911, lorsque les organisateurs de courses décidèrent de supprimer le mécanicien à côté du pilote.

La discipline "F1", elle, a été créée en 1946, à la suite de l'uniformisation des règles par la Fédération internationale de l'automobile (FIA). Elle prit son envol lors du premier championnat du monde en 1950.

De 250 à 900 chevaux

A cette époque, les voitures, comme la Mercedes-Benz pilotée en 1955 par Juan Manuel Fangio (5 fois champion du monde), étaient construites avec un châssis en poutrelle d'acier et n'avaient aucun élément aérodynamique. Le moteur était à l'avant, enveloppé d'une carrosserie en forme de cigare. L'habitacle était ouvert, sans ceinture de sécurité. Ces premières F1 étaient dangereuses à

1955

> Au grand prix de Monza, Juan Manuel Fangio pendant les essais. L'aérodynamisme et la sécurité n'étaient pas encore une préoccupation...

1969

▼ Colin Chapman (à g.) introduit les ailerons. Ici, au grand prix de Monaco, avec un mécanicien et le pilote Graham Hill.



conduire, peu puissantes (250 chevaux en moyenne contre 900 ch ces dernières années) et peu rapides (moins de 150 km/h en moyenne, plus de 300 km/h actuellement!).

Dès les années 1950, le développement des moteurs fut une priorité. Objectif: atteindre les 400 ch. Les ingénieurs abandonnèrent progressivement le moteur atmosphérique (la prise d'air est à pression atmosphérique) pour le moteur turbocompressé (l'air est injecté sous pression, permettant une plus grande puissance). Cette technologie fut réellement maîtrisée à la fin

des années 1970 par Renault, suivi par BMW et Ferrari. A partir de 1958, les études se concentrent également sur la rigidité des F1. L'ingénieur britannique Colin Chapman (1928-1982) introduit l'une des





1981

La McLaren MP4/1 est la première F1 en matériaux composites à base de fibres de carbone (ici, John Watson au Grand Prix de Silverstone).

F1 connaît une autre innovation aérodynamique : l'effet au sol, un phénomène qui permet aux voitures d'aller très vite dans les courbes, sans perdre d'adhérence. En 1977, Colin Chapman, encore lui, développe les premiers bolides munis de dispositifs de jupes à effet de sol (larges pontons latéraux avec un profil en forme d'aile d'avion renversée) créant une dépression sous la voiture et permettant, ainsi, de la plaquer au sol. Problème, les pilotes étaient soumis à de telles forces latérales qu'ils risquaient la syncope... Aussi

plus importantes évolutions : le châssis monocoque en tôle d'aluminium. A la fin des années 1960, les ingénieurs développent une autre technologie issue de l'aéronautique : les ailerons. Ces petites ailes situées à

l'avant et à l'arrière renforcent l'adhérence au sol de la F1. Les premiers apparaissent lors du Grand Prix de Belgique en 1968, la Lotus 49 étant l'une des toutes premières voitures à en être équipée. Dix ans plus tard, le monde de la

à la fin de la saison 1982, ces dispositifs furent interdits. Mais les ingénieurs n'abandonnent pas pour autant : ils réalisent qu'un relèvement arrière du fond plat de la F1 permet une décompression de l'air qui le traverse, d'où une pression négative collant la voiture sur la piste. De là naît, en 1982, le diffuseur.

Sécurité très améliorée

Dans les années 1980, pour que les voitures soient plus légères et encore plus solides, le châssis en aluminium est peu à peu construit en matériaux composites. Une avancée due à l'ingénieur britannique John Barnard qui met au point en 1981 la MP4/1, première F1 en matériaux composites à base de fibres de carbone. Enfin, en 2009, trois écuries, Toyota, Williams et Brawn GP, créent l'événement avec le développement de "doubles diffuseurs", ces extracteurs permettant de faire circuler l'air sous la F1. Le SREC (Système de récupération de l'énergie cinétique) apparaît, lui aussi, cette année-là. Il s'inspire en réalité d'une invention imaginée dès... la fin des années 1970 par les ingénieurs de l'American Motors Corporation. Au final, grâce à ces progrès techniques et à l'évolution du règlement, la F1, même si elle reste dangereuse, n'est presque plus mortelle. En témoigne l'évolution du nombre de pilotes tués au volant : douze morts dans les années 1970, six dans les années 1980, deux dans les années 1990 et aucun au cours des années 2000.



BON À SAVOIR

■ COMBIEN ÇA COÛTE ?

Une monoplace vaut en moyenne plus d'un million d'euros. La recherche pour la développer nécessite de 100 à 300 millions d'euros ! C'est que les 5000 pièces d'une F1 sont d'abord modélisées par ordinateur, puis testées une par une, sur des bancs d'essai ou en soufflerie...

■ COMBIEN PÈSE UNE F1 ?

En 2009, le poids minimum était de 605 kg, pilote à bord. En 2010, il a été relevé à 620 kg afin de permettre l'intégration du système de récupération de l'énergie au freinage. A titre de comparaison, une voiture de tourisme type Clio pèse 1200-1300 kg, soit deux fois plus !

■ QUELLE EST LA VITESSE RECORD ATTEINTE PAR UNE F1 ?

370,1 km/h en course et 372,6 km/h en essais privés, record réalisé en 2005 par Juan Pablo Montoya sur McLaren-Mercedes, sur le circuit de Monza.

■ QUELLE EST SA PUISSANCE ?

Le règlement plafonne le régime moteur à 19000 tours/min, soit environ 750 ch, mais avant cette limitation, les moteurs V8 pouvaient monter jusqu'à 900 ch.

■ COMBIEN CONSOMME UNE F1 ?

Environ 70 litres de carburant pour 100 km, variable selon les constructeurs, le pilotage, les circuits mais aussi le temps (la pluie peut l'augmenter jusqu'à 25 %). La consommation d'huile est proportionnellement importante : 1 l par course (300 km), soit 3,3 l pour 1000 km.

■ QUEL CARBURANT UTILISE-T-ELLE ?

Du sans-plomb 95 ou 98 (indice d'octane 85 et 88) ; mais pour améliorer les performances, l'indice d'octane est de 102. Depuis 2008, la FIA a imposé que 5,75 % du carburant soit d'origine biologique.

■ QUELLE EST SA PUISSANCE DE FREINAGE ?

Les F1 passent de 200 km/h à 0 km/h en 55 mètres et moins de 2 secondes. Un Porsche GT3, référence parmi les sportives, passe de 200 km/h à 0 km/h en 146 mètres et 5,3 secondes.

ET DEMAIN ?

Difficile de dire précisément ce que les ingénieurs des écuries de F1 mijotent dans le secret de leurs laboratoires puisque la concurrence technologique fait rage dans ce domaine. Ce que l'on sait néanmoins avec certitude, c'est que la recherche sur les formules 1 s'oriente vers des véhicules plus écologiques.

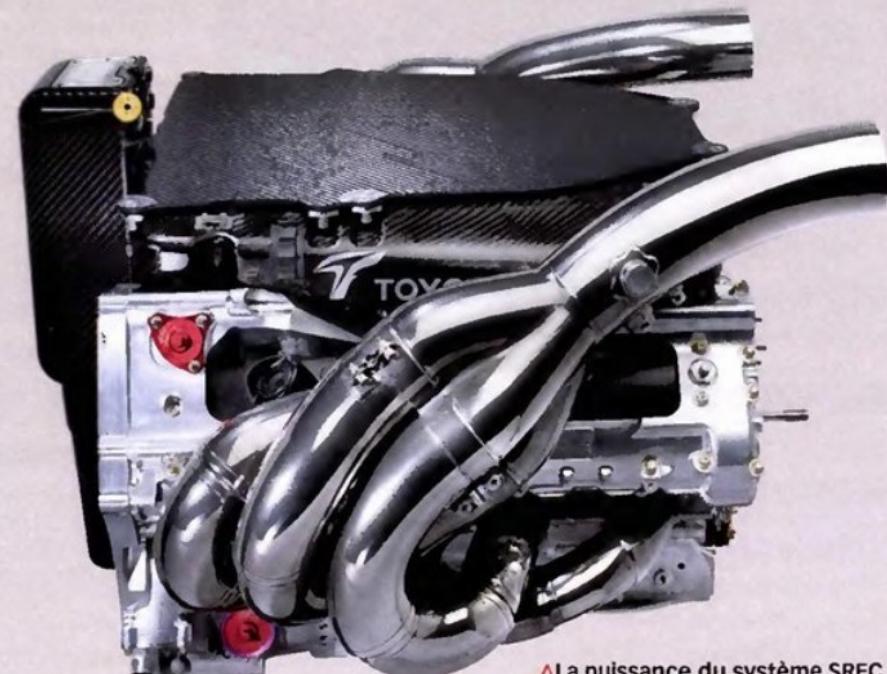
Ainsi, la puissance du système SREC instauré en 2009, qui permet de récupérer l'énergie perdue au freinage pour la réutiliser lors des dépassements, devrait être doublée de 60 kW à 120 kW en 2011, puis augmentée jusqu'à 200 kW en 2013. Un principe de récupération de chaleur pourrait également être développé en 2011 sur le système de refroidissement, puis sur le système d'échap-

pement des moteurs, deux ans plus tard. Autre innovation qui devrait verdir l'image de la F1 : le carburant. Les ingénieurs vont probablement devoir être amenés à développer des moteurs fonctionnant davantage au bioéthanol.

■ Un carburant cent pour cent bio ?

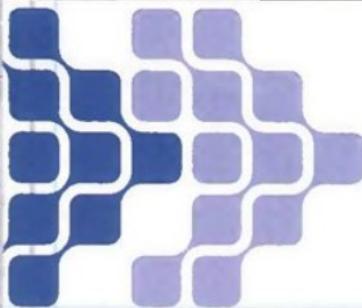
"Depuis 2008, la Fédération internationale de l'automobile a imposé qu'au moins 5,75 % du carburant utilisé soit du biocarburant. Mais on peut imaginer que dans quelques années, le carburant des monoplaces de F1 sera 100 % bio", précise Rémi Taffin, responsable de l'équipe "piste-moteur" de Renault F1 chez Renault Sport. Concernant l'introduction du moteur tout-électrique

en formule 1, l'ingénieur se montre, en revanche, plus dubitatif : "C'est possible techniquement dès aujourd'hui, mais en pratique cela reste difficilement envisageable pour l'instant. Et pour cause : il faudrait s'arrêter 4-5 fois tous les 300 km [distance moyenne d'un Grand Prix] pour recharger les batteries... Sans compter le fait que le moteur électrique en F1 enlèverait un certain charme à la discipline, à savoir le 'joli bruit' caractéristique des moteurs thermiques actuels, qui contribue à faire des courses un véritable spectacle..." Enfin, dans les prochaines années, on pourrait aussi voir arriver des pneumatiques quasi inusables, capables de durer toute une saison, au lieu des 100 kilomètres actuels.



▲ La puissance du système SREC de récupération d'énergie devrait plus que tripler d'ici à 2013.

technofolies



Spécial durable

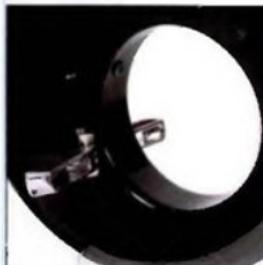
Du 25 au 28 mars, le salon

Planète durable ouvre ses portes

à Paris, juste avant la Semaine du développement durable, du 1^{er} au 7 avril. A l'occasion de ces

manifestations, nous vous proposons des produits qui peuvent aider à rendre nos gestes plus écologiques. Cette année, la plupart des nouveautés font la part

belle au recyclage et à la récupération d'énergie. Transport, loisirs, énergie, maison... autant de secteurs où se déploie l'innovation : étonnantes deux-roues et scooter électriques, matériaux recyclés-recyclables, appareils pour maîtriser sa consommation énergétique, habitat préservant l'environnement... Sélection.



126

Transport

Le deux-roues amorce un nouveau cycle



128

Loisirs

Des appareils recyclés ou recyclables



130

Energie

Des solutions pour l'économiser facilement



132

Maison

Elle entame sa révolution intérieure

Transport

Ils surprennent par leur solidité, leur sens de l'économie et leur facilité d'adaptation. Et s'apprentent à s'installer durablement dans le paysage urbain: ce sont les deux-roues à énergie électrique.

Un mini deux-roues taillé sur mesure pour la ville

L'un des défauts des vélos électriques est qu'ils sont lourds (30 kg en moyenne), ce qui peut être gênant en centre-ville pour franchir certains obstacles (trottoirs, escaliers...). Pour y remédier, le fabricant néo-zélandais Mini-Farthing a conçu le YikeBike. Ce mini deux-roues électrique (71 x 64 x 17 cm) est l'un des plus légers du marché (9,8 kg). Son design original, avec sa petite roue arrière, le rend ainsi très maniable. Assis sur la selle comme sur un siège, il suffit de poser les mains sur les poignées latérales et les pieds sur les cales de sa grande roue pour rouler, en toute stabilité. Inutile de pédaler: son moteur (1,2 kW) le propulse à une vitesse limitée à 20 km/h et sa batterie lithium-phosphate, située dans la grande roue, assure environ 10 km de

balade sans effort. Pour plus de sécurité, son guidon arrière possède même des clignotants et des feux stop. Et si un piéton traverse inopinément la route, ses freins électroniques anti-dérapage lui permettent de s'arrêter rapidement. Arrivé à destination, il se replie en quelques secondes (60 x 60 x 15 cm) et se transporte dans sa sacoche. Il se recharge en 30 minutes en le branchant directement sur le secteur. Le YikeBike convient aux personnes de 1,60 à 1,95 m, et pesant au maximum 100 kg. L.B.

Prix: env. 3 500 €.
Rens.: www.yikebike.com

> Le "cycliste" s'installe sur la selle et tient le guidon légèrement en arrière de l'aplomb des bras.



LE CHARGEUR ALIMENTÉ PAR LE PÉDALAGE

Recharger son téléphone mobile ou son GPS sur la dynamo de sa bicyclette: c'est ce que propose le fabricant allemand Busch & Müller avec son chargeur E-Werk (différents connecteurs sont fournis). Une fois ce petit boîtier étanche fixé sur le cadre du vélo, il suffit de régler l'intensité (de 0,1 à 1,5 A) et la tension électrique (2,8 à 13,3 V) adaptées. A 15 km/h, l'énergie du pédalage lui permet de recharger un appareil aussi vite qu'un chargeur branché à une prise électrique.

L.B.

Prix: env. 140 €. Rens.: www.bumm.de



< L'appareil utilise l'énergie de la dynamo.



Ça change la vie...

Un scooter écolo à hautes performances

Comment concilier transport écologique, usage intensif, rapidité et autonomie? Matra a relevé le défi et propose un scooter à propulsion électrique, l'e-Mo+. Pneus "tubeless" (sans chambre à air) quasi increvables, frein à disque à l'avant, poignées renforcées, suspension arrière dotée d'un amortisseur double et fourche hydraulique, le nouveau venu n'a plus grand-chose à envier à ses homologues thermiques dans la catégorie 50 cm³. Accessible dès 14 ans avec le BSR (Brevet sécurité routière), l'engin qui ne pèse que 50 kg délivre une puissance maximale de 1200 watts (soit 1,6 ch) ce qui lui permet d'atteindre la limite légale des 45 km/h. La propulsion électrique de l'e-Mo+ est quasiment silencieuse, au regret peut-être des nostalgiques du bruit très démonstratif des moteurs à essence. L'environnement et le porte-monnaie du propriétaire en sortent gagnants. Rechargeable en une heure et demie, la batterie lithium-manganèse amovible fournie en standard (capacité de 10 ampères-heures) assure 25 km d'autonomie à pleine vitesse en mode "power" et 40 km d'autonomie en mode standard (vitesse limitée à 30 km/h). Pour 200 euros de plus, Matra propose une batterie de 15 Ah (rechargés en 2 h 15) qui offre une autonomie de 35 à 60 km. Idéal en ville mais également utile à la campagne, l'e-Mo+ devrait d'autant plus séduire les ados éco-responsables qu'il permet de bénéficier de primes écologiques dans de nombreuses régions (400 euros à Paris).

D.M.

Prix: env. 2000 € avec batterie 10 Ah et 2200 € avec batterie 15 Ah. Rens.: www.matra-ms.com

> Sa puissance de 1200 watts (1,6 ch) lui permet de rouler à 45 km/h.



Loisirs

Du bioplastique de maïs, du bambou, des polycarbonates issus de DVD usagés : les matériaux sont désormais recyclés ou recyclables... à loisir.

Le netbook basse consommation en plastiques recyclés

Châssis, clavier, repose-poignet... 80 % des pièces en plastique du netbook Vaio W Eco Edition de Sony sont constituées de matériaux recyclés – polycarbonates extraits de vieux CD et DVD. Il est livré dans une sacoche résistante et compacte, fabriquée à partir de plastique de

bouteilles recyclées. Selon le constructeur, les émissions de CO₂ seraient ainsi réduites de 10 % pendant la fabrication et le transport. Piloté par Windows 7, ce netbook est équipé d'un processeur Intel Atom gravé en 45 nm et d'un écran rétro-éclairé par des diodes basse



▲ Ses éléments en plastique sont recyclés à 80 %.

consommation dépourvu de mercure. Il a obtenu la certification Energy Star 5.0, qui fixe des niveaux de consommation limites. Sa batterie standard offre jusqu'à 7 h 30 d'autonomie. D.M.

Prix : env. 450 €.

Rens : www.sonystyle.fr



▼ La longévité des appareils est multipliée par dix.

Des vidéoprojecteurs lumineux sans mercure

Le fabricant japonais Casio vient de lancer les premiers vidéoprojecteurs à luminosité élevée sans lampe à mercure. Leur source lumineuse hybride est obtenue à partir d'un semi-conducteur associant du rouge, assuré par des LED, du bleu, produit par laser, et du vert, dérivé du bleu grâce à du phosphore. Ce dernier modifie en fait les longueurs d'ondes et les phases de la lumière

laser bleue, via un commutateur contenant plusieurs millions de miroirs microscopiques. Résultat, la puissance lumineuse peut atteindre 3000 lumens. Ecologique, ce dispositif permet en outre de multiplier la longévité des appareils par dix (20000 heures d'images pour une résolution maximale de 1280 x 800 pixels). Avec son zoom optique 2x grand-angle, la distance de projection

varie de 1,4 m à 2,8 m pour une largeur d'image de 1 m. De dimension et de poids réduits (format A4 pour 43 mm d'épaisseur et 2,3 kg), ces vidéoprojecteurs communiquent sans fil avec un ou plusieurs ordinateurs (jusqu'à quatre). Ils fonctionnent également sans PC avec une clé USB. S.M.

Prix : de 700 à 1250 €.

Rens : www.casio-projectors.eu

UNE RADIO RECHARGEABLE EN 2 MINUTES À LA MANIVELLE

Conçue par l'entreprise française Lexon, la radio AM/FM bambou 81 Safe recharge son accumulateur en deux minutes, et en quelques tours de manivelle. Elle offre ainsi une demi-heure de son écologique. Également rechargeable sur secteur, elle peut servir de récepteur, de baladeur, grâce à une sortie pour écouteurs mais aussi d'amplificateur pour lecteur MP3. Son plus : elle est recyclable puisque composée de bioplastique de maïs et de bambou. F.H.

Prix : env. 65 €.

Rens : www.lexon-design.com

▼ Rechargée en quelques tours de manivelle, elle diffuse une demi-heure de programmes.





« En automatisant nos volets roulants, nous avons gagné en confort et en sécurité. Grâce à la centralisation, les volets se ferment et s'ouvrent d'un seul geste. Plus besoin de faire le tour de la maison au réveil ou pour vérifier que tout est fermé avant de partir. Faire des économies d'énergie dans ces conditions, c'est sans contrainte ».

Economisez 10% sur votre facture de chauffage : c'est possible avec l'Isolation Dynamique™.

Les volets roulants automatisés régulent la température intérieure.



En effet, les pertes ou gains de chaleur d'une maison se concentrent au niveau des ouvertures. En hiver, fermer les volets dès que la nuit tombe permet de mieux isoler la maison. Les ouvrir quand le soleil chauffe fait entrer une chaleur agréable et gratuite. Ces gestes simples ne sont pas anodins sur le plan énergétique.

C'est en automatisant et donc en systématisant ces actions que vous pouvez en tirer le meilleur profit.

L'Isolation Dynamique™ : votre maison réagit aux conditions climatiques extérieures, hiver comme été.

Ce que vous faites naturellement, des automatismes s'en chargent à votre place. Le principe est simple : les volets roulants se mettent automatiquement dans la position idéale. En hiver, ils isolent la maison du froid ou au contraire laissent entrer la chaleur. En été, ils se positionnent en lames ajourées pour préserver la fraîcheur à l'intérieur, tout en gardant de la lumière dans la maison.

Un capteur discret, une horloge programmable, pas de travaux : la simplicité Somfy.



L'Isolation Dynamique™ intègre deux automatismes : un capteur d'ensoleillement fixé sur la vitre ou la façade et une horloge programmable qui déclenchent à la demande l'ouverture ou la fermeture centralisée des volets motorisés. Fonctionnant sans fil, l'installation ne requiert aucune intervention sur les murs et préserve donc votre décoration intérieure, car les automatismes sont très discrets.

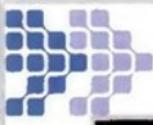
Des performances thermiques prouvées.

Jusqu'à 10% d'économie sur votre facture de chauffage en hiver et jusqu'à 9° de réduction de la température intérieure en été : ces gains ont été constatés par des laboratoires indépendants (Etude Physibel pour European Solar Shading Organization, Bruxelles).

C'est pourquoi l'automatisation des volets roulants est prise en compte dans la RT 2005 pour les logements neufs et fait partie des solutions éligibles à l'éco-prêt à taux zéro pour les travaux de rénovation.

POUR EN SAVOIR PLUS ET CONTACTER UN PROFESSIONNEL :
WWW.ISOLATION-DYNAMIQUE.FR





Energie

Economie l'énergie devient un jeu d'enfant: le "baromètre" autonome fait instantanément la lumière sur la consommation des divers appareils domestiques, en watts et en euros! Quant aux lampes-enceintes à LED, elles réduisent d'embolie la note d'éclairage de 80 %...

UN YO-YO POUR RECHARGER SES APPAREILS NOMADES

Grâce au YoGen de l'entreprise américaine Easy Energy, plus besoin de prise électrique pour recharger son mobile ou son PDA... Il suffit juste d'un peu d'huile de coude! Doté d'un alternateur interne, ce chargeur produit un courant de 5 watts, généré par de simples tractions répétées sur une corde reliée au dispositif, à la manière d'un Yo-Yo. Selon son constructeur, en une minute, il procure une recharge équivalente à celle obtenue à temps égal avec les chargeurs muraux standard. Soit de cinq à dix minutes de conversation, selon la marque du portable.

J.J.

Prix: env. 30 €.
Rens.: www.yogenstore.com

< Son alternateur interne est actionné par tractions répétées sur une corde, un peu comme un Yo-Yo.



Le boîtier qui calcule vos factures d'électricité

Le boîtier LCD BaroWatt de Watteco mesure la consommation électrique du foyer. A tout instant, il donne la puissance mobilisée par l'installation en kWh, avec l'estimation en euros par heure, jour ou mois. Il ne nécessite aucun ordinateur et s'installe en 10 minutes. La pince de mesure se place autour du fil rouge ou marron qui arrive au tableau électrique, sans branchement et sans contact électrique (mieux vaut faire appel à un spécialiste au moindre doute). Cette pince est connectée à un émetteur sans fil qui émet vers le terminal. Lequel se paramètre pour tenir compte des tarifs du fournisseur d'électricité.

P.G.

Prix: env. 80 €.
Rens.: www.watteco.fr

► Il affiche la consommation en kWh et en euros, par heure, jour ou mois.



baroWatt
baromètre énergétique

Cette lampe LED diffuse aussi la musique

Avec LightSpeaker, la firme américaine Klipsch propose la toute première lampe-enceinte à LED. En effet, le LightSpeaker est un bloc qui intègre un haut-parleur, un amplificateur et une LED, que l'on visse comme une ampoule. D'une puissance de 10 watts chacune, les lampes économisent 80 % d'électricité par rapport à une ampoule à incandescence de 65 watts. Ingénieux,

le système repose sur un émetteur-base qui diffuse la musique sans fil en direction des LED jusqu'à 15 m. Le volume sonore et la luminosité de chaque lampe-enceinte sont programmables indépendamment grâce à une télécommande.

Prix: env. 500 € pour l'émetteur, la télécommande et deux enceintes-LED. Rens.: www.klipsch.com/na-en



< Dans ce bloc, un haut-parleur, un ampli et une LED.



Maison

Un module-habitat où tout est pensé dans un souci d'indépendance énergétique et de préservation de l'environnement; des fenêtres qui renouvellent l'air en économisant l'énergie: une révolution de l'intérieur...

L'habitat d'un seul bloc, "propre" et autonome

Cette maison de 30 m², conçue par le designer français Frédéric Gaunet, est un container habitable inédit. Les panneaux solaires alimentant des LED de 3 à 10 watts assurent un éclairage autonome. Le mobilier (cuisine, bureau, cloisons...) provient de matériaux recyclés, recyclables ou

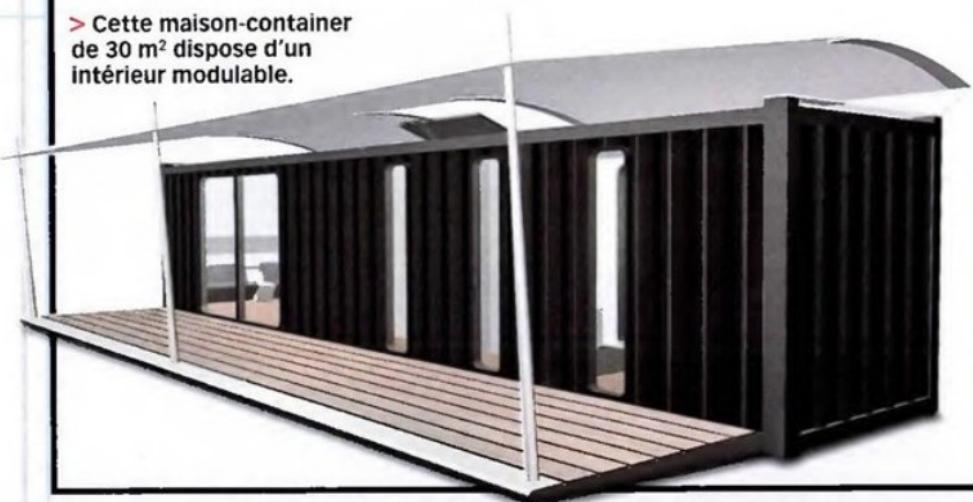
naturels. Des panneaux de chanvre de 145 mm protègent du bruit et isolent les cloisons et la toiture. Le sol est un PVC issu de matériaux recyclés tissés ou un parquet de bambou. Un système de filtrage des eaux usées à base de sable assure l'alimentation en eau. L'aménagement intérieur

est entièrement modulable. Primé lors de l'Observeur Design 2010 de la Cité des sciences, ce module de vie autonome sera exposé en juin au festival "Jardins, jardin", aux Tuileries, à Paris. L.F.

Prix: de 80000 à 120000 €, selon options.

Rens.: www.fredericgaunet.com

> Cette maison-container de 30 m² dispose d'un intérieur modulable.



▲ Le boîtier, long de 80 cm, s'installe dans le dormant d'une fenêtre PVC.

LA VENTILATION QUI ÉCONOMISE L'ÉNERGIE

Comment isoler une pièce, tout en renouvelant l'air régulièrement ? Lapeyre Industries et Aldes ont trouvé la solution: Ventiléo, un système de ventilation double flux, qui s'installe dans le dormant d'une fenêtre PVC. Assuré par deux ventilateurs de 3,5 watts, le renouvellement de l'air (jusqu'à 20 m³/h) est régi par un capteur d'humidité tandis qu'un filtre débarrasse l'air entrant des poussières et des pollens. Un échangeur thermique à "co-courant" sépare les flux d'air. Ainsi, les calories de l'air sortant réchauffent l'air entrant. L'économie d'énergie atteindrait 35 %. D.M.

Prix: entre 600 et 800 € par fenêtre.
Rens.: www.aldes.fr

Le petit boîtier valet
• Qu'est-ce que c'est exactement ?
• Est-il vraiment nécessaire à l'usage des Mts
• Une température dans le...
• La fonction de...
• 32... commandes pour vos besoins

Monsieur K,
voici
la France

Nos envoyés spéciaux
SAHARA

Il y a 50 ans...

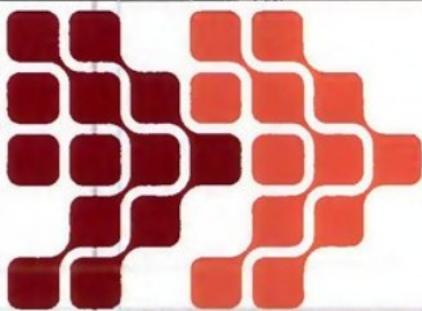
En 1960, les préoccupations vertes étaient déjà vives chez nos constructeurs. Pour preuve: ce récepteur radio miniature qui présente une performance écologique de taille: "Il fonctionne sans lampe, sans

transistor, sans pile ni batterie. L'énergie nécessaire ? Il la puise tout simplement dans les infimes courants d'induction qui circulent dans n'importe quel support métallique." Au passage, cette invention était

qualifiée à l'époque de plus petit récepteur du monde. Mais le nom de son inventeur n'était pas dévoilé... M.V.

> Le "plus petit récepteur radio du monde": son haut-parleur se glisse dans l'oreille.

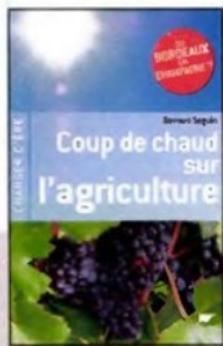




Nos champs à l'heure du réchauffement

Si la température augmente encore à la surface de notre planète, quelles en seront les conséquences pour le monde agricole ? Que va-t-il advenir des plantes, des animaux ? Faut-il s'alarmer ou simplement se réjouir ? Plus de chaleur, mais aussi plus de dioxyde de carbone dans l'air pour doper la photosynthèse devraient logiquement améliorer les rendements de nos cultures. Oui, mais jusqu'à quels niveaux de températures ? Et la démonstration s'applique-t-elle de la même manière sur chaque région, septentrionale ou méridionale ? Enfin, quel est donc en retour l'impact de l'agriculture sur le climat ? Avec talent, Bernard Seguin, directeur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique, réalise la synthèse attendue de toutes les études portant sur le sujet. Prenons l'exemple du vin, qui cristallise bien

souvent la curiosité et l'imagination. "Depuis la fin des années 1980, le réchauffement a été très favorable à la vigne, affirme l'agronome. Cette progression [des températures] s'accompagne d'une moins forte variabilité, avec peu d'années froides et humides, où il fallait remonter le degré alcoolique – et le moral des producteurs – par un ajout de sucre pas toujours autorisé." Mais les prévisions à plus long terme sont moins optimistes : bientôt, des cépages du Midi pourraient être adaptés dans le nord de la France, les vendanges être avancées de plusieurs semaines pour s'établir vers début août, le manque d'eau se faire sentir de plus en plus cruellement. Le vin va-t-il aussi devoir, pour s'adapter, se transformer en migrant climatique ?



*Coup de chaud
sur l'agriculture
Bernard Seguin,
Delachaux et
Niestlé, 224 p., 19 €.*





Minéraux remarquables
J.-C. Boulliard,
O. Martinelli, Le Pommier, 252 p., 69 €.

Grandeur nature

La collection de minéraux de l'université Pierre-et-Marie-Curie, l'une des plus réputées au monde, expose à Paris un millier de spécimens. Autant de simples cailloux? Il suffit de feuilleter ce magnifique ouvrage pour s'en dissuader. Les clichés des pierres, restituées en taille réelle sur un sobre fond noir, sont splendides. Couleurs, formes et noms (arsénopyrite, fluorite, orpiment...),

tout émerveille le néophyte. On pourrait certes mettre l'accent sur la valeur de chaque pièce: "Tous les jours, des gisements sont oubliés, épuisés ou disparaissent avec l'urbanisation, rappellent les auteurs. *Le compte à rebours a commencé, les collections conservent de plus en plus de spécimens introuvables.*" Mais le plus bel hommage à ce livre réside sans doute dans un message laissé sur le livre d'or de la collection: "Les pierres sont sublimes et l'exposition est un chef-d'œuvre de mystère, d'éclairage, et de goût – je me sens devenir un petit enfant qui n'a pas mangé depuis des jours et qui rentre dans la plus radieuse des pâtisseries..." Olivier Messiaen (27 mai 1971).

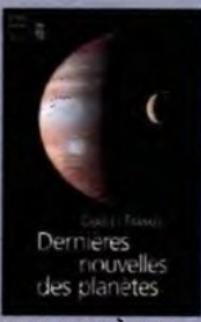
R.B. ★★

Et aussi...

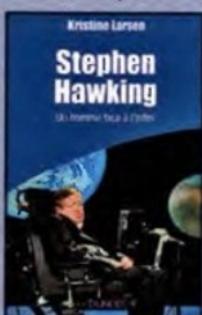


UN MONDE INVISIBLE

Ce sont des "poussières de mer" méconnues, qui sont pourtant à la base de la chaîne alimentaire marine et qui produisent la moitié de l'oxygène de notre planète. Un ouvrage original choisit de mettre en lumière le monde microscopique du plancton, végétal et animal, menacé par le changement. R.B. "L'Enjeu plancton", éd. Charles Léopold Mayer, 272 p., 18 €



en eau de Mars? Le géologue Charles Frankel a rassemblé les dernières données des sondes spatiales, télescopes ou robots autonomes, et offre une présentation richement documentée des planètes de notre système solaire. R.B. "Dernières nouvelles des planètes", Seuil, 300 p., 22 €.



L'HOMME DU COSMOS

Pour l'astrophysicien Michel Cassé, Stephen Hawking "incarne la puissance de l'esprit humain prisonnier d'un corps affligé". Cette biographie du cosmologiste de Cambridge et grand vulgarisateur à succès permet de mieux mesurer son génie, entre récit de vie et éclaircissement sur ses travaux autour des trous noirs. R.B. "Stephen Hawking", Dunod, 212 pages, 18 €.



EXPOSITION

De l'extinction des dinosaures à nos jours, l'histoire reconstituée

Plus forts que Les Experts! A partir de fossiles de dinosaures, d'animaux et de plantes, les paléontologues du Muséum national d'histoire naturelle ont reconstitué une histoire de 85 millions d'années, de l'extermination des dinosaures à la conquête de la Terre par l'homme en passant par l'essor des mammifères. "Dans l'ombre des dinosaures" révèle comment une catastrophe, en exterminant une grande partie de la vie sur Terre, sera le point de départ d'une renaissance. Parmi les éléments de l'enquête figurent

une reconstitution de la Terre il y a 85 millions d'années, des films relatant les divers scénarios qui expliquent la disparition des dinosaures, et des fossiles exposés pour la première fois en France. L'exposition se termine avec l'homme, champion de la conquête de la Terre, qui menace aujourd'hui son environnement au point que l'on parle de sixième extinction de masse. D'une extinction à l'autre...

Er.H.

"Dans l'ombre des dinosaures", au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, du 14 avril 2010 au 14 février 2011. Rens.: www.mnhn.fr



EXPOSITION

La puissante Méroé

Ça ressemble à une cité d'Egypte antique, mais ça n'en est pas une. Méroé a beau être installée sur les bords du Nil, on a beau y avoir découvert une multitude de petites pyramides au XIX^e siècle, elle reste une cité nubienne.

Le musée du Louvre lui consacre une exposition, première du genre, regroupant quelques-uns des plus beaux vestiges prêtés par le musée de Khartoum. Des objets témoignant notamment de l'artisanat, des croyances et de l'organisation sociale de Méroé.

Er.H.

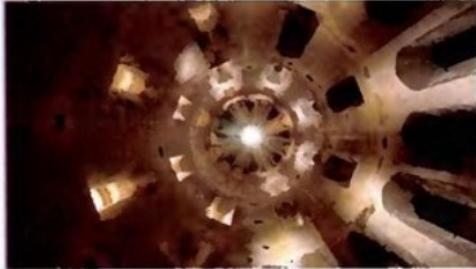
"Méroé, un empire sur le Nil", au Louvre, à Paris, du 26 mars au 6 septembre. Rens.: www.louvre.fr

VISITE GUIDÉE

La face cachée d'Amboise

Le château d'Amboise, dernière résidence de Léonard de Vinci, dévoile ses secrets en ouvrant à la visite plusieurs lieux habituellement fermés au public. Souterrains, chemin de ronde, salle des lapidaires et, surtout, le cœur de la magnifique tour des Minimes, aussi appelée tour cavalière, car elle permettait aux chevaux et attelages d'accéder aux terrasses du château.

Er.H.



"Parcourez les coulisses de l'histoire", au château royal d'Amboise, du 2 avril au 26 septembre. Rens.: www.chateau-amboise.com



▲ Au cours de l'exposition, des écrans tactiles permettent d'étudier des fossiles venus d'Argentine, de Chine ou d'Amérique du Nord.



EXPOSITION

Secrets de tournage

Si vous avez aimé le film *Océans*, de Jacques Perrin et Jacques Cluzaud, vous aimerez l'exposition que lui consacre la Cité de la mer de Cherbourg. Il s'agit en quelque sorte de son *making-of*: on y découvre les secrets

du tournage, les efforts et l'inventivité qu'il a fallu pour arriver à ce résultat. "Océans, l'exposition" nous conte l'histoire d'un film exceptionnel, qui aura nécessité quatre ans de tournage sur toutes les mers du globe et mobilisé plus de cinq cents personnes. Er.H. ■■■

"Océans, l'exposition", à la Cité de la mer, à Cherbourg, d'avril à septembre 2010.
Rens.: www.citedelamer.com

Et aussi...

> Expositions

Paris "Qumrân, le secret des manuscrits de la mer Morte". Retour sur près de cinquante ans de recherche, depuis la découverte dans des grottes au bord de la mer Morte de rouleaux de cuir vieux de 2000 ans. A la Bibliothèque nationale de France, du 13 avril au 11 juillet. Rens.: www.bnf.fr

La Celle-Saint-Cloud "Un monde de papier". La longue histoire du papier, qui remonte aux civilisations mésopotamienne et égyptienne, et les secrets de sa fabrication. Dans les salons de l'hôtel de ville, jusqu'au 11 avril. Rens.: www.ville-lacelle-saintcloud.fr

> Evénement/Conférence

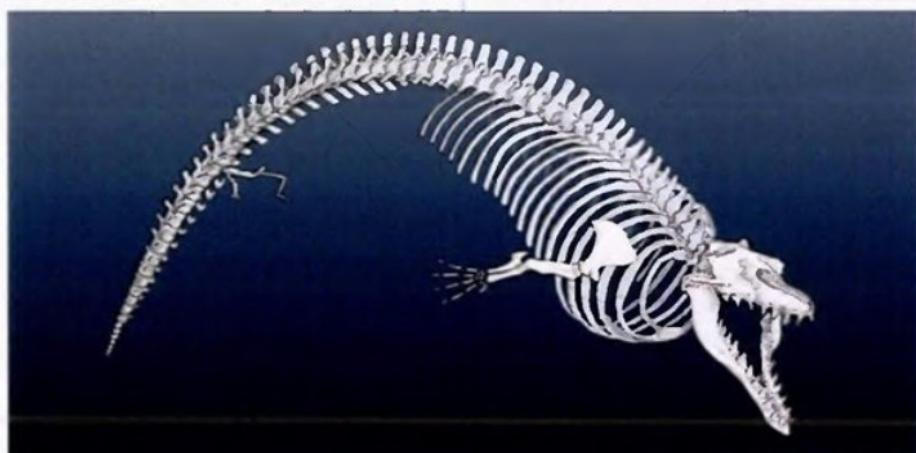
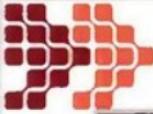
Partout en France "La semaine du développement durable". Expositions, ateliers, conférences, sorties... beaucoup de manifestations organisées pour sensibiliser les adultes comme les enfants. Du 1^{er} au 7 avril. Rens.: [www.semainedu developpement durable.gouv.fr](http://www.semainedudeveloppementdurable.gouv.fr)

Paris "Des grains à la pâte". Argile du potier, encre ou encore dentifrice ont un point commun: solides au repos, ils deviennent liquides quand on les bouscule un peu. Bienvenue dans la physique des matériaux désordonnés. A l'ESPCI, le 12 avril à 18h30. Rens.: www.espci.fr

> Journée d'info

Eragny (95) "Sixième journée d'information et d'échange sur les anomalies chromosomiques rares". Toutes les informations à destination des porteurs d'anomalies mais aussi de leurs parents, sans

oublier les professionnels de la santé. Les différents intervenants pourront répondre aux questions des familles. A la maison de la Challe, le 17 avril. Rens.: www.valentin-apac.org



DVD ET PODCAST

Evolution, les points clés

Ce qu'il faut savoir sur la théorie de l'évolution en dix petits films de cinq minutes. Réalisé par Hervé Colombani et produit par le CNRS et le Muséum national d'histoire naturelle, chaque épisode se consacre à la vulgarisation d'un des principes sur lesquels repose l'évolution: mutations, dérive

génétique, gènes, phylogénie... Cette série devrait plaire à ceux qui ne croient que ce qu'ils voient, car tout ce qui y est dit est aussi montré à l'aide d'une illustration très riche. Si vous voulez tester avant d'acheter, ces films sont à voir, en ce moment même, sur les sites du CNRS et du Muséum. Er.H. ♦

"Evolution, des clés pour comprendre", en podcast jusqu'au 20 avril sur www.cnrs.fr et www.mnhn.fr.



FESTIVAL

Ethnographie filmée

C'est la 29^e édition du plus célèbre des festivals français consacrés aux films d'ethnographie. Une trentaine de films se disputeront l'un des cinq prix qui y sont habituellement distribués. Les projections seront suivies d'un débat avec les réalisateurs présents et des scientifiques. A noter: le dimanche 28 mars, une rétrospective de films réalisés par de jeunes cinéastes afghans formés par les ateliers Varan, une ONG française. Er.H. ♦

"Festival international Jean Rouch", Muséum national d'histoire naturelle, du 27 mars au 5 avril. Rens.: www.comite-film-ethno.net

DVD

Vraiment pas sorcier

Avis aux fans: *C'est pas sorcier*, la célèbre émission de vulgarisation scientifique diffusée sur France 3, existe en DVD. Parmi les récentes éditions, "La tête dans les étoiles" explique très simplement le fonctionnement de l'Univers, et "Les très très gros bateaux" celui des paquebots et des voiliers géants. Chaque DVD contient quatre émissions et un quiz, pour presque deux heures de programmes. Er.H. ♦

"C'est pas sorcier", France Télévisions
Distribution, 14,99 €.
Rens.: www.boutique.francetv.com



Le ciel du mois

Par Serge Brunier



▲ Saturne, entre l'Epi de la Vierge (à g.) et Régulus du Lion (à dr.).

Eclatantes ou scintillantes

Dans le ciel de printemps, une planète s'est invitée entre deux brillantes étoiles. Saturne, en effet, se trouve presque à mi-chemin de Régulus du Lion et de l'Epi de la Vierge. Le trio est bien visible à l'œil nu, glissant du sud-est au sud-ouest, entre 21 heures et minuit: outre son éclat un peu supérieur et sa couleur d'un jaune léger, Saturne se distingue des deux étoiles car elle ne scintille pas. Régulus et l'Epi, qui brillent d'un éclat blanc-bleu, clignotent plus ou moins vite et fort en fonction de la turbulence atmosphérique. Si les étoiles semblent scintiller, c'est que, vues depuis la Terre, ce ne sont que des "points lumineux" que la turbulence fait bouger dans le ciel, les planètes, au contraire, ont une surface apparente, sur laquelle la turbulence a moins d'effet. A l'œil nu, elles ne bougent pas, leur éclat reste fixe.

Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles"

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

Les phases de la Lune

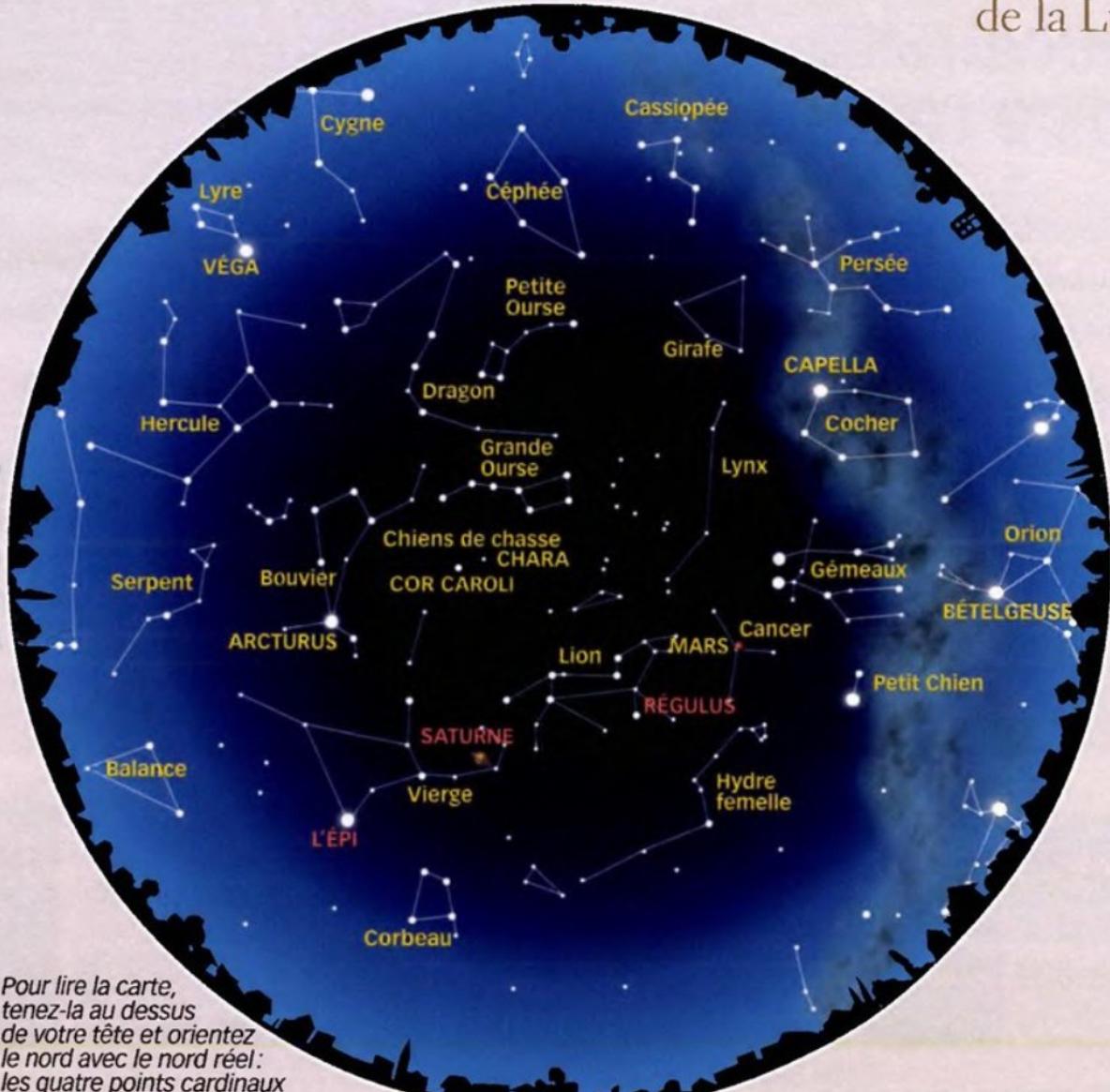


NORD

EST

OUEST

SUD



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

Carte exacte le 15 à 23 heures



A ne pas manquer... le 25

En tout début de nuit, un magnifique rapprochement entre Vénus et les Pléiades aura lieu, au-dessus de l'horizon nord-ouest. La planète, d'un éclat éblouissant, permettra de repérer, à sa droite, l'amas d'étoiles, plus discret. Les cinq plus brillantes étoiles des Pléiades, en effet, brillent... 5 000 fois moins que Vénus! Visible à l'œil nu, ce rapprochement devra être observé sous un ciel sans nuages. Le spectacle sera plus intéressant aux jumelles, grossissant de 6 à 10 fois, avec lesquelles seront visibles une douzaine à une trentaine d'étoiles, contre seulement quatre ou cinq à l'œil nu.

< On observera l'amas des Pléiades juste à droite de l'éclatante Vénus.



BASE DE DONNÉES

La biodiversité française recensée

Combien existe-t-il d'espèces animales ou végétales en France ? Lesquelles sont en danger ? Quels espaces sont protégés ? Le Muséum d'histoire naturelle a choisi 2010, l'Année internationale de la biodiversité, pour proposer une nouvelle version de son site consacré à la biodiversité en France et dans les départements et territoires d'outre-mer. Un accès direct aux bases de données de l'institution enrichies au fil des découvertes. Le site offre la possibilité de retracer l'évolution de la biodiversité de notre pays,



de la préhistoire à nos jours, grâce à la mise en ligne de données archéozoologiques récoltées lors des fouilles. Il y est aussi question de géodiversité, la diversité des espèces minérales. Bref, un bilan de santé de la nature en France. Seul bémol : le site n'est pas très facile d'accès pour les non-initiés.

Er.H.

<http://inpn.mnhn.fr>



VIDÉOS

Tout sur la radioactivité

Voici une série documentaire en 8 épisodes d'une dizaine de minutes réalisés par le Centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan en collaboration avec Cap Sciences et l'université Bordeaux-I. Claires, amusantes et très accessibles, ces vidéos permettent de découvrir la radioactivité : son utilisation, ses effets sur le corps et la santé, et comment on peut espérer se débarrasser des déchets nucléaires. Er.H.

www.infosciences-aquitaine.net/dossiers

SITE LUDIQUE Mine d'infos

Venez voir le feu qui sort de "la bouche de l'enfer", un cratère de 100 m de diamètre qui s'est créé au Turkménistan, en 1971, après un affaissement du sol provoqué par des travaux de prospection minière. Pour plus de sûreté, les locaux ont mis le feu au gaz toxique qui s'en échappe et quarante ans après, le feu brûle toujours ! Si vous lisez l'anglais, ce site est aussi une mine d'informations scientifiques. Er.H.

<http://sciencesowhat.direct.gov.uk/articles/living-world/environment/the-mouth-of-hell>



VULGARISATION

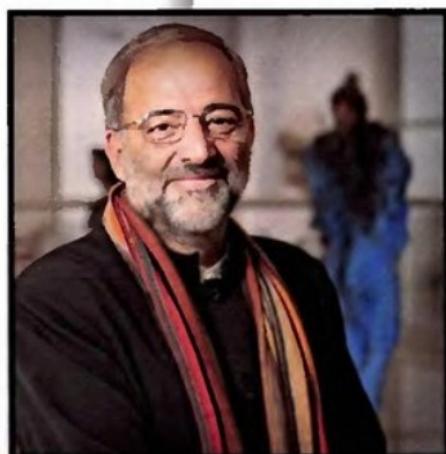
L'évolution de l'homme

Un site tout entier dédié à vulgariser ce que la science sait de l'apparition et de l'évolution de l'homme sur Terre. Actualité de la recherche, dossiers thématiques parmi lesquels le développement du langage, de la bipédie, la colonisation de la Terre... Et le tout avec des contributions des plus grands spécialistes de ces questions. On trouve aussi les sorties de livres et les expositions du moment. Er.H.

www.hominides.com

Qu'est-ce qui vous a déjà fait changer d'avis ?

J'ai pensé, pendant très longtemps, que la possibilité de savoir si un neurone particulier pouvait jouer un rôle dans un comportement particulier était exclue. Mais il semblerait que je me sois en partie trompé. J'ai dû reconnaître que, grâce à une combinaison de méthodes génétiques et optiques, on arrivait à faire des choses que je croyais, il y a quelques années encore, impossibles : on peut insérer un gène dans un neurone particulier, et stimuler ce gène avec un faisceau lumineux. On peut, ensuite, observer la conséquence de l'activité de ce seul neurone sur le comportement d'un animal. Vous simulez un neurone dans le cortex moteur d'une souris... et elle se met à courir ! D'ici à quelques années, je pense que l'on parviendra à examiner, chez l'homme, par imagerie cérébrale, quelques centaines, voire quelques dizaines de neurones, distinctement des autres.



De quoi êtes-vous sûr sans qu'il soit possible de le démontrer ?

Je suis sûr qu'on va découvrir qu'enormément de maladies neurologiques sont dues à des malformations du cerveau bénignes, précoces, apparues pendant la grossesse. Une expérience, parmi d'autres, me semble soutenir cette hypothèse. Vous prenez une souris gestante, et vous insérez dans le cerveau de l'embryon qu'elle porte un gène portant une mutation impliquée dans une maladie neurologique importante chez l'homme, le syndrome du "double

cortex". Vous laissez le fœtus se développer. Son cerveau présente un double cortex. Si l'on observe alors les propriétés électriques de ses neurones, on constate que ceux-ci sont restés à l'état immature. Ils émettent des courants "lents", qui durent plus longtemps que ceux produits par les neurones adultes. C'est une caractéristique des neurones immatures. Et c'est un signe, pour moi, que si un neurone ne suit pas le programme génétique guidant ses migrations et ses

Yehezkel Ben-Ari est fondateur et directeur honoraire de l'Institut de neurobiologie de la Méditerranée (inmed) de l'Inserm, à Marseille. Ce spécialiste du développement cérébral et de l'épilepsie a reçu en 2009 le grand prix Inserm.

Qu'est-ce qui vous semble important et dont on ne parle jamais ?

Je pense que la période de tous les dangers est la grossesse. Il faut mettre beaucoup plus d'énergie à comprendre la manière dont nous nous construisons. Un exemple : aux Etats-Unis, 5 à 10 % des femmes enceintes prennent du Prozac. Et personne n'a vraiment étudié ses effets sur le développement de l'embryon ! Quant aux maladies neurologiques graves – Alzheimer, Parkinson, épilepsie... –, c'est l'approche par la thérapie génique qui prévaut. Je n'en vois pas l'intérêt. Mais je vois tout l'intérêt de se pencher sur la grossesse pour mieux les comprendre, de s'intéresser aux relations entre la probabilité d'être atteint de ces maladies et l'environnement dans lequel l'embryon se développe. C'est plus difficile qu'analyser une goutte de sang et dire "voilà telle ou telle mutation" ! Mais on y arrive : on a ainsi réussi à montrer des corrélations entre l'autisme et la période du développement intra-utérin.

connexions pendant le développement (par exemple, à cause d'une mutation), il gardera, à l'âge adulte, une trace de l'état dans lequel il était pendant le développement. Et cela peut expliquer, je pense, que bon nombre de maladies neurologiques démarrent très tôt, même si l'on n'en observe éventuellement les symptômes que quinze à vingt ans plus tard. Reste à expliquer, et c'est difficile, pourquoi les maladies ne se manifestent qu'après un si long délai.

Explorez le grand mystère des trous noirs en DVD !



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

Une plongée virtuelle au cœur du monstre du cosmos : le trou noir

Une étoile explose et se métamorphose en supernova. Le plus étrange des phénomènes du cosmos intervient alors : la naissance d'un trou noir. Méconnus, effrayants, les trous noirs sont des objets dont le champ gravitationnel est si intense qu'il empêche toute forme de matière ou de rayonnement de s'en échapper. Notre galaxie en est peut-être infestée, mais, plus inquiétant encore, des astronomes ont découvert des trous noirs plus énormes, plus proches et surtout plus destructeurs qu'ils ne l'imaginaient. Certains d'entre eux auraient même une force équivalente à des milliards d'explosions atomiques ! Deux équipes, l'une américaine, l'autre européenne, rivalisent d'innovations pour être la première à voir au cœur de ce monstre de la Voie lactée.



Retrouvez *Monstres des galaxies* le 20 juin à 20 h 40 sur National Geographic Channel, disponible sur Canalsat.

CE MOIS-CI
CHEZ VOTRE
MARCHAND DE JOURNAUX