

# Science & Vie

Mensuel n° 980 - mai 1999

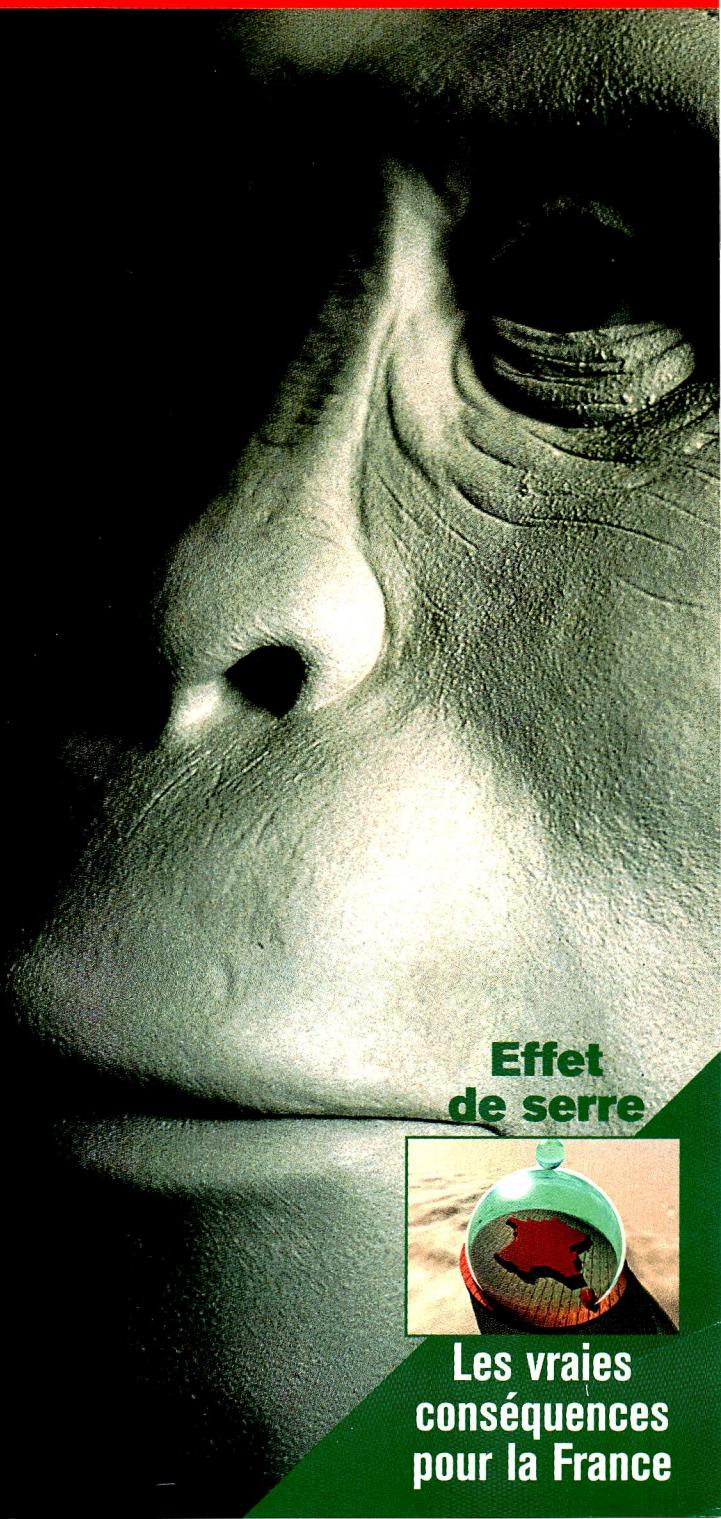
ORIGINES DE L'HOMME

# Adieu Lucy

Les découvertes qui bouleversent notre généalogie

**Astronautique**  
Bientôt un cosmonaute chinois

**Encyclopédie XX<sup>e</sup> siècle**  
La révolution quantique



**Effet de serre**



**Les vraies conséquences pour la France**

T 2578 - 980 - 23,00 F



# BRUT

FABERGÉ  
PARIS



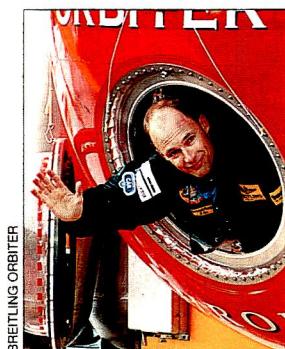
## ANTI-TRANSPIRANT

Régule la transpiration, respecte les peaux sensibles.  
Pour hommes sous pression.



I' événement

# L'Aventure continue



BREITLING ORBITER

**L'exploit humain et scientifique de Bertrand Piccard (ci-dessus) et Brian Jones clôt brillamment le xx<sup>e</sup> siècle. D'autres "explorateurs" de la science vont prendre le relais pour perpétuer l'aventure, riche en nombreux défis, du siècle prochain.**

**E**n accomplissant leur tour du monde en ballon en moins de vingt jours, Bertrand Piccard et Brian Jones achevaient brillamment la dernière grande aventure de notre siècle. Aventure humaine d'abord, mais aussi aventure scientifique. C'est Jules Verne qui, plus d'un siècle avant cet exploit, en avait rêvé, et avait, depuis, fait rêver l'humanité entière. Aujourd'hui, un subtil mélange de science (à base de connaissances météorologiques et de technologies de la communication) et de détermination sportive ont contribué au succès tant désiré (voir notre article, page 100). Mais, on peut se demander si cette réalisation ne sonne pas le glas de la grande aventure scientifique...

A la veille du xx<sup>i</sup> siècle, les défis sont encore nombreux et riches de promesses. L'espace d'abord, qui fait reculer les frontières de l'exploration. Bases spatiales permanentes autour de la Terre et sur la Lune, colonisation de Mars sont dores et déjà prévues par les scientifiques... et les politiques. L'océan, ensuite, en raison de son influence sur l'ensemble des phénomènes atmosphériques et climatiques, sera sondé au plus profond de ses secrets.

Dans les sciences physiques, les grands mystères de la gravitation, de l'espace et du temps nous attendent au détour d'une sonde, d'un télescope... ou d'une théorie révolutionnaire. L'informatique, grâce à la découverte de nouveaux matériaux et à la miniaturisation, permettra l'avènement de machines dont le comportement ressemblera de plus en plus à celui des êtres vivants. Le virtuel envahira le réel.

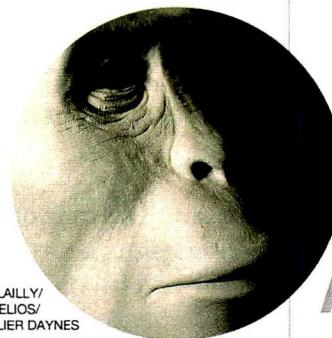
Enfin, le xx<sup>i</sup> siècle sera celui du cerveau, ce nouveau "continent de la science". Des "explorateurs" plongeront dans ses méandres pour tenter d'élucider la vraie nature de la conscience humaine. Des aventuriers de la science qui prendront le relais de Bertrand Piccard et de Brian Jones. Une prodigieuse aventure que *Science & Vie* vous fait – et vous fera – partager tous les mois.

S & V

n° 980 • mai 1999

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@excelsior.fr

Recevez *Science & Vie* chez vous.  
Vos bulletins d'abonnement  
se trouvent pp. 135 et 179.  
Organigramme p. 7.  
Couverture : S. Plailly/Eurelios,  
G. M.

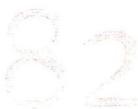


S. PLAilly/  
EURELIOS/  
ATELIER DAYNES



ESA

■ Longtemps ignorés, les "cinq sens" des plantes sont peu à peu révélés par les scientifiques. Si les plantes germent, poussent et fleurissent au bon endroit et au bon moment, c'est parce que leurs sens leur permettent de voir et de sentir...



M. LEFEVRE/  
BIOS

# Sommaire

Forum ..... 6

## Actualité

Recherche ..... 12

Environnement ..... 28

Technologie ..... 36

Médecine ..... 46

## En couverture

# Adieu Lucy

Les découvertes qui bouleversent notre généalogie ..... 52

## Astronomie

Le petit journal de l'éclipse

(II) La science des éclipses ..... 65

## Physique

L'Univers a-t-il pu se créer tout seul? ..... 70

## Génétique

L'île du Dr Stefansson ..... 76

## Botanique

Les "cinq sens" des plantes ..... 82

## Dossier

# La France sous l'effet de serre ..... 89

■ Les temps changent ..... 90

■ Bulletin météo pour 2060 ..... 92

■ Avis de tempêtes ..... 94



■ Le réchauffement climatique a des conséquences désastreuses pour la France. Un rapport accablant tire le signal d'alarme.

89



■ Quarante ans après l'Union soviétique et les Etats-Unis, une troisième puissance, la Chine, s'apprête à lancer des hommes dans l'espace.

128



■ Aujourd'hui, on peut télécharger dans un livre électronique gros comme un livre de poche des ouvrages proposés sur l'internet. Et bientôt, le papier électronique sera animé comme un écran de télévision.

DR  
SFR

## Aérostation

*Breitling Orbiter 3 : le triomphe de la météorologie* ..... 100

## Epistémologie

L'homme qui a dévoilé le système nerveux ..... 108

## Neurologie

Un court-circuit dans le cerveau ..... 116

## Métallurgie

Processeurs : enfin l'âge du cuivre ..... 122

## Astronautique

Un Chinois dans l'espace ..... 128

## Pl@net

Actualité du multimédia ..... 137

L'internet polymorphe ..... 142

Pollutions en ligne ..... 148

## Conso

La nouvelle révolution du livre ..... 154

## Encyclopédie xx<sup>e</sup> siècle

# La révolution quantique ..... 159

■ L'infiniment petit bouleverse le monde ..... 160

■ Les nouveaux commandements ..... 166

■ Alain Aspect «Des codes secrets protégés par les lois de la nature» ..... 168

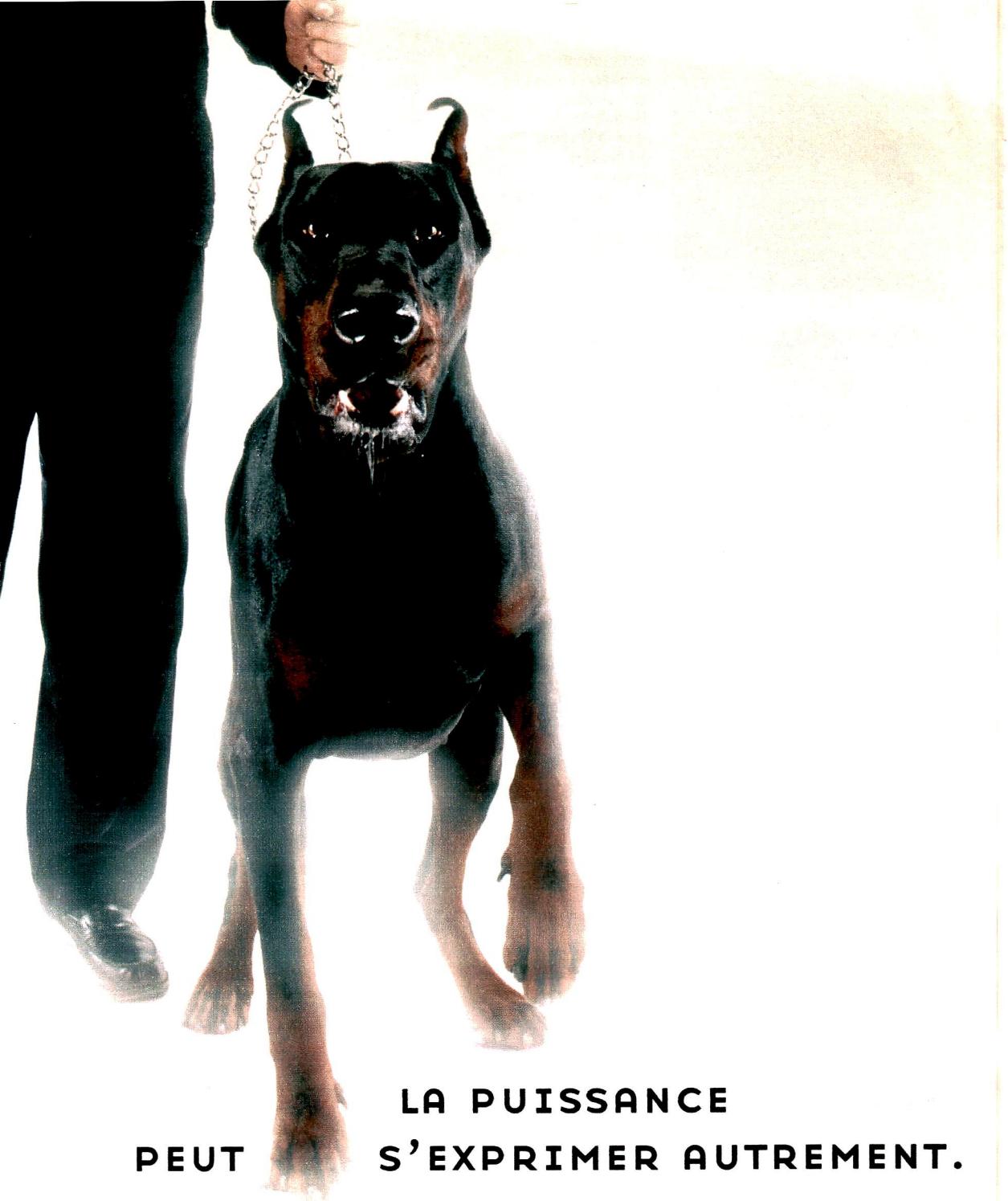
## Loisirs

Rétro ..... 172

Le ciel du mois ..... 174

CD-Rom ..... 176

Livres ..... 178



LA PUISSANCE  
PEUT S'EXPRIMER AUTREMENT.

Contrat



Ceux qui pensent que la puissance est synonyme d'agressivité devraient changer d'avis au volant d'une Rover 200. Modèle présenté Rover 220 SDi 5 portes turbo Diesel. 105 ch CE :

Demandez à votre concessionnaire les conditions générales du contrat 3x3 Rover : entretien 3 ans ou 60 000 km<sup>(1)</sup>, garantie 3 ans ou 100 000 km<sup>(1)</sup>, assistance 3 ans, gratuits pour toutes les Rover neuves vendues en France.





## ROVER 200. 105 ch\* EN RÉSERVE.

94 000 F, hors peinture métallisée et jantes alliage en option. Rover 200 à partir de 77 000 F (Rover 214i 3 portes 75 ch CE). Tarif au 1/04/99. AM 99. 3615 Rover (1,29 F/mn), [www.rover.fr](http://www.rover.fr)

ROVER. UNE VOITURE PEUT SE CONDUIRE AUTREMENT.



# Forum

PAR PIERRE ROSSION

# Grippe

## Le péril breton

Toutes les conditions sont aujourd'hui réunies en  
Bretagne pour qu'y surgisse un  
terrible virus grippal inconnu.  
La pandémie pourrait gagner  
l'ensemble de la planète  
et frapper des centaines  
de millions de personnes.  
Face à cette catastrophe,  
le monde serait  
totalement  
impulsé car...

**M**alaise breton « D'une totale lisibilité, même pour le profane, remarquablement documenté et suffisamment précis pour jouer le rôle d'un électrochoc, votre dossier "Grippe, le péril breton" [Science & Vie n° 975, p. 111] n'est pas passé inaperçu des comités bretons de défense de l'environnement, écrit M. Jean-François Picot, de Maxent (Ille-et-Vilaine), et je connais bien des mouvements, comme Eaux et Rivières de Bretagne (dont je suis membre), qui ont consacré leurs réunions mensuelles à en débattre. »

« [...] Pourquoi effrayer les populations sur ce qui n'est encore qu'une hypothèse ? s'insurge au contraire M. Michel Morin, de Ploëuc-sur-Lié (Côtes-d'Armor). Votre journaliste admet lui-même que deux récentes épidémies de grippe n'ont pas permis de vérifier les craintes concernant les mutations de virus grippaux à partir d'un réservoir porcin. [...] La Bretagne n'est pas la seule au monde

à posséder sur son territoire des élevages de volailles et de porcs, et le risque évoqué reste, fort heureusement, à valider dans les faits [...].»

Mieux vaut prévenir que guérir. Ce à quoi s'emploie fort bien le Centre national d'études vétérinaires et alimentaires (CNEVA) de Ploufragan (Côtes-d'Armor). La Bretagne est d'ailleurs officiellement indemne de peste porcine classique alors que cette maladie virale est épidémique aux Pays-Bas depuis février 1997 et s'est déclarée aussi en Allemagne, en Espagne, en Italie et en Belgique. Mais la Bretagne héberge 70% des effectifs français de porcs et 67% de la production nationale de volailles et d'œufs. En pleine crise de surproduction européenne, il faut investir dans des systèmes coûteux de stockage et de traitement des lisiers (par exploitation, l'épandage est désormais limité à 170 unités d'azote par hectare). Le rapport du 9 mars du ministère de l'Environnement "Agriculture, monde rural et environnement : qualité oblige" confirme ce malaise breton.

**L**es vrais surnoms des bombes atomiques de Hiroshima et de Nagasaki ! «En tant que grand amateur de l'histoire des sciences et de la Deuxième Guerre mondiale, j'ai été très intéressé par votre encyclopédie "La conquête de l'atome" [Science & Vie n° 974, p. 174], écrit M. Etienne Meunier de Bruxelles, mais je vous signale une petite erreur : vousappelez "Fat Boy" la deuxième bombe larguée sur Nagasaki le 9 août 1945 [p. 179] alors qu'elle s'appelait en réalité "Fat Man".»

Vous avez raison. La confusion peut provenir de ce que la première bombe atomique lancée le 6 août 1945 sur Hiroshima s'appelait "Thin Man" ou "Little Boy".

**L**e grand écart «Pour l'anecdote, le double d'une température de 20 °C (293 K) serait... 313 °C (586 K), écrit M. Joseph Tricot de Paris, ce qui, pour une forêt tropicale, mettrait les écologistes en colère. Une température de 40 °C n'est pas deux fois plus grande qu'une température de 20 °C, ou vingt fois plus grande qu'une température de 2 °C. En degrés Celsius, seuls les écarts sont significatifs tandis que les kelvins, qui sont des valeurs absolues, se manipulent comme n'importe quelle grandeur physique linéaire [...]».

Notre formulation non rigoureuse a cependant l'excuse d'être plus familière au repère de nos sens que la température absolue, exprimée en kelvins (0 °C = - 273,15 K). ■

**E**xpansion du Sahara «Vingt ans suffisent-ils pour conclure qu'il n'y a pas eu expansion du Sahara vers le sud [Science & Vie n° 977, p. 25] ? écrit M. Jacques Lemoalle de Montpellier. [...] Je ne le crois pas. Les isohyètes [lignes joignant les lieux où les quantités de pluie tombées au cours d'une période sont les mêmes], certes à peu près stables depuis 1974, ont reculé de 150 à 200 km en 1972-1973 par rapport à la période 1956-1970. [...] La plupart des arbres de la région sahélienne sont morts entre 1972 et 1976 [...] et la végétation herbacée pérenne a été remplacée par des plantes annuelles, d'un moindre intérêt pour la stabilisation des dunes ou pour les troupeaux, qui ont eux aussi migré de 150 à 300 km vers le sud.

Le débit moyen du Chari, autour de 4 000 mètres cubes par seconde entre 1950 et 1969, est descendu à moins de 2 000 m<sup>3</sup>/s après 1980. Le lac Tchad, alimenté essentiellement par le Chari, a vu sa surface passer de 18 000 km<sup>2</sup> en eau libre à 1750 km<sup>2</sup> en eau libre permanente auxquels s'ajoutent de 2 000 à 7 000 km<sup>2</sup> de marécages suivant la saison et les années. [...] D'autres périodes de "Petit Tchad" ont existé vers 1904, 1913, 1940, mais aucune n'a duré aussi longtemps – vingt-cinq ans – que la période actuelle. [...]»

L'œil des satellites est effectivement trop jeune pour juger du changement intervenu avant 1970. Son impact sur la réalité devrait être désormais mieux analysé grâce au réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme (ROSELT) répartis dans 11 pays circum-sahariens. Ce réseau est doté d'un programme quadriennal. ■



Publié par Excelsior publications SA.

Capital social : 11 100 000 F.

Durée : 99 ans.

1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15.

Tél. : 01 46 48 48 48. Fax : 01 46 48 48 67.

E-mail : svnews@excelsior.fr

Adresse télégraphique : Sienvie Paris.

Principaux associés : Yveline Dupuy, Paul Dupuy.

#### DIRECTION, ADMINISTRATION

Président-directeur général : **Paul Dupuy**. Directeur général : **Jean-Pierre Beauvalet**. Directeur général adjoint : **François Fahys**. Directeur financier : **Jacques Béhar**. Directeur marketing et commercial : **Marie-Hélène Arbus**. Directeurs marketing et commercial adjoints : **Jean-Charles Guérault**, **Patrick-Alexandre Sarradeil**. Directeur des études : **Roger Goldberger**. Directeur de la fabrication : **Pascal Rémy**.

#### RÉDACTION

Rédacteur en chef : **Jean-René Germain**, assisté d'**Elisabeth Latsague**. Rédacteurs en chef adjoints : **Jean-François Robredo**, **Didier Dubrana**, **Gérard Morice**. Chef des informations : **Isabelle Bourdial**. Secrétaire général de la rédaction : **Norbert Régina**. Secrétaires de rédaction : **Françoise Sergent**, **Agnès Marillier**, **Jean-Luc Glock**. Chefs de rubrique : **Philippe Chambon**, **Germain Chambost**, **Roman Ikonickoff**. Rédacteurs : **Renaud de La Taille**, **Pierre Rossion**, **Marie-Laure Moinet**, **Henri-Pierre Penel**, **Hélène Guillermot**, **Christelle Célarie**. Conception graphique : **Nathalie Baylaucq**. Direction artistique : **Gilles Moine**. Maquette : **Lionel Crooson**, **Valérie Samuel**. Service photo : **Anne Levy**. Documentation : **Marie-Anne Guffroy**. Internet : **Jean-François Robredo** assisté de **Christelle Célarie**. Renseignements lecteurs : **Monique Vogt**. Correspondante aux Etats-Unis : **Sheila Kraft**, 11259, Barca Boulevard, Boynton Beach, Florida 33437, Etats-Unis, tél. : (00) 1 561 733 9207, fax : (00) 1 561 733 7965.

#### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

**Djamel Bentaleb**, **Camille Chaplain**, **Loïc Chauveau**, **Yves Delaye**, **Valérie Eudier**, **Leila Haddad**, **Pierre Kohler**, **Marielle Mayo**, **Véronique Rochevsky**, **Jean-Didier Vincent**.

#### RELATIONS EXTÉRIEURES

**Michèle Hilling**.

#### DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Directeur : **Marie-Ange Rouquet-Dezellus**, tél. : 01 46 48 47 26, fax : 01 46 48 19 19 et 01 46 48 49 39. Chef de produit junior : **Corinne Bourbotte**, tél. : 01 46 48 47 13.

#### PUBLICITÉ

Excelsior Publicité Interdéco, 23 rue Baudin, BP 311, 92303 Levallois-Perret Cedex, tél. : 01 41 34 82 08. Directrice commerciale : **Isabelle Finkelstein**. Directrice de la publicité : **Véronique Moulin**. Directrice de clientèle : **Cédric Larrieu**. Chefs de publicité : **Sibylle Dubost**, **Stéphanie Joannes**. Assistante de publicité : **Géraldine Chaze**.

#### À NOS LECTEURS

Renseignements : **Monique Vogt**, tél. : 01 46 48 48 66, e-mail : mvogt@excelsior.fr. Commande d'anciens numéros et de reliures : **Chantal Poirier**, tél. : 01 46 48 47 18.

#### SERVICES COMMERCIAUX

Chef de produit marketing : **Capucine Jahan**. Chef de produit ventes : **Marie Cribier**. Téléphone vert : 0 800 43 42 08 (réserve aux dépositaires). Belgique AMP, 1 rue de la Petite-Isle, 1070 Bruxelles. Abonnements et marketing direct : **Patrick-Alexandre Sarradeil**.

#### ABONNEMENTS

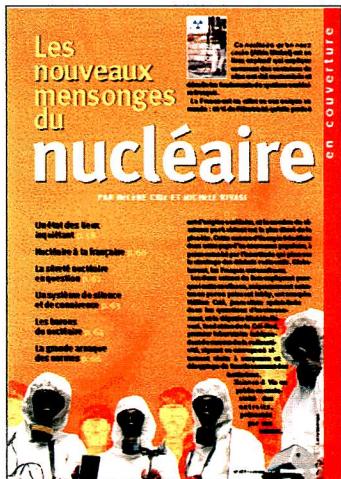
Relations clientèles abonnés : service abonnements, 1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15, tél. : 01 46 48 47 08 (à partir de 9 h). Tarifs d'abonnements sur simple demande téléphonique au 01 46 48 47 17. Aux Etats-Unis et au Canada : Periodica Inc. – C.P. 444, Outremont, Québec, Canada H2V 4R6. En Suisse : Naville, case postale 1211, Genève 1, Suisse. En Belgique : Press-Abonnements, avenue des Volontaires, 1160 Bruxelles. Autres pays : nous consulter.

#### A NOS ABONNES

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Changement d'adresse : veuillez joindre à votre correspondance 3 F en timbres-poste français ou règlement à votre convenance. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec *Science & Vie* 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. La rédaction ne reçoit que sur rendez-vous. Copyright 1989 *Science & Vie*.





**R**etour sur le nucléaire  
Interpellé par une phrase de notre dossier "Les nouveaux mensonges du nucléaire" [Science & Vie n° 973, p. 57] affirmant que les élus du Limousin et de la Côte-d'Or s'opposent à la diffusion des mesures de radioactivité effectuées dans leur région [p. 63], M. Robert Savy, président du conseil régional du Limousin, de Limoges (Haute-Vienne), apporte les précisions suivantes : « Le conseil régional du Limousin, non seulement ne s'oppose aucunement à la diffusion des mesures de radioactivité effectuées dans la région, mais il a également financé la Crii-Rad pour la réalisation de contre-mesures. Il tire une part très mince de ses recettes du nucléaire ; ainsi, pour l'année 1998, le montant de la taxe professionnelle et de la taxe foncière sur les propriétés bâties réclamées aux principales sociétés œuvrant dans le nucléaire s'est élevé à 281 000 F, ce qui représente environ 0,03 % du budget de la

région. Enfin, il s'est opposé à l'unanimité de ses membres aux projets de stockage d'uranium appauvri sur les sites de la Cogema. »

Les élus du Limousin incriminés étaient ceux du conseil général de la Haute-Vienne qui, en 1993, se sont initialement opposés à la diffusion du rapport original de la Crii-Rad (voir l'historique détaillé p. 203 du livre des deux auteurs du dossier). Rappelons que la Commission régionale indépendante d'information sur la radioactivité, la Crii-Rad, créée en réaction au silence du gouvernement sur le nuage radioactif de Tchernobyl, est une association loi 1901 qui fonctionne grâce aux cotisations de ses adhérents (220 F par an) et aux revenus des prestations effectuées par son laboratoire pour le compte de collectivités locales, de municipalités, de conseils régionaux, etc. Les subventions diverses représentent moins de 10% de son budget. Pour alimenter le débat sur le nucléaire, citons également un livre qui s'interroge sur le devenir des centrales nucléaires : *le Démantèlement des installations nucléaires*, de Sophie Rémont, Jérôme Grosset et Roland Masson (Les presses de l'Ecole des mines). ■

**S**tyles « Je profite de mon réabonnement pour approuver, comme beaucoup d'autres lecteurs, la très agréable nouvelle disposition de notre magazine Science & Vie, écrit M. Frédéric Cocard, de Matha (Charente-Maritime). J'ajouterais toutefois une note personnelle : il arrive que tout un chacun ait son journaliste préféré (termes employés, style "détendu" de l'écriture...). Je regrette donc simplement que vous n'ayez pas profité de ce "relookage" pour indiquer le nom des auteurs en face des articles correspondants, à la page sommaire. »

Science & Vie tient, lui aussi, à la "plume" originale de chacun de ses auteurs – toujours cités en tête de leurs articles –, même si la nouvelle maquette donne plus de poids à l'œuvre collective. Tous ses "acteurs" figurent d'ailleurs dans l'ours (généralement p. 7). ■

**I**nflation galopante Pendant la période d'inflation qu'a connue l'Univers juste après sa naissance, celui-ci serait bien passé de la taille d'une tête d'épingle à celle de dix fois notre galaxie [Science & Vie n° 977, p. 54]. Mais son diamètre aurait été multiplié par  $10^{26}$  et non pas par  $10^{15}$  comme l'indiquait l'article.

En effet, on peut estimer que le diamètre d'une tête d'épingle mesure 0,1 mm et celui de notre galaxie 50 kiloparsecs, soit environ  $1,5 \cdot 10^{24}$  mm (1 parsec =  $3 \cdot 10^{19}$  mm). ■

**TOUTE LA BOURSE EN DIRECT**  
 profitez des tarifs MODULO\*

**3615**

**1000 ACTIONS**

\* 50 % de réduction du lundi au vendredi de 19 h à 8 h, le samedi à partir de 12 h et les dimanches et jours fériés

**OPTION FINANCE**  
 2,23 F la minute



LABORATOIRES  
**GARNIER**  
PARIS

# FRUCTIS

**Shampooing fortifiant  
antipelliculaire  
au concentré actif de fruits.**

**NOUVEAU**



En associant un actif antipelliculaire au concentré actif de fruits, Fructis élimine rapidement les pellicules tout en fortifiant les cheveux. C'est prouvé : l'association de Fructose, de vitamines B3, B6 et d'acides de fruits rend les cheveux 2 fois plus forts, vraiment plus résistants dès 10 applications.

**Fructis. Les cheveux brillent de toute leur force.**

**7 jours pour dire adieu aux pellicules.**

GARANTI PAR LES LABORATOIRES

**GARNIER** PARIS

\*Rame communé.

\*Emissions de CO<sub>2</sub>, par rapport au moteur Diesel Peugeot de génération précédente.



■ Injection directe «Common-Rail»\*

■ Pompe haute pression

■ Régulation électronique d'injection

► HDI: MOINS 20% D'EMISSIONS

Peugeot 406. Vous ne choisirez plus entre



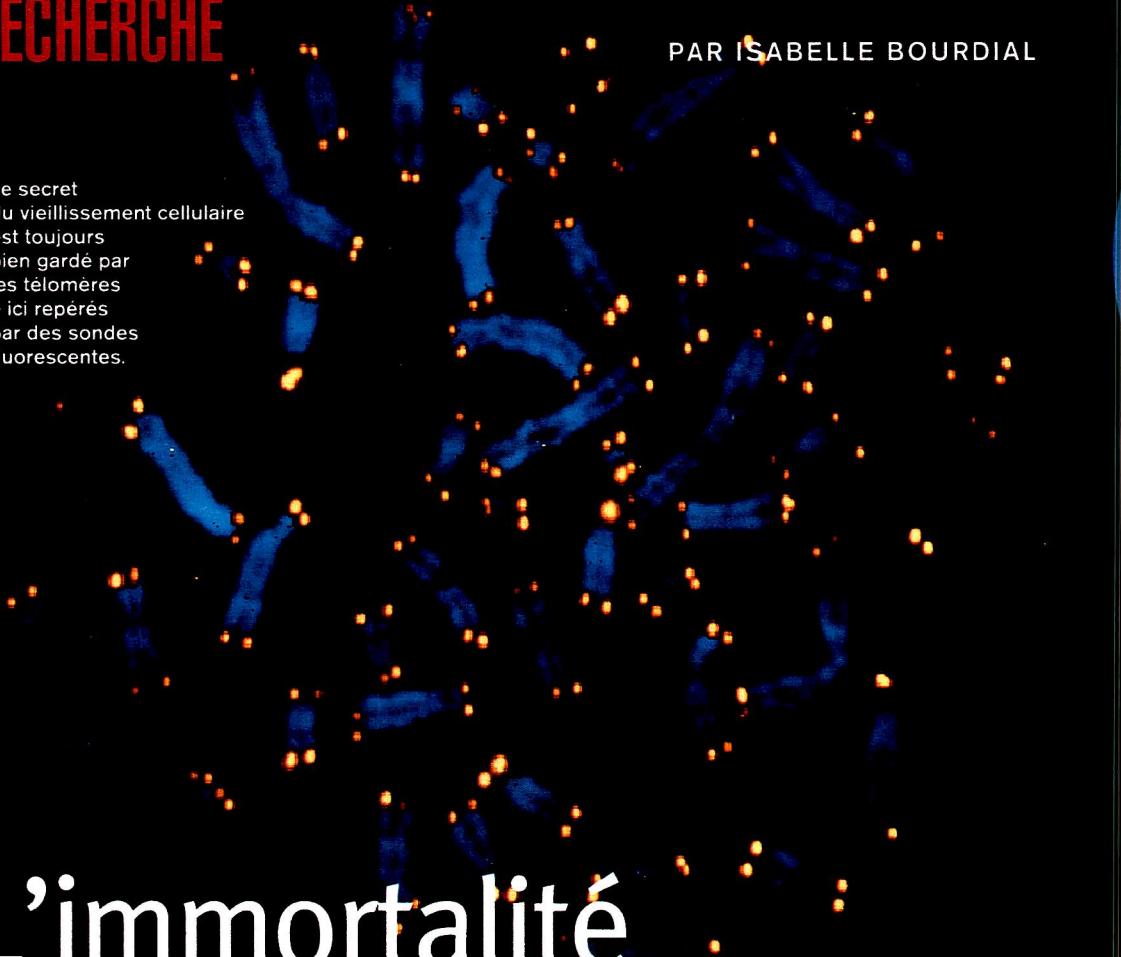
POLLUANTES\*\*

le plaisir et la sécurité.

Nouvelle



PEUGEOT

A black and white micrograph showing several pairs of chromosomes. At the ends of each chromosome, there are bright orange-red spots representing telomeres, which are composed of repetitive DNA sequences. The rest of the chromosome arms appear as darker blue or greyish bands.

Le secret  
du vieillissement cellulaire  
est toujours  
bien gardé par  
les télomères  
- ici repérés  
par des sondes  
fluorescentes.

# L'immortalité est ailleurs

BC CANCER RESEARCH CENTER VANCOUVER

On croyait que la clé du vieillissement se trouvait dans les extrémités

des chromosomes. En fabriquant des souris qui en sont dépourvues, des biologistes ont montré que le phénomène est plus complexe.

Achaque division cellulaire, les chromosomes raccourcissent. Ils perdent une partie de leurs extrémités, les télomères. Quand une longueur critique est atteinte, la cellule meurt. Les télomères constituent donc en quelque sorte le compteur de "l'horloge moléculaire" impliquée dans les phénomènes de vieillissement.

On les avait déjà étudiés dans des cultures de cellules (voir *Science &*

*Vie* n° 966, p. 66), mais, pour la première fois, une équipe américaine du Dana-Farber Cancer Institute vient d'obtenir des générations successives de souris, qui naissent avec des télomères de plus en plus courts (*Cell* volume 96, n° 5).

Contrairement à ce qu'on attendait, les rongeurs nouveau-nés ne présentaient aucun signe de vieillissement anticipé.

En outre, parce que les cellules cancéreuses sont immortelles et ne perdent presque jamais leurs télo-

mères, on croyait que ceux-ci participaient au développement de cette pathologie. Or, la découverte américaine montre que l'absence de télomères conduit, elle aussi, au cancer. Une fois adultes, les souris ont développé des tumeurs, ont perdu leurs poils, se sont mal adaptées au stress et sont mortes précocement. Ainsi, malgré d'importantes avancées scientifiques dans ce domaine, le lien entre la sénescence cellulaire et le vieillissement général de l'organisme reste mystérieux. **G. M.**



S. CHAPPAZ/  
VANDYSTADT

## NEUROPHYSIOLOGIE

# L'explication des membres fantômes

Après la perte d'un membre, beaucoup d'amputés souffrent de troubles de la sensation. Certains ont l'impression qu'on touche leur membre absent quand on leur effleure le visage. En enregistrant l'activité du cerveau de huit macaques dont les nerfs du bras avaient été sectionnés plusieurs années auparavant, Edward Jones, de l'université de Davis (Californie), et Tim Pons, de l'université de Winston-Salem (Etat de New York), ont constaté que la zone du cortex destinée à la représentation du visage avait empiété de 15 à 20 mm sur celle antérieurement réservée au bras. Une partie des neurones liés au bras sont maintenant consacrés au visage. Cette découverte pourrait aider à traiter, voire à prévenir les troubles post-amputatoires.

V. G.

## PALÉONTOLOGIE

# LES DENTS DE L'ARCTIQUE

Des crocodiles ont vécu en Arctique, affirme John Tarduno, géophysicien à l'université de Rochester (Etat de New York). C'était il y a 90 millions d'années, en plein Crétacé, alors que régnait sur l'actuel pôle Nord un climat semblable à celui de la Floride. Le chercheur a découvert, sur l'île arctique canadienne Axel Heiberg, des os (un fémur, un tibia et des côtes) qui semblaient appartenir à un



Au Crétacé, les champsosaures se prélassaient dans les eaux chaudes du pôle Nord.

grand reptile. Donald Brinkman, du musée royal de paléontologie du Canada à Drumheller, les a identifiés comme appartenant à un champsosaurus. Ce vertébré, proches des crocodiles, mesurait 2,4 mètres.

Ch. C.

SCIENCE MUSEUM OF MINNESOTA

## CLIMATOLOGIE

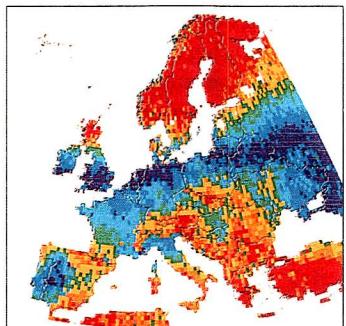
# Réchauffement : la part de l'homme

Déetecter les signes d'un réchauffement global dû aux activités humaines n'est pas une mince affaire, tant le climat est naturellement fluctuant. On risque, selon les circonstances, d'attribuer aux hommes une fluctuation naturelle du climat, ou, au contraire, d'ignorer un changement

d'origine humaine s'il est masqué par un effet naturel antagoniste.

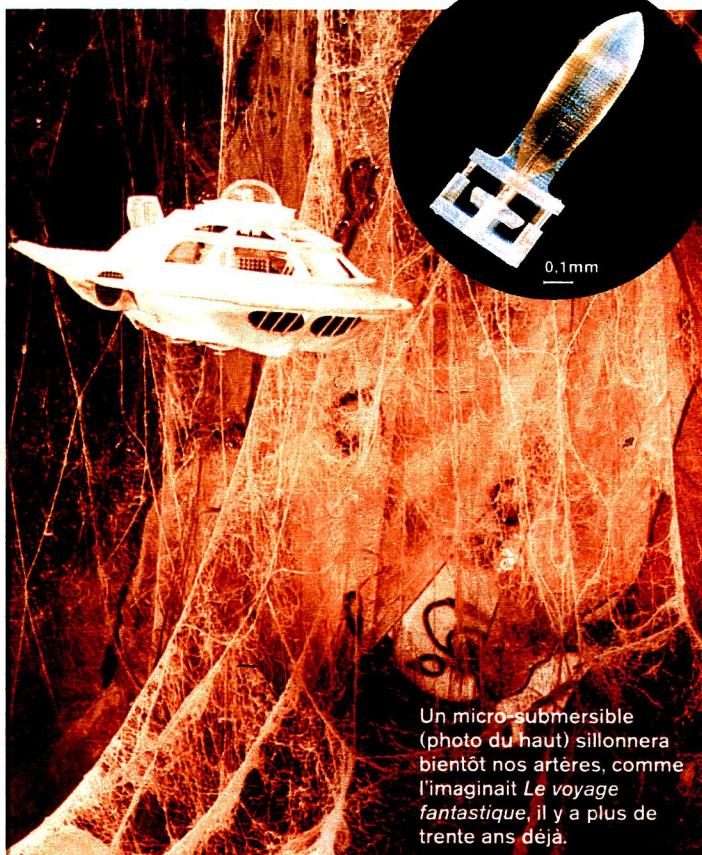
Pour quantifier l'importance relative des phénomènes naturels et humains, des climatologues britanniques ont comparé l'impact des rejets de gaz à effet de serre sur le niveau des cours d'eau en Europe en 2050, avec un modèle simulant la variabilité naturelle de ces ruissellements (*Nature* n° 6721). Résultat : l'effet de serre conduirait à augmenter le ruissellement en Europe du Nord et à le réduire en Europe du Sud, de façon plus importante que ne le feraient des fluctuations naturelles. Au centre de l'Europe, en revanche, le changement climatique d'origine humaine se détache mal du bruit de fond de la variabilité naturelle. D'où la nécessité de ne pas attendre un signal clair pour agir : il serait alors trop tard. H. G.

Comparé à la variabilité naturelle du climat, l'impact du réchauffement dû à l'homme est beaucoup plus important au nord et au sud de l'Europe (rouge) qu'au centre (bleu).



T. HULME/CRU

# Embarquement pour artères



Un micro-submersible (photo du haut) sillonnera bientôt nos artères, comme l'imaginait *Le voyage fantastique*, il y a plus de trente ans déjà.

PHOTOS REXSIPA PRESS

**Q**ui ne se souvient du film *Le voyage fantastique* (sorti en 1966) où des scientifiques miniaturisés prenaient place à bord d'un sous-marin microscopique et étaient introduits dans le corps d'un homme blessé pour le soigner? Si on ne sait toujours pas rétrécir la taille des médecins, un chercheur allemand vient de parvenir à mettre au point un submersible qui peut, lui, se déplacer dans nos artères. L'engin de Reiner Goetzen,

du laboratoire MicroTec de Duisbourg, mesure 4 mm de long et un demi de large. Il peut contenir une caméra et des substances actives qu'il largue sur commande. Un aimant rotatif assure sa propulsion.

Jusqu'à présent, il n'a été testé que sur des carcasses d'animaux. MicroTec cherche en effet un partenaire permettant de concevoir un moteur plus puissant permettant au sous-marin de s'affranchir du flux sanguin. I. B.



# L'hormone hermaphrodite

L'œstradiol, l'une des hormones femelles naturellement présentes chez les mammifères, a la capacité de se fixer aux mêmes récepteurs que les hormones mâles. Des chercheurs de l'université de Rochester (Etat de New York) ont observé *in vitro* l'action de cet œstrogène sur les cellules de la prostate. Contre toute attente, les récepteurs des androgènes (hormones mâles), naturellement présents dans les noyaux de ces cellules, fixent aussi l'œstradiol. Les conséquences de cette union "hors norme" sont les mêmes que lorsque les androgènes se fixent : on observe l'activation des mêmes gènes, puis la synthèse des mêmes protéines.

On sait depuis longtemps que les androgènes favorisent la prolifération cellulaire des tumeurs de la prostate. Malgré des traitements visant à les éliminer, on assiste parfois à des récidives cancéreuses. L'éventualité d'une interférence entre l'œstradiol et le récepteur des androgènes pourrait expliquer ce phénomène.

V. D.

# Avec le "7", ça ne vous coûte rien de téléphoner moins cher!



**OFFRE DE BIENVENUE**  
**jusqu'à 1h gratuite**  
**de communication<sup>(3)</sup>**

Pour toute souscription  
avant le 30/06/99

Pour en savoir plus et profiter de notre Offre de Bienvenue,  
téléphonez dès aujourd'hui au :

**NoVert 0 800 777 777**

7 jours sur 7, de 8 h à 22 h

en précisant votre code : P697

ou renvoyez le coupon ci-dessous sous enveloppe non affranchie à  
Cegetel 7 - Libre Réponse 80299 - 27240 DAMVILLE



**DEMANDE D'INFORMATION GRATUITE :** Oui, j'appelle régulièrement hors de mon département, en France métropolitaine ou à l'étranger (mon montant de facture actuel est supérieur à 500 F), et je souhaite recevoir une documentation sur l'Offre Classique du "7" de Cegetel".

Prénom \_\_\_\_\_ Nom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal  Ville \_\_\_\_\_

Important : pour vérifier que vous pouvez utiliser le "7" depuis  
votre poste fixe, merci de nous indiquer votre numéro de téléphone :

Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification pour toutes les informations vous concernant, en nous adressant à Cegetel 7. Elles sont destinées à nos services internes et pourront être cédées à des tiers commerciaux sans si vous vous y opposez.

## NOUVEAU :

- aucun abonnement
- 0,42 F/min<sup>(1)</sup> en semaine  
après 19 h  
pour vos appels nationaux
- 0,37 F/min<sup>(1)</sup> le dimanche  
pour vos appels nationaux

► Vous bénéficiez de 10 à 15 % de réduction<sup>(2)</sup> sur vos appels nationaux hors département, du lundi au samedi ;

de 10 à 20 % de réduction<sup>(2)</sup> sur vos appels internationaux et vers les DOM selon l'heure et la destination ;

et de 25 % de réduction<sup>(2)</sup> le dimanche sur vos appels nationaux et internationaux.

► Vous conservez votre ou vos numéro(s) de téléphone actuel(s).

► Vous profitez de tous les services gratuits du "7" : Service Clients ; consultation de votre encours ; facture détaillée ; et Sésame, notre programme de fidélité qui vous permet de gagner des minutes gratuites ou des cadeaux...

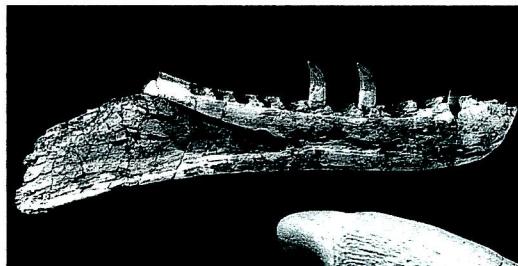
(1) Tarifs TTC au 01/03/99, au-delà du crédit temps, appels à plus de 52 km hors département. (2) Economies sur appels à plus de 30 km hors département et numéros spéciaux, calculées hors crédit temps, d'après tarifs d'opérateurs globaux français au 01/03/99, hors options tarifaires et tarifs frontaliers (appels vers les Etats-Unis et le Canada exclus à certaines heures). Les départements 73, 92, 93 et 94 forment un seul département de même que la Corse (2A et 2B). (3) Une heure gratuite d'appels en France métropolitaine, hors département, sous réserve des modalités de l'offre. Offre réservée aux particuliers, valable jusqu'au 30/06/99, soumise à conditions et non cumulable.

PC697



Le 7, c'est tout simplement  
moins cher

# Le roman du dinosaure normand

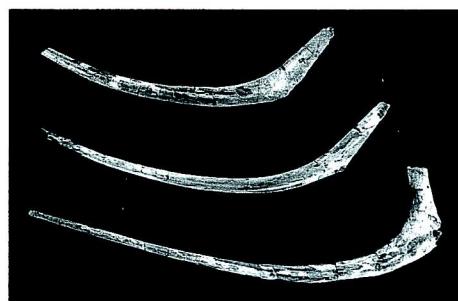


**Des os appartenant à un dinosaure au cœur d'une polémique historico-scientifique vieille de cent-soixante ans viennent d'être découverts en Normandie.**

**L**a découverte du poecilopleuron est une histoire à rebondissements. L'aventure commence en 1824 : William Buckland, un chanoine anglais, découvre d'étranges ossements dans la contrée d'Oxford. Ni le concept ni le terme de "dinosaure" n'existent encore. Il conclut qu'il est en présence des restes d'un grand lézard carnivore vieux de 165 millions d'années qu'il baptise mégalosaure : le "saurien géant".

En 1835, Jacques Deslongchamps, paléontologue français, récolte près de Caen des os contemporains de ceux du *Megalosaurus jurassique* de Buckland. La provenance anatomique des

pièces des deux dinosaures est différente à l'exception de quelques fragments qui font dire au scientifique britannique que les animaux appartiennent à la même espèce. Le chercheur normand, en revanche, est persuadé qu'il a découvert une famille distincte qu'il nomme *Poekilopleuron bucklandii*. Depuis personne n'avait réussi à établir



**Les restes mis au jour – ici les mandibules, une griffe et des côtes – sont ceux d'un dinosaure carnivore. Cette découverte va permettre de préciser la place de ces lézards amateurs de viande dans la famille des sauriens géants.**

un lien entre les deux squelettes.

C'est ici qu'entre en scène le troisième dinosaure tout récemment étudié par deux paléontologues du Muséum national d'histoire naturelle, Philippe Taquet et Ronan Allain. Le fossile qu'ils ont passé au crible possède la mâchoire du mégalosaure et les côtes du poekilopleuron. Des résultats qui, s'ils se confirment, prouvent que les deux espèces ne font qu'une, comme l'avait pressenti William Buckland.

La découverte présente d'autres intérêts d'ordre scientifique. Le squelette est dans un état de conservation exceptionnel. Il

comprend les os crâniens, une rareté car on ne trouve d'ordinaire que des pièces plus lourdes comme des fémurs.

Enfin, ce spécimen va permettre de redéfinir la place encore mal connue des carnivores dans la grande famille des "terribles lézards".

F. T.

Enlève les points noirs  
en 15 min.

**NOUVEAU CLEAR-UP STRIP :**  
**LES IMPURETÉS S'Y ATTACHENT, VOUS AUSSI.**

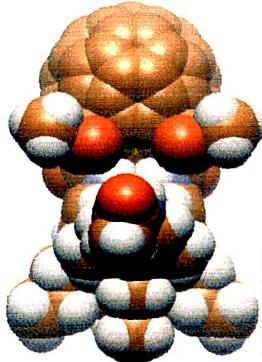


**NIVEA FOR MEN**  
kao  
biore®

**NIVEA FOR MEN. POUR CEUX QUI OSENT LE SOIN.**  
[www.niveaformen.tm.fr](http://www.niveaformen.tm.fr)

**RECHERCHE****CHIMIE**

# Champions les chimistes



A. HIRSCH-A. SOI

Prenez une molécule en forme de ballon, dite "footballène", posez-la sur une molécule en forme de coupe, de type calixarène (du latin *calix*, coupe), fixez le tout avec des groupes méthylène et vous obtiendrez une réplique moléculaire de la fameuse coupe du monde de football. Les chimistes allemands (de l'université d'Erlangen-Nuremberg) qui ont synthétisé cette œuvre chimico-artistico-sportive de trois nanomètres de haut suggèrent qu'elle pourrait peut-être servir à capter l'énergie solaire... H. G.

**PHYSIQUE**

# Nano-balance

Intensivement étudiés depuis leur découverte en 1991, les nanotubes, minuscules cylindres creux de carbone de quelques nanomètres de diamètre (1 nano-

mètre = un millionième de millimètre), ont une nouvelle application, proposée par des physiciens du Georgia Institute of Technology, à Atlanta : ils peuvent servir de

balance pour peser des objets de quelques femtogrammes ( $1 \text{ fg} = 10^{-15} \text{ g}$ ), comme les virus. Ces objets sont suspendus à l'extrémité d'un tube, et leur masse se déduit de la fréquence de vibration de celui-ci.

H. G.



SCIENCE MAGAZINE

**BIOSTATISTIQUES**

## Gare au bus

Les bus de Buenos Aires seraient responsables du tiers des cas de tuberculose qui se déclarent dans la capitale argentine. Selon l'étude d'un biomathématicien de l'université Cornell, à Ithaca (Etat de New York), les véhicules bondés aux heures de pointe participent activement à la transmission de la maladie. I. B.

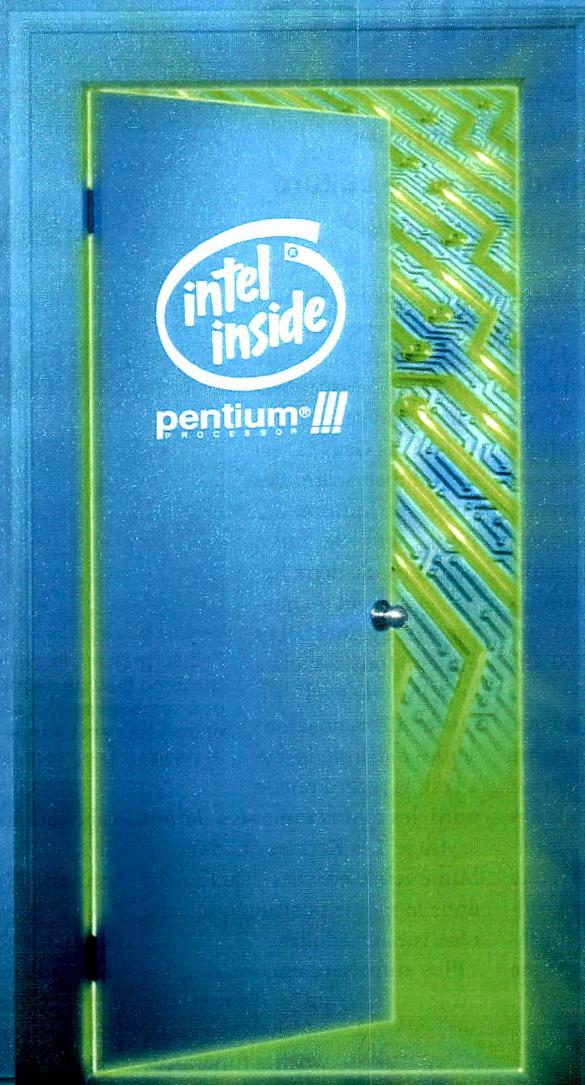
**GÉNÉTIQUE**

## Pas de trêve dans la guerre des gènes

La bataille fait rage entre deux des équipes engagées dans le séquençage du génome humain : celle des National Institutes of Health (les instituts américains de la santé se sont associés pour l'occasion à la Grande-Bretagne) et celle de l'entreprise privée américaine Celera Corp. dirigée par Craig Venter. Après l'annonce fracassante de ce dernier de déchiffrer en un trimestre le patrimoine génétique d'une drosophile pour tester ses nouvelles installations, le consortium américano-britannique a déclaré être en mesure de livrer le génome humain à l'automne 2000. Initialement, la lecture complète de notre patrimoine génétique ne devait pas être achevée avant 2005. I. B.

# Intel présente le processeur Pentium® III. Vous allez redécouvrir l'Internet.

this way in™



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

\* demain c'est par ici

Le processeur Intel® Pentium® III est arrivé. Que vous vouliez jouer, faire des achats ou simplement naviguer sur l'Internet, la puissance du processeur Pentium III vous permettra de vivre une expérience passionnante. Désormais, vous ne vous contenterez plus d'aller sur l'Internet, vous y entrerez vraiment. Pour vous en assurer, rendez-vous sur le site [www.intel.fr](http://www.intel.fr)

# Les enfants rois des Kermas

**La récente découverte d'une nécropole d'enfants kermas souligne l'originalité d'une riche culture encore très mal connue.**

L'île de Saï héberge un trésor. Baignée de part et d'autre par les eaux du Nil, cette île du nord du Soudan semble avoir été un haut lieu de la culture kerma. On vient d'y découvrir une nécropole d'enfants : soixante-deux tombes réparties sur près de 200 m<sup>2</sup>. Leur fouille a permis de mettre au jour les dépouilles de quarante-six très jeunes enfants, morts de 1750 à 1500 ans avant notre ère.

L'originalité du peuple kerma, resté trop longtemps dans l'ombre de son imposant voisin, l'Empire égyptien, commence à peine à être entrevue. Malgré des relations politiques tendues avec le Moyen Empire, les Kermas profitaient de leur situation géographique – entre l'Egypte et l'Afrique noire, d'où provenaient or, ivoire, bétail... – pour commercer avec les dynasties des pharaons. Les immenses bâtiments et les nécropoles fouillées ont déjà révélé aux archéologues quelques bribes de la magnificence de

ce royaume nubien.

Dans ce contexte, la découverte de Bruno Maureille, Pascal Murail, David Peressinoto et Francis Geus (1) est de premier ordre. Les corps de quatre enfants âgés de un à deux ans, de deux fœtus, et surtout de quarante très jeunes bébés étaient tous couchés en "chien de fusil". En outre, ils reposaient sur le côté droit, la tête à l'est, le regard vers le nord, les mains ramenées devant le visage. Les Kermas ont donc inhumé leurs enfants exactement dans la même position que celle réservée aux adultes.

Plus stupéfiant encore, les plus âgés d'entre eux étaient allongés sur des lits funéraires adaptés à leur petite taille. Les sommiers, tressés de lanières de peau ou de cuir, reposaient sur des pieds de bois en forme de pattes d'animaux ou à bascules. Et, sous ces lits, les



MISSION ARCHÉOLOGIQUE DE L'ÎLE DE SAÏ

**Fait surprenant, la civilisation kerma réservait le même type de sépulture à ses enfants et à ses adultes. Cet enfant mort entre deux et trois ans est inhumé sur un lit funéraire, le visage tourné vers le nord.**

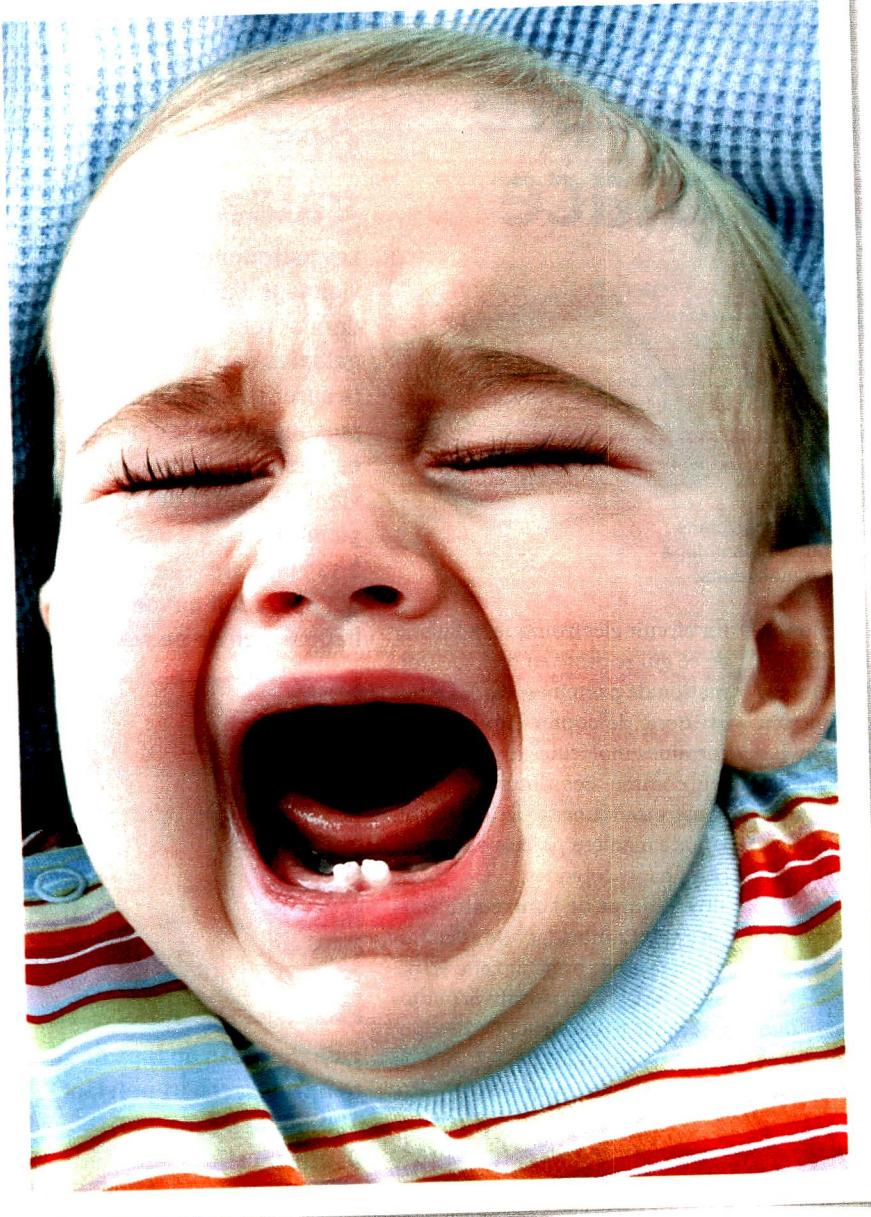
scientifiques ont eu la surprise de trouver des offrandes : des pots de céramique rouge et noire.

« Ce rituel funéraire reproduit en miniature celui des adultes ! s'exclame Bruno Maureille. Contrairement à la majorité des cultures de part le monde, dont les rites funéraires sont très différents pour les adultes et les enfants, le peuple kerma accordait autant d'importance aux très jeunes enfants qu'aux adultes ! »

G. M.

(1) B. Maureille, P. Murail et D. Peressinoto font partie du Laboratoire d'anthropologie des populations du passé (CNRS-Bordeaux). F. Geus, de l'université Lille III, est directeur de la mission archéologique de l'île de Saï.





SAATCHI & SAATCHI

## SEULE LA RÉALITÉ DÉPASSE L'IMPRESSION.



IMPRIMANTES HP DESKJET  
avec HP PhotoREt II

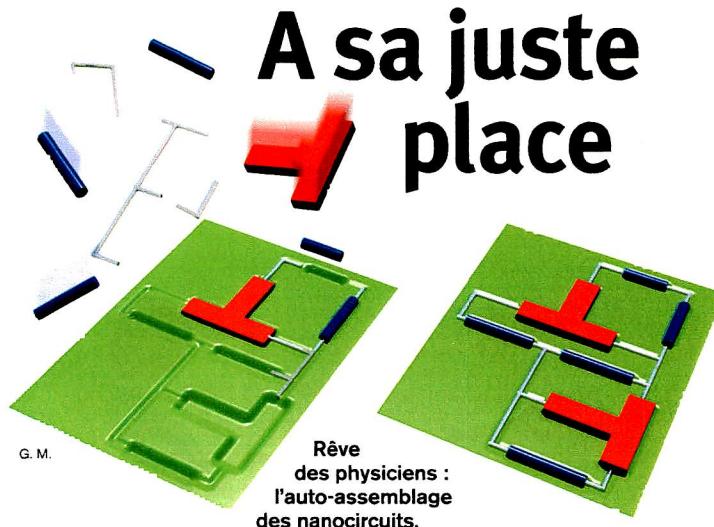
Pourquoi ce bébé a-t-il l'air si réaliste ? Parce que cette image a été imprimée grâce au plus avancé des procédés d'impression jet d'encre disponibles actuellement : la technologie de superposition des couleurs HP PhotoREt II de Hewlett-Packard. Un procédé révolutionnaire qui permet aux imprimantes jet d'encre de placer jusqu'à 16 gouttes d'encre à l'intérieur de chaque point microscopique. Résultat : vous obtenez une photo d'une qualité extraordinaire, imprimée en un temps record. Quelle que soit l'urgence de vos projets, vous obtiendrez toujours des images d'une exceptionnelle qualité. Des images que seule la réalité peut surpasser.

**hp** HEWLETT  
PACKARD  
Expanding Possibilities\*

\*HP. Et tout devient possible

## RECHERCHE

## PHYSIQUE



**A**vec la réduction de plus en plus poussée de la taille des composants électroniques, la prochaine révolution sera celle des nanocircuits, dont les "pièces" mesurent quelques millièmes de millimètre. C'est pourquoi les scientifiques focalisent leurs efforts sur l'étude de l'auto-assemblage. En effet, avec des composants de la taille de grosses molécules, plus question d'utiliser la lithogravure – trop grossière – pour les assembler. L'idéal : que les nanocomposants s'assemblent seuls sur un substrat pour donner

un circuit électronique, à l'instar de ce qui se passe en biologie (formation de protéines, etc.). Le but est donc de copier l'aptitude de certaines molécules à se comporter comme des "liants" : elles construisent une structure en collant de manière précise des molécules nanoscopiques.

Une équipe de l'université Harvard, à Cambridge (Massachusetts), vient de franchir cette étape. Elle a réussi à construire par auto-assemblage une structure hexagonale en polymère de 2,7 mm de diamètre et de 1 mm de côté. R. I.

## ALIMENTATION

## LES FRANÇAIS RESTENT À TABLE

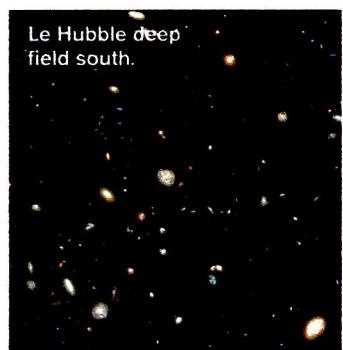
■ L'essor de la restauration rapide et de l'industrie de transformation des aliments pourrait laisser supposer une évolution des comportements alimentaires des Français. Une récente étude du CREDOC montre qu'il n'en est rien. La durée moyenne des repas ne diminue pas : elle est de 33 min en semaine et de 43 min le week-end. Mieux, le temps consacré

au petit-déjeuner augmente. De plus, la restauration hors domicile ne progresse que le samedi et le dimanche. En semaine, quatre personnes sur cinq déjeunent chez elles. Enfin la diversité alimentaire ne semble pas non plus menacée : 56% de nos concitoyens atteignent le niveau maximal de diversité en un seul jour. Aux Etats-Unis, ils ne sont que 34% à y parvenir. I. B.

## ASTRONOMIE

## Le big boom des galaxies

Les astronomes américains viennent d'achever le dernier recensement des galaxies dans l'Univers. Et la surprise semble de taille puisque, selon leurs estimations, leur nombre vient de passer de 50 milliards, il y a trois ans, à 125 milliards. Ce résultat, qui ne traduit nullement l'apparition de nouvelles



galaxies dans un laps de temps aussi court provient du Hubble Deep Field South, un cliché de dix jours de pose pris par le télescope spatial *Hubble* en octobre 1998. Grâce au détecteur infrarouge NICMOS, des galaxies encore plus lointaines que celles révélées en 1995 dans le Hubble Deep Field North (image similaire prise dans le ciel boréal) ont aussi été détectées... D'où la nouvelle estimation. P. H.



## LES CRUS DU BEAUJOLAIS ET LES BOUQUETS DES BEAUX JOURS.

*L*es Crus du Beaujolais sont comme les fleurs des champs, c'est au retour des Beaux Jours que leurs bouquets s'épanouissent.

C'est à partir de Pâques que les Crus vendangés l'Automne précédent arrivent à maturité.

Ils donnent alors le meilleur de leurs notes florales et de leurs arômes de fruits rouges, richesses du terroir beaujolais.

Mais consommer les Crus du Beaujolais dès le retour d'Avril n'est pas la seule manière de les apprécier. Bien au contraire : après des années de cave, les Crus du Beaujolais sont toujours un bonheur pour le palais des connaisseurs.

# Beaux Jours Beaujolais

Etonnante Beaujolais !  
[www.beaujolais.com](http://www.beaujolais.com)

BROUILLY - CHENAS - CHIROUBLÉS - CÔTE DE BROUILLY - FLEURIE - JULIENAS - MORGON  
MOULIN AVENT - REGNIE - SAINT-AMOUR

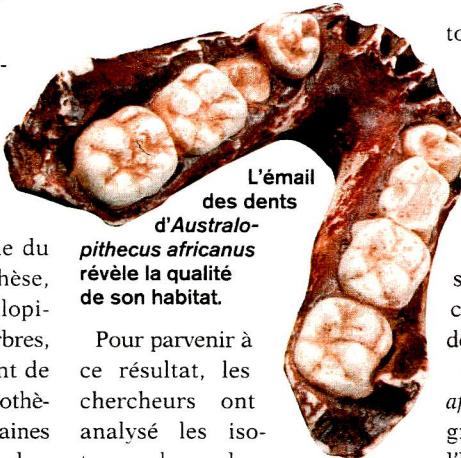
*L'abus d'alcool est dangereux pour la santé, consommez avec modération*

## RECHERCHE

## PALÉONTOLOGIE

## Du steak au menu?

Il y a 3 millions d'années, *Australopithecus africanus*, un cousin de nos ancêtres directs, aurait été omnivore. Pourtant, jusqu'à ce que Matt Sponheimer et Julia Lee-thorp, de l'université du Cap (Afrique du Sud), émettent cette hypothèse, on pensait que cet australopithèque, qui vivait dans les arbres, se nourrissait exclusivement de fruits et de feuilles. Cette hypothèse vient donc contredire certaines théories sur nos origines selon lesquelles la consommation de viande aurait été responsable de l'accroissement des capacités cérébrales de notre genre.



Pour parvenir à ce résultat, les chercheurs ont analysé les isotopes de carbone contenues dans l'émail des dents d'un fossile. Comme les végétaux utilisent le carbone de manière différente, certains iso-

topes s'accumulent plus que d'autres dans leurs tissus. Les feuilles des arbres et l'herbe de la savane ne portent donc pas la même "signature isotopique". Lorsqu'ils ingurgitent ces plantes, les herbivores emmagasinent cette signature, que l'on retrouve aussi chez les carnivores qui se régalaient de la viande d'herbivore.

Or, les dents d'*Australopithecus africanus* portent, en plus de la signature des feuilles, celle de l'herbe. Se sont-ils contentés de brouter ou ont-ils ajouté de la viande à leur menu ? Impossible de trancher. Mais cette découverte montre qu'ils se sont baladés dans la savane. Ils étaient donc capables de s'adapter à plusieurs milieux, ce qui constitue l'une des caractéristiques principales de notre lignée.

G. M.

PHOTO : M. SPONHEIMER/RUTGERS UNIV. ANTHROPOLOGIST

## PHYSIQUE

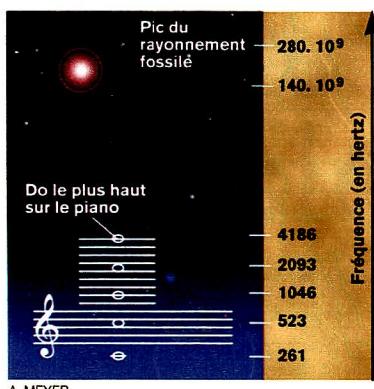
## L'UNIVERS A BON DO

■ Si l'Univers était une note, il serait un "do". C'est du moins la conclusion de Jean-Philippe Fontanille. Ce professeur de guitare et compositeur passionné de sciences s'est pris au jeu de chercher la note la plus représentative de l'Univers. Il a remarqué que le rayonnement électromagnétique fossile, vestige

des premiers instants de l'Univers et dans lequel nous baignons, présentait un pic significatif à 280 gigahertz. Transposée dans le domaine des ondes sonores, cette fréquence est bien trop élevée pour être perçue par l'oreille humaine. Jean-Philippe Fontanille a donc divisé cette fréquence par deux, et ceci 26 fois de suite afin de descendre, à chaque fois, d'une octave. Il est finalement arrivé sur la plus haute touche du piano, un do. Joli hasard qui met en phase l'Univers avec la note fondamentale de notre écriture musicale.

V. G.

La fréquence du rayonnement fossile correspond à un do, 26 octaves au-dessus de la note la plus haute du piano.



## NEUROLOGIE

## Soja analgésique

Les rats qui mangent beaucoup de soja sont moins sensibles à la douleur. Telle est la conclusion d'une expérience réalisée par des chercheurs du Johns Hopkins Medical Institutions, à Baltimore (Maryland), et de l'université Yoram Shir, à Jérusalem. Comme le rat et l'homme ont une biologie et une physiologie proches, le rongeur pourrait constituer un modèle pour l'étude des mécanismes de la douleur chez l'homme et la mise au point de traitements.

P. R.

## PHYSIQUE

# La Nasa veut vaincre la gravité

Il y a trois ans, des journaux britanniques avaient annoncé – prématurément – la découverte de l’“anti-gravité” par Eugène Podkletnov (voir *Science & Vie* n° 951, p. 84).

Le physicien russe disait avoir mesuré une diminution de 2% du poids d’un disque supraconducteur mis en rotation dans un champ magnétique. Mais cette étrange perte de poids n’a pas été observée ailleurs, et une première tentative d’une équipe de la NASA pour reproduire le résultat de Podkletnov s’est soldée par un échec. Malgré les doutes de nombreux physiciens, la NASA va débloquer 600 000 dollars pour poursuivre la recherche de cette anti-gravité dans l’espérance d’alléger le coût des voyages spatiaux. H. G.

Ian Tesarik,  
a réalisé  
des fécondations  
sans gamète  
mâle.

## MÉDECINE

# Comment se passer des spermatozoïdes

Une équipe internationale de biologistes vient de réussir trois fécondations sans gamète mâle. Sur des patients atteints d’azoospermie totale et donc dépourvus de spermatozoïdes, le docteur Ian Tesarik (laboratoire d’Eylau, Paris) et ses collaborateurs ont réalisé des biopsies de testicules. Certaines de ces cellules ont “mûri” naturellement et se sont transformées en spermatoocytes, puis en spermatides, des cellules elles-mêmes précurseurs des spermatozoïdes. Un spermatide a ensuite été déposé *in vitro* dans un ovule pour former un œuf. Cette fécondation est en théorie possible

du fait que les spermatides sont haploïdes : ils disposent, comme les spermatozoïdes et les ovules, d’un jeu de 23 chromosomes alors que les autres cellules du corps en contiennent 46. Après plusieurs divisions cellulaires, l’embryon a été implanté dans l’utérus de la mère.

Ces travaux ont été entrepris en Turquie, où la législation permet de réaliser ce type d’essais sans tests préalables sur des animaux. I. B.

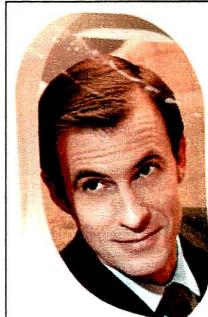
Ont collaboré à cette rubrique : Christelle Célarié, Virginie David, Valérie Greffoz, Hélène Guillemot, Philippe Henarejos, Roman Ikonikoff, Géraldine Magnan, Pierre Rossion, Fany Torre.

IL Y A DEUX MOMENTS OÙ JE DOIS POUVOIR JOINDRE MA FAMILLE.  
QUAND JE SUIS PRÈS ET QUAND JE SUIS LOIN.  
Service TransContinents inclus.

Pour en savoir plus, téléphonez au 0 800 426 426.

SFR Pro

DES FORFAITS ET DES SERVICES  
QUI CHANGENT TOUT.



\* Taux de 11 Toledo 1.6 Stella (AM 99) au 08/01/99 - version présentée. Toedo 1.6 Signum 121.500 F hors options (AM 99) ou 120.000 F au premier des deux termes et du deuxième au plus tard. Véhicule neuf commercialisé à tout véhicule ayant comme base à compter du 01/01/99. (1) De série sur 1.6 20V et 2.3 V5.



## 4 Airbags Seat® ABS, EBV et EDS<sup>(1)</sup>. 100% des apports journaliers

Pour votre sécurité, la nouvelle SEAT Toledo est dotée en série des équipements les plus perfectionnés :

4 Airbags Seat® (conducteur, passager et latéraux), système antibloquage ABS avec répartiteur électronique de freinage EBV, blocage électronique de différentiel EDS<sup>(1)</sup>.

Garantie 12 ans contre la corrosion grâce à sa carrosserie entièrement galvanisée, la SEAT Toledo vous séduira par un design qui reflète parfaitement son haut niveau de technologie.

La nouvelle SEAT Toledo est disponible en trois finitions : Stella, Signum et V5.

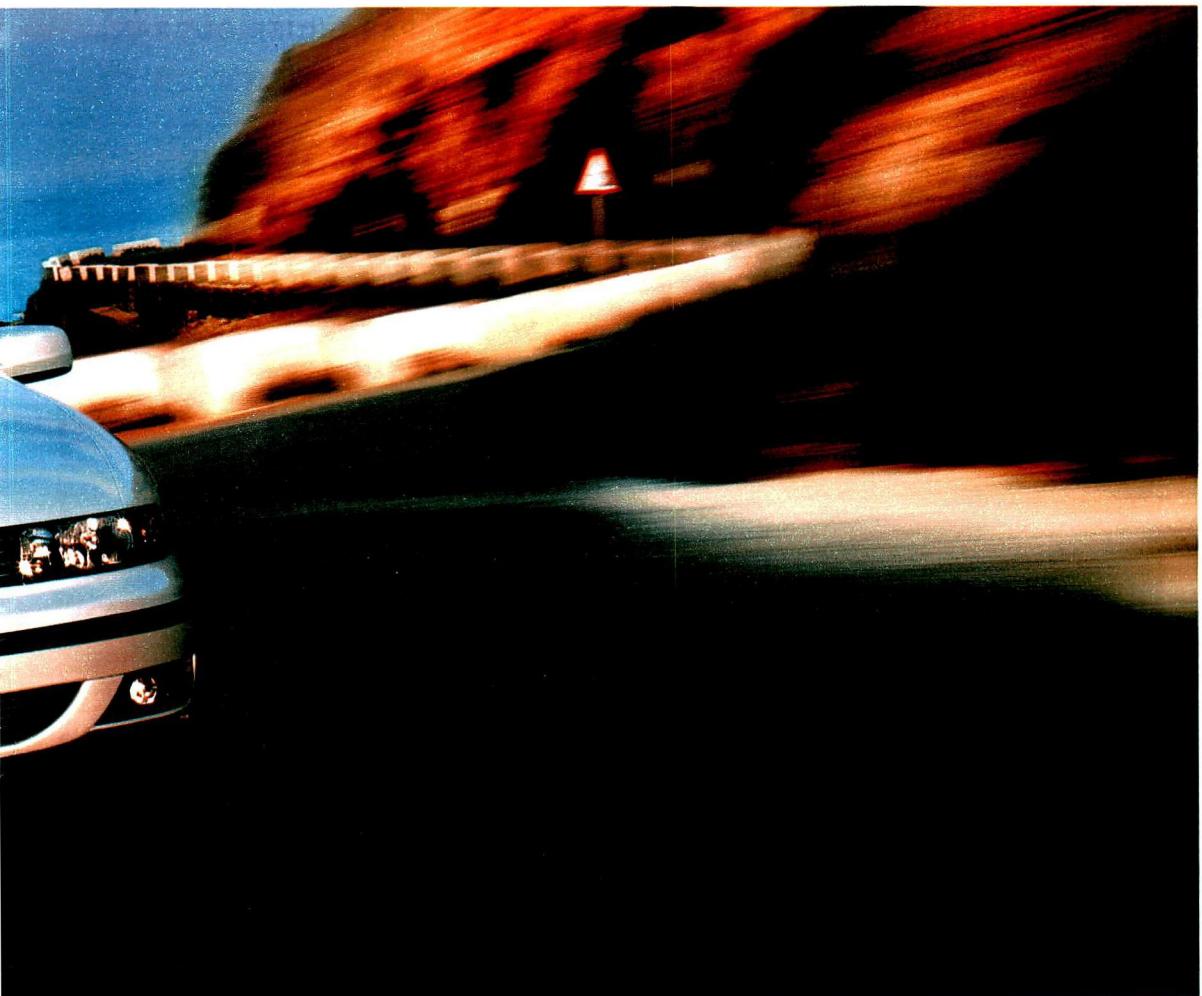
Vous avez le choix entre trois motorisations essence 1.6, 1.8 20V, 2.3 V5 et deux turbo-diesel 1.9 TDI 90 et 110.



Dispositif complet de sécurité : ABS, Airbags Seat® conducteur, passager et latéraux, ceintures de sécurité avant avec prétensionneur pyrotechnique.

Nouvelle SEAT Toledo à partir de 101.500 F\*

15.473 FF  
e u r o s



en sérénité.

**Nouvelle Seat Toledo.**  
Des apparences qui ne trompent pas.

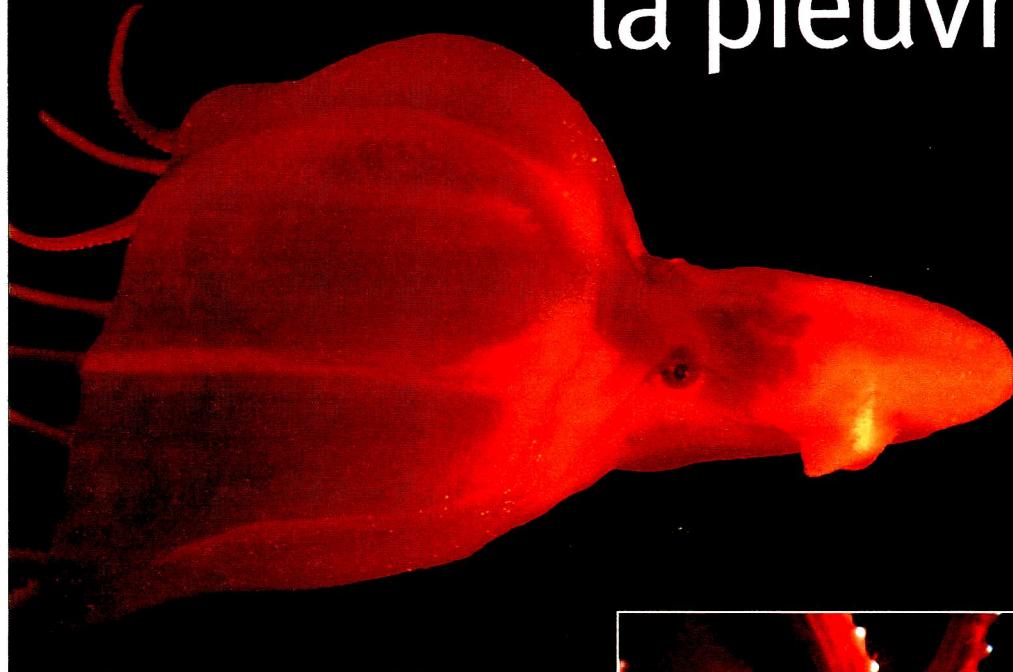


Système antiblocage  
ABS avec répartiteur  
électronique de freinage  
EBV, blocage électronique  
de différentiel EDS<sup>(1)</sup>.  
Il n'y a pas de limite  
à votre sécurité.

**GARANTIE**  
**3ANS**

  
**SEAT**

# Les feux de la pieuvre



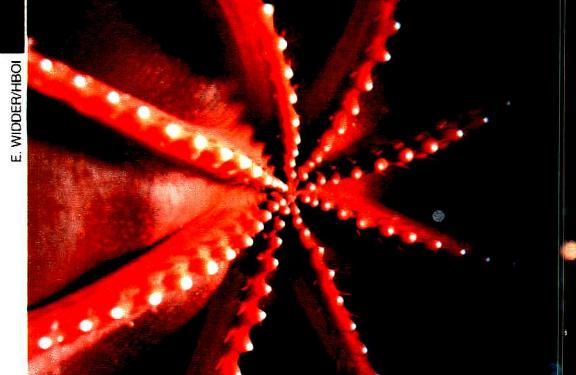
**L'évolution a réservé une surprise aux biologistes : un poulpe orange doté de tentacules luminescents...**

**U**n poulpe qui brille de toutes ses ventouses, tel est l'étonnante découverte de trois biologistes américains, Sönke Johnsen, Elisabeth Balser et Edith Widder. Les huit bras de *Stauroteuthis syrtensis*, un poulpe de couleur orange qui vit à 900 m de profondeur, sont munis de ventouses qui émettent une lumière bleu-vert.

Des ventouses ? A y regarder de plus près, ces organes pourraient n'en avoir que l'apparence. Leur morphologie générale est typique des ventouses, à un détail près :

les muscles responsables de l'adhésion, très développés chez tous les octopodes, sont atrophiés chez *Stauroteuthis syrtensis*. Des photocytés (cellules qui produisent de la lumière) les ont quasi-maintenue remplacés.

Au cours de son évolution, cette pieuvre aurait troqué un outil devenu inutile contre unurre efficace. Dans les profondeurs marines, il y a en effet peu de pierres ou de monticules auxquels s'agripper. En revanche, les minuscules crustacés dont raffole le

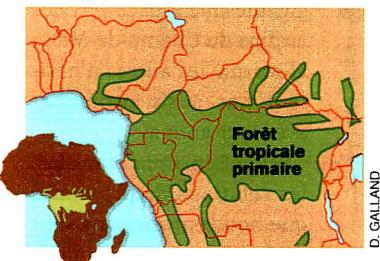


Des photocytés ont remplacé les muscles des ventouses chez le poulpe *Stauroteuthis syrtensis*.

poulpe sont très attirés par la lumière. Ils foncent vers les fausses ventouses du poulpe qu'ils prennent pour du plancton bioluminescent, leur principale nourriture. Les voilà pris dans le filet de mucus que sécrète la bouche de *Stauroteuthis syrtensis*, qui n'a plus qu'à les gober.

G. M.

L'Afrique centrale  
veut préserver  
sa forêt tropicale.



D. GALLAND

## CONSERVATION

## Forêt tropicale et bonnes intentions

Le 17 mars dernier, de nombreux chefs d'Etat d'Afrique centrale se sont réunis à Yaoundé, au Cameroun. L'objet de ce sommet était la conservation et la gestion durable des forêts tropicales. Les présidents africains ont déclaré leur intention de créer des aires

**transfrontalières protégées.** Avec un massif forestier de 1,8 million d'hectares, le bassin du Congo possède l'une des plus belles forêts primaires du monde.

**Mais le bois est une importante source de revenus, et l'exploitation anarchique de la forêt ne cesse de s'accélérer. Voilà pourquoi il est urgent de la protéger. Espérons que la déclaration de Yaoundé ne restera pas qu'un symbole.**

G. M.

## JAMAIS SANS SACHENILLE

■ L'INRA vient de découvrir la relation d'entraide qui unit deux ravageurs de la vigne : le botrytis, le champignon responsable de la pourriture grise, et l'eudémis, une chenille tordeuse de la grappe. La chenille "sème" les spores du champignon, accrochées dans ses poils, et favorise leur germination par les sucres contenus dans ses excréments.

Quant au champignon, il accélère la croissance des Chenilles qui s'en nourrissent et augmente le volume de la ponte des femelles papillons.

M.-S. G.

B. STIEGER/JACANA



Le botrytis.



L'eudémis.

## ZOOLOGIE

## Le grand hamster en sursis

**M**enacé d'extinction, le grand hamster d'Alsace (*Cricetus cricetus*) a été classé "espèce strictement protégée" par la convention de Berne.

Victime de sa réputation d'animal nuisible, l'ancêtre sauvage de nos hamsters a presque été réduit à néant par les agriculteurs (empoisonnements, inondations des terriers, pièges...). Il

a disparu de 80 % des communes où il était présent il y a encore vingt-cinq ans, et la population se réduit aujourd'hui à 500 individus.

M.-S. G.

Longtemps exterminé, *Cricetus cricetus* est désormais strictement protégé.



S. CORDIER/JACANA



ABBAS/MAGNUM

## SOCILOGIE

# Des chiens dans la ville

**E**n France, 36 % des foyers possèdent un chien, soit un total de près de 10 millions de chiens. Rien qu'à Paris, on en compte 500 000.

Quel est le rôle du chien dans le tissu social urbain ? Le sociologue Benjamin Stanislas a mené, pour l'Association française d'information et de recherche sur l'animal de compagnie, une étude sur l'influence de la possession d'un chien sur le comportement individuel et collectif. L'enquête a été effectuée dans le septième arrondissement de Paris, auprès de possesseurs et de non-possesseurs de chien.

Il semble que la possession d'un chien crée une identité de groupe : les propriétaires de chien forment une population particulière, où l'animal sert de médiateur. Le chien sert aussi d'objet transitionnel aux jeunes enfants, qu'il aide à prendre conscience de l'extérieur.

La présence d'un compagnon canin en ville diminue le sentiment d'insécurité et modifie la représentation du lieu d'habitation.

Le sociologue a ainsi constaté que les non-possesseurs de chien avaient peur de s'aventurer dans le gigantesque espace vert des jardins du Champ-de-Mars, alors que les autres n'hésitent pas à s'y promener avec leur animal.

Selon Benjamin Stanislas, les relations de proximité que nous entretenons sont de type multiplexe – lorsque la communication n'est pas associée à une fonction précise – ou uniplexe (avec les collègues de bureau, par exemple).

En ville, les propriétaires de chien évolueraient dans un réseau uniplexe rassurant. Ils parlent de leur animal avec d'autres propriétaires de chien rencontrés lors de promenades. Ces relations ne sont pas source de confusion et ne provoquent pas de sentiment d'inquiétude. Selon Benjamin Stanislas, le chien a donc une influence favorable en milieu urbain.

M.-S. G.

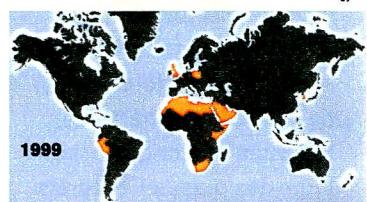
## RESSOURCES

## L'EAU EN VOIE DE DISPARITION

S. FLORAND

■ Le manque d'eau menace directement quelque 450 millions de personnes. D'après certaines prévisions, ce chiffre pourrait grimper à 2,5 milliards d'ici à 2025. La Commission mondiale sur l'eau pour le xx<sup>e</sup> siècle lance un appel aux scientifiques afin qu'ils développent de nouveaux systèmes pour dessaler l'eau de mer, localiser à distance les eaux de surface, recycler les eaux usées et même transporter le précieux liquide par voie transocéanique. G. M.

En jaune, les pays que menace la pénurie d'eau.

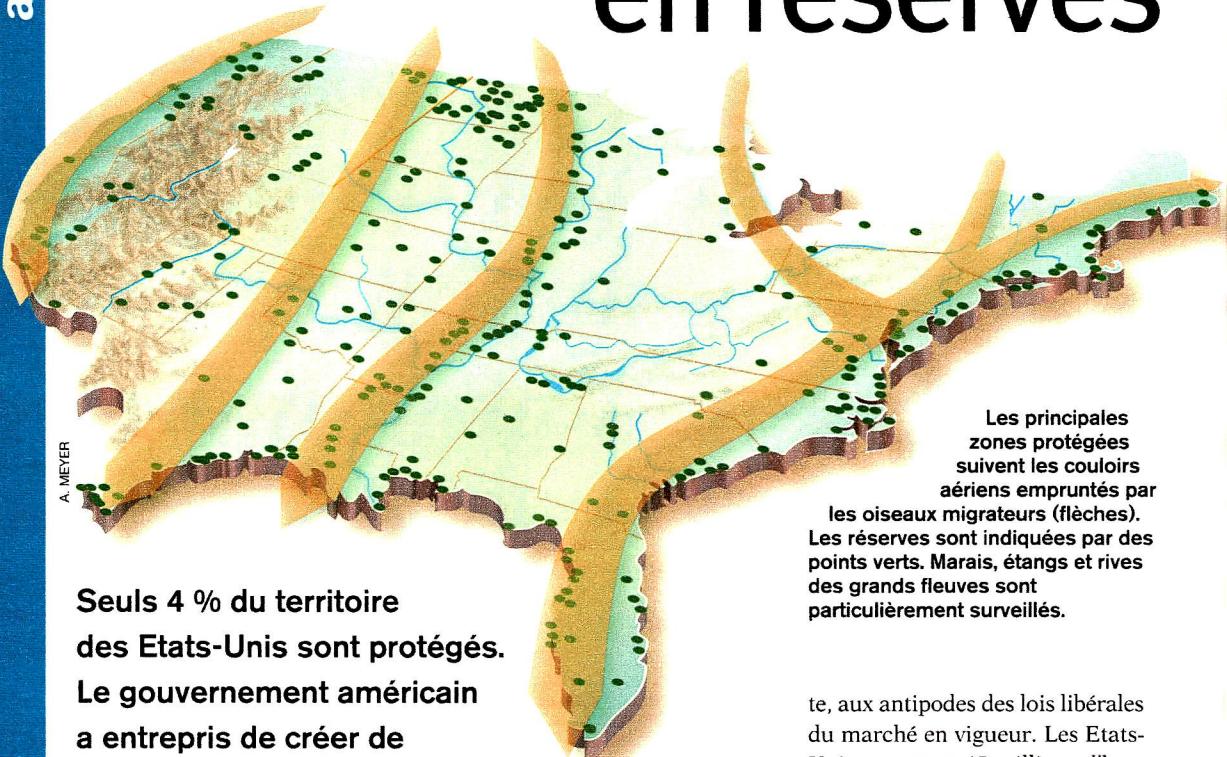




YARIS. PLUS GRANDE À L'INTÉRIEUR QU'À L'EXTÉRIEUR.

 TOYOTA YARIS

# Les Etats-Unis en réserves



**Seuls 4 % du territoire des Etats-Unis sont protégés. Le gouvernement américain a entrepris de créer de nouvelles réserves naturelles.**

Les grands espaces américains ont eux aussi leurs limites. C'est ce qu'a signifié le Président Bill Clinton en annonçant, le 12 janvier dernier, que le gouvernement fédéral allait consacrer un milliard de dollars à l'achat de terrains pour créer des réserves naturelles.

Cet effort sans précédent répond au phénomène d'extension des zones urbaines : « Notre population croît, nos cités s'étendent, notre engagement dans la conservation doit augmenter en proportion », a déclaré Bill Clinton.

Lieu emblématique de cette

politique : le désert du Mojave, en Californie du Sud. L'Etat fédéral devrait y acquérir plus de 200 000 hectares pour préserver ce milieu naturel de l'extension continue de Los Angeles et de Las Vegas.

Des terrains privés vont également être achetés dans le parc national du Grand Canyon (Arizona) et dans les Everglades (Floride). Et 180 millions de dollars seront consacrés à la protection des côtes et de l'environnement aquatique.

Depuis des décennies, la politique de conservation de l'Amérique du Nord est très volontariste,

Les principales zones protégées suivent les couloirs aériens empruntés par les oiseaux migrateurs (flèches). Les réserves sont indiquées par des points verts. Marais, étangs et rives des grands fleuves sont particulièrement surveillés.

te, aux antipodes des lois libérales du marché en vigueur. Les Etats-Unis comptent 45 millions d'hectares de réserves naturelles, et plus de 1,5 million d'hectares de zones humides y sont protégés. 25 millions d'hectares de forêts sont interdits d'exploitation dans les cinquante Etats membres.

Ces immenses espaces protégés doivent cependant être rapportés à la superficie de l'Amérique : ils ne représentent que 4 % du pays. D'où le nouvel effort exigé par Bill Clinton.

L. C.

Ont collaboré à cette rubrique : Loïc Chauveau, Marie-Sophie Germain, Géraldine Magnan, Henri-Pierre Penel.



## TOYOTA YARIS. ELLE DÉFIE TOUTE LOGIQUE.

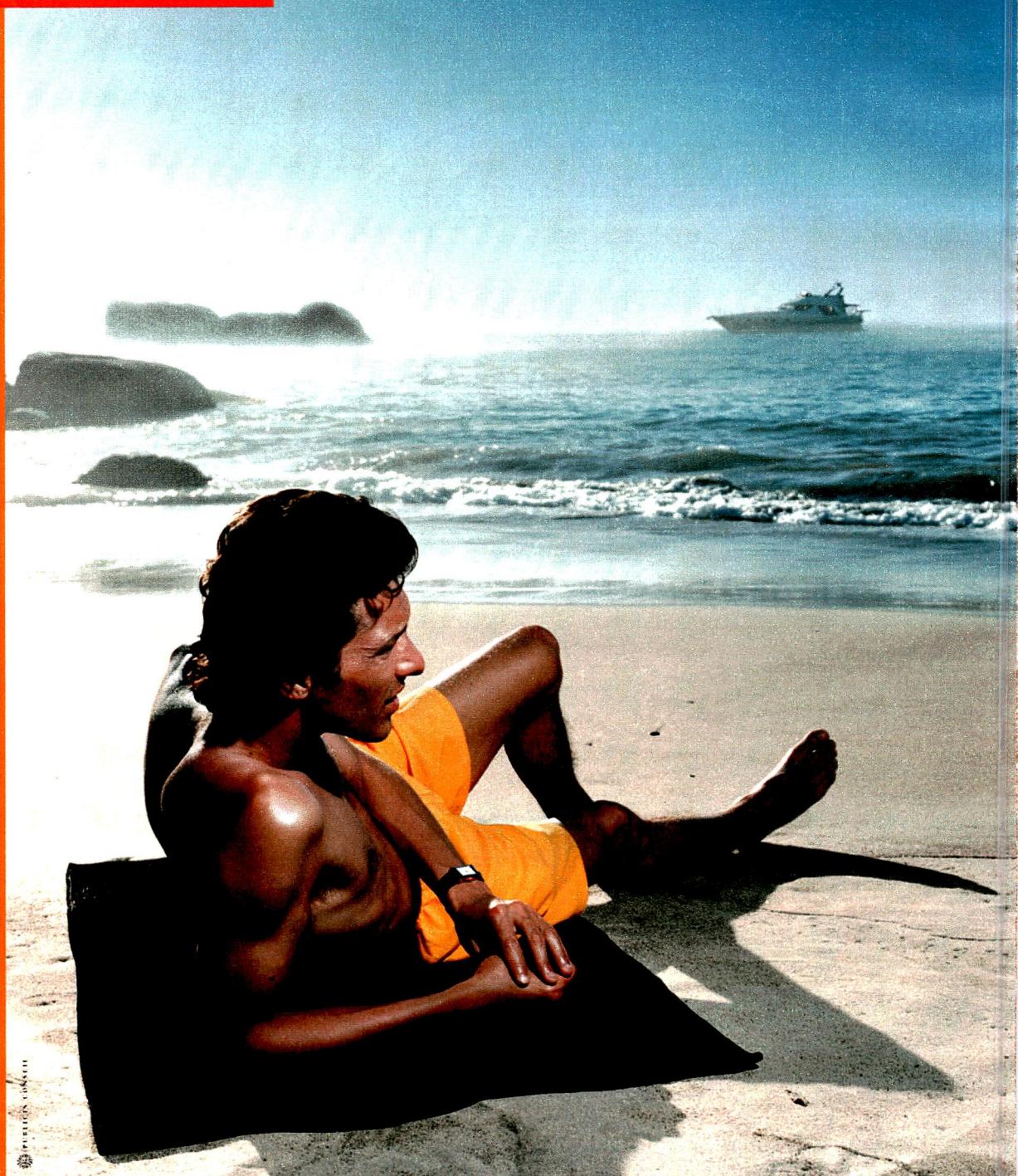
**YARIS. FAIBLE ENCOMBREMENT / HABITABILITÉ RECORD.** Grâce à un volume intérieur unique, à une hauteur et une largeur intérieures incomparables, à une banquette arrière coulissante et à un coffre modulable, Yaris est spacieuse. Et comme en plus, elle offre un espace de confort avec une assise surélevée, elle n'a vraiment rien d'une petite voiture. A partir de 59 900 F, décidément, Yaris défie toute logique. Existe en 3 ou 5 portes et propose coussins gonflables conducteur et passager, moteur 16 soupapes VVT-i (distribution variable des soupapes).

ordinateur de bord, radio K7 et même, si vous le désirez, la navigation par satellite (GPS).  
(1) Yaris 3 portes (2) sur Linea Terra et Sol. Modèle présenté : Yaris 5 portes Linea Sol 1.3 16 F. Taux indicatifs conseillés TTC au 15/09/99 A.M. (2) hors peinture métal. Votre concessionnaire : 4915. Toute offre F/mot.



**TOYOTA YARIS**

# SFR



# Comment fait Nils pour rester seul sur sa serviette alors que Nina et Laetitia l'attendent sur le bateau ? C'est simple, il n'est pas au courant.

Il coupe toujours son portable pour ne pas être dérangé par le boulot après le boulot. Sauf que cette fois ce n'était pas le boulot, mais Nina et Laetitia qui l'appelaient. Ah ! si Nils avait eu un portable avec deux numéros : un pour le boulot, un pour aller jouer avec Nina et Laetitia. Pack SFR Les Uns... Les Autres : pour se couper des uns sans se couper des autres.

**SFR invente le premier portable  
avec 2 numéros.**

Nouveau



**Pack SFR Les Uns... Les Autres.**

SFR est une marque de  cegetel

Accès aux forfaits SFR Week-End (hors 30 min. et 1h), et aux forfaits SFR Pro, ou à la formule Sérénité aux tarifs en vigueur. Durée min. : 12 mois. Portable utilisable exclusivement sur le réseau GSM de SFR.

# L'Europe sait rentrer de l'espace



ARES, un véhicule expérimental inscrit au programme de la France.

**L'**Agence spatiale européenne pense à la mise au point de lanceurs réutilisables, c'est-à-dire capables de revenir sur Terre et de repartir, à un coût compétitif.

Avec les lanceurs de la famille Ariane, l'Europe maîtrise aujourd'hui les moyens de lancer des satellites dans l'espace. Elle possède également la capacité de réaliser tous les types de satellites et d'infrastructures orbitales. Pour se hisser au niveau des nations majeures dans le domaine spatial, il lui reste à acquérir la technique de ce que les spécialistes appellent le "segment retour", c'est-à-dire la maîtrise du retour d'objets spatiaux depuis leur orbite, avec rentrée dans

## L'Agence spatiale européenne s'attache à la maîtrise des lanceurs réutilisables, indispensables pour le développement de la conquête spatiale.

l'atmosphère terrestre.

Un premier pas important a été franchi le 21 octobre 1998 avec le plein succès de la mission ARD (*Atmospheric Reentry Demonstrator*), programme de l'Agence spatiale européenne réalisé sous maîtrise d'œuvre de la société française Aérospatiale. Ce jour-là, une capsule, placée sur orbite par une fusée Ariane-5, est revenue sur Terre selon une trajectoire et dans des conditions parfaitement contrôlées.

Tous les spécialistes s'accordent à penser que la maîtrise d'une tel-

le technique est indispensable pour les développements futurs de la conquête spatiale. Qu'il s'agisse des futurs lanceurs réutilisables, qui ne seront pas abandonnés après avoir placé leurs charges en orbite mais reviendront sur Terre et effectueront de nouvelles missions. Qu'il s'agisse encore de l'exploration du système solaire, avec entrée dans l'atmosphère des planètes. Et du retour sur Terre, pour rapporter les échantillons recueillis sur ces planètes. Qu'il s'agisse, enfin, de dessertes en aller-retour

Parfaitement maîtrisée,  
la récupération  
d'une capsule lancée  
par la fusée Ariane-5.



AEROSPATIALE

des stations orbitales de l'avenir. Pour s'y préparer, la France, par l'intermédiaire du groupe Aérospatiale, propose deux programmes qui permettront d'acquérir l'expérience nécessaire. Il s'agit de la mise au point du véhicule expérimental ARES (*Atmospheric Reentry Experimental Spaceplane*), capable de planer dans l'atmosphère et d'atterrir horizontalement ; et, à plus long terme, du démonstrateur technologique THEMIS, préfiguration de lanceurs réutilisables comparables aux lanceurs classiques en termes de coût.

La conférence qui réunit au mois de mai, à Bruxelles, les ministres européens responsables de l'Espace doit évoquer le programme de l'Agence spatiale européenne FLTP (*Future Launcher Technology Program*). Le FLTP vise à préparer l'avenir, et couvre la période de 1999 à 2001. Quelque 70 millions d'euros y sont consacrés. Mais, pour passer à l'étape suivante et aborder ARES et THEMIS, il faudra beaucoup plus d'argent encore que cela. Des estimations prudentes chiffrent ces projets-là à 300 millions d'euros, et ce pendant plusieurs années.

Pour le plaisir autant que pour le sport, le mur programmable.



SIPA PRESS

## SPORTS

# Escalade en chambre

cliner et de le faire bouger à volonté. Jeu et travail sérieux vont ainsi de pair. De plus, l'ordinateur qui commande le moteur renferme en mémoire certaines parties des faces montagneuses les plus célèbres du monde. Le mur étant donc à même de simuler ces parties-là, les montagnards en chambre peuvent s'entraîner en vue de véritables escalades.

Un club londonien de remise en forme vient de s'équiper d'un mur d'escalade (de 4 m sur 4 m environ), adaptable au niveau d'expérience et d'habileté des utilisateurs. Deux grimpeurs peuvent s'y exercer en même temps. Au lieu d'être statique, ce mur en aluminium, équipé de prises pour les mains et les pieds, est doté d'un moteur, qui permet de l'in-

## CIRCULATION

# Le bruit affiché

Les autorités chinoises tentent par tous les moyens de limiter la circulation automobile dans les rues

de Pékin. Le bruit y est devenu insupportable, et les mesures actuelles, bien que sévères, sont insuffisantes. Afin de sensibiliser les conducteurs à ce problème, le niveau de bruit, dans les secteurs les plus touchés, s'affiche sur d'immenses panneaux. En quelques années, la capitale chinoise est devenue l'une des villes les plus touchées au monde par la pollution automobile .



GOH CHAI HIN/AFP

## TECHNOLOGIE

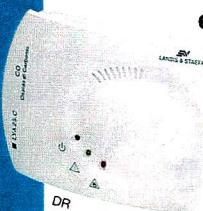
## SÉCURITÉ

# Alarme avant danger

Chauffe-eau, appareils de cuisson, brûleur d'une chaufferie : le gaz est de plus en plus utilisé dans les lieux d'habitation.

Pour pallier les dangers d'une fuite possible, une division du groupe Siemens, Landis & Staefa, propose des détecteurs avec alarme automatique et, en cas de risque, coupure automatique de l'arrivée de gaz. Ce système, Intelligas, présente trois types de détecteurs. Le premier pour la détection des gaz légers, comme le gaz naturel. Le second, pour celle des gaz lourds – GPL, butane, propane. Le troisième, pour l'oxyde de carbone. Les détecteurs, dotés d'un élément sensible en bioxyde d'étain, déclenchent une

alarme avant que la concentration des gaz ait atteint un seuil dangereux. En pré-alarme, une sonnerie (*buzzer*) ainsi qu'un voyant lumineux, sur le couvercle du détecteur, se déclenchent. Le système coupe automatiquement l'alimentation si la détection se confirme. Un réarmement manuel doit obligatoirement être effectué avant de remettre l'installation en service.



## TRANSPORT MARITIME

# Porte-conteneurs ultra-rapide

**L**a construction d'un tout nouveau navire porte-conteneurs, bien plus rapide que les modèles actuellement en service, si l'on en croit son concepteur, le Britannique David Giles, devrait débuter cette année. Baptisé *FastShip*, le bateau sera propulsé non par des hélices mais par cinq turbines à eau, qui fonctionnent sur le même principe que des moteurs à réaction aéronautiques. Ceux-ci fournissent leur poussée en rejetant vers l'arrière, grâce à une tuyère, des gaz qui ont été accélérés dans une chambre de combustion puis une turbine. Les turbines à eau, comme leur nom l'indique, rejettent vers l'arrière de l'eau à grande vitesse. Elles sont déjà utilisées sur des bateaux de petite taille ou des véhicules amphibies. Deux firmes,

l'une américaine, General Electric, l'autre britannique, Rolls Royce, travaillent à la mise au point des grosses turbines destinées au *FastShip*. Long de 250 m, il aurait une proue effilée, et le dessin de sa coque lui assurerait, toujours se-



Propulsé par cinq turbines à eau, le *FastShip* allie grande vitesse et stabilité.

lon David Giles, une excellente stabilité (il se déplacera à quelque 75 km/h). Caractéristique intéressante, ce porte-conteneurs étant notamment destiné à assurer des traversées transatlantiques.

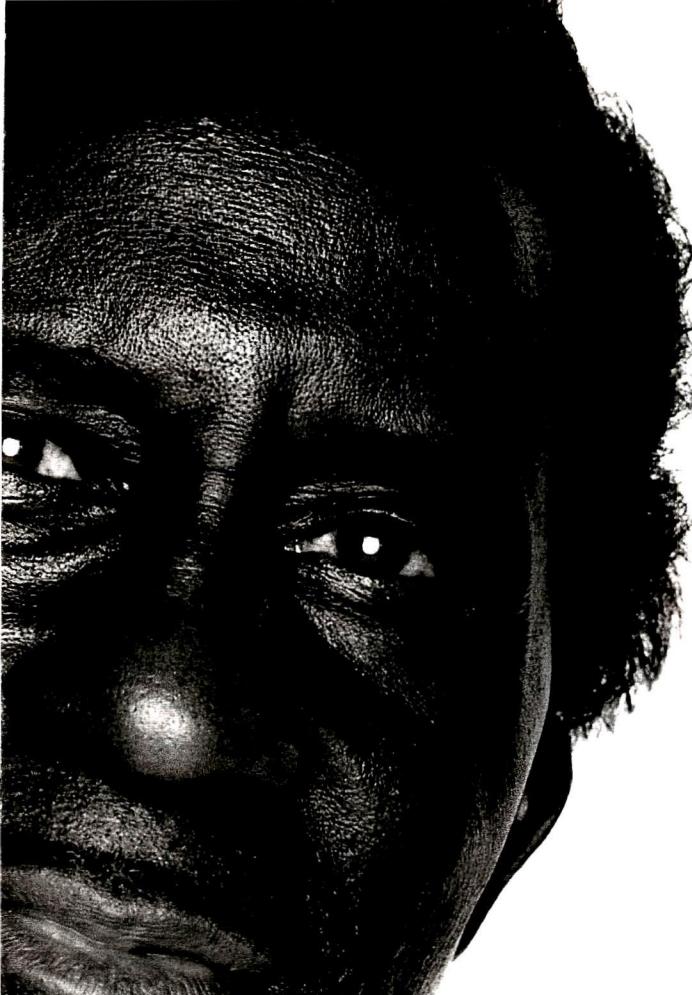
## ROBOTIQUE

## UNE EXPRESSION HUMAINE



Grâce aux mouvements de ses sourcils, de ses paupières et de ses lèvres, un robot mis au point par des Japonais peut exprimer la plupart des sentiments humains. Il est dû au travail du professeur Atsuo Takanishi et de ses élèves de l'université de Waseda. Joie, tristesse, colère, dégoût, peur et surprise sont ainsi reproduits.

YOSHIKAZU TSUNO/AFP



# Les plans mobicarte : jusqu'à 50% de réduction

selon le plan choisi.

Maintenant mobicarte c'est 3 tarifs différents. A vous de choisir le plan tarifaire qui vous ressemble et d'en changer quand vous voulez (1er changement gratuit).

#### **Le plan mobicarte Classique.**

Un tarif unique valable tout le temps.  
(soit 4,20 F/mn).

#### **Le plan mobicarte Jour.**

C'est 25% de réduction la journée de 8h à 20h (soit 3,60 F/mn).

#### **Le plan mobicarte Soir et Week-end.**

C'est plus de 50% de réduction en soirée, les week-ends et jours fériés (soit 2,40 F/mn).

Et avec mobicarte, le tarif réduit vers tous les mobiles Itineris (Ola, Loft, mobicarte), c'est tout le temps, quel que soit le plan choisi (soit 2,40 F/mn).

Toutes les communications sont facturées par tranche de 20s y compris la 1re minute.

#### **Pour en savoir plus.**

[www.mobicarte.tm.fr](http://www.mobicarte.tm.fr)  
3615 mobicarte (2,23 F/mn)  
**N°Vert 0 800 223 223**

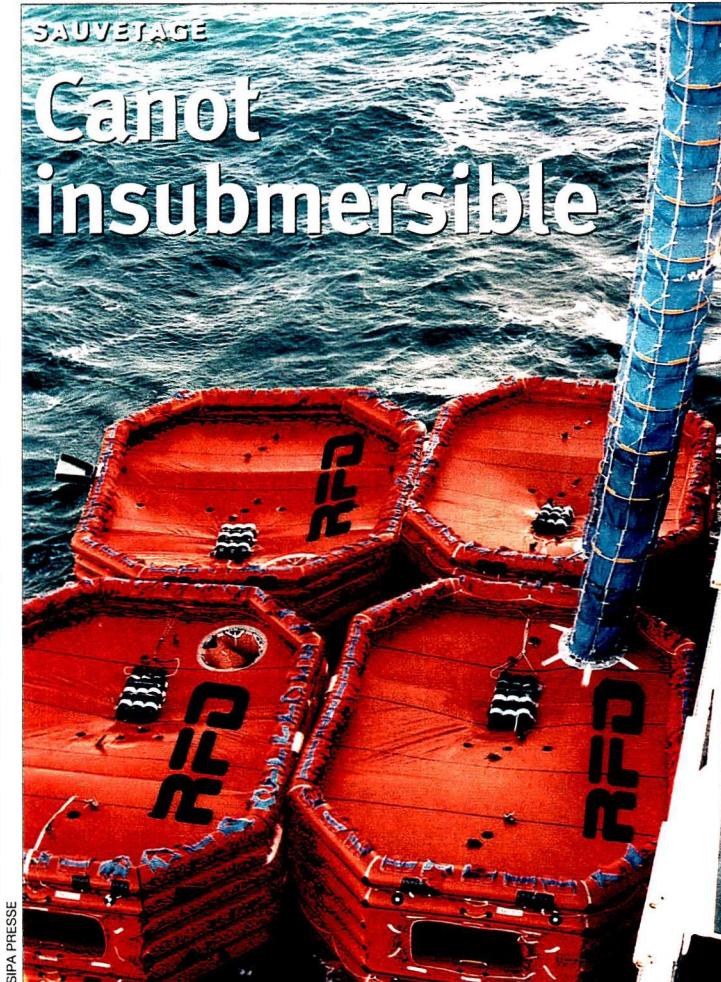
Un bon plan,  
c'est un plan  
qui est bon  
pour moi

sans facture,  
sans abonnement.



 France Telecom

## TECHNOLOGIE



SIPA PRESSE

On passe sans risque du bateau au canot par la "cheminée".

**I**l ne faut qu'une minute et demi pour jeter à la mer et gonfler ce canot de forme octogonale conçu par la firme britannique RFD Marine-Ark. Celle-ci affirme que son canot de sauvetage est absolument hermétique. De plus, les personnes qui veulent évacuer leur bateau en perdition et gagner le canot peuvent le faire sans risquer de tomber à la mer : une "cheminée" reliée en effet le point de largage, sur le bateau, au toit du canot. Les naufragés n'ont qu'à se laisser glisser dans la cheminée pour se retrouver en lieu sûr, en attendant les secours. Mais, par mesure de précaution, pour éviter

les brûlures dues au frottement, les dames devront retirer leurs collants, et les messieurs, leurs chaussettes !

## HYDROLOGIE

## Les rivières surveillées depuis l'espace

Des bouées disposées au fil des rivières et des fleuves, surveillées par satellite, pourraient fournir des indications sur la montée des eaux et les éventuels risques d'inondation. Les bouées seraient équipées de senseurs de pression et de mouvement qui permettraient de déterminer si le niveau et le débit de l'eau sont en train de croître – ou, au contraire, de diminuer. La localisation exacte des bouées serait assurée par le système GPS de positionnement par satellite. Un tel ensemble de surveillance est actuellement en cours de développement, en Grande-Bretagne, par la firme Science Systems, pour le compte du British National Space Center.

## TOURISME SPATIAL

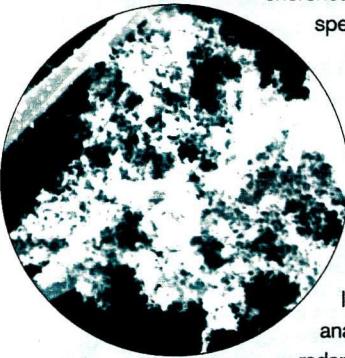
## CONCOURS POUR UN VÉHICULE...

■ Un prix de 10 millions de dollars, le X Prize, sera attribué au premier véhicule spatial conçu et réalisé par un inventeur ou un entrepreneur privé pour promouvoir le tourisme dans l'espace. Une douzaine de candidats (parmi eux, aucun Français, semble-t-il) travaillent déjà sur un ou plusieurs projets. Pour répondre aux caractéristiques exigées par le X Prize, le véhicule doit pouvoir emporter trois adultes jusqu'à une altitude de 100 km, donc en trajectoire suborbitale, et les ramener sur Terre. Mais aussi réitérer ce vol dans un intervalle de quinze jours. Renseignements : Guy Pignolet, Centre national d'études spatiales.

## NUCLÉAIRE

### LES PARTICULES À LA TRACE

■ Un système de mesure et de cartographie des polluants solides contenus dans l'air des villes est expérimenté depuis le début de l'année dans l'agglomération lyonnaise. Mis au point par des chercheurs du laboratoire de spectrométrie ionique et moléculaire (université Lyon 1/CNRS), en collaboration avec le département d'écologie urbaine de la ville de Lyon, ce système de mesure fait appel à la technologie du lidar, analogue à celle du radar, mais utilisant des lasers au lieu d'émetteurs radioélectriques. Ayant obtenu un balayage, une carte tridimensionnelle de la répartition des polluants solides émis par le trafic automobile, les chercheurs vont s'attacher à la caractérisation, à distance, des poussières urbaines. Ensuite, à la mesure de leur taille. La connaissance de ces poussières est essentielle, compte tenu de leurs effets potentiels sur la santé.



Particule de suie (au microscope électronique à balayage).

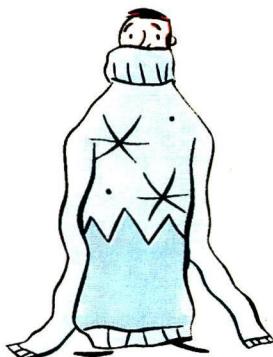
J.-P. WOLF/CNRS

## FRAUDE BANCAIRE

### Signatures authentifiées

**C**omparer le tracé de deux signatures – une de référence et une nouvelle –, ne suffit pas pour juger de l'authenticité de la seconde, nous apprend le *Sunday Times* (7 fév. 1999). Les faussaires sont capables de berner l'œil le plus averti. Pour les confondre, un chercheur allemand d'un institut technique de Berlin a mis au point un logiciel qui va beaucoup plus loin. Ayant enregistré en mémoire la signature déposée par un client, l'ordinateur du Sic Natura, le système de reconnaissance, peut comparer l'épaisseur et la consistance du tracé à l'encre de la signature à vérifier avec ceux de la signature de référence. La Deutsche Bank l'expérimente ; le groupe Thomas Cook fait de même, pour la vérification des signataires de travellers checks.

**Vous ne savez plus comment faire pour vous chauffer mieux et moins cher, vous avez le choix entre :**



**ou tout simplement appeler votre Conseiller Gaz de France**

**0801 16 3000\***

**DU LUNDI AU VENDREDI DE 9H À 18H**



## TÉLÉPHONIE

## On recharge à la main

**E**n n'importe quel lieu, même en plein désert, on peut désormais recharger la batterie de son téléphone portable. Pour pallier l'absence de prise de courant, la société japonaise Nissho Engineering propose son AladdinPower, générateur manuel d'électricité. Le mouvement d'une ma-

nette – que l'on actionne par la pression de la main – entraîne le générateur. Une minute de recharge fournit une minute d'autonomie. Le AladdinPower est vendu au Japon pour la somme de 70 dollars (400 F). Nissho Engineering travaille à la mise au point d'un générateur à pédale.

## TRAITEMENT DU BOIS

## Les poteaux préservés

Le nombre des poteaux téléphoniques est estimé à près d'un milliard de par le monde. Leur remplacement, suite aux détériorations provoquées dans le bois par



des insectes ou des champignons parasites, constitue une charge très lourde pour les sociétés

utilisatrices. Pour répondre à ce problème, une société britannique, Preserve, propose un système qui permet de prolonger la durée d'utilisation des poteaux jusqu'à une bonne quinzaine d'années : un petit réservoir, de la grosseur d'un pamplemousse, contenant un produit fongicide et insecticide. Pressurisé au monoxyde de carbone, le réservoir est piqué dans le poteau, action qui permet d'ouvrir le pointeau qui libère le liquide à l'intérieur du bois. L'utilisateur n'est donc à aucun moment en contact avec le produit. Celui-ci, à base de glycol, est peu soluble dans l'eau, affirme la société Preserve, ce qui évite la pollution des nappes phréatiques. Autres applications possibles : les barrières, piliers de bois sous-marins, etc.

# “Depuis que j'ai changé d'énergie, confort rime enfin avec économies !

Le gaz naturel, c'est formidable. J'ai enfin une bonne température du sol au plafond et une chaleur plus douce et enveloppante. Un microclimat dans toute la maison à ce prix là, ça change la vie."



## La bonne énergie, c'est essentiel

L'agrément de votre vie quotidienne dépend du choix de la bonne énergie. Le gaz naturel, plébiscité par une majorité de consommateurs français, offre toutes les garanties d'un bien-être durable.

Si ses qualités culinaires sont vantées par de nombreux professionnels de la cuisine, le gaz naturel permet aussi de disposer d'eau chaude en abondance à tout moment et assure une souplesse d'utilisation exceptionnelle pour le chauffage de la maison.

Au-delà de ses performances quotidiennes, c'est une énergie économique. Miser sur le gaz naturel pour renouveler votre installation, c'est réduire, à l'usage, votre budget "énergie".



## Changer d'énergie, c'est simple

La diversité des solutions de chauffage au gaz naturel vous permet de choisir l'installation adaptée à vos besoins et à votre logement. Votre chaudière peut s'installer facilement dans beaucoup d'endroits de votre maison. Vous pouvez l'installer par exemple discrètement dans un placard.

Vous n'avez pas de conduit d'évacuation des fumées? Peu importe, il existe des chaudières à "ventouse" qui n'en nécessitent pas. Vous voulez que votre installation soit belle et pratique, choisissez des radiateurs multifonctions décoratifs (portemanteau par exemple).



Dans tous les cas, l'installation pourra être réalisée sans détériorer votre intérieur, proprement et rapidement (sans abîmer vos tapisseries par exemple). De nombreuses

techniques existent : passage des tuyaux en combles, en vide sanitaire ou encore sous plinthes décoratives. Il y a toujours une solution pour s'adapter à votre intérieur.

## Informez-vous à la source.

Pour recevoir la brochure "Un monde de saveur, de douceur et de chaleur..." et bénéficier d'un conseil personnalisé, contactez, au Numéro Azur, votre Conseiller Gaz de France :

PRIX APPEL LOCAL  
**N°Azur 0 801 16 3000**  
DU LUNDI AU VENDREDI DE 9H À 18H

**GAZ DE FRANCE, LE CHOIX DE LA QUALITÉ.**

# 1 VOITURE



## MULTIPLA FIAT. SIN

Derrière, il y a Marion, Raphaëlle et Nathan. Devant, Marc, Olivier, Nicolas, et pas un qui laisserait sa place pour tout l'or du monde. Surtout Marc, c'est lui qui conduit la voiture. La Multipla Fiat : 6 vraies places indépendantes, un coffre qui va de 430 dm<sup>3</sup> à 1300 dm<sup>3</sup> quand les sièges arrière rabattables sont (facilement) démontés, bref plus de 400 configura-

tions possibles et tout ça dans 3,99 m de long ! Derrière, les héritiers se sont endormis. Ils peuvent dormir tranquilles dans la Multipla Fiat : pour la sécurité, triple Airbag Fiat<sup>®</sup> (un Airbag Fiat<sup>®</sup> conducteur et un Airbag Fiat<sup>®</sup> passagers double volume), l'ABS de série, des ceintures de sécurité à 3 points, des appuis-tête pour chaque passager et

**FORMULA**

Pour toute information : 0 803 016 026 N° Indigo (0,99F la minute)

# 3 HOMMES, 3 COUFFINS



## GULIER & PLURIEL.

la disposition des phares qui permet une visibilité optimale. Les papas aussi sont gâtés : la Multipla Fiat offre, de série, siège conducteur à réglage électrique, autoradio cassette RDS à 6 haut-parleurs, vitres avant et rétroviseurs extérieurs électriques, direction assistée, condamnation centralisée des portes, 2 prises 12 volts additionnelles mais aussi

plein d'autres accessoires. Plurielle, la Multipla Fiat existe en 3 motorisations, 100 16v, JTD 105 injection directe Unijet et 100 16v GPL. Singulière, elle vous donnera grâce à sa ceinture de caisse très basse une visibilité et une impression de liberté incomparables. Mais au fait, y a-t-il quelque chose de comparable avec la Multipla Fiat ?

JADAR

LA PASSION NOUS ANIME. **F I A T**



Ce laser permet d'effectuer des sutures solides et précises, même sur de minuscules vaisseaux.

ABIOMED - MEHAU KULYK/SPL/COSMOS

# Suture au laser

**La soudure au laser remplacera-t-elle les points de suture ? Plusieurs systèmes sont en lice, et leurs promoteurs cherchent à convaincre les chirurgiens.**

Les chirurgiens maîtrisent l'art des noeuds depuis la nuit des temps. Les points de suture ou les agrafes sont bien pratiques quand la plaie est facile d'accès. L'affaire devient beaucoup plus compliquée quand il s'agit de suturer de très petits vaisseaux, en particulier sur les nouveau-nés ou sur les fœtus. Des "colles" biologiques ont fait leur apparition, mais elles ne garantissent pas toujours une étanchéité suffisante.

Depuis quelques années, des

sociétés de matériel chirurgical (pour la plupart américaines) mettent au point des systèmes de "biosoudure" au laser. Ces appareils utilisent le laser comme un chalumeau qui fait "fondre" les protéines des deux bords de la plaie. En refroidissant, le tissu se solidifie, et les bords de la plaie se soudent naturellement, laissant une cicatrice semblable à une soudure métallique.

Les avantages sont multiples : rapidité d'intervention, absence de déchets *in situ*, faible risque

infectieux. Cependant, le rayon doit être soigneusement contrôlé : il ne doit pas chauffer trop, car il détruirait les tissus ; mais, s'il n'est pas assez chaud, la soudure ne tient pas.

La société américaine Abimed, de Danvers (Massachusetts), propose un laser équipé d'un détecteur d'infrarouges, qui mesure la température de la soudure en utilisant la même technique que les thermomètres auriculaires. Muni d'un petite buse qui libère un produit de soudure (du collagène), l'appareil d'Abimed est probablement le plus performant dans ce domaine.

Seul inconvénient de la biosoudure : elle est beaucoup plus coûteuse que le fil à suture ou que les colles biologiques.

Ph. C.



## PÉDIATRIE

### Nounours anatomique

**Pas facile d'expliquer à un petit enfant l'opération qu'il va subir. Benny, un "nounours anatomique" dont on peut fouiller les entrailles pour accéder aux principaux organes, rend la tâche plus aisée.**

Ph. C.

## CHIRURGIE

### Opérations sur l'internet

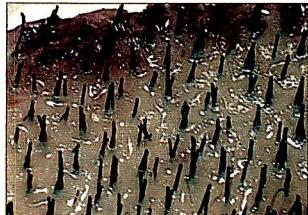
**Une transplantation de cheveux, une opération du cerveau, de l'œil, du cœur, du genou ou d'un anévrisme... On peut suivre en gros plan ces interventions chirurgicales sur le site internet de l'America's Health Network (<http://www.AHN.com>).** Ph. C.

## DERMATOLOGIE

### AU BONHEUR DES CHAUVES

■ Une nouvelle méthode de greffe de cheveux fait, paraît-il, des miracles. C'est le "dense packing", une technique de microtransplantation, dans la région dégarnie, de follicules

D. SEAGER



Follicules pileux transplantés.

pileux prélevés dans la zone chevelue. Trois mille greffons peuvent ainsi être transplantés en une seule

séance sur une zone de la taille de la paume de la main. Ph. C.

## SEXOLOGIE

### La sexualité des Américains en berne

**L**e premier rapport sur la sexualité des Américains depuis le fameux rapport Kinsey, publié il y a cinquante ans aux Etats-Unis, révèle que 43 % des hommes et 31 % des femmes ont des troubles sexuels.

Selon l'auteur du rapport, le Dr Edward Lauman, de Chicago, les problèmes les plus fréquemment évoqués sont le manque de désir, les difficultés d'érection, et la

dyspareunie (douleur chez la femme pendant les rapports sexuels).

Ces difficultés seraient liées à des facteurs psychologiques (tiraillements dans le couple, inhibition des hommes face au féminisme agressif) ou sociaux ( crainte de perdre son emploi), ou tout simplement à des problèmes de santé. Elles surviennent surtout chez les jeunes, du fait de l'inexpérience, et chez les personnes âgées. P. R.



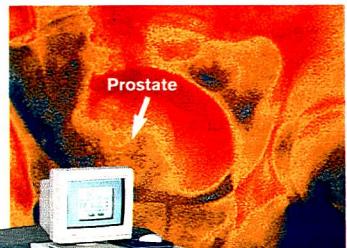
R. LYNN GIBSON

## MÉDECINE

## UROLOGIE

# Des ultrasons dans la prostate

**P**our les cancers de la prostate sans métastases, les traitements classiques font appel à la radiothérapie et à la chirurgie. Une troisième arme vient s'ajouter à cet arsenal : les ultrasons. Cette technique, mise au point par l'équipe de Jean-Yves Chapelon (INSERM de Lyon, unité 281) et développée par l'entreprise française EDAP Technomed, repose sur un appareil appelé Ablatherm. Une sonde endorectale permet de visualiser la prostate et de la nécroser par émission d'ultrasons de haute intensité.



SPL/COSMOS - DR

Des ultrasons pour nécroser la prostate malade.

Le traitement présente l'avantage d'être peu invasif, de réduire le séjour hospitalier et de limiter les effets secondaires. Les résultats préliminaires sur 50 patients montrent son efficacité dans 80 % des cas.

P. R.

## SANTÉ

## LES FRANÇAISES FUMENT DE PLUS EN PLUS

En 1950, 20 % des femmes fumaient, contre 66 % des hommes. Elles sont aujourd'hui 34 %, contre 42 % des hommes. Cependant, chez les femmes de 18 à 24 ans, ce pourcentage s'élève à 58 %, contre 52 % des hommes de cette tranche d'âge.

Il est prouvé que le tabac augmente les risques de cancer du col de l'utérus, de maladie cardio-vasculaire, de fausse couche et de grossesse compliquée. Le Comité français d'éducation pour la santé envisage donc diverses actions de prévention.

P. R.



Les jeunes femmes de 18 à 24 ans fument plus que les hommes de leur âge.

## VACCINATION

## Vaccin anti-hépatite B : le bilan

L'analyse des études sur les risques de la vaccination contre l'hépatite B a été rendue publique. Dans le meilleur des cas, la vaccination de 800 000 adolescents permettrait d'éviter 29 hépatites fulminantes et 147 cirrhoses ou cancers du foie mais serait la cause de 1 ou 2 atteintes neurologiques démyélisantes (sclérose en plaques).

Dans le pire des cas, le vaccin n'éviterait que 3 hépatites fulminantes et 12 cirrhoses ou cancers, avec un même risque de provoquer une sclérose. Ph. C.

## URGENCES

## Consultations sur le Net

Le site internet America's Doctor On line propose des consultations médicales en ligne 7 jours sur 7, 24 heures sur 24. A défaut de pouvoir ausculter, les médecins informeront et rassureront. Ph. C.

A collaboré à cette rubrique :  
Pierre Rossion.

# Ne restez plus en tête à tête avec votre migraine



Près de 7 millions de français sont touchés par la migraine.  
Ils souffrent de douleurs insupportables qui affectent leur  
vie, ainsi que celle de leur entourage. La migraine est une  
maladie, pas une fatalité. Aujourd'hui des solutions existent.

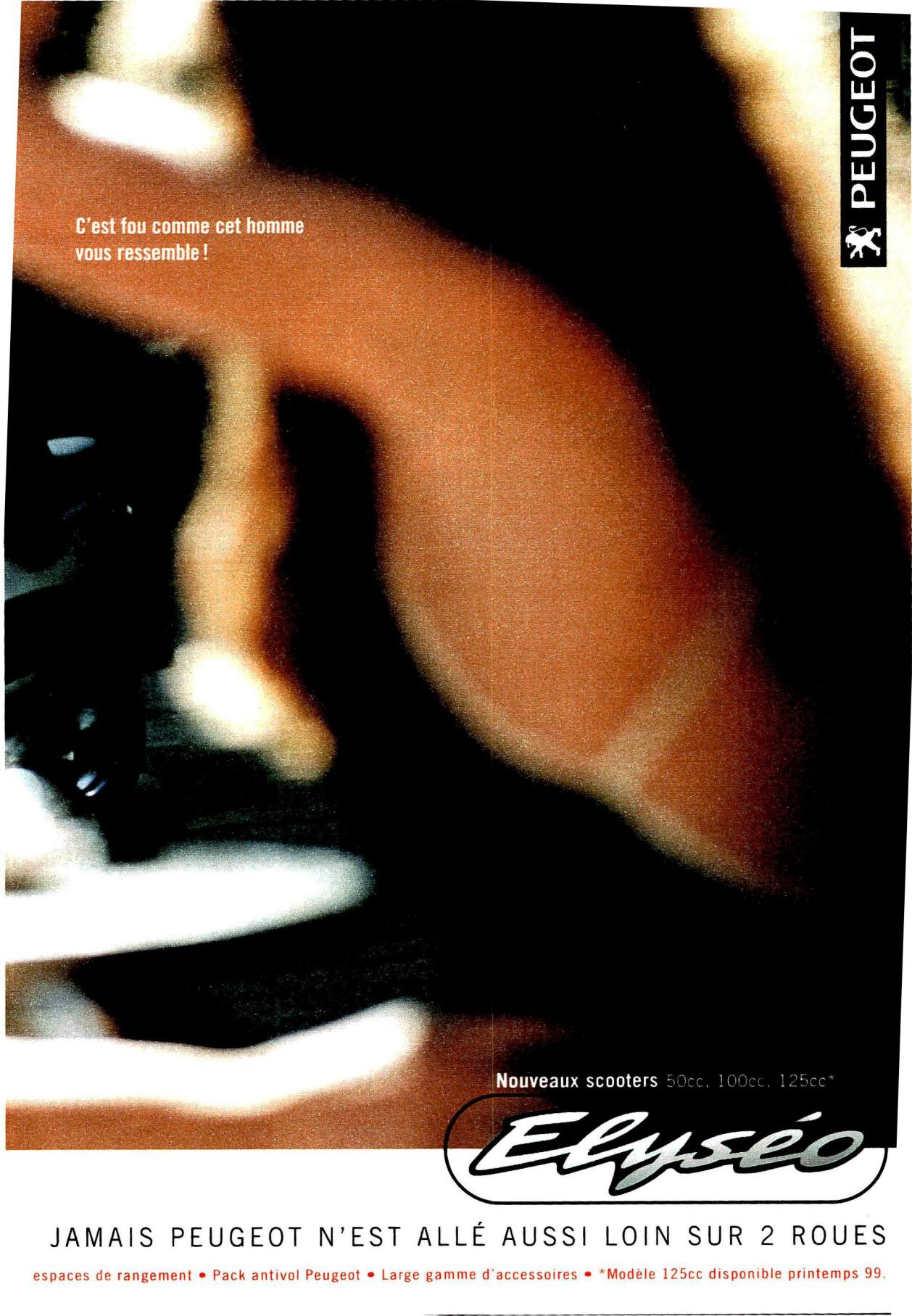
Association Action Migraine  
**0.800.319.319**

---

A p p e l g r a t u i t



Direction indépendante (angle de braquage et maniabilité exceptionnels) • Plancher plat • Vraie selle biplace • Grands



**PEUGEOT**

C'est fou comme cet homme  
vous ressemble !

Nouveaux scooters 50cc, 100cc, 125cc\*

**Elyséo**

JAMAIS PEUGEOT N'EST ALLÉ AUSSI LOIN SUR 2 ROUES

espaces de rangement • Pack antivol Peugeot • Large gamme d'accessoires • \*Modèle 125cc disponible printemps 99.

# Adieu Lucy



## L'étrangère

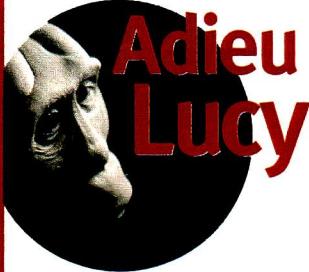
On savait qu'elle n'était pas notre ancêtre directe. Mais son visage familier restait pour nous celui d'un parent proche. Une nouvelle théorie semble indiquer que le genre australopithèque auquel elle appartient n'est pas la source de la lignée humaine.

# Adieu Lucy

## Des découvertes remettent en cause nos origines

Lucy ne serait pas l'arrière-grand-tante de l'humanité. Selon de toutes nouvelles recherches conduites en Afrique du Sud, les australopithèques siégeraient sur une branche différente de la nôtre. Et l'humain ne serait pas descendu de l'arbre pour devenir bipède : il n'y serait en fait jamais monté.

**L**e corps est étendu sur le ventre, la tête tournée du côté gauche. Il gît à 26 mètres de profondeur, probablement après avoir fait une chute dans ce qui ressemble à un puits. La brèche (un mélange de silex, de sédiments et de cailloux) a emprisonné son squelette dans une gangue dure comme la pierre. Impossible de deviner la présence de cet être emmuré dans les parois d'une des grottes de Sterkfontein dans le nord de l'Afrique du Sud. Et pourtant, un



# Adieu Lucy

paleontologue va le débusquer et l'extirper, millimètre par millimètre de sa forteresse calcaire. Le hasard n'est pour rien dans l'histoire.

Appelons notre squelette StW573, un patronyme de travail difficile à mémoriser – il sonne moins bien que Lucy ou qu'Abel – mais gageons que vous y parviendrez car StW573 devrait faire beaucoup parler de lui dans les mois et même dans les années à venir.

D'une part parce qu'il remporte le titre envoié de l'australopithèque le plus complet retrouvé à ce jour. Mais aussi parce que l'examen des os de ses pieds – remarquablement conservés – va peut-être faire progresser d'un grand pas notre connaissance des origines de l'humanité. Il semble indiquer que les australopithèques ont vraisemblablement été bipèdes avant de grimper aux arbres, ce que soupçonnait depuis longtemps Yvette Deloison, une spécialiste de la locomotion au laboratoire de dynamique de l'évolution humaine du CNRS.

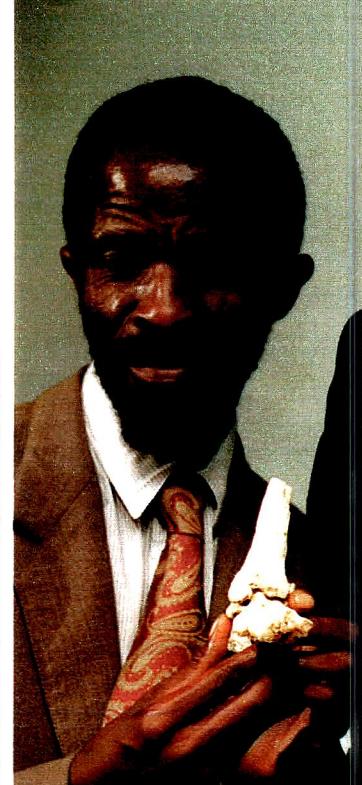
Seule chercheuse autorisée à étudier StW573, ses conclusions diffèrent des théories actuelles sur les origines de l'homme et bou-

leveront l'architecture de l'arbre généalogique des hominoïdes, superfamille de primates comprenant les grands singes, l'homme et leurs ancêtres directs. Mais revenons sur les circonstances incroyables de la découverte de StW573.

## TROIS ANS POUR ASSEMBLER LES MORCEAUX DU PUZZLE

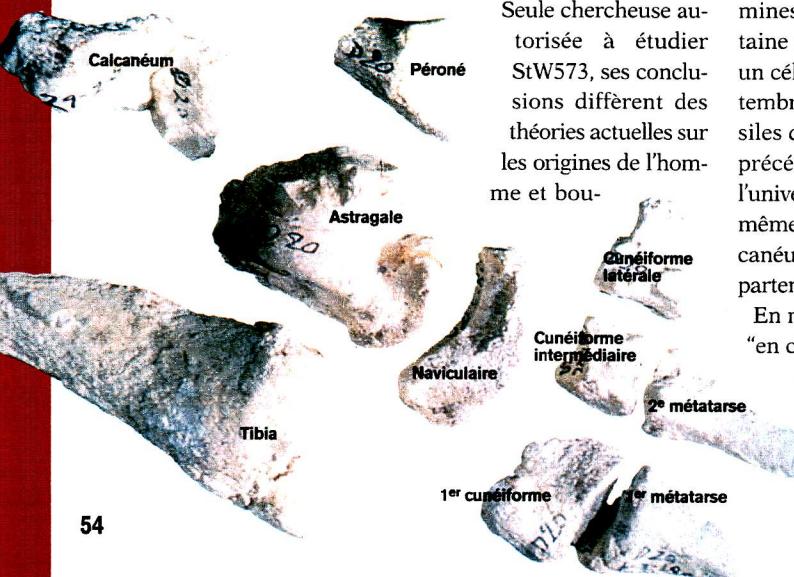
Dans les années 80, le paleontologue britannique Ron Clarke, de l'université de Witwatersrand, commence à effectuer des fouilles à Sterkfontein. Le site, d'anciennes mines de calcaire situées à une cinquantaine de kilomètres de Johannesburg, est un célèbre gisement sud-africain. En septembre 1995, Ron Clarke examine les fossiles de faune découverts lors de fouilles précédentes et entreposés au musée de l'université. Il identifie alors quatre os d'un même pied gauche et un fragment de calcanéum (qui forme la saillie du talon) appartenant à un hominooïde.

En mai 1997, il réitère ses investigations "en chambre" et déniche dans une boîte censée contenir des restes de bovidés et dans une autre étiquetée "singe" quelques ossements de pieds et de jambes appartenant, il n'en



## Pied à conviction

**StW573, le nouveau venu dans le groupe des australopithèques n'était arboricole que du bout du pied : son gros orteil était très écarté des autres doigts. Son talon en revanche était celui d'un bon marcheur. Et si StW573 était un bipède en train d'évoluer vers l'arboricولisme et non un arboricole descendu de son arbre ou un quadrupède qui se serait redressé ?**





## Le trésor sud-africain

Ron Clarke (au centre), Nkwane Molefe (à gauche) et Stephen Motsumi présentent des moules des os et une reconstitution du pied de leur découverte. Ce squelette d'australopithèque est le plus complet jamais mis au jour (photo page ci-contre). Son crâne (ci-dessous)

KUDUS/SIPA



est toujours prisonnier de sa gangue rocheuse. Il aurait 3,3 millions d'années, soit 100 000 ans de plus que Lucy, dont le squelette a "seulement" été reconstitué à 40%. On ne connaît pas encore l'espèce à laquelle appartient ce nouveau "singe du Sud".

doute pas, au même individu. L'état, la couleur et la provenance des deux lots d'os sont les mêmes. Les fragments de tarses droits et gauches se ressemblent furieusement. Or, on sait que leur forme varie d'un individu à l'autre dans des proportions non négligeables. Un second morceau de calcaneum complète parfaitement la première pièce. Ce double coup de maître pousse StW573 et son découvreur sur le devant de la scène médiatique. L'histoire éclate au grand jour (1).

Ce qu'on sait moins, c'est que ces recherches n'ont pas été effectuées "au petit bonheur la chance". Le Britannique savait parfaitement ce qu'il faisait. Le site de Sterkfontein regroupe plusieurs grottes dont deux, voisines, désignées par les numéros 2 et 4. La grotte numéro 4 a livré de nombreux restes d'animaux et quelques vestiges d'hominidés datant d'environ 2,5 millions d'années. Le boyau numéro 2 est, lui, truffé de fossiles de mammifères les plus divers (carnivores, primates) affichant 3 millions d'années, mais pas le moindre bout de fémur, pas le plus petit

fragment de mandibule ayant appartenu à un humain ou à un préhumain. Dès le début de son installation à Sterkfontein, Ron Clarke est donc intrigué par le fait qu'aucun fossile d'australopithèque – ils vivaient déjà en Afrique du Sud à cette époque – n'a été retrouvé dans cette grotte-ci. Cette bizarrerie pousse le scientifique à réexaminer tous les ossements extraits du boyau en question afin de vérifier qu'il n'y a pas eu de classement erroné. Avec le succès que l'on sait.

Parmi les douze fragments osseux retrouvés au total figure un morceau de tibia droit. La fracture est trop nette pour être ancienne. Elle date vraisemblablement de l'exhumation. Ce qui signifie que la pièce complémentaire, et peut-être même tout le squelette, se trouvent encore dans la grotte. Ron Clarke réalise alors un moulage du tibia qu'il confie à ses deux assistants en leur indiquant l'endroit où pourrait se situer l'autre extrémité de l'os de la jambe.

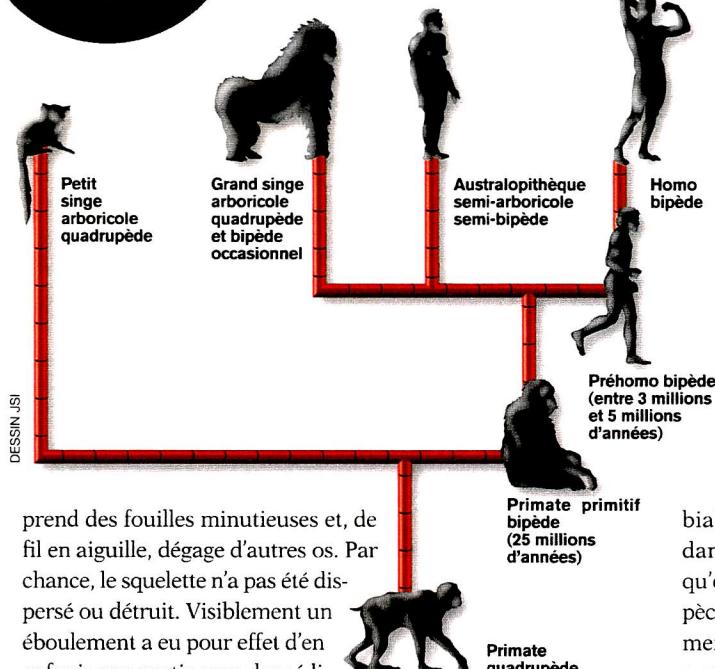
L'improbable se produit le 3 juillet 1997. Deux jours suffisent aux fouilleurs pour localiser la partie manquante du tibia. Et juste à gauche de la pièce convoitée repose, bien visible, l'autre tibia... L'équipe entre-

(1) Voir notamment l'article très complet de *Libération* du 23 février 1999

# Adieu Lucy

## Le nouvel arbre des hominoïdes

Selon Yvette Deloison, les australopithèques et les homo ne siégeraient pas sur la même branche. Ils partageraient avec les grands singes un ancêtre commun bipède. L'aïeul direct des homo resterait à découvrir. Quant aux petits singes, ils proviendraient d'un ancêtre quadrupède.



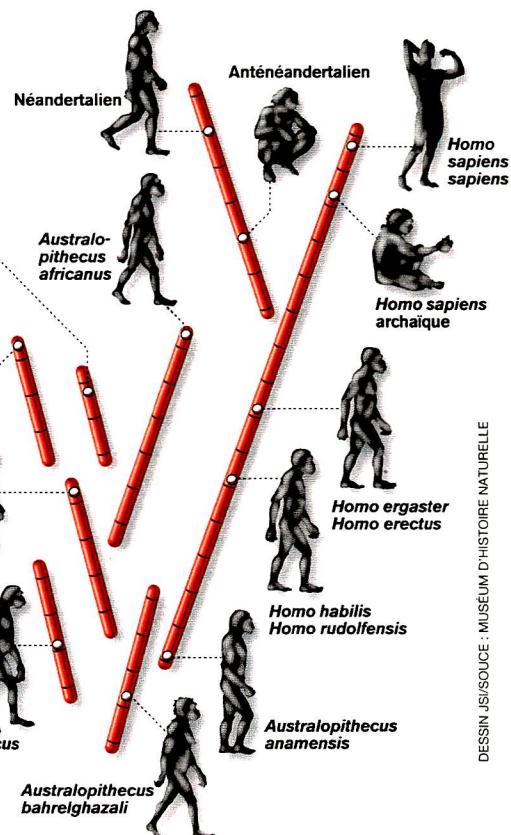
prend des fouilles minutieuses et, de fil en aiguille, dégage d'autres os. Par chance, le squelette n'a pas été dispersé ou détruit. Visiblement un éboulement a eu pour effet d'en enfouir une partie sous des sédiments très durs, ce qui freine la progression des recherches. Le 17 septembre 1998, le crâne d'un hominidé apparaît enfin à la lumière.

Clarke publie alors un article scientifique dans le *South African Journal of Science*. A l'heure actuelle, son équipe poursuit le dégagement du crâne. Le bassin et les côtes manquent encore à l'appel. Mais les examens préliminaires de cette dépouille arrachée à la roche ont déjà révélé quantité d'informations. L'australopithèque de Sterkfontein possède un crâne doté d'une

## Un buisson parmi d'autres...

L'arbre généalogique officiel de l'évolution des hominidés n'existe pas encore. Sur ce modèle – un des moins discutés –, c'est *Australopithecus anamensis* qui engendre la lignée des *Homo* dont fait partie l'homme moderne. *H. habilis* et *H. rudolfensis* sont les premiers *Homo* – hypothèse contestée toutefois par Bernard Wood et Mark Collard qui n'ont pas hésité à les débaptiser. Autre certitude battue en brèche : *A. aethiopicus* ne serait pas le géniteur de *A. boisei* et de *A. robustus*.

légère crête sagittale, protubérance osseuse qui court le long de l'axe de symétrie du crâne. Sa face est massive et prognathe, c'est-à-dire projetée vers l'avant. Il est âgé de 3,3 millions d'années, soit 100 000 ans de plus que Lucy. Ce qui ne l'empêche pas de paraître plus moderne que l'illustre représentante des *Australopithecus afarensis* : le tarse de son pied, et notamment l'astragale (ou talus, os sur lequel s'articule le tibia), dénotent une plus grande aisance dans la bipédie. Il est d'ailleurs possible qu'on soit en présence d'une nouvelle espèce d'australopithèque, mais pour le moment Ron Clarke ne souhaite pas se prononcer sur son état civil.



## La podologue de la préhistoire

Yvette Deloison est la seule scientifique qui ait accès à la découverte de Ron Clarke. Cette spécialiste de la locomotion a reconstitué le pied d'un hominidé à partir des empreintes recueillies à Laetoli (Tanzanie). Pour elle, les australopithèques ont hérité la bipédie de leurs ancêtres.

PHOTOS GIACOMO BREITZEL



Deuxième acte de cette histoire extraordinaire : Yvette Deloison est invitée à pratiquer l'examen des os des pieds de StW573. Elle constate que l'individu en question se partageait entre deux mondes : celui des terriens, qu'il arpentait en bon bipède, et celui des arboricoles, où il était non moins à l'aise. L'avant du pied traduit la capacité à faire d'une branche un perchoir : l'articulation entre le métatarsien I et le cunéiforme médial correspondant (petit os cubique situé dans l'axe du doigt de pied) révèle que leur possesseur avait un gros orteil divergent. Chez l'homme, le calcanéum est relevé dans sa partie antérieure pour former la voûte plantaire. Présent chez tous les membres de la lignée *Homo*, il fait défaut aux singes et aux australopithèques, y compris au nouvel arrivant.

### LA MARCHE EN HÉRITAGE

Mais l'arrière du pied de StW573 tient à Yvette Deloison un autre langage. L'articulation du tibia-talus (la cheville) et l'arrière du calcanéum (le talon) sont ceux d'un bon marcheur. De là à dire que l'hominidé en question marchait comme un homme et se balançait dans les arbres comme un singe, il n'y a qu'un pas que l'anthropologue ne franchit pas. « Il est absolument faux de dire que les australopithèques marchaient comme nous, explique-t-elle. Le degré de maîtrise

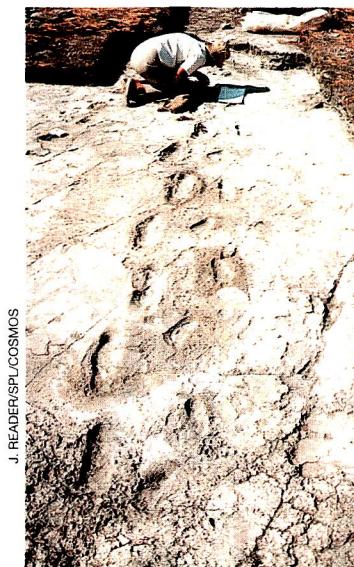
### Premiers pas

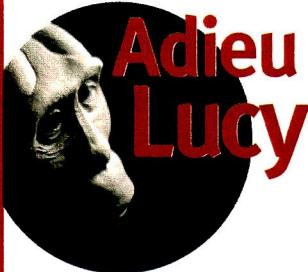
**Les pistes de pas de Laetoli, datée de 3,75 millions d'années, sont le premier témoignage de la bipédie. On y distingue les traces de pied de trois hominidés, deux adultes et un jeune. Ces empreintes se sont conservées dans les cendres consolidées d'un volcan tanzanien.**

de la bipédie varie d'une espèce à l'autre mais la marche diffère de la nôtre. »

La chercheuse vient de reconstituer le pied d'un australopithèque en se servant des empreintes laissées sur la piste de Laetoli, en Tanzanie, il y a 3,75 millions d'années. Le talon est étroit et fortement bombé, ce qui s'explique par une "tubérosité" du calcanéum, une protubérance qui se serait aplatie s'il avait beaucoup marché. Les orteils sont très longs et repliés à leur extrémité (au moins les deux derniers), les ongles touchent terre. A l'emplacement de notre voûte plantaire, un renflement bien visible correspond au muscle abducteur du pouce préhensile. Un enfoncement latéral bien visible sur les empreintes elles-mêmes révèle que le poids du corps du marcheur portait sur le bord extérieur du pied, comme chez les chimpanzés. Autant d'éléments qui trahissent une démarche plus lourde que la nôtre.

Mais la découverte sud-africaine entraîne Yvette Deloison beaucoup plus loin. « L'examen du pied de





# Adieu Lucy

StW573 me conforte dans l'idée que les australopithèques n'ont pas innové en matière de locomotion bipède. Je crois au contraire qu'ils avaient hérité de la bipédie d'un ancêtre et évoluaient, comme l'individu de Sterkfontein semble avoir commencé à le faire, du bout du pied, vers la pratique arboricole. »

## ET SI LA BIPÉDIE N'ÉTAIT PAS UNE INVENTION DES HOMININÉS?

Que les australopithèques soient des bipèdes convertis à l'arboricoltisme ou des arboricoles venus à la bipédie, la nuance a-t-elle un sens? Justement oui. Et c'est ce point essentiel qui fait diverger Yvette Deloison de la théorie actuelle (2). Depuis bientôt vingt ans, tout le monde cherche l'ancêtre direct du premier hominidé du genre *Homo* (les hominidés rassemblent les gorilles, les chimpanzés et les hommes) parmi l'une des sept espèces connues d'australopithèques; en Europe, le candidat le plus en vogue est *Australopithecus anamensis*, les Américains gardent un petit faible pour Lucy et les *A. afarensis*; *A. africanus* et Abel ont leurs partisans...

Et si *Australopithecus* et *Homo* ne découvraient pas l'un de l'autre mais avaient évolué séparément à partir d'un ancêtre commun bipède?

L'arbre généa-



J. READER/SPL/COSMOS

## Un faux air de famille

Ni les paranthropes (à gauche) ni *Australopithecus africanus* (2<sup>e</sup> à droite) n'ont pu engendrer *Homo erectus* (1<sup>er</sup> à droite).

## L'homme de l'Ouest

**Mis au jour au Tchad en 1995, Abel – ici dans les mains de son découvreur, le paléontologue Michel Brunet, – est le premier australopithèque trouvé à l'ouest du rift. On pensait jusqu'alors que ces hominidés étaient apparus de l'autre côté de ce fossé d'effondrement qui découpe l'Est africain. Peut-être Abel, de son vrai nom *A. bahrelghazali*, est-il parvenu à franchir cette barrière géologique. A moins que cette "East side story" chère à Yves Coppens ne soit à revoir.**

P. DUMAS/SEULS

logique d'Yvette Deloison est radicalement nouveau (voir dessin p. 56). Il y a une trentaine de millions d'années, un primate quadrupède engendre deux grandes lignées : celle des petits singes plantigrades arboricoles et celle qui aboutit à un primate bipède primitif, 15 millions d'années plus tard. Il y a 8 millions d'années, notre bipède primitif (ou l'un de ses successeurs) donne naissance à trois autres lignées : la première donne les ancêtres des grands singes, qui sont devenus quadrupèdes tout en pratiquant occasionnellement la bipédie, la deuxième les australopithèques bipèdes au départ, qui ont développé par la suite un arboricoltisme. Quant à la troisième lignée, elle mène à un préhomo bipède qui précède de quelques millions d'années à peine l'arrivée de l'*Homo* bipède.

Cette hypothèse implique que la bipédie ne serait pas une invention des hominidés (les préhumains et les hommes). «Chez les grands singes, argumente Yvette Deloison, la bipédie précède la pratique arboricole et la quadrupédie fait un *come back*; regardez un gorille qui se déplace sur ses quatre membres : ses antérieurs ne parti-

.....  
(2) Lire le hors série de *Pour la Science* consacré aux hominidés, paru en janvier 1999.



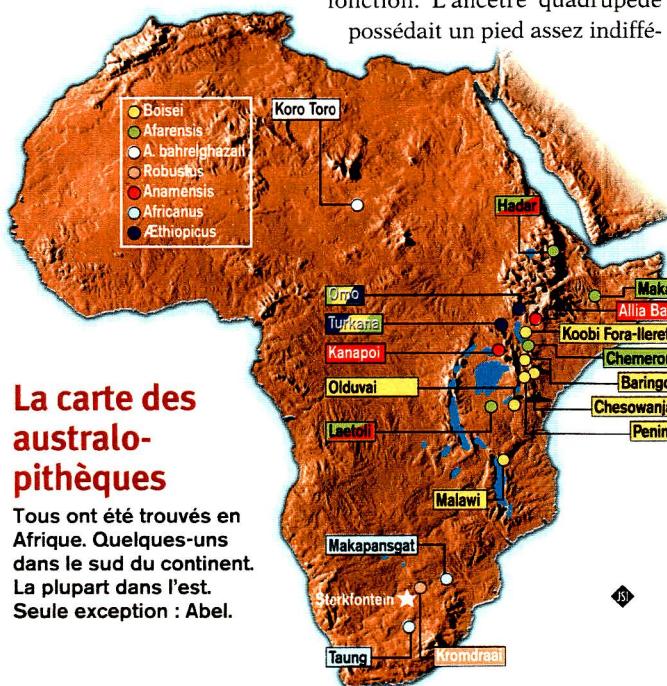
cipent pas entièrement à cette quadrupédie retrouvée secondairement. Il ne pose à terre que les deuxièmes phalanges de ses mains. Alors que les petits singes, qui descendent d'un ancêtre quadrupède, posent la main bien à plat. »

DESSIN J.S.  
L'anthropologue insiste sur le fait qu'on n'assiste pas à un retour anatomique – difficile à envisager – mais à un retour de fonction. L'ancêtre quadrupède possédait un pied assez indiffé-

rencié qui a pu se spécialiser par la suite. En revanche, il n'est pas logique de faire évoluer notre pied de bipède hautement spécialisé du pied lui aussi hautement spécialisé d'un arboricole.

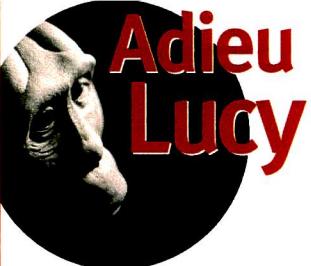
### UN BLANC DE 10 MILLIONS D'ANNÉES

Plusieurs arguments sont à verser au dossier de cette nouvelle thèse. Ainsi peu de temps sépare la venue des australopithèques de celle des *Homo*. Qu'il s'agisse d'*Homo rudolfensis* pour certains paléontologues, ou d'*H. habilis* pour d'autres, leur émergence remonte à peu près à 2,4 millions d'années, alors que le doyen de leurs présumés ancêtres affiche 4,2 millions d'années. Ils ont été contemporains pendant au moins un million d'années. Le dernier fossile de primate antérieur aux hominins que l'on soit parvenu à identifier, le Kényapithèque, accuse 15 millions d'années. Cela laisse une dizaine de millions d'années quasiment sans fossiles. C'est précisément cette période qui s'avère cruciale pour trancher entre les deux hypothèses qui nous intéressent. Car elle couvre la transition qui s'est opérée soit vers une posture redressée et une marche bipède, soit vers l'arboricolicisme pour les uns, la quadrupédie pour d'autres,



## La carte des australopithèques

Tous ont été trouvés en Afrique. Quelques-uns dans le sud du continent. La plupart dans l'est. Seule exception : Abel.



## LES AUSTRALOPITHÈQUES

■ Les sept espèces d'Australopithèques recensées sont si différentes que le profane peut se demander si leur regroupement en un seul genre a un sens. Trois d'entre elles se distinguent par leur morphologie particulière et sont réunies sous l'appellation paranthrope : *A. robustus*, *A. boisei* et *A. aethiopicus*. La première n'a été trouvée que sur le site de Kromdraai en Afrique du Sud, les deux autres dans plusieurs gisements d'Afrique de l'Est (voir carte p. 59). Leur stature est élevée : de 1,5 à 1,6 m. Tubercules, racines, graines constituent leur nourriture principale.

Ces préférences alimentaires s'observent sur la denture (taille des dents jugales) mais aussi sur la structure crânienne, en particulier chez les mâles. Leur crête sagittale très marquée témoigne du développement des muscles temporaux lié à celui de l'appareil masticateur. Le groupe de ceux qu'on appelle aussi australopithèques robustes semble sur le point de voler en éclat. Initialement on pensait qu'*A. aethiopicus* avait engendré les deux autres paranthropes.

S'appuyant sur la méthode cladistique (1), Henry McHenry (université de Californie) et Randall Skelton (université du Montana) remettent en cause cette formation. Les paranthropes

seraient finalement beaucoup moins homogènes qu'on l'aurait cru.

*A. aethiopicus* occuperait une branche latérale sans descendance. *A. robustus* et *A. boisei* partageraient avec homo un ancêtre commun qui pourrait être *A. africanus*. *A. anamensis* est promu à un bel avenir, mais lequel ? Certains voient en lui l'ancêtre de Lucy, Alan Walker (université de Pennsylvanie) en tête. D'autres, tel Yves Coppens, lui accordent la paternité de l'Homme. Les quelques reliques dont on dispose offrent un mélange complexe de caractères ancestraux et modernes. Elles donnent un aperçu de sa silhouette élancée et de son squelette locomoteur, très humain. La quantité importante d'os spongieux présente dans l'extrémité haute du tibia est, comme chez nous, destinée à amortir la marche.

*A. bahrelghazali*, plus connu sous le nom d'Abel, est aussi un fossile exceptionnel à plus d'un titre. D'abord par sa localisation. C'est le premier australopithèque, et à ce jour le seul, qui ait été trouvé à l'ouest du rift. Son existence met à mal la théorie de l'"East side story" d'Yves Coppens, selon

.....

(1) Le cladisme, méthode de classification des êtres vivants fondé sur les caractères propres à chaque groupe, a depuis 1975 apporté de nombreux changements dans l'arbre généalogique des hominidés.

le perfectionnement de la bipédie pour les derniers. Or, le kényapithète était un singe quadrupède qui se tenait fort droit. Deux autres hominoïdes quadrupèdes encore plus anciens (20 millions d'années) le morotopithète et le proconsul, avaient déjà commencé à se redresser pour adopter une position verticale, d'après ce que laisse présumer la structure de leurs articulations. Un dernier argument en faveur de cette nouvelle théorie des origines de l'homme est donné par le répertoire locomoteur des hominoïdes. Il correspond à la part respective des différents modes de déplacement (grimper, bipédie, quadrupédie, suspension dans les arbres). Calculé pour l'homme et les grands singes, il a été constitué pour leur ancêtre commun par Michael Rose, de l'université du New Jersey (voir *Science & Vie* n° 958, p. 85), qui concluait que l'aïeul devait être moins bipède que ses descendants hominins mais davantage que les paninés (chimpanzés et gorilles actuels) !

### L'HOMME DE NOUVEAU ORPHELIN ?

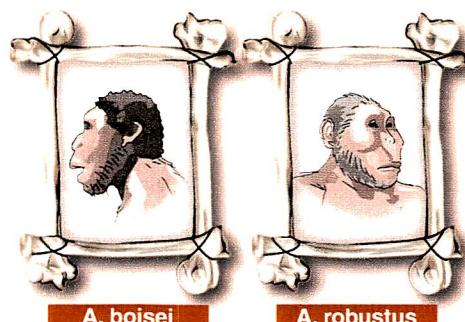
Si cette nouvelle théorie se confirme et qu'il nous faille renoncer aux australopithèques comme ancêtres directs, alors qu'ils avaient été jugés dignes de faire partie du clan très fermé des hominins, par qui pourrions-nous les remplacer ?

Des préhumains autres que les australopithèques n'ont jamais été identifiés en tant que tels. Certes, jusqu'à présent personne n'avait songé à les chercher. Mais certains hominidés particulièrement modernes pourraient bien faire l'affaire : dans les dépôts de Laetoli, deux mandibules vieilles de 3,8 millions d'années ont des caractères très évolués. On a mis au jour dans les formations de l'Hadar, en Ethiopie (de 2,4 à 3,5 millions d'années) de nombreux ossements dont certains traits rappellent le genre *Homo*. A Sterkfontein même, il n'est

# ONT-ILS UN GENRE ?

laquelle les hominoides qui vécurent à l'est de ce fossé d'effondrement évoluèrent dans la savane, jusqu'à devenir préhommes, tandis que ceux des forêts de l'Ouest donnèrent par la suite naissance aux grands singes. C'est au Tchad que Michel Brunet (université de Poitiers) a mis au jour une portion de mâchoire possédant encore une incisive, deux canines, quatre prémolaires. Il semblerait que le paléontologue ait également dégagé un maxillaire, bien que cette découverte n'ait pas encore donné lieu à une publication. Les prémolaires possèdent trois racines au lieu de deux, un caractère très archaïque. En revanche, le plan de jonction des deux moitiés de la mâchoire est moderne. Abel semble avoir une face antérieure plus plate, plus ramassée, une mâchoire plus fine que celles des *A. afarensis*. « Abel montre surtout que la biodiversité des australopithèques et leur expansion géographique sont supérieures à ce qu'on imaginait, explique Michel Brunet. Parmi tout ce foisonnement, quel rameau conduit à la lignée humaine ? On ne sait pas. Abel peut être un ancêtre parmi d'autres. » *A. africanus* est également un candidat sérieux au titre. Premier australopithèque identifié (étymologiquement "singe du Sud"), sa découverte remonte à 1925 à Taung, en Afrique du Sud. Il s'agissait du crâne d'un enfant dont l'orifice du bulbe rachidien, très en arrière chez les grands singes, était à la base du crâne. Son découvreur, Raymond Dart, de l'université du Witwatersrand (Afrique du Sud), en déduisit que son possesseur se tenait debout. *A. africanus* est à la fois bipède et bon grimpeur.

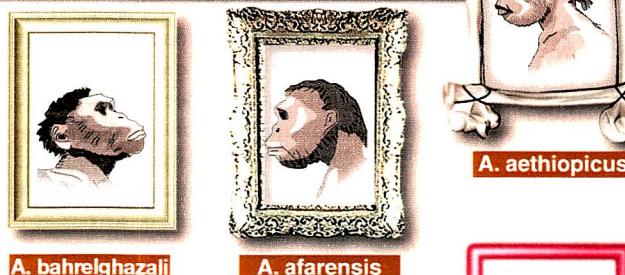
2 millions d'années



## Chronologie ne rime pas avec généalogie

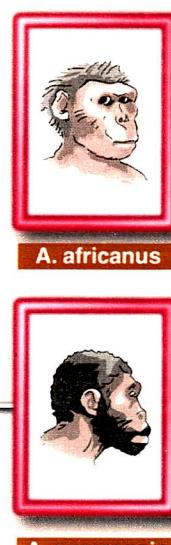
La rareté ou l'absence de critères morphologiques n'empêche pas certains auteurs d'établir des relations de parenté entre espèces. Parfois,

3 millions d'années



le seul critère retenu pour établir la phylogénie est la chronologie. Or, si l'on classe les sept espèces d'australopithèques suivant leur âge, on s'aperçoit que les plus jeunes peuvent être aussi les plus archaïques. Pourquoi *A. anamensis* serait-il le père de Lucy alors qu'il est visiblement plus moderne ?

4 millions d'années





# Adieu Lucy

pas impossible que les restes d'*Homo* appartiennent en fait à des préhomos.

Car l'histoire de la paléontologie est jonchée "d'erreurs de casting". Cela ne tient pas seulement au caractère fragmentaire des reliques d'un passé très ancien. Qu'il s'agisse d'hominoïde ou de tout autre fossile, attribuer un modeste et unique chicot à la bonne espèce relève de l'exploit.

## LES AUSTRALOPITHÈQUES VONT-ILS ETRE EXCOMMUNIÉS?

Les chercheurs travaillent à partir d'ossements incomplets, sans connaître la variabilité intraspécifique, c'est-à-dire l'étendue des variations des caractères individuels représentés au sein d'une même espèce. Espèce qui parfois n'est connue que par un seul spécimen. Souvent ces reliques sont jalousement gardées par leurs découvreurs jusqu'à publication, ce qui peut prendre plusieurs dizaines d'années. Tel ce fossile d'*Homo sapiens* archaïque, une pièce inédite qu'on ne peut étudier en Ethiopie que sur autorisation, non sans s'être engagé à ne pas faire état de ses observations.

Sans compter le poids des idéologies et des thèses en vigueur : suivant les époques, il est plus prestigieux ou stratégiquement plus intéressant d'annoncer la découverte d'un nouveau *Homo*,

d'un nouveau singe ou d'un nouveau préhumain...

Dans ce contexte où le consensus se fait aussi rare qu'un squelette complet, il sera bien difficile aux partisans de la thèse classique d'identifier l'au-

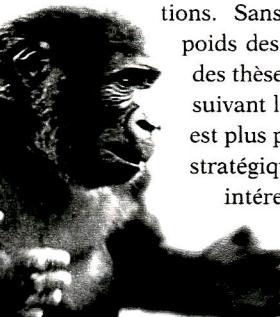
stralopithèque à la source de la lignée humaine. Et, si la nouvelle hypothèse se confirme, le coup porté au "singe du Sud" par l'affaire StW573 ne sera pas si rude ; après tout il n'y a rien d'infamant à ne pas faire partie de notre lignée. Et les australopithèques ne vont pas replonger dans le néant. Encore que, devant la galerie de portraits disparates qu'ils présentent (voir encadré p. 60), on est tenté de se demander s'ils existent vraiment en tant que tels. A-t-on bien affaire à un seul genre et non pas à un groupe totalement hétérogène d'individus rassemblés de façon artificielle ? La floraison des espèces nouvelles, parfois suivie de leur disparition tout aussi soudaine, sème le doute. Tel *Ramidus* découvert en 1995 et déclassé un an plus tard. Inversement, le crâne découvert à Sterkfontein en 1947 qu'on surnomma "Miss Ples" et pour lequel on créa l'espèce *Plesianthropus transvaalensis*, jusqu'à ce qu'on ait montré que l'intrigante était en réalité une *A. africanus*... Certes tous les australopithèques partagent un ensemble de traits : volume de la boîte crânienne, largeur de la face, degré de développement du système masticateur, position du *foramen magnum* (trou occipital), incisives et canines réduites, émail épais... Mais les crânes par exemple varient beaucoup d'un individu à l'autre. « A première vue, les doutes que l'on peut avoir sur la pertinence du genre australopithèque sont légitimes, répond Anne-Marie Bacon, du Laboratoire de dynamique de l'évolution humaine (CNRS, Paris). Mais la divergence apparente des formes peut cacher une homogénéité, du moins sur certains os. Ainsi, de nouvelles méthodes de morphométrie en 2 et 3D montrent une similitude des articulations du genou, du coude et de la hanche que des méthodes classiques n'avaient jusqu'ici pas mises en évidence. »

Les "singes du Sud" existent donc bien. Mais cela ne suffit pas à faire d'eux nos aïeux. Alors qu'on pensait avoir défini le cadre de notre ascendance directe, il suffit d'un grain de sable, de l'ébauche d'une nouvelle théorie ou juste d'une idée pour que tout semble à refaire. Mais en paléoanthropologie, même les certitudes ne sont jamais acquises. ■

## Attention à la marche

**La bipédie est imparfaitement maîtrisée par les grands singes. La station debout n'est pas tenue longtemps. L'ouverture du bassin lors de la course est dispendieuse en énergie. Ces primates sont-ils en train de perdre la bipédie ?**

Y. DELORSON



Yves Deloison



# BORDEAUX

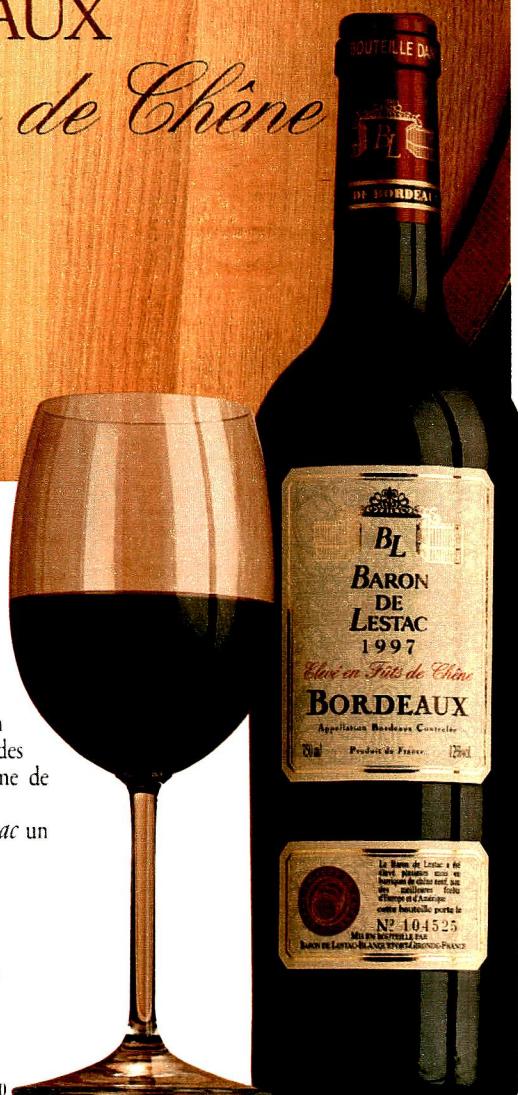
## *Elevé en Fûts de Chêne*

Il a tout...  
d'un Grand Bordeaux

La preuve... Depuis 1995, *Baron de Lestac* a obtenu 6 médailles à l'occasion de différents Concours Nationaux et Internationaux.

*Baron de Lestac* présente une qualité rarement rencontrée. Son vieillissement en fûts de chêne neufs permet le mariage subtil et raffiné des tanins naturels du vin avec ceux du bois. Ainsi naît chaque millésime des *Baron de Lestac* : structuré, souple et finement boisé en fin de bouche.

Autant d'attentions et de récompenses qui font de *Baron de Lestac* un Grand Bordeaux.



BARON DE LESTAC - 21, rue G. Guynemer - 33290 BLANQUEFORT - Tél : 05 56 95 54 00

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ, SACHEZ APPRÉCIER ET CONSOMMER AVEC MODÉRATION.



# Chaudières Viessmann, une nouvelle génération de confort



Chaudière murale gaz Viessmann Eurola, équipée du brûleur hémisphérique radiant MatriX : pour une combustion performante et non-polluante.

La conception du confort selon Viessmann se traduit par une génération complète de chaudières performantes, fioul ou gaz. Souvent cités en référence, nos équipements de chauffage sont synonymes de maîtrise technique dans le plus grand respect de l'environnement. Choisir Viessmann, c'est la garantie d'une qualité reconnue et l'assurance de solutions adaptées à vos besoins, en partenariat avec un réseau d'installateurs professionnels.

Demandez-nous gratuitement le "Guide des solutions de chauffage" ainsi que les coordonnées de nos distributeurs les plus proches directement au Numéro Vert : 0 800 221 221 (appel gratuit).

**VIESSMANN**  
Technique  
du chauffage

Viessmann S.A.  
Z.I. - B.P. 59  
57380 Faulquemont  
Tél. : 03 87 29 17 00  
Fax : 03 87 29 18 53  
Minitel : 3614 Viessmann  
Web : <http://www.viessmann.fr>

# II- La science des éclipses



Le 11 août prochain aura lieu une éclipse totale de Soleil observable en France (voir *Science & Vie* d'avril). Ce sera la première fois depuis le 15 février 1961 qu'une telle opportunité se produira. L'occasion est donnée de se pencher sur le mécanisme d'une éclipse de Soleil. Trois corps sont en présence : le Soleil, la Lune et la Terre.

## Le chemin de l'éclipse

Cette carte montre les régions concernées par l'éclipse du 11 août prochain. La bande noire représente le trajet suivi par l'ombre de la Lune à la surface de la Terre. Les personnes qui seront situées à l'intérieur de cette bande pourront observer l'éclipse totale. Dans le reste de l'hémisphère concerné (soit plus de 70 pays), l'éclipse sera partielle. Au total, l'ombre de la Lune parcourra près de 14 000 km en un peu plus de trois heures.



**L**a Lune met 29,53 jours pour faire le tour de la Terre. C'est ce qu'on appelle rotation synodique, mois lunaire, ou encore lunaison. Lorsque la Lune est alignée avec le Soleil, c'est la nouvelle Lune (ou début de la lunaison). La Lune est alors invisible, car elle est trop proche du Soleil. Si le plan de l'orbite lunaire était coplanaire avec celui de l'orbite terrestre (appelé aussi plan de l'écliptique), à chaque nouvelle Lune, cette dernière passerait exactement devant le Soleil, et il y aurait une éclipse. Il n'en est rien, car le plan de l'orbite lunaire est incliné par rapport au plan de l'écliptique, et cette inclinaison est variable dans le temps. Par conséquent, à la nouvelle Lune, cette dernière se trouve tantôt au-dessous, tantôt au-dessus du Soleil, et parfois en face. Pour qu'il y ait éclipse, il faut que la Lune passe dans l'ombre de la Terre. Or, l'axe de l'orbite lunaire n'est pas parfaitement vertical par rapport à l'axe de l'orbite terrestre. Cela signifie que lorsque la Lune passe dans l'ombre de la Terre, elle ne le fait pas toujours complètement. Il y a donc des périodes où la Lune passe à l'extérieur de l'ombre terrestre, sans jamais la toucher.

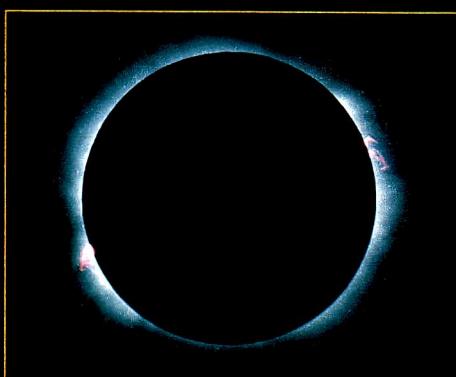
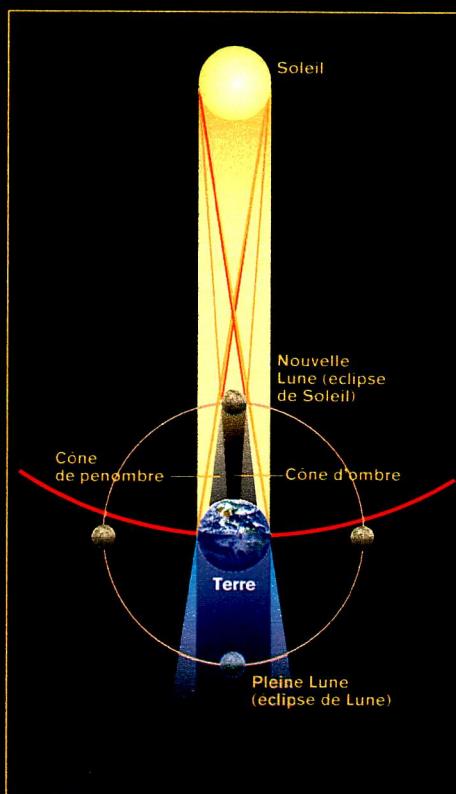


## Ombre et pénombre

Lors d'une éclipse de Soleil, le cône d'ombre se forme suivant les tangentes extérieures au Soleil et à la Lune. Les tangentes intérieures délimitent le cône de pénombre.

Les zones de la Terre balayées par le cône d'ombre verront l'éclipse totale de Soleil (photo du bas); celles plongées dans le cône de pénombre ne verront qu'une éclipse partielle (photo du haut).

Même principe pour les éclipses de Lune. Mais, cette fois, ce sont les tangentes extérieures et intérieures au Soleil et à la Terre qui délimitent ombre et pénombre.



ait une éclipse, il faut que la Lune et le Soleil se trouvent en même temps à l'intersection des plans de l'écliptique et de l'orbite lunaire – ce qu'on appelle les nœuds. Le Soleil occupant cette position tous les six mois environ, il ne peut y avoir une éclipse que tous les six mois. Les choses seraient simples si les nœuds étaient fixes, mais, comme l'inclinaison de l'orbite lunaire varie de 5° à 5°18' en 173 jours, les nœuds se déplacent sur l'écliptique dont ils font le tour en 18,6 ans. Ces variations, ajoutées à d'autres comme, par exemple, celle de la durée du mois lunaire, font qu'il se produit tous les 173 jours deux éclipses à 15 jours d'intervalle : l'une de Soleil, l'autre de Lune (dans un ordre quelconque). C'est ce que l'on appelle les "saisons d'éclipses".

## UN HASARD ASTRONOMIQUE

Cette périodicité fut remarquée très tôt par les astronomes chaldéens. Plus tard, les Grecs firent de sérieux efforts pour prévoir les éclipses, et ils créèrent le terme d'écliptique, c'est-à-dire "ligne des éclipses". Ce sont eux aussi qui observèrent que les éclipses se reproduisaient dans le même ordre et aux mêmes lunaisons, au terme d'une période d'à peu près 6 585 jours. Ils nommèrent cette période saros, ce qui signifie balayage. La durée exacte d'un saros est de 223 lunaisons, soit 18 ans et 10 ou 11 jours – selon que l'intervalle comprend 4 ou 5 années bissextiles. Un saros comprend de 78 à 94 éclipses (84 en moyenne), moitié de Lune et moitié de Soleil, dont 14 éclipses de Soleil partielles et 28 éclipses de Soleil totales, annulaires ou mixtes.

Le phénomène de l'éclipse est dû à un hasard astronomique. En effet, le diamètre de la Lune et

celui du Soleil sont très différents. Si notre satellite mesure 3 475 kilomètres, le globe solaire est une boule de 1 392 000 kilomètres de diamètre. Toutefois, le Soleil se trouve à 1 495 978 kilomètres de la Terre, alors que la Lune tourne autour de notre planète à une distance moyenne de 384 500 kilomètres. Cette grande différence de distance a pour conséquence de rendre les diamètres apparents du Soleil et de la Lune presque égaux (soit environ 30').

### ECLIPSES TOTALES, ANNULAIRES ET PARTIELLES

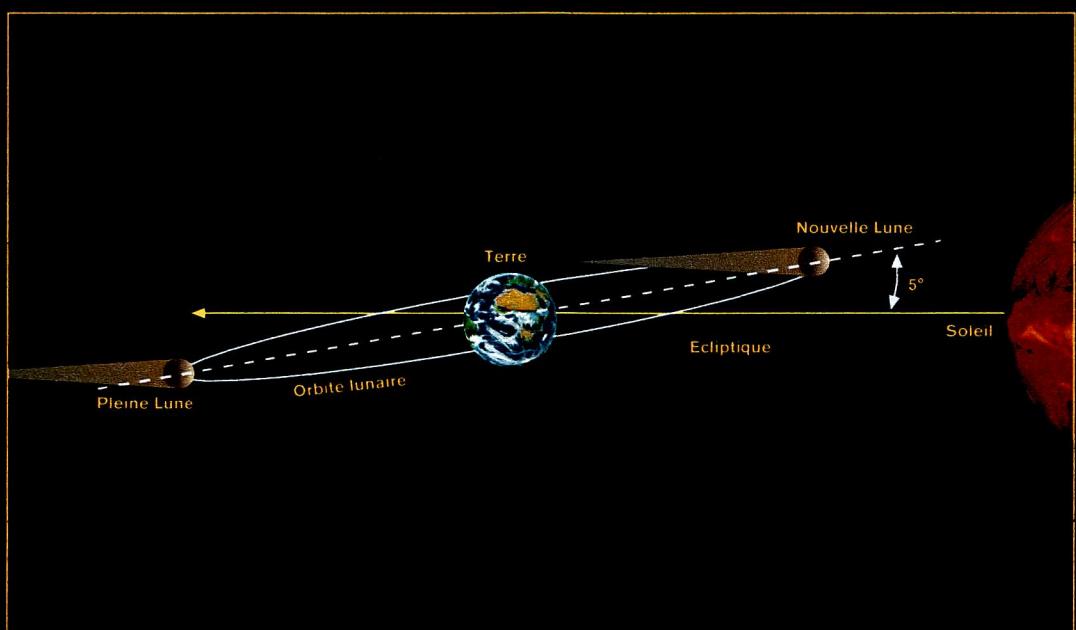
Comme la distance entre Terre et Lune varie, le diamètre apparent de cette dernière varie également. Plusieurs cas de figures se présentent. Si le diamètre apparent de la Lune est supérieur à celui du Soleil, elle le masque entièrement : il y a éclipse totale de Soleil. Lorsque la Lune est à sa distance maximale, son diamètre apparent est inférieur à celui du Soleil. Si une éclipse se produit à ce moment-là, le disque solaire n'est pas masqué parfaitement. Il

## QUELQUES CHIFFRES

<b>■ Nombre minimal d'éclipses (Lune et Soleil confondus) dans une année :</b>	4, qui peuvent se répartir en 2 de Lune et 2 de Soleil comme en 1990.	comme en 1982;
<b>■ Nombre maximal d'éclipses (Lune et Soleil confondus) dans une année :</b>	7, qui peuvent se répartir en 2 de Lune et 5 de Soleil comme en 1935;	4 de Lune et 3 de Soleil comme en 1973;
	<b>3 de Lune et 4 de Soleil</b>	5 de Lune et 2 de Soleil comme en 2132.
<b>■ Durée maximale d'une éclipse totale de Soleil (phases partielles non comprises) :</b>	7 min 30 s.	<b>■ Vitesse de l'ombre de la Lune</b>
<b>sur le sol terrestre :</b>	de 500 à 2 000 m/s, soit de 1 800 à 7 200 km/h.	

### Les saisons d'éclipses

Pour qu'il y ait une éclipse, il faut que les trois corps en présence – le Soleil, la Lune et la Terre – soient alignés. C'est ce qui se produirait à chaque nouvelle Lune (pour les éclipses de Soleil) et à chaque pleine Lune (pour les éclipses de Lune) si le plan de l'orbite lunaire était coplanaire avec celui de l'orbite terrestre – également appelé écliptique. En réalité, le plan de l'orbite lunaire est incliné de 5°. Cet alignement ne se produit donc que tous les six mois, lors de ce qu'on appelle les saisons d'éclipses.





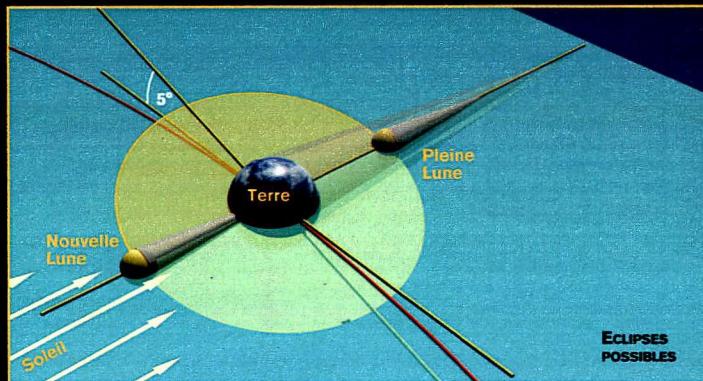
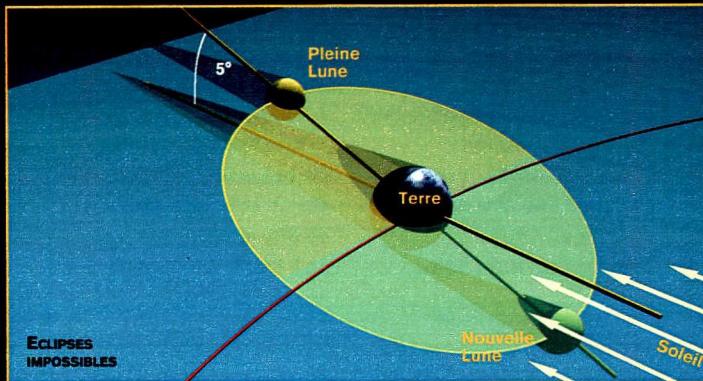
## Le bon plan

Ces deux schémas montrent ce qui se produit tous les quatre mois environ : selon l'orientation du plan de l'orbite lunaire par rapport au Soleil, les éclipses peuvent se produire ou non.

subsiste alors un anneau : c'est une éclipse annulaire de Soleil. Enfin, il arrive que la Lune ne passe pas exactement devant le Soleil. L'éclipse n'est alors ni totale ni annulaire, mais partielle : le Soleil n'est caché qu'en partie.

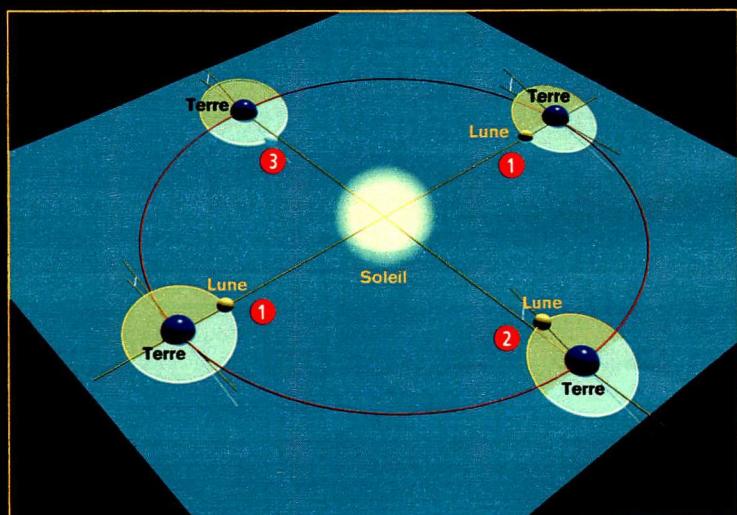
### DANS L'OMBRE DE LA LUNE

Pour observer une éclipse totale de Soleil, il faut se placer exactement sur le trajet de l'ombre de la Lune. Cela ne représente qu'une petite partie de la surface terrestre, car cette ombre ne mesure, au sol, que 200 km de largeur au maximum. La bande de terrain parcourue par cette ombre est appelée bande ou zone de totalité. En dehors de cette bande, on pourra voir l'éclipse depuis une zone beaucoup plus importante, mais, l'alignement des deux astres n'étant pas parfait, elle n'est que partielle. Ainsi, l'éclipse du 11 août sera partielle dans toute l'Europe, et totale dans une bande de 110 km de large qui partira de Cornouailles, en Angleterre, traversera la France de Fécamp à Lauterbach, et continuera à travers l'Allemagne, l'Autriche, la Hongrie, la Roumanie, la Turquie, le Pakistan et l'Inde.



## Alignement parfait

L'orientation du plan de l'orbite lunaire se conservant dans l'espace, le parfait alignement Terre-Lune-Soleil ① n'est possible que tous les six mois environ. Le reste du temps, à la nouvelle Lune, la Lune passe au-dessus ② ou au-dessous ③ du Soleil : il n'y a pas d'éclipse.



CUANDO CUBANGO

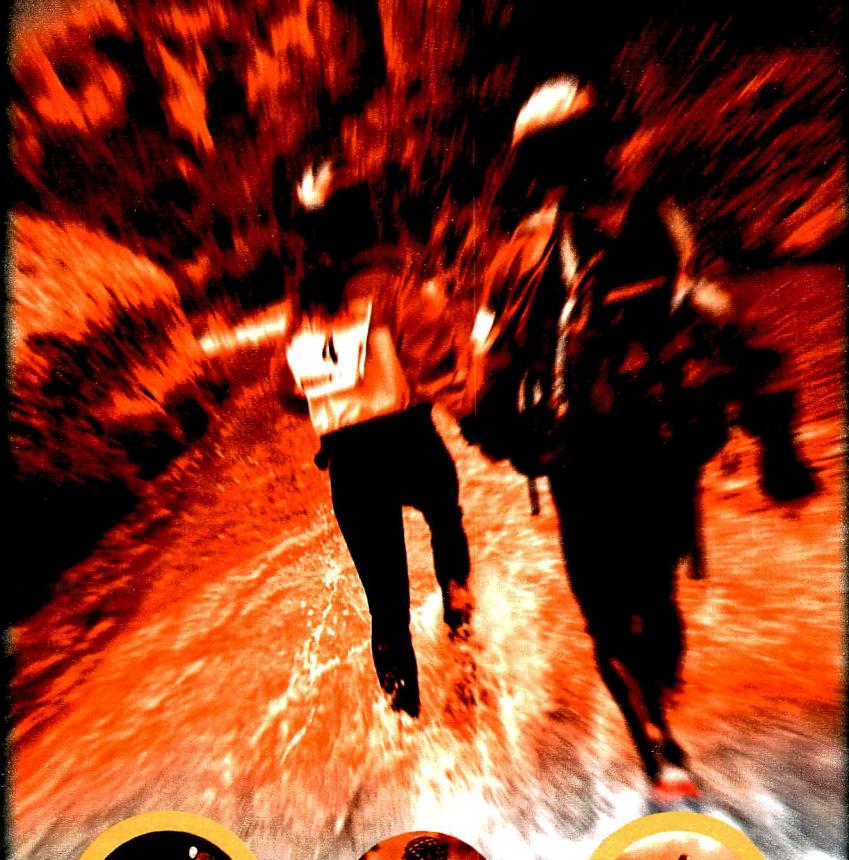
# SALOMON

destination

## UBAYE

# X-Adventure

ÇA PARAIT IMPOSSIBLE A FAIRE ET C'EST POUR ÇA QUE VOUS ALLEZ LE FAIRE



ESPAGNE  
7-8-9/05/99

GRANDE-BRETAGNE  
21-22-23/05/99

SUEDE  
11-12-13/06/99

FRANCE  
25-26-27/06/99

ALLEMAGNE  
9-10-11/07/99

FINLANDE  
6-7-8/08/99

JAPON  
24-25-26/09/99

MAROC  
15-16-17/10/99

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



35 heures non-stop par équipe de 3 plus un joker.  
De la course d'orientation, du canoë, de la descente en rappel, du VTT...  
Et des inscriptions au Raid Gauloises à gagner pour les meilleurs.  
Salomon X-Adventure : ça paraît impossible à faire...  
et c'est pour ça que vous allez le faire !

Inscriptions Salomon X-Adventure - Service Marketing France - 74996 Annecy Cedex 9 -  
Tel : 04 50 65 45 35 - Fax : 04 50 65 42 61.



**SALOMON**

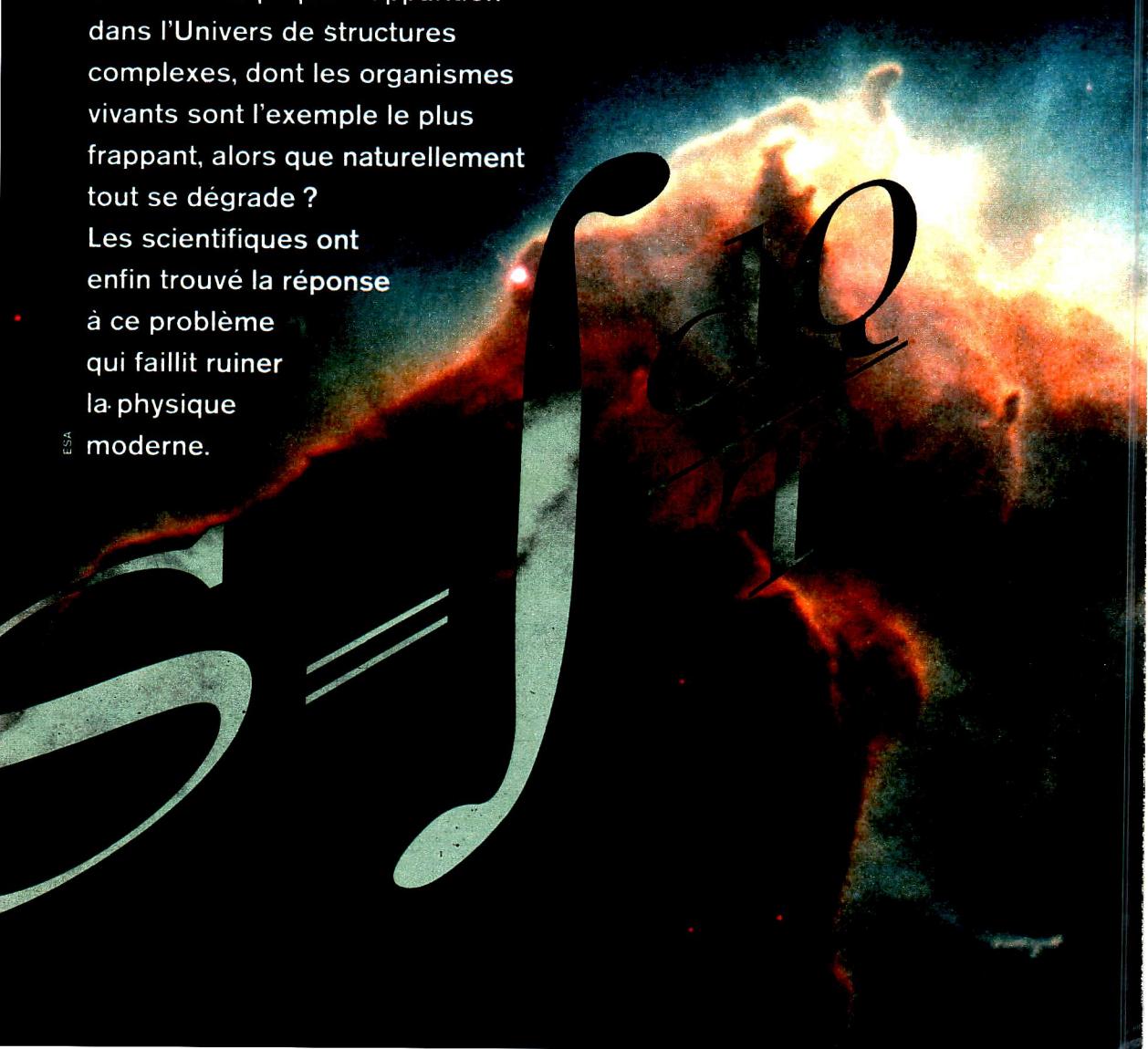
physique

# L'Univers a-t-il pu se créer

Comment expliquer l'apparition dans l'Univers de structures complexes, dont les organismes vivants sont l'exemple le plus frappant, alors que naturellement tout se dégrade ?

Les scientifiques ont enfin trouvé la réponse à ce problème qui faillit ruiner la physique moderne.

ESA



# rs er tout seul ?

**S**i l'on enferme diverses sortes d'atomes dans un bocal isolé de toute source d'énergie, y a-t-il une chance pour que, après une longue période, il en ressorte une entité complexe, voire vivante ? Oui, car c'est ce qui s'est passé dans l'Univers. Et, si on laisse un objet, par exemple une amphore, à l'abandon, que se passe-t-il ? Elle se dégrade irréversiblement jusqu'à n'être plus qu'un tas de sable informe... Bref, il semblerait que nous vivions sous les signes – contradictoires – de la complexification (par exemple la vie) et de la désorganisation (tout ce qui se dégrade naturellement), au point de se demander si la nature ne serait pas schizophrène... Pourtant, la loi pilotant la dégradation d'énergie

## Monde paradoxal

L'Univers a engendré des structures aussi complexes que les êtres vivants. Pourtant le second principe de la thermodynamique impose la dégradation irréversible de tous les systèmes. Y aurait-il contradiction ?

des systèmes physiques (second principe de la thermodynamique) et l'observation empirique – nous sommes nés après un long processus d'organisation – cohabitent en paix dans la nature. Les hommes, eux, ont dû se battre intellectuellement pour comprendre ce mystère. Ils y sont arrivés, avec l'aide d'un petit démon...

« Imaginons un être capable de suivre chaque molécule dans son déplacement... ». L'étrange phrase est l'une des plus illustres de l'histoire de la physique. Par son intermédiaire, l'auteur, le physicien écossais James Clerk Maxwell (1831-1879), jette en 1871 un des plus gros pavés dans la mare des sciences modernes naissantes. Les remous causés par cet "être" – bientôt rebaptisé "démon de Maxwell" – ne s'apaiseront définitivement qu'avec la publication dans une revue de physique d'un article intitulé : "Le démon de Maxwell quantique" (1). Voici donc l'histoire d'un démon fort récalcitrant et inventif.

.....

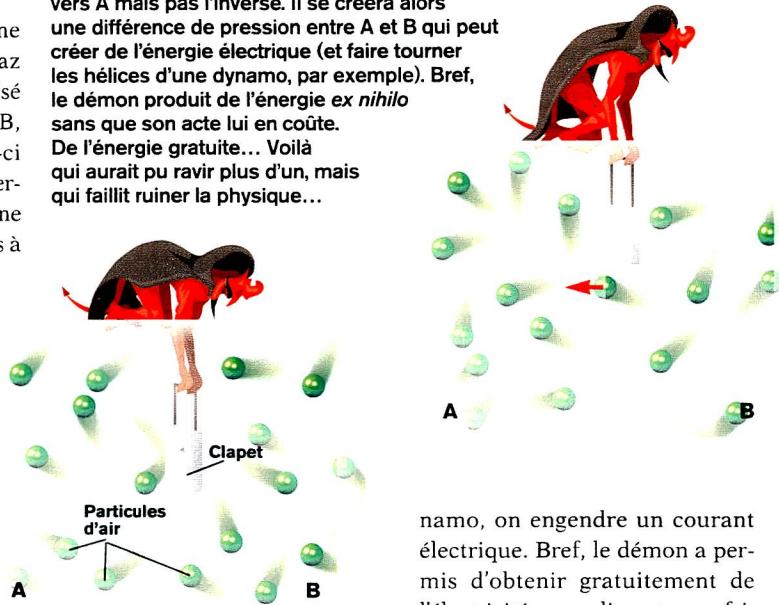
(1) Seth Lloyd, *Physical Review A*, novembre 1997.

Qui est-il? C'est un homme minuscule, doté d'une vue extraordinaire. Si on l'enferme dans une boîte remplie de particules, il sera capable de suivre ces dernières du regard.

Considérons maintenant une boîte étanche contenant du gaz (ensemble de particules) et divisé en deux compartiments, A et B, séparés par une cloison. Celle-ci est percée d'un petit trou qui permet aux particules de passer une par une d'un des compartiments à l'autre. Le trou est surmonté d'un clapet qui peut être ouvert – auquel cas les particules peuvent traverser le trou – ou fermé. Le démon est une sorte de gardien du clapet : il l'ouvrira ou le fermera à sa guise. A l'origine le système est en équilibre : il y a autant de particules dans A que dans B. A l'échelle macroscopique, cela se traduit par une pression égale des deux cotés de la cloison. Mais voilà! Le démon se met en tête de laisser passer vers A les particules de B qui se présenteront devant l'orifice. En revanche, il interdit à toute particule se trouvant dans A de passer vers B. Que se passe-t-il au bout d'un certain temps? Il y a plus de particules dans A que dans B : la

## A petits démons, grands effets

Le physicien James Clerk Maxwell conçut, en 1871, l'expérience de pensée dite du "démon de Maxwell". On dispose d'une boîte étanche remplie d'air et divisée en deux compartiments, A et B. Ceux-ci sont séparés par une cloison percée d'un trou surmonté d'un clapet. En actionnant le clapet, le démon, un être minuscule, va laisser passer les particules d'air de B vers A mais pas l'inverse. Il se créera alors une différence de pression entre A et B qui peut créer de l'énergie électrique (et faire tourner les hélices d'une dynamo, par exemple). Bref, le démon produit de l'énergie ex nihilo sans que son acte lui en coûte. De l'énergie gratuite... Voilà qui aurait pu ravin plus d'un, mais qui faillit ruiner la physique...



fiques et philosophes, et non des moindres, dans des cul-de-sac théoriques, les emmenant quasi-méthodiquement à conclure que l'esprit agit directement sur la matière!

Revenons à l'expérience. Dès lors qu'il existe une différence de pression entre les deux enceintes, il est possible d'en extraire de l'énergie motrice. C'est le prin-

ciplano, on engendre un courant électrique. Bref, le démon a permis d'obtenir gratuitement de l'électricité pour alimenter un frigo ou une voiture électrique. Le vieux rêve de l'humanité – l'énergie gratuite – fait irruption (2).

### IRRÉVERSIBLE DÉGRADATION

Mais gare! Cela est strictement interdit par le second principe de la thermodynamique. Cette loi, maintes fois confirmée, dit, en substance, que toute transformation d'une forme d'énergie en une autre forme d'énergie entraîne une dégradation d'une partie de celle-ci. Un exemple : vous roulez en voiture électrique. La voiture est équipée d'une dynamo reliée aux roues de la voiture. Au fur et à mesure que la voiture se déplace, les roues entraînent la dynamo, qui produit de l'électricité. Mais, pour pouvoir rouler, la voiture utilise de l'électricité. Question : la quantité d'électricité produite par la dynamo peut-elle compenser exactement la quantité d'électricité utili-

(2) Le démon pourrait être, par exemple, un micro-appareillage piloté par un ordinateur.

## Un duel entre une loi de la physique et l'"expérience" de Maxwell

pression dans B a diminué et celle dans A a crû.

A première vue, l'espèglerie du démon n'a pas de quoi émouvoir. Mais les conséquences de son action sont incalculables! Cet homoncule aura, à lui seul, tourmenté des générations de physiciens et conduit scienti-

pe de fonctionnement de la machine à vapeur. Plus concrètement, imaginons que l'on relie A et B par un tunnel équipé d'une turbine : la pression se rééquilibre naturellement grâce à une circulation d'air d'une enceinte à l'autre. Ce "vent" fait tourner la turbine. Si on relie cette dernière à une dy-



DESSINS JSI  
sée pour faire avancer la voiture? En d'autres termes, la voiture peut-elle rouler éternellement en s'auto-alimentant en énergie?

La réponse à cette question est « non » : pour parfaite que soit la technologie utilisée, la quantité d'électricité produite sera toujours inférieure à celle consommée. En effet, au cours des transformations de l'énergie motrice (la rotation des roues) en énergie électrique (produite par la dynamo), puis à nouveau en énergie motrice, il y aura dégradation. Une partie de l'énergie initiale sera dissipée sous forme de chaleur (dans les câbles électriques, dans les pièces mécaniques, etc.). La dégradation est irréversible, la voiture finira par s'arrêter. Ce phénomène est inévitable car c'est un principe fondamental de la physique.

Mais revenons à notre démon. Le paradoxe découvert par Maxwell soulève donc un problème : à partir d'une simple connaissance (le démon sait quand il doit ouvrir le clapet) et d'une action qui se fait sans déperdition d'énergie – du moment qu'on évite les frotte-

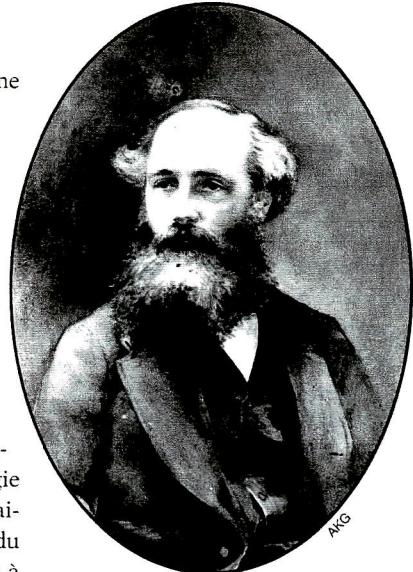
ments du clapet (3) –, on crée une énergie utilisable.

Avec un démon de Maxwell dans chaque moteur de voiture, nous roulerions sans carburant! Le duel est donc étrange : d'un côté, une loi fondamentale de la physique, de l'autre, l'expérience "de pensée" imaginée par Maxwell.

JSI Longtemps, les physiciens se sont demandé lequel terrasserait l'autre? Comme l'idée d'un mouvement perpétuel et d'une énergie gratuite heurte l'esprit – avec raison –, la préférence bascula vite du côté du second principe. Il fallait à tout prix occire ce démon! Le désir était si fort – des pans entiers de la physique en dépendaient – qu'il donna lieu à de véritables contorsions scientifiques. Le démon de Maxwell était enfermé dans une boîte... de Pandore.

Deux scientifiques, l'Américain d'origine hongroise Léo Szilard et le Français Léon Brillouin, postulèrent que l'acquisition d'informations occasionnait une dégradation d'énergie : avant d'actionner le clapet, le démon doit "voir" la particule qui se rapproche. Le démon possède donc une source lumi-

(3) Ce mouvement doit se faire lentement, comme le stipulent les lois de la physique.



AKG

## Génie trouble-fête

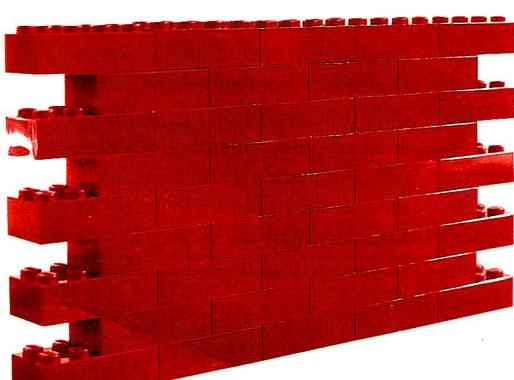
James Clerk Maxwell créait, avec son "démon", un paradoxe qui touchait aussi bien à des questions de thermodynamique qu'à des questions sur l'émergence de structures complexes, comme la vie.

neuse qu'il doit constamment réalimenter en énergie utilisable pour pouvoir acquérir de l'information. Globalement, le second principe est sauvé : on fournit de l'énergie utilisable (lumière) au système composé du démon et du gaz pour recueillir à la sortie un peu moins d'énergie utilisable (pression).

## Quantité ou qualité?

De la recherche d'une solution au "démon" est né, dans les années 60, la théorie de l'information. Cette dernière distingue deux concepts qu'on avait tendance à amalgamer sous le terme de "complexité" : la quantité d'information et la qualité d'information. Ainsi, un tas de briques est "complexe", car pour le décrire il faut préciser la position de chacune des briques (complexité statistique).

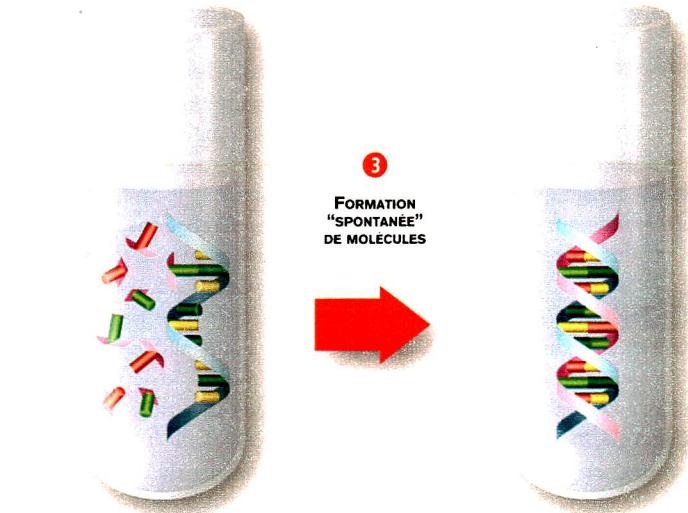
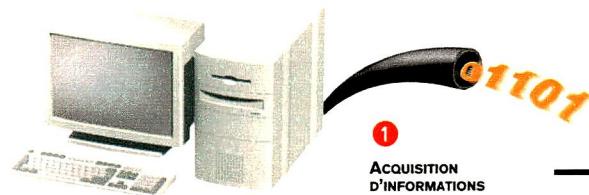
En revanche, un mur est "simple" du point de vue de la quantité d'informations, mais il est "complexe" au sens de son organisation. Sa complexité organisationnelle, dite profondeur logique, est plus importante que celle du tas.



De fil en aiguille, Brillouin construisit une théorie du "coût" de l'information. Comme le précise Daniel Parrochia, spécialiste de la théorie de l'information et professeur à l'université Montpellier III, selon la théorie de Brillouin, «toute observation, toute mesure, tout traitement d'information se traduirait par un certain coût thermodynamique». Acquérir de l'information dégraderait, de l'énergie. Cette analyse, perspicace, s'est révélée fausse (4).

### UN RISQUE DE SPÉCULATIONS MYSTICO-SCIENTIFIQUES

Elle a néanmoins fait école, surtout en France (5). La théorie eut même de graves conséquences... philosophiques. En effet, elle tend à «nier la différence entre la pensée et la matière», précise Parrochia. Ainsi, lorsque nous lisons, nous acquerrons de l'information, nous dégradons donc de l'énergie. Bref, une activité intellectuelle produirait un effet physique sur l'Univers. Mais il y a pire! Si l'acquisition d'informations se paie (en termes énergétiques), elle ne peut s'accomplir naturellement (sans in-



ce processus contre nature? Dieu?

Heureusement, une "nouvelle vague" scientifique naît en 1961, qui met fin aux spéculations mystico-scientifiques. Un brillant chercheur en informatique théorique

dauer, résout définitivement le paradoxe de Maxwell : pour accomplir sa tâche, le petit être acquière de l'information et la stocke dans sa mémoire. Celle-ci ne peut avoir une capacité infinie : si le démon possède à l'origine un capital de 10 cases-mémoire, après une mesure, il ne lui en restera plus que 9... jusqu'à saturation de la mémoire et donc annihilation des capacités du démon. Pour rester opérationnel – augmenter la pression d'un des réservoirs – le démon doit effacer l'information stockée. C'est là qu'a lieu la dégradation : l'énergie utilisée pour stocker les informations dans la mémoire se "volatilise" irréversiblement sous forme de chaleur. Bref, dans la longue chaîne que suit l'information – acquisition, transport, traitement, stockage, effacement – il y a bien une dégradation de l'énergie, comme le croyaient Szilard et Brillouin, mais elle se situe lors de sa destruction. Il est donc théori-

DESSINS JSI

## Un ordinateur ne dégraderait pas l'énergie... si sa mémoire était infinie

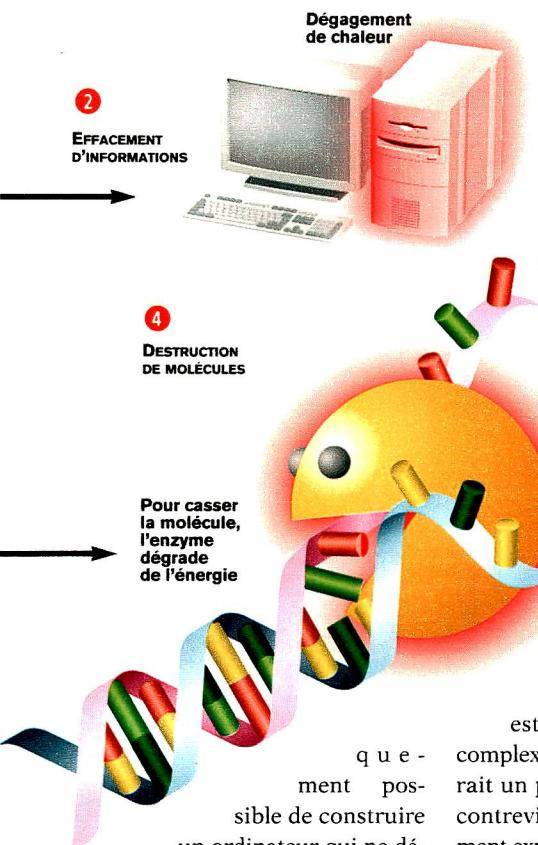
ervention "extérieure") dans l'Univers. L'émergence de la vie – sorte de système qui s'est progressivement complexifié et organisé grâce à l'acquisition d'informations – n'est donc pas naturelle. Qui pilote

(4) La conséquence de la théorie de Szilard-Brillouin est qu'il existe un coût énergétique minimum en deçà duquel aucun traitement d'information ne peut avoir lieu. On a prouvé que c'est inexact.

(5) Jusqu'à récemment, en France, des scientifiques (plus ou moins médiatiques) mais aussi des philosophes, ont fondé une certaine vision cosmologique sur les (faux) préceptes de Szilard-Brillouin.

du centre Watson d'IBM, à New York, Rolf Landauer, démontre que certaines opérations informatiques ont un coût et d'autres pas. Notamment, il montre qu'une acquisition d'informations, peut se faire sans qu'il y ait de dépense d'énergie. Cette simple conclusion invalide la théorie de Szilard-Brillouin. En revanche, Landauer démontre que l'effacement d'informations dans la mémoire d'un ordinateur, elle, dégrade de l'énergie.

En 1973, c'est le coup de grâce! Charles Bennett, élève de Lan-



## Le calcul des structures

La résolution du paradoxe du "démon" conduit à la conclusion que ce n'est pas l'acquisition ① mais l'effacement d'informations ② (par exemple dans un ordinateur) qui coûte de l'énergie. Une métaphore chimique illustre bien ce principe : certaines molécules peuvent se former spontanément sans coût énergétique (acquisition de profondeur logique) par affinité chimique ③, alors que leur destruction (effacement d'informations) dégrade de l'énergie (sous forme de chaleur) ④.

la forme d'un "calcul" :  
un système simple a  
acquis avec le temps  
des informations qui l'ont ren-  
du de plus en plus complexe.

Puisqu'acquérir et traiter de l'information

est gratuit en énergie, la complexification des systèmes serait un processus naturel qui ne contrevient à aucune loi. Comment expliquer alors qu'on n'a jamais observé un tas de boue, par exemple, se métamorphoser, sans intervention extérieure, en une belle amphore ? Mieux encore ! Pourquoi, dans la nature, les objets suivent plutôt le chemin inverse, qui mène de l'ordre vers le désordre ?

### COMPLEXITÉ, UN SEUL MOT POUR PLUSIEURS CONCEPTS

C'est encore Bennett qui apporte la réponse. Sous le terme de "complexité" (ou d'"ordre" ou d'"organisation") se mélangent des concepts distincts. Il existe une complexité statistique qui est la mesure de la quantité d'informations "brutes" contenue dans un système. L'exemple extrême est celui du tas de sable. Il est complexe car il est difficile à décrire. Comme cette structure n'a aucune "logique", il faudrait indiquer la place de chaque grain de sable dans le tas. La quantité d'informations qu'il contient est énorme. Pourtant

le tas de sable n'est pas un exemple d'organisation. Sa complexité organisationnelle, plus simplement appelée "profondeur logique", est nulle ! En revanche, un damier a une profondeur logique supérieure à celle du tas de sable, mais il n'est pas complexe à décrire. Il contient peu d'informations : sa complexité statistique est faible. Bref, les deux concepts, quantité d'informations et qualité de l'information (profondeur logique), ont dû attendre l'avènement de l'informatique pour être distinguées. Conséquence concrète : certaines lois physiques s'appliquent à la complexité statistique et non à la profondeur logique, et vice versa. Ainsi, le principe selon lequel tout système isolé tend à se "désorganiser" signifie que sa complexité statistique ne peut qu'augmenter naturellement. L'amphore devient un tas de terre.

En revanche, la profondeur logique n'est pas soumise à ce principe. Un système peut acquérir naturellement de la profondeur. La seule condition qu'imposent les lois physiques est que cette acquisition soit très lente (ce qui garantie qu'elle ne dégrade pas d'énergie, comme dans le cas du démon). Si l'on enferme des molécules dans une enceinte isolée et qu'on laisse reposer celle-ci pendant des millénaires loin de toute source d'énergie, il pourra en ressortir des structures complexes (au sens de la profondeur logique). Les lois naturelles et la vie peuvent continuer à se côtoyer en bonne intelligence. ■

②

EFFACEMENT  
D'INFORMATIONS

④

DESTRUCTION  
DE MOLÉCULES

que-  
ment pos-  
sible de construire  
un ordinateur qui ne dé-  
grade pas l'énergie... si on le  
dote d'une mémoire infinie !

La nouvelle théorie, qui résout le paradoxe de Maxwell, se double de la confirmation expérimentale. Il ne restait qu'à démontrer que cette solution s'applique aussi à l'échelle quantique, celle des particules élémentaires, car, là, les lois de la physique sont différentes de celles qui régissent l'univers macroscopique. Ce qui a été démontré en novembre 1997 (1). La science aurait-elle exorcisé un de ses plus vieux démons ?

Pas tout à fait. Car la résolution du paradoxe de Maxwell pose un nouveau problème. Et il est de taille ! En effet, il existe une correspondance entre l'univers physique et l'univers "informationnel" : les objets peuvent être définis par les informations qu'ils contiennent. L'évolution de la vie, qui d'une bactérie a conduit à l'homme, peut donc être envisagée sous

L'  
du

## Retour au pays

Après vingt ans passés aux Etats-Unis, le Dr Kari Stefansson revient dans son pays natal pour faire main basse sur les gènes de ses compatriotes avec la bénédiction du Parlement.

**Une population isolée, qui descend de la même poignée d'individus et connaît sa généalogie sur le bout des doigts.**

**Ce rêve de généticien existe : c'est l'Islande.**

**Un chercheur a obtenu l'autorisation d'exploiter en exclusivité les informations génétiques et médicales des 270 000 Islandais.**

**Pour le meilleur ou pour le pire ?**

# Île Dr Stefansson

**B**ientôt, le patrimoine génétique de tous les Islandais sera entre les mains d'une société privée, DeCode Genetics Inc. C'est ce qu'a décidé le Parlement islandais, l'Althing, en adoptant un projet de loi qui autorise DeCode à établir et à exploiter la plus grande base de données génétiques jamais rassemblée. Le fondateur de DeCode, le Dr Kari Stefansson, va pouvoir réaliser son rêve : réunir la totalité des informations génétiques et médicales concernant ses compatriotes.

Pour un généticien, les 270 000 Islandais forment une population modèle. Longtemps isolée, elle est génétiquement homogène. Passionnée depuis toujours par la généalogie, elle possède une excellente connaissance de ses lignages. Et son système de santé performant fournit de solides données épidémiologiques. Si les recherches de DeCode débouchent sur le traitement de maladies gé-

nétiques, l'entreprise peut paraître séduisante. Mais, à y regarder de plus près, elle soulève de nombreux problèmes éthiques.

Les premiers colons, des Norvégiens, se sont installés en Islande en 874, suivis par des Celtes en provenance d'Irlande et d'Ecosse. Après une période de relative prospérité, l'île connaît du XIII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle une période glaciaire. La colonisation cesse, ce qui accentue l'isolement des Islandais. La productivité des cultures et des pâturages diminue, la famine fait des ravages. Sans parler des coulées de laves qui détruisent une bonne partie des villes et des rares terres fertiles, ni de l'épidémie de peste qui, au XV<sup>e</sup> siècle, tue un tiers des 70 000 habitants.

Autant d'épreuves surmontées par les Islandais au fil des siècles. C'est avec fierté que les descendants actuels se souviennent de cette histoire singulière, et chacun veut sa part d'héroïsme. En hommage aux héros fondateurs, on

aimé à remonter le fil du temps. La généalogie est une véritable passion nationale. Au point qu'un grand quotidien publie une rubrique hebdomadaire qui y est consacrée. Sans oublier la rubrique nécrologique, où figure une partie de l'arbre généalogique du défunt.

Au temps des premiers colons, la généalogie était nécessaire pour faire la preuve de sa filiation au

filiation est directement décelable dans le patronyme : ainsi, Kari Stefansson est le "fils de Stefan", Adalheidur Guðmundsdóttir (sa secrétaire) est la "fille de Guðmund", etc. Tout est recensé et mis en fiche. Cette parfaite connaissance de la généalogie d'une population entière est un atout formidable en matière de recherche génétique.

De plus, issus d'un tout petit

cadré ci-dessous) de certaines maladies héréditaires bien plus facilement que dans une population hétérogène et plus importante.

## DES ARCHIVES MÉDICALES TRÈS COMPLÈTES

Actuellement, le fichier généalogique national comporte les noms de plus de 600 000 Islandais, morts ou vivants. Et il existe d'autres fichiers : le système de santé islandais, très performant, conserve depuis 1915 les dossiers médicaux avec toutes leurs pièces (sang, tissus...), ainsi qu'un registre des personnes atteintes de maladies héréditaires.

Après vingt ans passés aux Etats-Unis, à la Harvard Medical School (Boston), le Dr Kari Stefansson a donc décidé de franchir à nouveau l'Atlantique et de par-

# En Islande, la généalogie est une véritable passion nationale

moment de l'héritage. Aujourd'hui, ce passe-temps particulièrement populaire permet de prouver qu'on descend directement des quelques centaines de personnes arrivées aux IX<sup>e</sup> et X<sup>e</sup> siècles. D'ailleurs, la

groupe d'ancêtres, tous les Islandais ont les mêmes antécédents génétiques. C'est ce que les généticiens nomment l'"effet fondateur". Celui-ci permet de repérer les "marqueurs" génétiques (voir l'en-

## COMMENT ON TRAQUE LE GÈNE D'UNE MALADIE HÉRÉDITAIRE

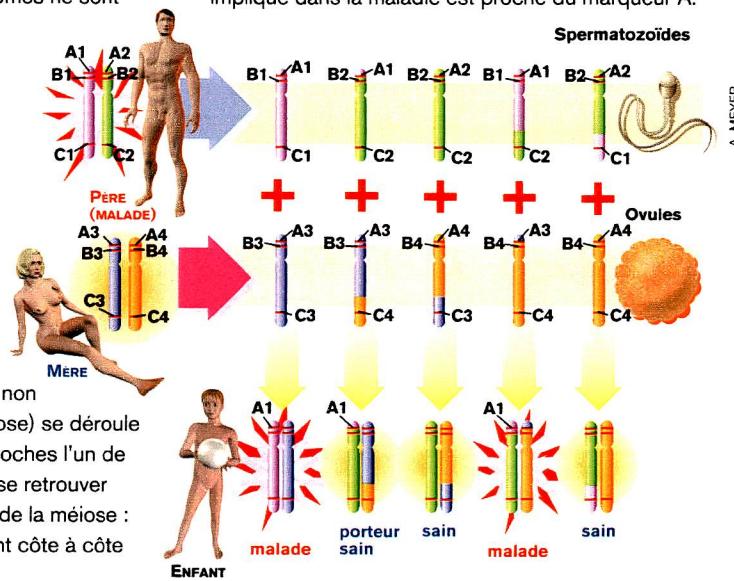
**En associant les études généalogique et génétique d'une famille dont certains membres sont atteints d'une maladie héréditaire, on observe la transmission de "marqueurs", petites séquences d'ADN facilement repérables sur les chromosomes. Si plusieurs malades d'une même famille partagent un même marqueur, c'est que le gène de la maladie est situé à proximité de celui-ci.**

■ Chacune des 23 paires de chromosomes que contiennent nos cellules est formée d'un chromosome hérité de la mère et d'un autre hérité du père. Ces deux chromosomes ne sont pas rigoureusement identiques.

Ainsi, pour une même portion A de chromosome, on peut trouver les variantes A1, A2, A3 et A4. Ces portions variables sont appelées "marqueurs génétiques polymorphes".

Lors de la formation des spermatozoïdes et des ovules (gamètes), les chromosomes de chaque paire se mélangent de telle façon que les gamètes ne contiennent que 23 chromosomes non appariés. Ce mélange (appelé méiose) se déroule de manière que deux marqueurs proches l'un de l'autre ont une forte probabilité de se retrouver ensemble sur le chromosome issu de la méiose : A1 et B1 se trouveront plus souvent côté à côté que A1 et C1, par exemple.

Parmi les enfants de ce couple, on constate que les porteurs du variant A1 sont plus souvent malades que les autres. Il est donc probable que le gène impliqué dans la maladie est proche du marqueur A.



(Ce schéma ne représente qu'une seule paire de chromosomes.)



PHOTOS ICELAND REVIEW

## Une grande famille

Insularité, ancêtres communs, passé héroïque... Autant de caractéristiques qui renforcent la cohésion sociale de cette toute petite population de 270 000 habitants. Ici, des enfants manifestent leur patriotisme lors de la fête nationale (17 juin).

tir à la chasse aux "mauvais" gènes dans son pays natal. « La population islandaise est une mine d'or qui attendait d'être exploitée », s'enthousiasme ce neuropathologue de 47 ans. Jusqu'à présent, pour identifier ces gènes et comprendre les mécanismes de mutation, les généticiens étudiaient l'ADN des membres d'une famille tout entière. Mais jamais les chercheurs n'avaient disposé d'une famille aussi grande !

Kari Stefansson a créé DeCode Genetics Inc. grâce à un fonds de capital-risque américain de 12 millions de dollars. Bien que cette entreprise privée soit de droit américain, le gouvernement islandais l'accueille avec joie. Dif-

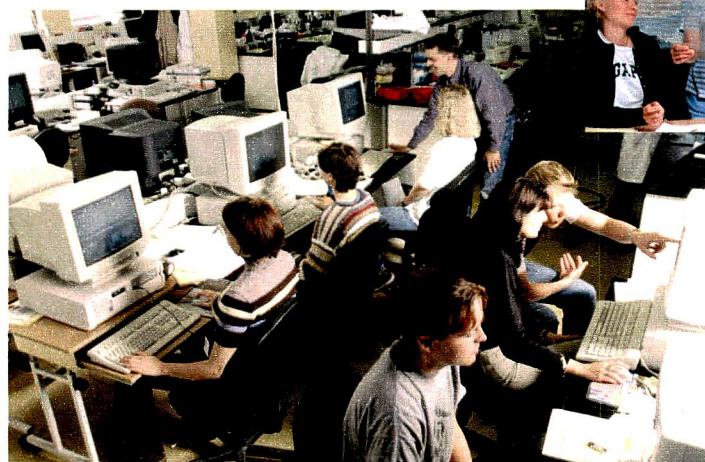
ficile de faire la fine bouche dans un pays où les postes de chercheurs sont très rares, et l'université, unique... Le Premier ministre, David Oddsson, est l'un des partisans les plus fervents du projet : c'est aussi une occasion inespérée d'attirer les chercheurs expatriés et de créer des emplois.

DeCode emploie déjà plus de 200 personnes, et ses locaux, situés dans la banlieue de la capitale Reykjavik, ne cessent de s'agrandir. Pour l'instant, seuls 5 % des chercheurs viennent de l'étranger. A terme, Stefansson espère qu'ils représenteront de 10 à 20 % des salariés de l'entreprise : « Il est merveilleux

de pouvoir créer ici un espace international où les meilleurs éléments, les plus brillants de la planète travailleront côté à côté. »

Mais l'entreprise de DeCode est-elle également un succès du point de vue scientifique ? Pour l'instant, sa seule découverte avérée est la localisation d'un gène de la FET (*familial essential tremor*) – une maladie qui se manifeste par des tremblements incontrôlés de la tête, des bras et des mains, et qui touche de 5 à 10 % des plus de 65 ans. Peut-être est-elle liée à la maladie de Parkinson ? Nous n'en saurons pas plus pour l'instant, secret oblige.

La communauté scientifique attend donc impatiemment la publication de résultats probants. DeCode a annon-



## Une aubaine pour l'économie

Deux cents biologistes, informaticiens, généalogistes et généticiens salariés par DeCode traquent les "mauvais" gènes à l'aide de séquenceurs d'ADN. L'entreprise est une aubaine pour l'économie locale, et l'occasion inespérée d'attirer des investisseurs étrangers.

cé avoir également identifié un gène de la sclérose en plaques et celui de l'endométriose (responsable de stérilités chez la femme), mais aucune preuve scientifique n'a été apportée.

Tout le monde ne partage pas le scepticisme des scientifiques – loin de là. La multinationale pharma-

Pour le plus grand plaisir du Premier ministre islandais, DeCode attire des investisseurs étrangers dans le secteur de la recherche high-tech. « Le gouvernement de ce pays mettra tout en œuvre pour aider les deux parties contraires à atteindre les objectifs qu'elles se sont fixés », affirme Da-

Pour mener à bien ses recherches, DeCode Genetics envisage de croiser un fichier médical centralisé (en cours de constitution, il comprend les données des médecins et des centres de soins) avec le fichier généalogique et le fichier des personnes atteintes de maladies héréditaires. La commission islandaise d'éthique informatique, l'ordre des médecins et l'association des industries pharmaceutiques ont également fait savoir leur opposition à ce projet.

Face à cette levée de boucliers – et au vide juridique –, Stefansson a préféré prendre les devants. Il a soumis au Parlement un projet de loi servant de cadre à ses recherches. Au terme d'un débat passionné, cette proposition de loi a été adoptée par 37 voix contre 20. DeCode est donc autorisé pour une période de douze ans à établir un fichier centralisé. Première victoire pour le Dr Stefansson, qui obtient l'exclusivité de toutes les informations médicales du pays.

« Je suis convaincue qu'une telle clause d'exclusivité est contraire aux lois et directives euro-

## 60 % des Islandais interrogés sont favorables au projet

ceutique suisse Hoffmann-La Roche a senti le filon. Elle a conclu un accord sur cinq ans avec DeCode, pour un montant de 200 millions de dollars. Les travaux porteront sur les gènes de douze maladies courantes : quatre affections cardio-vasculaires, quatre affections neurologiques et psychiatriques, et quatre affections métaboliques. En contrepartie, Hoffmann-La Roche s'engage à fournir gratuitement à la population islandaise les produits diagnostiques et pharmaceutiques issus de cette collaboration.

vid Oddsson. Le réalisme économique dicte sa loi.

Jusqu'au mois d'avril dernier, DeCode a donc vécu une période de grâce. Mais, peu à peu, des opposants ont fait entendre leur voix. Tout a commencé quand la société a acquis le fichier des alcooliques anonymes. Bien que l'anonymat de ce fichier reste garanti par DeCode, les professionnels de la santé s'inquiètent des possibles dérives, et certains médecins menacent de ne plus transmettre au fichier central les informations concernant leurs patients.

## Sur les traces des héros fondateurs

A Glombaer, au Nord de l'Islande, visite des maisons de tourbe restaurées des premiers colons. Fascinés par leur passé, les Islandais ont fait de la généalogie leur passe-temps préféré. Ils célèbrent ainsi l'histoire lointaine des héros fondateurs.



péennes, proteste Asta R. Johannesson, député d'opposition au Parlement. Je suis aussi très inquiète à propos de l'utilisation de cette base de données par d'autres scientifiques : qui y aura accès et dans quel but ?»

60 % des Islandais interrogés sont cependant favorables à ce projet. «On n'a pas la même approche de la confidentialité dans les pays scandinaves que dans le reste de l'Europe», explique Noëlle Lenoir, présidente du Groupe européen d'éthique (GEE). «Les fichiers y sont plus facilement accessibles qu'ailleurs. C'est néanmoins la représentante finlandaise au GEE qui nous a averti de ce projet.»

Malgré certaines précautions du législateur, les risques sont réels en ce qui concerne la confidentialité des informations, le droit d'accès et la possibilité de rectification des données. Même si les informations nominatives transmises à DeCode sont codées, et les clés de codage, gardées par une commission indépendante, comment garantir la confidentialité des informations alors que les recherches de DeCode nécessitent le suivi de familles ? L'usage d'un code à la place d'un nom est-il suffisant pour garantir l'anonymat ?

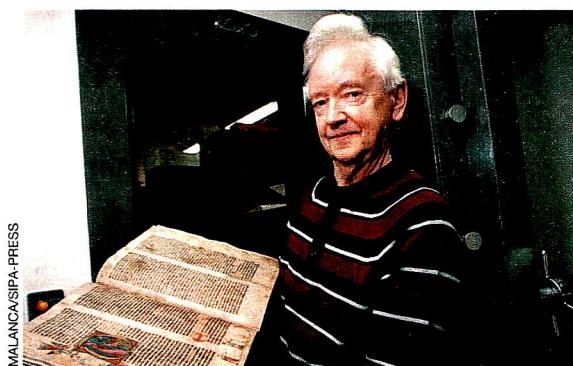
## L'ISLANDE RISQUE D'ÊTRE MISE AU BAN DE L'EUROPE

Le GEE s'est saisi de la question, et il rendra son avis en juillet. Bien que l'Islande ne soit pas soumise au respect des directives européennes, elle prend toutefois le risque d'être mise au ban des nations européennes si elle ne respecte pas les principes de la directive de 1995 sur la protection des données (qui précise, notam-

ment, que «les données ne doivent pas être échangées avec des pays qui n'ont pas de protection équivalente à celle des pays de l'Europe des quinze»).

Autre pierre d'achoppement : les informations médicales transmises à DeCode le seront automatiquement, sans que les patients

tion du Conseil de l'Europe sur la protection des données de 1981, et la directive communautaire de 1995 sur la protection des informations individuelles. «De toute manière, insiste Asta R. Johannesson, puisque les spécialistes de la santé n'ont pas été consultés, je suis certaine que des plaintes se-



soient consultés au préalable. Chacun pourra cependant exercer un "droit d'opposition", démarche volontaire par laquelle on refuse d'être intégré à la base de données.

Plus grave encore : rien n'oblige DeCode à informer les patients d'une possible prédisposition à une maladie. Pour Richard Lewontin, professeur de zoologie et de biologie à Harvard (Boston), «cette loi doit être contestée par la communauté scientifique, car elle fait des Islandais de simples outils au service d'une société privée.» Il menace même de mettre fin à la coopération scientifique avec l'Islande.

La loi est passée, mais le Dr Stefansson n'a pas encore gagné son pari. Pour l'instant, les autorités européennes chargées de la protection des données (l'équivalent de la Commission nationale informatique et liberté française) se sont contentées de demander au gouvernement islandais de reconstruire ce projet «à la lumière des principes fondamentaux énumérés par la convention européenne des droits de l'homme, la conven-

ront déposées devant l'Union européenne. Particulièrement pour ce qui touche à l'exclusivité des droits accordés à DeCode.»

Kari Stefansson fait face à ses détracteurs en mettant en avant les progrès de la recherche en génétique. A ceux qui lui reprochent d'être un «arriviste», il répond que ce sont des «envieux». Il est celui par qui rebondit le débat international sur l'exploitation économique du génome humain. «Ces recherches peuvent être très intéressantes, reconnaît Noëlle Lenoir, mais l'Islande donne à une entreprise privée un monopole d'exclusivité dont on ne sait ce qu'elle fera exactement. De plus, DeCode déposera des demandes de brevets. Qui en touchera les royalties ? Cela ne risque-t-il pas de freiner la recherche qui aurait pu se développer à partir des mêmes données ? Quels seront les retombées bénéfiques pour la population ? La promesse de la gratuité des médicaments pourrait bien être illusoire, car on n'est pas sûr que DeCode puisse en mettre au point.»

## Trente-cinq générations

Le directeur du musée national montre avec fierté le manuscrit de la première saga. Ces textes des XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles sont de vraies archives historiques qui permettent aux généalogistes de reconstituer des lignées sur plus de trente-cinq générations.

# Les "cinq des plantes

**L**e printemps nous assène chaque année l'évidence : les plantes ont un rythme endogène et un développement programmé. Pour le réaliser, elles voient, elles "sentent", elles lisent la durée du jour, elles évaluent la température, elles jaugent le voisinage. Elles peuvent ainsi germer, pousser et fleurir au bon endroit et au bon moment. Un stress, une blessure, une maladie les met sur la défensive. Pas besoin de sang ni de système nerveux pour véhiculer des signaux d'une cellule à l'autre, d'une plante à l'autre et même d'une plante à un animal. Les scientifiques percent peu à peu les secrets de cette extrême sensibilité qui se traduit par des mouvements

**Si les plantes germent, poussent et fleurissent au bon endroit et au bon moment, c'est parce qu'elles voient, sentent, sont sensibles à leur environnement... Ces sens, longtemps ignorés par les scientifiques, sont peu à peu mis au jour.**

(nasties), des directions de croissance (tropismes), des changements de métabolisme.

## LE TOUCHER : QUAND LES PLANTES SE REBIFFENT

Toute plante est irritée quand on la touche. Chez un millier d'espèces, la réaction est instantanée : la plante carnivore referme son piège (voir photo page ci-contre), la sensitive (*Mimosa pudica*) replie ses feuilles, l'ortie brise ses poils urticants... Mais, pour la plupart

des 240 000 espèces de plantes à fleur, les mouvements sont lents et limités. « Tout se passe comme s'ils se déroulaient dans un espace-temps auquel l'homme n'a pas accès », dit Aline Raynal-Roques, professeur au Muséum national d'histoire naturelle. Ce n'est pas vrai pour Nicole Boyer, de l'université Blaise Pascal, à Clermont-Ferrand. Elle a étudié la réaction au toucher de la bryone, une plante grimpante de la famille des cucurbitacées. Dans les quarante-huit heures qui suivent un frottement, la plante réduit l'allongement de sa tige, augmente son diamètre et devient plus rigide ; une réponse à l'agression, qui s'observe d'ailleurs dans la dissymétrie des arbres exposés aux assauts répétés du vent, de la pluie.

Le premier niveau de réponse consiste en une onde électrique le long de la membrane cellulaire. Des flux d'ions entrants et sortants modifient la fluidité et la perméabilité de la membrane, à l'instar de

## Sensualité extrême

Au moindre contact, la fleur tropicale *Sparmannia africana* étale son bouquet d'étamines, ce qui facilite la fécondation croisée.



PHOTOS HEATHER ANGEL



# sens"



## Des tentacules végétaux

Dès qu'une proie, ici une petite syrphe, touche une *Drosera*, les poils glanduleux de cette plante carnivore surnommée "rosée du soleil", se courbent l'un après l'autre, à la manière de tentacules.

celle des neurones humains. Des ions calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) s'engouffrent à l'intérieur de la cellule. Parallèlement à cet afflux de calcium, des gènes sont activés. Janet Braam, de l'université Rice à Houston (Texas), en a isolé cinq chez la plante de laboratoire *Arabidopsis thaliana*. Ce sont les "touch genes", également activés par le vent, le froid, une blessure ou tout autre stress.

L'un d'entre eux, isolé depuis chez la bryone et chez la tomate (à Clermont-Ferrand), est un gène de calmoduline, une protéine qui fixe

recouvrir sa position initiale, ou plus encore lorsque, stimulée plusieurs fois de suite, elle accuse une certaine fatigue. L'obscurité provoque aussi la fermeture des feuilles (sensitive, trèfle, oxalis...), des fleurs, ou au contraire l'ouverture de ces dernières (belles-de-nuit).

### LA VUE : LES VÉGÉTAUX VOIENT ROUGE

Pour les plantes comme pour nous, la "vue" est essentielle. Elle leur permet de se repérer dans l'espace et dans le temps. Car leurs

gueur d'ondes est comprise entre 730 et 600 nanomètres – 1 nm =  $10^{-9}$  m), les cryptochromes au bleu et aux ultra-violets proches (de 500 à 315 nm).

Le phytochrome détecte la qualité de la lumière incidente : il épouse deux formes différentes selon qu'elle contient plus ou moins de radiations rouge clair par rapport à celles rouge sombre. Les deux formes du phytochrome sont toujours présentes, mais en lumière du jour (beaucoup de rouge clair) la forme dont le pic d'absorption est dans le rouge sombre (730 nm) est favorisée. C'est la forme active : elle facilite la germination des graines, inhibe l'allongement des tiges, stimule la synthèse chlorophyllienne. La plante est donc trapue, feuillue, verte, au maximum de ses moyens.

Sous un couvert végétal, il y a un excès relatif de rouge sombre car plus le feuillage est dense, plus il y a de chlorophylle, pigment qui absorbe le rouge clair et réfléchit le

rouge sombre. L'équilibre se déplace alors vers la forme inactive du phytochrome. L'inhibition cesse. Les tiges s'allongent, c'est le "syndrome de l'évitement de l'ombre".

Selon Harry Smith, de l'université de Leicester (Grande-Bretagne), même la promiscuité induit ce syndrome : des tabacs serrés les uns contre les autres sont plus hauts que s'ils étaient cultivés séparément. Cette adaptation à la compétition pour l'énergie lumineuse, bénéfique dans la nature, a un inconvénient en agriculture : elle détourne les réserves de la plante vers l'étiollement au lieu de faire des feuilles, des tubercules, des graines. Ayant découvert que sur les cinq phyto-

## L'homme et la plante sont réglés sur la même horloge : le rythme circadien

le calcium. La calcium-calmoduline stimule de multiples réactions métaboliques dans la cellule, animale ou végétale. Chez la plante, certaines génèrent des mécanismes de défense, comme l'activation d'enzymes anti-oxydantes ou la formation de lignine, une macromolécule qui rigidifie la paroi qui entoure toute cellule végétale (1).

Les sensitives, plantes de la famille des légumineuses (trèfle, haricot...) ont à la base de leurs feuilles un renflement particulier du pétiole, le pulvinus. Grâce à un fonctionnement différent des cellules selon leur position dans le pulvinus, cet organe provoque des mouvements très rapides – en moins d'une seconde – en réaction au toucher et aux variations lumineuses (voir dessin page ci-contre). La sensitive met en revanche trente minutes pour

.....

(1) Cette paroi qui double la membrane plasmique, absente autour des cellules animales, est composée de fibres de cellulose et de substances pectiques (glucides à consistance de gel).

pigments photorécepteurs sont sensibles non seulement à la quantité de lumière incidente mais aussi à sa qualité. Ils agissent ensemble mais chacun dans leur domaine : les phytochromes sont sensibles au rouge (dont la lon-

### Le tact des grimpantes

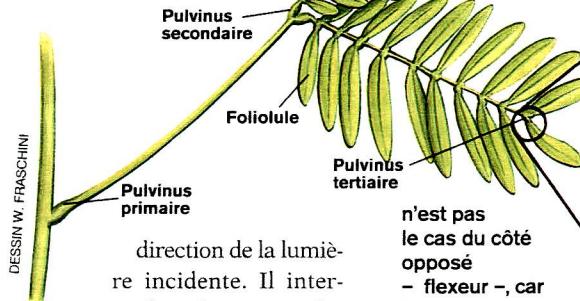
**Les plantes grimpantes, comme cette bryone, répondent au toucher (thigmotropisme) par une croissance en hélice. Elles s'enroulent autour du support qu'elles ont détecté grâce aux mouvements révolutifs du sommet de leur tige (ou de leurs vrilles...).**



M. LEFÈVRE/BIOS

chromes du tabac, seul le phytochrome A reste actif "à l'ombre", Smith a créé des tabacs transgéniques qui surexpriment ce phytochrome. Résultat, en conditions de culture, malgré la promiscuité, ces tabacs transgéniques restent trapus et produisent plus de feuilles (20%) que leurs congénères normaux. Une voie inattendue pour augmenter les rendements!

Le cryptochrome détecte l'intensité et la



direction de la lumière incidente. Il intervient dans l'ouverture des "stomates", les pores par où se font les échanges gazeux de la photosynthèse (voir photo p. 86). C'est à cause de lui qu'une plante d'intérieur placée près d'une fenêtre s'incline vers elle et place ses feuilles perpendiculairement aux rayons lumineux. Darwin a posé, en 1880, les bases de ce "phototropisme positif" des tiges et des feuilles : en éclairant latéralement le sommet de la gaine de la jeune pousse d'avoine (coléoptile), il a observé une courbure environ 3 mm plus bas. Cette action, à distance du site de perception, est due à une conservation plus importante d'auxine, l'hormone végétale de croissance, sur la face abritée de la lumière.

## UNE VIE RÉGLÉE PAR LA LUMIÈRE BLEUE

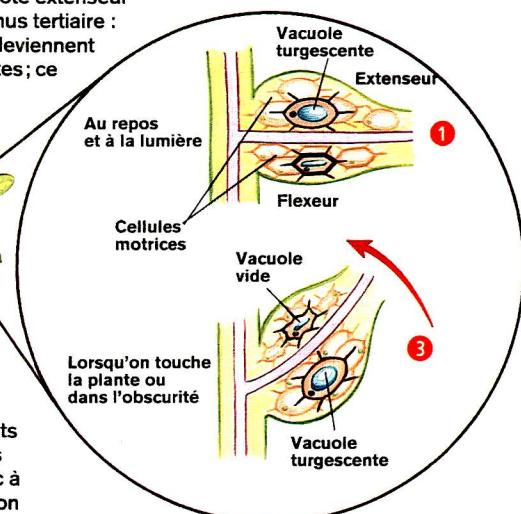
Depuis Darwin, les connaissances ont évolué et grâce aux mutants d'*Arabidopsis thaliana*, l'américaine Margaret Ahmad, de l'université de Pennsylvanie, à Phi-

## Les nerfs à vif

Les sensitives possèdent des cellules motrices logées dans un petit renflement, le pulvinus, qui les rendent très sensibles au toucher et aux variations

lumineuses. Au repos, et à la lumière, un flux entrant d'ions potassium provoque un appel d'eau dans les cellules situées sur le côté extenseur du pulvinus tertiaire : celles-ci deviennent turgescantes ; ce

n'est pas le cas du côté opposé – flexeur –, car les canaux potassium entrants sont fermés ①. Les foliolules sont donc à l'horizontale, position optimum pour capter les rayons du soleil et assurer la photosynthèse ②. A la moindre caresse ou dans l'obscurité, un afflux d'ions calcium dans les cellules de l'extenseur inhibe l'entrée de potassium et active sa sortie. D'où une diminution brutale du volume de ces cellules ③ ; en moins d'une seconde les foliolules se rejoignent ④. Dans les autres pulvini, le phénomène est modulé de manière plus complexe.



PHOTOS HEATHER ANGEL

ladelphie, a identifié en novembre 1993 le premier récepteur à la lumière bleue (voir photo p. 87). Depuis, on a découvert des cryptochromes chez la drosophile, la souris et l'homme. C'est probablement l'un des médiateurs universels de l'horloge qui assure la régulation d'un grand nombre de fonctions biologiques sur un rythme de vingt-quatre heures (rythme circadien).

« Le rythme circadien semble être un point commun du monde vivant conservé au cours de l'évolution, à travers notamment les cryptochromes. Chez les bactéries, qui les ont probablement héritées aux plantes, ils ont en plus une fonction de réparation de l'ADN. Chez les plantes, ils régulent la croissance, le phototropisme et le moment de la floraison », dit Margaret Ahmad, invitée

cette année par le CNRS (2).

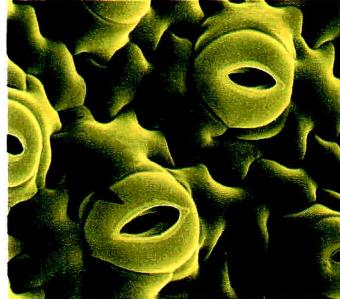
Les horticulteurs miment en serre l'alternance des jours et des nuits (photopériodisme) responsable à travers ces pigments photorécepteurs de la mise à fleur. Ainsi les poinsettia (roses de Noël) fleurissent en jours courts, les chrysanthèmes en jours décroissants...

### LE CHAUD ET LE FROID : LE MUGUET A BESOIN DE L'HIVER

Pour le muguet, c'est plutôt la somme des températures reçues par la plante qui induit la floraison, après un passage au froid. Car, comme de multiples espèces des régions tempérées (du blé d'hiver à l'olivier), il doit subir la "vernalisation", c'est-à-dire le froid hivernal pour être apte à fleurir. Des étapes maîtrisées par les serristes qui ont le muguet prêt le premier mai alors que la nature a parfois du retard. Les fleurs de printemps sont très sensibles à la température, les tulipes et les crocus plus que la rose du Petit Prince. Elles se ferment et s'ouvrent au moindre écart : un réchauffement de 1 °C suffit à écarter les pétales de la tulipe, de 0,2 °C .....

(2) Au laboratoire dirigé par Emile Miginiac, co-auteur du chapitre sur la morphogenèse dans *Physiologie végétale II*, Hermann.

J. BURGESS/SPL/COSMOS



### Sésame, ouvre-toi

**Les échanges gazeux entre la plante et l'air ambiant ont lieu lorsque l'orifice des stomates (flèche) s'ouvre grâce à la contraction des deux cellules qui le bordent.**

ceux du crocus. Des plantes adaptées à la sécheresse produisent des protéines (*heat shock proteins*) qui les protègent des effets toxiques d'une chaleur élevée (40 °C).

### LE GOÛT : UN ARSENAL DE GUERRE CHIMIQUE

Les racines, condamnées à descendre dans le sol et à fuir la lumière, développent des racines latérales lorsqu'elles "sentent" la présence de nitrates. On a même isolé, en janvier 1998, un gène qui préside à cette ramifications.

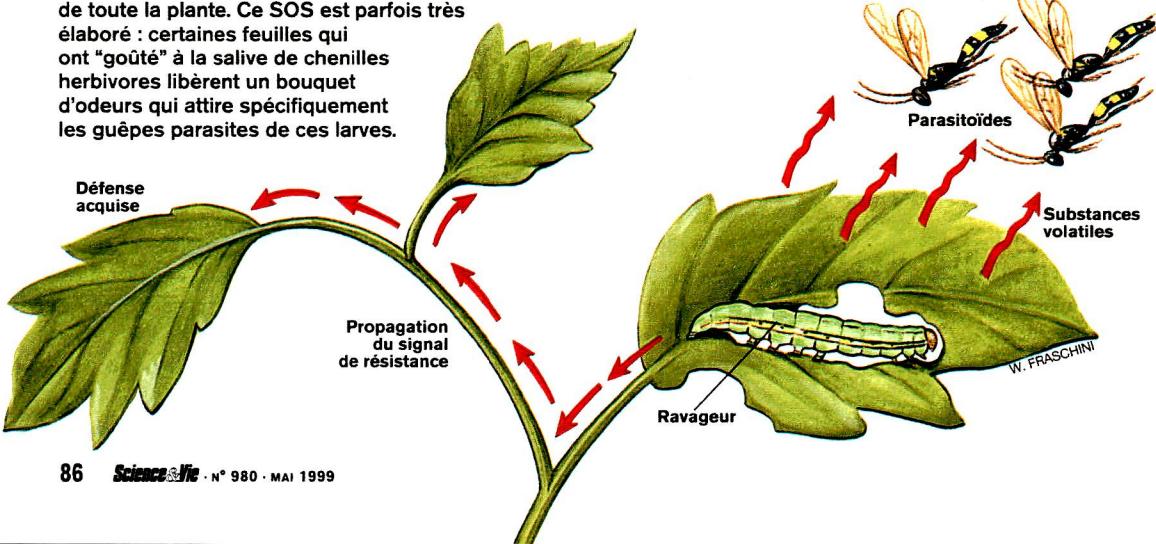
"Goûter" à un agresseur permet à la plante de fourbir un arsenal

impressionnant. Les plantes dotées d'une "hypersensibilité" opposent une barrière étanche entre l'agresseur (virus, champignon, bactérie) et les cellules intactes de l'arrière en nécrosant le premier front de cellules attaquées. Des signaux chimiques diffusent souvent loin du point d'attaque et stimulent des réactions prolongées de défense. Roger Dajoz, spécialiste d'écologie, en donne beaucoup d'exemples dans son traité d'entomologie (le premier du genre) *les Insectes et la Forêt* (éditions Tec-Doc). Défeuillés par les Chenilles *Zeiraphera diniana*, les mélèzes forment des aiguilles plus petites, moins appétentes, moins nutritives, ce qui réduit la population des perturbateurs pendant quatre ou cinq ans. Le hêtre attaqué par le puceron *Phylloxera fagi* fabrique des composés inhibiteurs de la digestion, les procyandines, qui se répandent dans tout l'arbre. Le pin répond par des flux de résine aux attaques de scolytes, les insectes qui creusent des galeries sous l'écorce. Le chêne résiste au guêpe en produisant des composés riches en tanins (polyphénols).

Parmi les 10 000 composés secondaires des plantes à action toxique ou répulsive (alcaloïdes, terpènes...), certains tanins sont très

### Signaux SOS

Dans de nombreuses plantes, des molécules se propagent à partir du point attaqué, pour organiser en quelques heures la résistance de toute la plante. Ce SOS est parfois très élaboré : certaines feuilles qui ont "goûté" à la salive de Chenilles herbivores libèrent un bouquet d'odeurs qui attire spécifiquement les guêpes parasites de ces larves.





## Aveugle à la lumière bleue

Les radiations bleues de la lumière, qui sont absorbées par un pigment photorécepteur appelé cryptochrome, inhibent la croissance de la tige. Ainsi, une plantule mutante d'*Arabidopsis thaliana* privée du gène de ce cryptochrome s'allonge (à gauche), contrairement à la plantule témoin (à droite).

en activant la synthèse de tannins, de lignine et autres substances de défense. Le méthyl salicylate, dérivé de l'acide salicylique (matière active de l'aspirine) est un autre messager potentiel. L'herbe sorcière, *Striga asiatica*, entretient d'étranges rapports avec sa victime, une céréale. Celle-ci émet un messager, baptisé "strigol" qui permet la germination des graines de *S. asiatica* dont les racines vont être admises à se fixer sur celles de céréales, pompant alors tous les nutriments.

## ET L'OUIE? LE DOUTE PLANE

Beaucoup d'amoureux des plantes sont convaincus de leur sensibilité à la musique, mais peu d'études le démontrent. Mordecaï Jaffe, de l'université Wake Forest (Caroline du Nord), affirme que des sons légèrement plus fort que la voix humaine accélèrent la croissance de pois nains et la germination des graines de radis. Vrai ou faux ? Gardons plutôt en mémoire le jugement d'Aline Raynal-Roques (3) : « Animaux et végétaux [...] ont évolué selon deux modes proches l'un de l'autre mais distincts, comme sont en musique les modes majeur et

avides de se lier aux protéines, par exemple aux enzymes digestives des herbivores : l'antilope, la chenille qui consomment ces tannins dans les feuilles d'acacia ou de chêne âgé en restent sur leur faim...

Plus sophistiqués encore sont les signaux SOS émis par les plantes. Marcel Dicke, de l'université de Wageningen (Pays-Bas) a découvert le phénomène chez le haricot : infesté d'acariens, il émet un bouquet de substances volatiles qui appelle à la rescoussse les prédateurs – d'autres acariens – de ces ravageurs. Les Chenilles *Spodoptera* sur les feuilles de maïs déclenchent de même l'émission par la plante d'un mélange de terpènes et autres substances volatiles qui attire leurs guêpes parasites (voir dessin page ci-contre). C'est une molécule de la salive des Chenilles, nommée "volicitine" par les scientifiques de la station de recherche agricole de Gainesville (Floride) et de l'université de Neuchâtel (Suisse), qui est responsable de ce signal SOS. Cer-

tains trios sont très spécifiques l'un de l'autre comme la guêpe *Cardiochiles nigriceps* qui se dirige vers le tabac blessé si l'odeur dénonce la Chenille *Heliothis virescens* mais ne bouge pas pour *Helicoverpa zea*. Stupéfiant exemple de coévolution !

## L'ODORAT : L'ÉTHYLÈNE SONNE L'ALERTE

Les plantes et les arbres communiquent aussi entre eux par des messagers aériens. Ainsi l'attaque

**La plante n'a ni sang ni neurones, mais possède un système immunitaire**

du saule par les Chenilles de *Mallacosoma pluviale* entraîne des modifications chimiques chez des arbres voisins intacts. Le messager est l'éthylène. Ce gaz volatile qui accompagne le mûrissement des fruits, provient des tissus irrités ou lésés de nombreuses plantes. Il sonne l'alerte de façon très efficace

mineur ; ils ont tous deux autant de possibilités mais différentes, et les termes majeur et mineur ne signifient pas que le second est plus petit ou moins important, mais qu'il fait moins de bruit». ■

.....  
(3) Extrait du merveilleux livre *la Botanique redécouverte*, Belin.

**IdéeFord**



## **La liberté**

**d'avoir une voiture neuve tous les deux ans\***

Avec IdéeFord, ajoutez au plaisir de conduire une voiture neuve, la maîtrise totale de votre budget automobile.

IdéeFord vous offre également la liberté de renouveler ou non votre contrat à l'issue des deux ans et la garantie constructeur pendant deux ans ainsi qu'une assurance complémentaire auto qui garantit le remboursement de votre apport initial en cas de vol ou de destruction\*\*.

IdéeFord, la nouvelle façon de consommer l'Automobile.

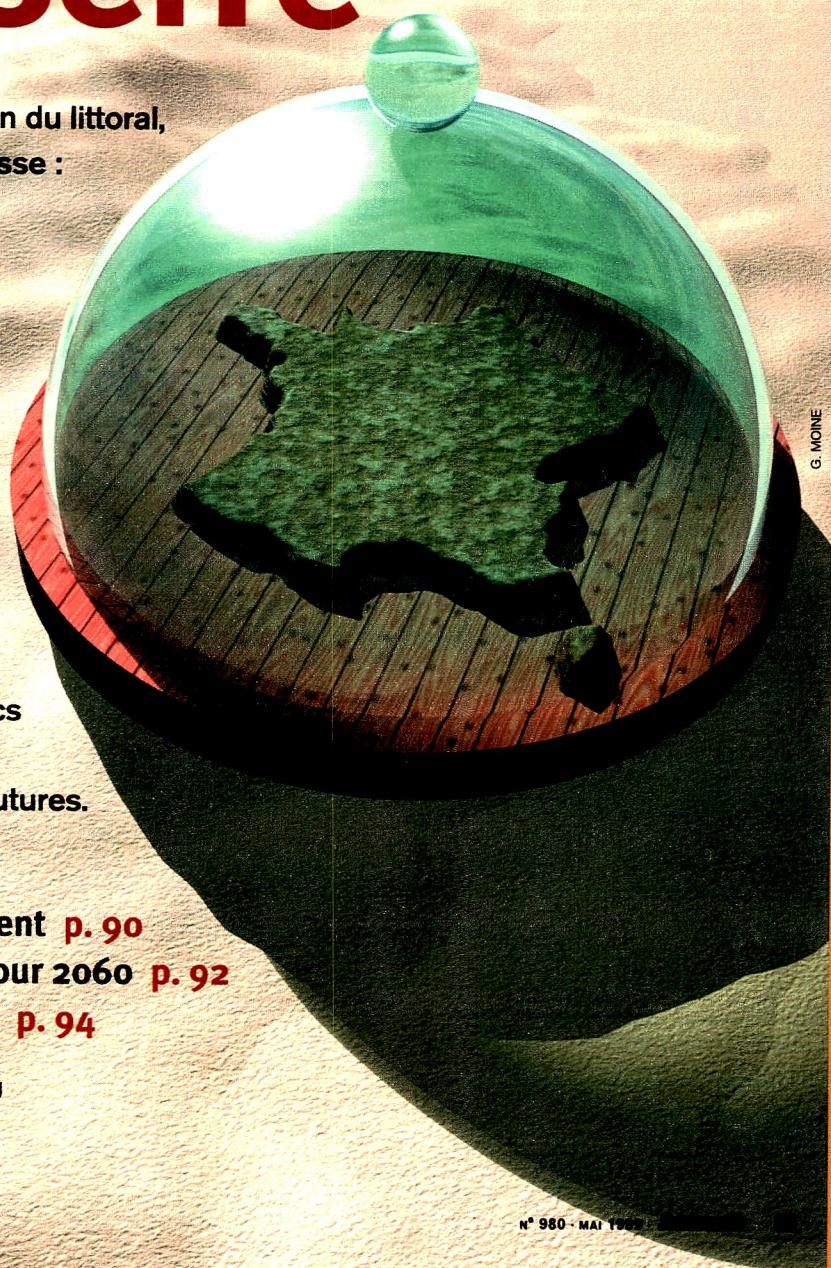
\*LOA 25 mois - Exemple pour une Ford Focus Trend ou Ambiente SP 1.4i AM 99. Prix recommandé au 01/02/99 : 87 000 F TTC. Apport : 20% dont Dépot de garantie : 2% - 24 loyers de 1.731,42 F - Option d'achat : 43 500 F. Cout total en cas d'acquisition : 100 714,20 F. Sous réserve d'acceptation du dossier par FCF Bank plc - RCS Nanterre 392 315 776 00022. Offre valable jusqu'au 30/06/99. \*\*Dans la limite des conditions définies au contrat.

**IdéeFord** Tous les deux ans, une voiture neuve.



# La France sous l'effet de serre

Avalanches, érosion du littoral, tempêtes, sécheresse : le réchauffement climatique aurait des conséquences désastreuses sur le territoire français, selon la Mission interministérielle de l'effet de serre. Un récent rapport doit permettre aux pouvoirs publics de se préparer aux catastrophes futures.



**Les temps changent p. 90**  
**Bulletin météo pour 2060 p. 92**  
**Avis de tempêtes p. 94**

PAR LOÏC CHAUVEAU



## Effet de serre

# Les temps changent

Il n'y a plus de doute : l'effet de serre détraque le climat.

Mais dans quel sens ? Une mission interministérielle a fait plancher des ordinateurs pour tenter de prévoir les conséquences du réchauffement global en France.

C'est désormais certain, le temps va changer. Les climats de la planète vont connaître au cours du siècle prochain de profonds désordres. Le réchauffement global de l'atmosphère, provoqué par l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, va affecter notre environnement, modifier la géographie, influer sur les cultures et les forêts, contraindre l'activité économique, provoquer des catastrophes naturelles et faire émerger de nouvelles maladies.

L'hiver dernier, pour la première fois, la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), un service qui dépend du Premier ministre, a avancé prudemment

quelques hypothèses sur les conséquences possibles du réchauffement du climat sur le territoire français. L'exercice peut paraître prématuré. Les pouvoirs publics sont cependant bien conscients qu'ils entrent dans une réflexion à la fois commune et particulière.

Commune, parce que les politiques savent depuis longtemps que «gouverner, c'est prévoir». S'il est un événement annoncé très à l'avance, c'est bien le changement climatique. Il serait donc malvenu de ne pas anticiper les évolutions possibles du phénomène sur l'économie, l'agriculture, la gestion du territoire et la santé publique.

Particulière, parce que l'échelle de temps dépasse largement les possibili-

### L'équilibre est rompu

En modifiant la composition chimique de l'atmosphère, la pollution industrielle perturbe les équilibres climatiques.



tés actuelles de prévision scientifique – ainsi que les durées de vie politique. On sait que le phénomène va se produire, mais on ignore ce qu'il va provoquer. Il est donc difficile d'exercer pleinement ses responsabilités.

La Mission interministérielle s'est pourtant lancée dans l'aventure, en prenant bien soin de préciser que ses travaux ne peuvent ambitionner de prédire l'avenir avec certitude. D'autant que les conséquences décrites dépendent des techniques de modélisation numérique des phénomènes physiques impliqués dans le réchauffement climatique. « La capacité des modèles à reproduire la réalité est limitée par les performances encore insuffisantes des meilleurs calculateurs actuellement disponibles, et par notre connaissance encore imparfaite de certains phénomènes », écrit Michel Petit, directeur général adjoint de l'Ecole polytechnique. « Le résultat des modèles ne peut donc être considéré comme une prédition fiable. »

Il existe un large consensus pour estimer que ces modèles permettent de cerner globalement l'évolution de la température moyenne et du niveau des mers. Mais les résultats à l'échelle locale, sur un territoire donné, sont nettement plus incertains. Les résultats d'un modèle peuvent donc être considérés comme des risques, certainement pas comme des prévisions.

On sait que les gaz à effet de serre augmentent régulièrement depuis un siècle. Les phénomènes physiques en jeu sont bien connus. Mais on ne sait évidemment rien des conséquences à long terme, puisqu'une projection n'est

## RAPPEL

### QU'EST-CE QUE L'EFFET DE SERRE ?

■ La température globale d'un corps dans l'espace résulte de l'équilibre entre les énergies qu'il reçoit et qu'il émet par rayonnement. Le rayonnement émis par la Terre est arrêté par la présence de certains gaz dans l'atmosphère terrestre, qui emprisonnent l'énergie et réchauffent ainsi la planète : c'est l'effet de serre. Les gaz responsables de l'effet de serre sont principalement le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ). Ces gaz sont formés de molécules triatomiques, seules capables d'absorber de manière importante les rayonnements solaire et terrestre. Les principaux composants de l'atmosphère – l'azote, l'oxygène et l'hydrogène –, formés de molécules diatomiques, jouent un rôle très faible dans l'équilibre énergétique. L'équilibre naturel est modifié par l'activité humaine. La modification de la composition chimique de l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle n'a pas eu d'équivalent au cours de l'ère quaternaire, comme le montrent les analyses d'échantillons de glace polaire prélevés à grande profondeur.

La concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère a augmenté de plus de 30 %. Quant à la teneur en méthane, elle a plus que doublé. Résultat, depuis un siècle, la température moyenne de la Terre a augmenté de 0,3 à 0,6 °C, et le niveau de la mer s'est élevé de 10 à 25 cm.

pas une prévision. De nombreux facteurs non pris en compte par les modèles pourraient également avoir une influence. C'est le cas, par exemple, d'une action internationale pour réduire les émissions de gaz carbonique, ou de phénomènes naturels encore inconnus aujourd'hui. ■



## Effet de serre

# Bulletin météo pour 2060

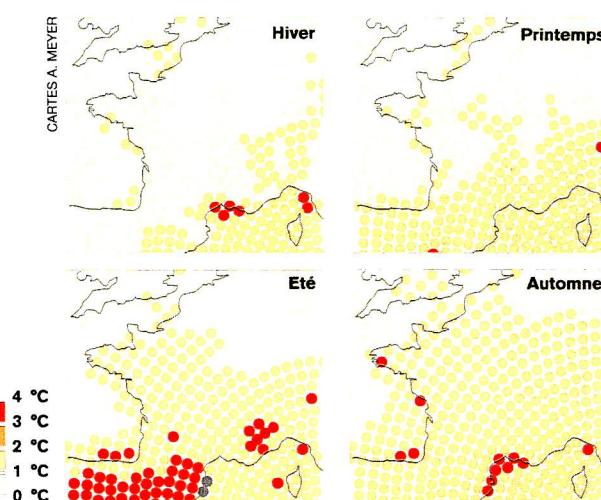
**Q**uel temps fera-t-il en 2060 ? Peut-être ne sera-t-il pas fondamentalement différent de celui que nous connaissons actuellement. Mais il fera vraisemblablement plus souvent un temps à ne pas mettre un chien dehors. D'une façon générale, la météo devrait être beaucoup plus tempétueuse, plus instable, plus marquée dans ses extrêmes.

Les températures et les précipitations moyennes ne devraient pas connaître de grands changements. On enregistrera des vents plus forts, des périodes sans pluies plus longues, et des précipitations plus marquées sur des périodes plus courtes. Un phénomène qu'on constate déjà un peu

partout en France : les tempêtes se font plus nombreuses en Méditerranée et en Bretagne, et le vent souffle plus fort dans l'Ouest (voir *Science & Vie* n° 979, p. 68).

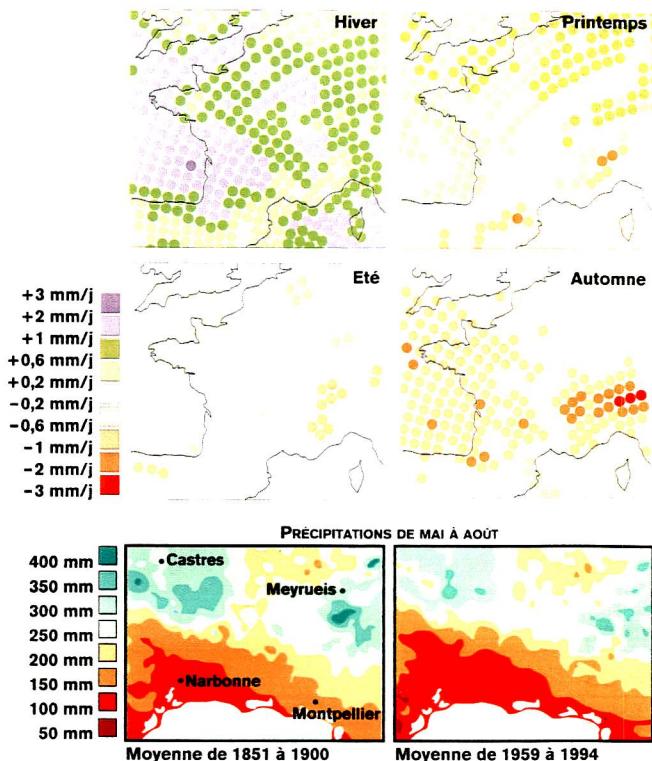
« Le service météorologique britannique a montré que l'augmentation des précipitations sur la Grande-Bretagne, provoquée par un doublement du taux de gaz carbonique, est liée à un accroissement du nombre de jours très pluvieux – où il tombe plus de 6 mm », note Michel Déqué, chercheur à Météo-France.

Pour prévoir les moyennes climatiques qui régneront en France dans un demi-siècle, Météo-France a choisi trois variables révélatrices des changements climatiques : les températures de surface, les



### Les températures

■ Chaque couleur correspond à une différence de température par rapport aux moyennes actuelles. La modélisation prévoit des hivers plus chauds de un à deux degrés – davantage sur le quart sud-est, car les eaux de la Méditerranée seront plus chaudes. Le printemps sera plus doux d'au moins deux degrés dans la moitié sud. Cette hausse du mercure s'étendra à l'ensemble du territoire en été et surtout en automne. Cependant, les températures ne seront jamais supérieures de plus de quatre degrés aux moyennes actuelles, et les hausses de trois degrés seront rares. La France devrait conserver un climat "modéré".



## Les précipitations

■ Chaque couleur correspond à une différence par rapport aux précipitations moyennes actuelles. En hiver, les précipitations seront plus abondantes dans tout l'Hexagone – plus particulièrement dans l'Ouest et sur les versants occidentaux des massifs. Au printemps, il pleuvra davantage sur l'Est mais un peu moins dans le Sud. En été, les précipitations diminueront légèrement (dans les Alpes, le phénomène sera plus marqué). Et, en automne, on comptera jusqu'à 3 mm d'eau par jour en moins.

Pour la région de Montpellier, des mesures des précipitations sur plus d'un siècle sont disponibles. La cartographie de la pluviométrie de mai à août, établie à partir des données de 75 stations météorologiques, révèle un déplacement de 35 km vers le nord de la ligne de sécheresse (moins de 150 mm d'eau).

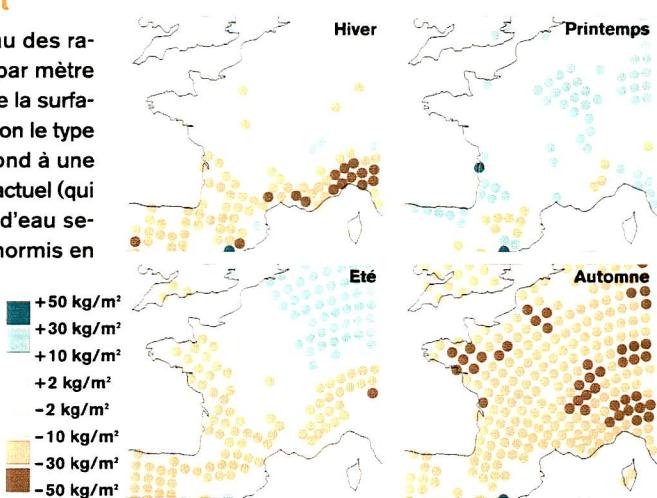
précipitations, et la quantité d'eau dans le sol. Ce dernier paramètre, moins courant que les deux autres, est pourtant plus pertinent : une partie des précipitations s'évapore ou ruisselle sans pénétrer dans le sol, et c'est la quantité d'eau disponible au niveau des racines des plantes qui a le plus gros impact sur l'environnement.

Les modélisations traitent le globe ter-

reste comme une juxtaposition de "boîtes". Plus celles-ci sont petites, plus le modèle est précis, mais plus il faut de temps à l'ordinateur pour faire les calculs. Dans les cartes ci-contre, les "boîtes" sont des carrés de 60 km de côté. On considère que le relief et les conditions météo sont les mêmes dans l'ensemble de la "boîte". ■

## Les réserves en eau du sol

■ La quantité d'eau disponible au niveau des racines se calcule en kilogrammes d'eau par mètre carré. La couche considérée se situe entre la surface du sol et de 1 à 3 m de profondeur, selon le type de végétation. Chaque couleur correspond à une différence par rapport au contenu moyen actuel (qui est de 400 kg/m<sup>2</sup>). L'hiver, les réserves d'eau seront moins importantes qu'aujourd'hui, hormis en Bretagne et dans l'Est. En revanche, les réserves de printemps augmenteront – sauf sur les Alpes et les Pyrénées. Le sol sera plus sec en été, à part dans le Nord-Est (où les pluies de printemps vont augmenter). L'automne sera une vraie saison sèche : les réserves vont baisser partout de 10 kg/m<sup>2</sup> à 50 kg/m<sup>2</sup>.



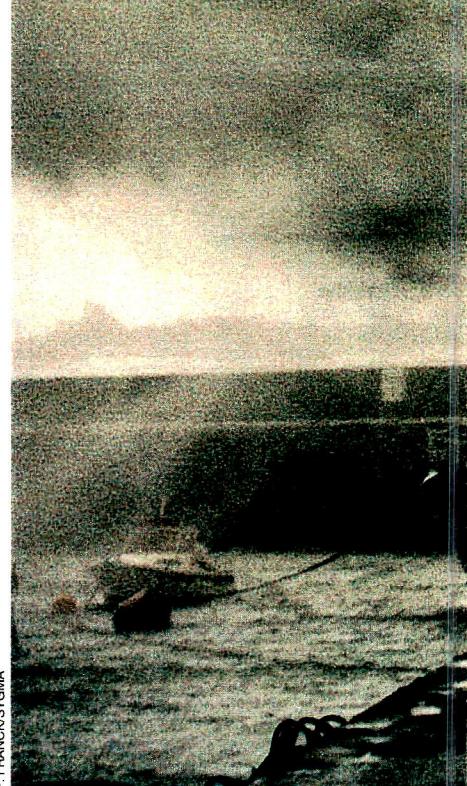


## Effet de serre

# Avis de tempêtes

**Tempêtes dévastatrices, avalanches en série, pluies diluviales, rivières en crue, côtes submergées... Inventaire des calamités qui guettent la France si le réchauffement climatique se confirme.**

P. PARROT/SYGMA



P. FRANCK/SYGMA

**L'**élévation du niveau des mers est la principale conséquence du réchauffement climatique. Elle est due à la fois à la fonte partielle des glaciers (principalement ceux des massifs montagneux) et à l'expansion thermique des couches superficielles des océans.

Sur le territoire français métropolitain, la hausse du niveau des mers est déjà à l'œuvre depuis plus d'un siècle (à raison d'un à deux millimètres par an), probablement du fait de l'instabilité du continent européen. Le réchauffement climatique pourrait donc accélérer un mouvement déjà en marche.

La Camargue est la région qui court le plus grand risque de submersion – d'autant que le delta tend à s'enfoncer sous le poids des sédiments, et que le Rhône n'apporte plus de dépôts. La surface des étangs d'eau salée compris entre l'étang de Vaccarès et les plages devraient augmenter. Les marais salants de Salin-de-Giraud, où l'on produit le sel "la Baleine", pour-

raient connaître de graves dommages.

Les lagunes de la côte du Languedoc sont également en grand péril. Les cordons littoraux ont déjà subi de gros dommages sous les coups de boutoir de tempêtes de plus en plus fréquentes. « Il faut s'attendre à une accentuation de la maritimisation des étangs », note Roland Paskoff, professeur à l'université Lumière de Lyon. Les activités agricoles (la viticulture, principalement) devraient souffrir du changement de milieu, et les nappes phréatiques d'eau douce se saliniseront. En revanche, l'aquaculture devrait être favorisée.

Il n'est pas certain que les marais de la



côte atlantique soient menacés. Le marais charentais, la baie de Somme, la baie du Mont-Saint-Michel reçoivent suffisamment de sédiments pour se maintenir, voire s'étendre aux dépens de la mer.

Mais les falaises du pays de Caux, en Normandie, sur lesquelles la mer gagne actuellement 30 cm par an, devraient voir augmenter leur recul.

Les plages sont tout particulièrement menacées, notamment sur la côte aquitaine, où le recul est déjà de 1,5 m par an. Les eaux salées risquent d'envahir les estuaires de la Loire et de la Gironde.

L'hiver 2060 pourrait bien ressembler à

un mélange de celui de 1998-1999, où il a fortement neigé, et de l'hiver 1997-1998, qui a été très chaud : fortes précipitations, épaisse couche neigeuse, fonte rapide aux plus basses altitudes des massifs montagneux, crues des rivières quasi-immédiates – dès le courant de l'hiver au lieu du printemps –, instabilité de la couche neigeuse, et augmentation des avalanches et des chutes de pierres.

« En cas d'augmentation des précipitations, il faut s'attendre à voir l'enneigement augmenter légèrement en haute montagne l'hiver. En revanche, aux altitudes moyennes, l'effet sur l'enneigement est

## Littoral en danger

**Des tempêtes  
toujours  
plus brutales  
ravagent le littoral  
(à gauche,  
dans l'Hérault en  
décembre 1997; à  
droite, en Bretagne  
en janvier 1998).  
Au cours du siècle  
prochain, les vents  
se feront de plus  
en plus violents,  
et les tempêtes,  
de plus en plus  
dévastatrices.**



## Effet de serre

faible, car le phénomène le plus important est la variation de température», note Eric Martin, de Météo-France. La couverture neigeuse sera de toute façon très perturbée en début et en fin d'hiver.

Selon les modélisations de Météo-France, la durée moyenne d'enneigement devrait être réduite sur tous les massifs (voir schémas ci-contre). «Dans le domaine du tourisme hivernal, les conséquences sont assez claires, poursuit Eric Martin : des problèmes se poseront aux stations qui ne disposent pas de domaine de haute altitude, quel que soit le massif.» On ne devrait pouvoir skier qu'au-dessus de 2500 m.

Encore faudra-t-il parvenir jusqu'aux

chutes de rochers et glissements de terrain. Un autre mécanisme (...) est la réduction de la cohésion des sols par la dégradation du permafrost à haute altitude, avec pour conséquence une augmentation des risques de flux de boue et de chutes de rochers.»

Davantage d'eau l'hiver, davantage de sécheresse l'été : les changements climatiques affecteront sans aucun doute les eaux superficielles et souterraines. Comment, cela reste à établir. Pas une rivière ne ressemble à une autre, et les nappes souterraines sont encore très mal connues.

### DÉBIT ACCRU ET RIVIÈRE EN CRUE

Le Bureau des recherches géologiques et minières (BRGM) et le Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts (CEMAGREF) ont mené une expérience grandeur nature sur un bassin versant : celui de la Dore, une rivière de la région de Thiers, dans le

Massif central. Etienne Leblois, du CEMAGREF, et Jean Margat, du BRGM, ont travaillé sur deux phénomènes prévisibles : la hausse des températures provoquera une augmentation de l'évapotranspiration, et l'accroissement des précipitations devrait augmenter le débit de la rivière. Par modélisation, les chercheurs ont reconstitué un an de débit de la Dore (en 2060). Ils en ont tiré trois conclusions :

- l'élévation des températures diminue légèrement la ressource en eau. Mais l'augmentation des pluies hivernales a un impact très fort sur les écoulements, qui sont deux fois plus importants;

- les crues augmentent très fortement du fait des pluies d'hiver. L'augmentation des températures n'atténue pas le volume des froids;

- les étiages (périodes où le niveau est bas) semblent diminuer très sensiblement, du fait d'une évapotranspiration plus importante.

Pour les eaux souterraines, les prévisions sont plus difficiles à établir. Seules

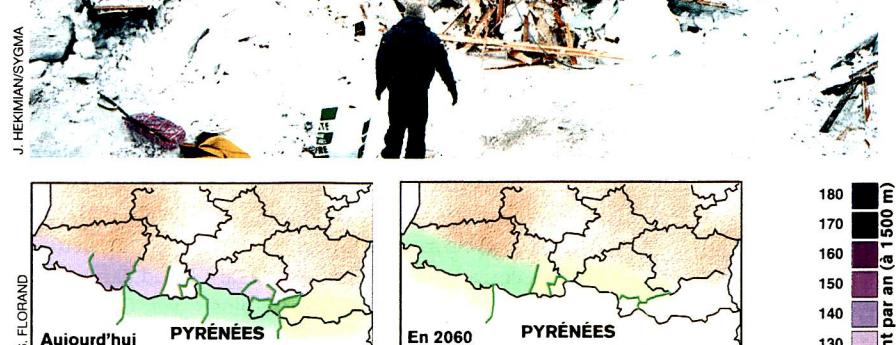
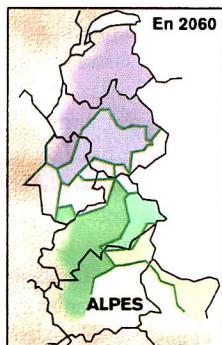
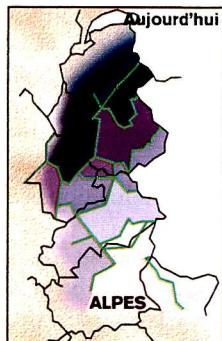


B. PAMBOUR/BIOS

### La Camargue rayée de la carte

**La Camargue est la région la plus menacée par l'élévation du niveau des mers. Ses étangs littoraux pourraient disparaître, annexés par la Méditerranée.**

stations... L'hiver 1998-1999 a en effet montré que les phénomènes climatiques ont une conséquence directe sur l'accès aux stations – ce qui devrait être encore plus marqué dans le futur. «Les changements climatiques peuvent affecter un grand nombre de processus érosifs», prévient Lucien Tessier, du Centre national de la recherche scientifique (CNRS). «Si les précipitations croissent en volume et en intensité, elles peuvent entraîner



les nappes de premier sous-sol des plaines et des plateaux (Bassin parisien, Beauce, Brie) sont directement alimentées par l'infiltration des pluies. En principe, l'accroissement des pluies d'hiver devrait faciliter la recharge des nappes. Cependant, une bonne partie de ces pluies n'iront pas dans la nappe mais ruisselleront et érodent les sols, car les précipitations seront plus violentes : « Donc, dans l'ensemble, pas d'appauvrissement de la ressource, mais des gains modestes et inégaux et quelques fragilisations locales », concluent prudemment les chercheurs.

### LES CYCLES VÉGÉTAUX S'AFFOLENT

Selon Michel Robert, du ministère de l'Environnement, les changements climatiques auront trois effets principaux sur les sols :

- l'effet de serre va accroître la production végétale, selon le principe des cultures sous serre. Ce phénomène augmentera les retours de carbone dans le sol.

- l'élévation de la température va stimuler l'activité microbienne et donc accélérer la dégradation des matières organiques. La décomposition des organismes sera plus rapide.

### Avalanches en prévision

**En 2060, la durée annuelle d'enneigement en montagne sera plus courte, malgré des chutes de neige beaucoup plus importantes dans tous les massifs. Résultat : des avalanches plus fréquentes, jusque dans des zones aujourd'hui considérées comme sûres. La catastrophe du Tour, en février dernier, annonce cette plus grande instabilité du manteau neigeux.**

- les modifications des régimes de précipitations affecteront autant le végétal que les micro-organismes.

En 2060, la production végétale pourrait augmenter de 30 %. Les activités de biodégradation pourrait être accélérées de 30 %. Les écosystèmes seront plus productifs, avec des cycles de vie accélérés. L'augmentation des pluies en hiver, saison où les sols agricoles sont à nu, provoquera vraisemblablement une augmentation de l'érosion. Les pertes en sol fertile pourraient donc s'intensifier. Sous les effets conjugués de la sécheresse et des feux de forêt, les sols méditerranéens pourraient gravement s'appauvrir.

Le réchauffement climatique devrait réduire la durée du cycle de vie des plantes, notamment de celles semées





# Effet de serre

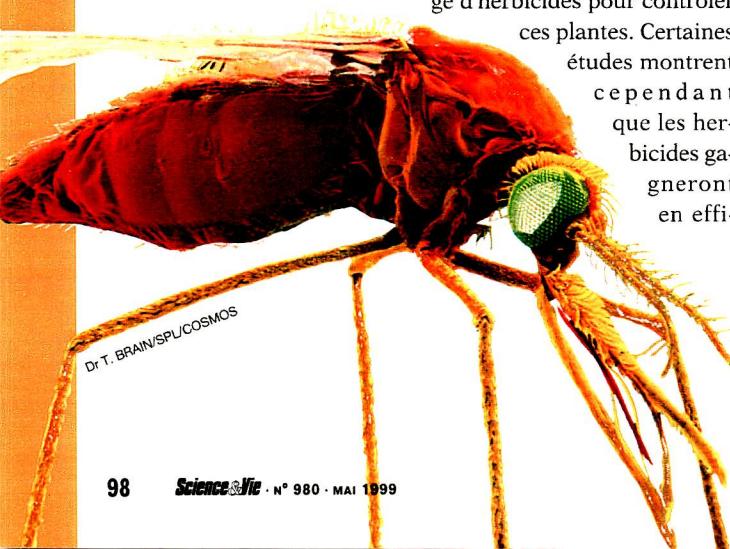
en hiver. On devra donc récolter le blé beaucoup plus tôt dans l'année. Les rendements de ces plantes d'hiver devraient sensiblement augmenter. Cependant, le réchauffement pourrait affecter les "besoins en froid" des graminées, qui nécessitent des températures basses pour commencer à former leurs épis ("épiaison"), au printemps. Les plantes de printemps, au cycle déjà très court (le maïs, planté en mars, est récoltable à l'automne), ne supporteront pas une réduction supplémentaire du cycle sans dommages.

Le maïs devrait, par ailleurs, avoir à faire face à des périodes de sécheresse plus marquées. Il y aurait une augmentation des conflits sur la ressource en eau pour ces cultures irriguées. Pour les pommes de terre, les températures relativement élevées en début de cycle (début du printemps) nuiraient à la qualité de la tubérisation. Et la diminution de la durée du cycle de la vigne provoquerait une baisse des quantités récoltées – sans que la qualité en soit affectée.

L'effet de serre sera également bénéfique aux mauvaises herbes. L'accélération des cycles et l'augmentation de la fertilisation carbonée favorisera encore leur croissance. La compétition sera plus sévère, et il faudra donc utiliser davantage d'herbicides pour contrôler ces plantes. Certaines études montrent cependant que les herbicides gagneront en effi-

## L'ère des ravageurs

**Le réchauffement climatique est favorable à la pullulation d'insectes nuisibles (ici, un moustique anophèle) et à l'augmentation de leurs aires de répartition. Une lourde menace pour l'agriculture et pour la santé.**



cacité avec la hausse des températures.

L'abondance des pluies d'hiver et la probabilité que l'atmosphère soit plus humide au printemps font redouter que le développement des maladies cryptogamiques ne soit favorisé. On peut s'attendre également à une pullulation des insectes ravageurs.

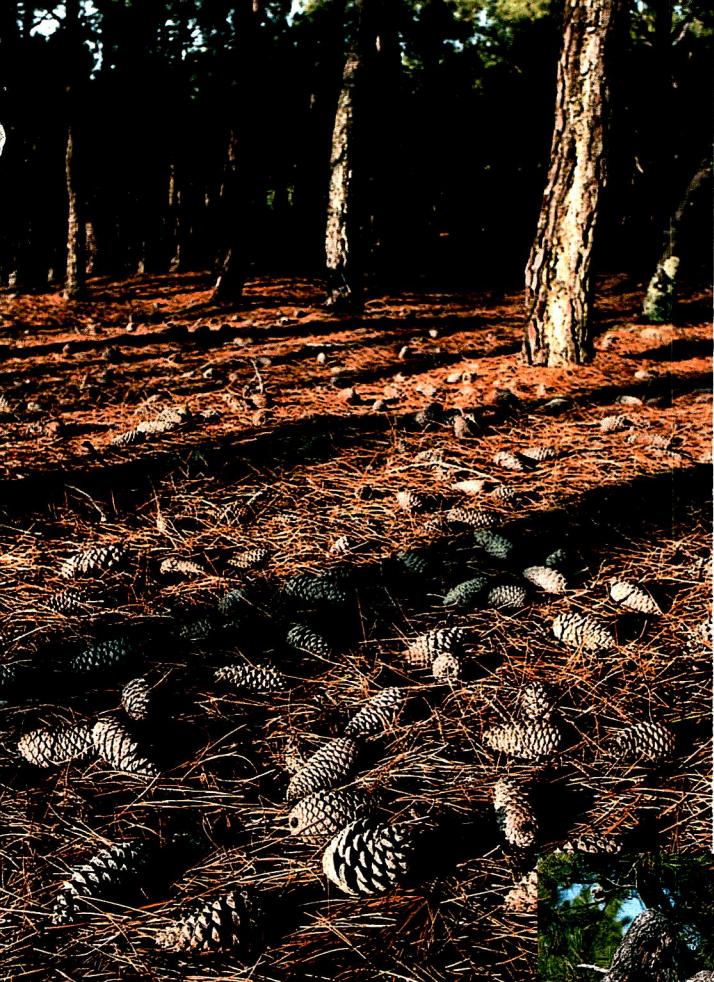
Le réchauffement climatique fait courir un risque à toutes les espèces d'arbres : la précipitation. En effet, la hausse des températures ferait survenir le débourrement des bourgeons très tôt dans l'année, accentuant les risques de désastre en cas de gelées tardives.

Pour 2060, les écologues s'attendent à une extension vers la moitié nord de la France d'espèces comme le pin maritime, le pin d'Alep, le chêne pubescent, le chêne vert, actuellement confinées dans le Sud par les températures minimales d'hiver. Ces mêmes espèces pourraient rencontrer des difficultés dans leurs zones actuelles, du fait de l'allongement des périodes de sécheresse. Le pin maritime d'Aquitaine pourrait être affecté, ainsi que le chêne pubescent et le chêne vert, qui disparaîtraient des zones méditerranéennes de basse altitude.

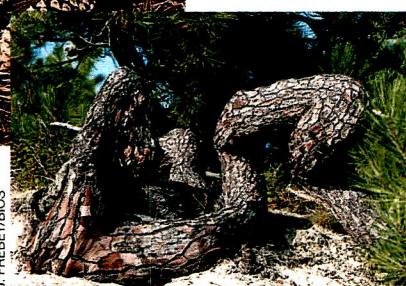
Le manque d'eau affecterait également les forêts du Nord de la France. Le chêne et surtout le hêtre souffriraient de ces nouvelles contraintes hydriques. Les résineux comme l'épicéa, le sapin pectiné et le pin Douglas sont eux aussi concernés. Les reboisements des forêts du Nord de la France devraient se faire avec des espèces plus adaptées, comme les cèdres et les sapins méditerranéens.

## DOUX HIVERS ET ÉTÉS MORTELS

Mais l'environnement ne sera pas seul à être bouleversé par les changements climatiques. La santé humaine pourrait également en être affectée. Certaines conséquences potentielles s'avéreraient sans doute bénéfiques, alors que d'autres seraient défavorables. Des maladies pourraient frapper à d'autres saisons qu'actuellement, et certaines pathologies pourraient passer les frontières et intervenir à des latitudes où elles sont inconnues aujourd'hui. Mais aucun de ces



KLEIN/HUBERT/BIOS



J.FRENET/BIOS

risques n'est encore certain. Ainsi, l'augmentation des cancers cutanés est une prévision hâtive. Car le réchauffement n'induit pas forcément un allongement de la durée d'ensoleillement ni un rayonnement ultraviolet plus important dans les basses couches de l'atmosphère.

Cela posé, on peut, avec prudence, imaginer quelques possibles conséquences. Ainsi, il se pourrait que l'on meure moins en hiver : « Si l'on extrapole à partir des situations rencontrées aujourd'hui lors d'hivers particulièrement doux sur les deux tiers septentrionaux de la France, il est permis d'attendre, pour le milieu du xx<sup>e</sup> siècle, un recul de l'ordre de 5 à 7 % du nombre des décès enregistrés en hiver », note Jean-Pierre Besancenot, du groupe de recherche Santé et climat du CNRS.

A l'inverse, la chaleur de l'été devrait entraîner une surmortalité : « Seraient sans doute spécialement touchées les

## Forêts assoiffées

**Les forêts landaises devraient souffrir de l'allongement des périodes de sécheresse. Des espèces comme le pin maritime remonteront alors vers le nord.**

couches les plus âgées de la population, les catégories sociales les moins favorisées (dépourvues d'installation de conditionnement d'air et souffrant souvent de polyopathologies intriquées), ainsi que les femmes (lesquelles, au-delà de la soixantaine, présentent plus fréquemment que les hommes des troubles de la sudation et régulent moins efficacement leur température interne). » On devrait constater en été une recrudescence des maladies cardio-vasculaires, cérébrovasculaires et respiratoires. Dans quelle proportion ? Difficile à dire. A titre d'exemple, en juin 1976, l'une des années les plus chaudes et les plus sèches de ces dernières décennies, on a enregistré 25 % de décès en plus qu'en juin 1975.

Outre ces maladies, on peut craindre une augmentation des cas d'asthme, liée à une plus grande vigueur du monde végétal : certaines plantes très allergisantes élargiraient leur aire de répartition grâce à un climat plus favorable. Les pollens

de cyprès pourraient devenir des allergènes majeurs jusqu'en Bourgogne et en Touraine. La Provence et le Languedoc-Roussillon pourraient être affectés par le pollen d'arganier, qu'on ne

trouve actuellement que dans le Sous (Sud du Maroc).

La hausse des températures pourrait également provoquer une plus grande prévalence des calculs urinaires, dont le signe avant-coureur est la déshydratation : « La France du Sud (domaine méditerranéen) et de l'Est (domaine semi-continentale) pourrait ainsi se trouver annexée à la "ceinture de pierre", zone particulièrement éprouvée qui se cantonne pour l'instant aux latitudes subtropicales à tendance aride ou semi-aride, signale Jean-Pierre Besancenot. On constate d'ores et déjà, jusqu'en Ile-de-France, que le nombre d'épisodes de coliques néphrétiques augmente fortement au cours des périodes caniculaires. »

# Breitling Orbiter 3

le t  
de la



Sans des techniques de prévision météorologique s'appuyant sur des réseaux globaux d'observation, encore inexistant il y a dix ans, Bertrand Piccard et Brian Jones n'auraient pu accomplir leur tour du monde historique en 19 jours, 21 heures et 15 minutes.

## Plus haut que l'Arc de Triomphe

Avec ses 55 m de hauteur, l'enveloppe du *Breitling Orbiter 3* représentait un volume de 18 500 m<sup>3</sup> (de quoi contenir sept piscines olympiques!). Son poids total, avec la cabine pressurisée, atteignait celui d'un avion de chasse.



# riomphe météorologie

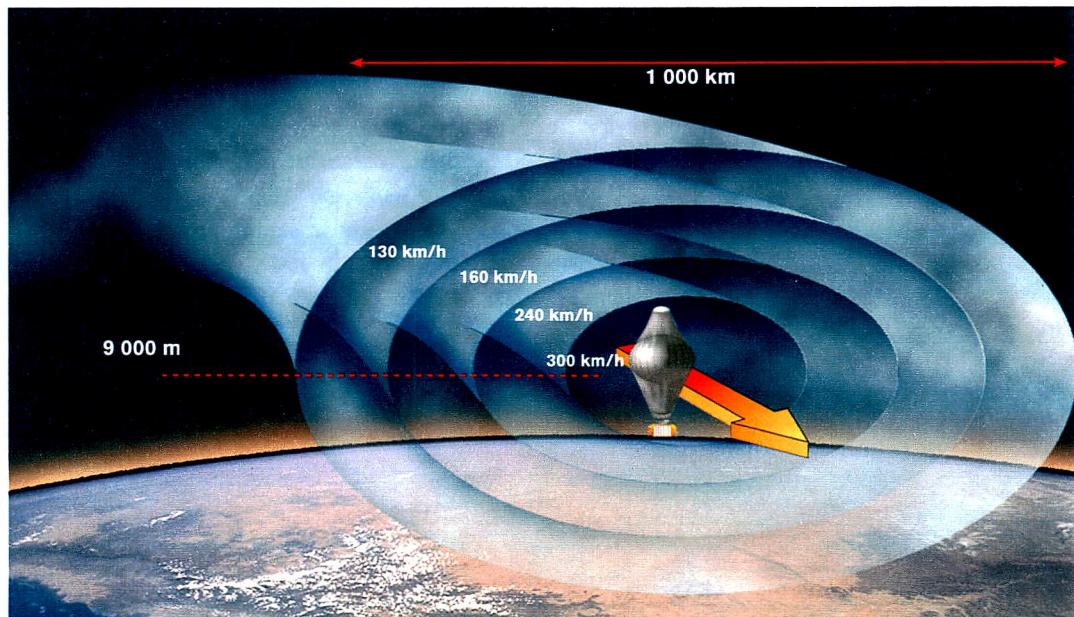
**L**e secret de la réussite du *Breitling Orbiter 3* réside, certes, dans la mise au point technique du ballon lui-même, mais surtout dans l'exploitation optimale qui a été faite des courants de vent en altitude. Un ballon de ce genre se comporte comme une sorte de chaloupe entraînée au gré d'une rivière au flot rapide, sans possibilité de manœuvrer en direction. Seule différence entre le bal-

lon et la chaloupe : le ballon peut monter au descendre, afin de se placer dans le courant de vent le mieux orienté, selon l'itinéraire général qu'il veut suivre. Et dans le courant le plus rapide, afin de boucler son périple en moins de temps possible.

Car, bien sûr, son autonomie dépend de la provision de carburant qu'il peut emporter. Ce carburant sert à réchauffer la bulle d'hélium, afin de la dilater et

P. FAYOLLES/ SIPA





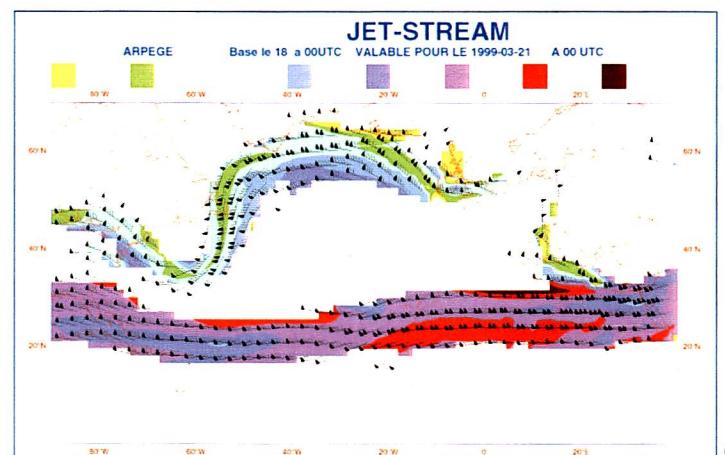
S. FLORAND

## L'art de bien emprunter les courants jets

Le record a reposé sur la bonne utilisation des "courants jets", animés par des vents de 100 à 300 km/h. Ces courants aériens puissants qui se trouvent entre 7 000 et 12 000 mètres ont la forme de tubes aplatis de plusieurs centaines de kilomètres de large pour quelques kilomètres seulement de haut. Ci-contre, la carte montre le courant jet (en mauve) emprunté par le *Breitling Orbiter 3* le jour de son arrivée.

d'augmenter ainsi son altitude.

Le *Breitling Orbiter 3* de Bertrand Piccard et Brian Jones était en effet un ballon de type Rozier, ou ballon mixte, combinaison entre



DR

te fonction, comme dans les montgolfières, où un brûleur permet à l'aérostier de réchauffer l'air contenu dans l'enveloppe. Un gaz léger, comme l'hélium, préféré à

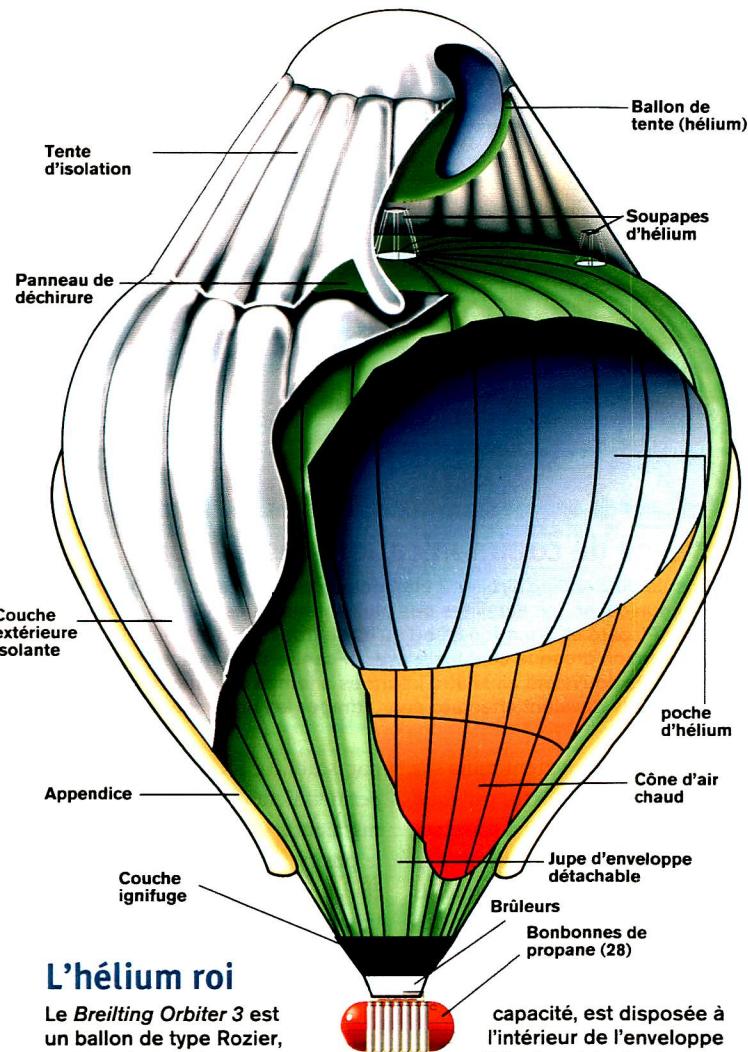
cendre en fonction de l'ensoleillement (jour ou nuit), et afin de se placer dans le courant de vent le plus favorable, la combinaison des deux techniques se révèle la meilleure. Ainsi, sur le *Breitling Orbiter 3*, une poche d'hélium surmontait un cône d'air chaud, alimenté par des brûleurs à propane (28 bouteilles au total). Le tout étant coiffé par une "tente" de protection, afin de réduire et de mieux contrôler l'effet des radiations solaires sur l'hélium, qui provoquent sa dilatation.

Au départ, la poche d'hélium

## La meilleure combinaison : un ballon mixte, à air chaud et à gaz

un ballon à air chaud et un ballon à gaz. Il s'agit toujours d'assurer la sustentation en altitude grâce à une poche de gaz plus léger que l'air. L'air chaud peut remplir cet-

l'hydrogène pour des raisons de sécurité, remplit la même fonction. Mais pour un vol aussi long qu'un tour du monde, au cours duquel le ballon va monter ou des-



## L'hélium roi

D. GALLAND

**Le Breitling Orbiter 3 est un ballon de type Rozier, combinaison entre un ballon à air chaud et un ballon à gaz. Une poche d'hélium, remplie au départ à 47 % de sa**

capacité, est disposée à l'intérieur de l'enveloppe d'air chaud. Le "ballon de tente" permet de réduire les effets thermiques dus aux rayonnements solaires.

n'est effectivement remplie qu'à 47 % de sa capacité maximale. Lors de l'ascension initiale, le volume d'hélium va augmenter, sous l'effet combiné de la baisse de la pression atmosphérique et de la dilatation du gaz dû à l'effet thermique du soleil. Le ballon va ainsi pouvoir se hisser en altitude, jusqu'au niveau jugé favorable. L'équipage surveille d'ailleurs en permanence le volume d'hélium. En cas de trop forte dilatation de la poche, qui entraîne un risque d'explosion, il devient parfois nécessaire de libérer une petite par-

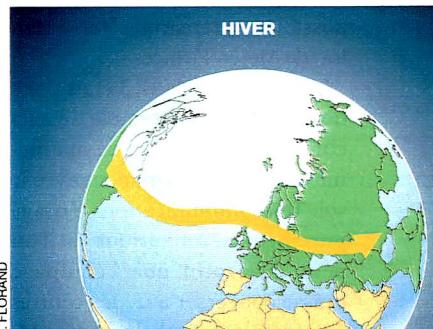
tie du gaz. A la fin du vol, la quantité d'hélium est donc réduite à une fraction de ce qu'elle était au départ.

### LA "CHALOUE DU CIEL

La nuit, la baisse de la température provoque la contraction de l'hélium, donc une perte progressive d'altitude. Les brûleurs à propane permettent alors de réchauffer l'air du cône, qui réchauffe à son tour l'hélium, afin de stabiliser le ballon à l'altitude désirée. La réussite du vol tient à cela, puisque la "chaloupe" du ciel cherche à se

## L'hiver, la meilleure saison pour le tour du monde

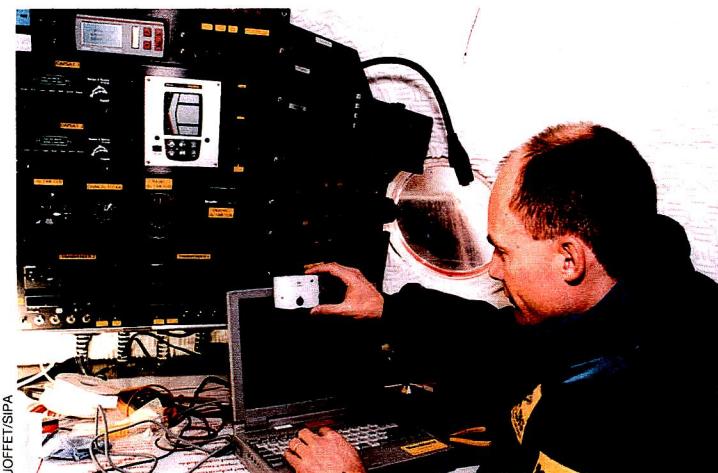
Un jet stream (en jaune) se trouve toujours à l'arrière d'un front froid (en bleu) et à l'avant d'un front chaud (en rouge). Il est créé par les différences de température entre des masses d'air. Plus la température est élevée, plus le vent est puissant. En été, dans l'hémisphère nord, les températures le rejettent vers le nord, alors qu'en hiver, on le retrouve plus au sud. Les jets streams sont fragmentés selon la situation météorologique. Pour faire le tour du monde, il faut les "attraper" les uns après les autres.



maintenir dans le courant des vents en altitude qui l'emportent à grande vitesse. C'est là où intervient l'assistance des équipes au sol dans le domaine météorologique, équipes qui, dans le cas du *Breitling Orbiter 3*, se trouvaient au centre de contrôle situé à Genève. Leur rôle est primordial.

## L'ÉQUIPAGE IGNORE OÙ SE SITUENT LES COURANTS

A bord du ballon, l'équipage n'a aucune possibilité de savoir où se situent les courants favorables. Il ne peut que constater l'altitude exacte du ballon et sa vitesse de déplacement par rapport au sol ou aux océans, grâce à son système de navigation GPS, qui se réfère à des satellites en orbite autour de la Terre pour fournir des positions en coordonnées géographiques. Mais ce sont les météorologues qui, en fonction des prévisions dont ils disposent (prévisions à 72 heures), indiquent à l'équipage quelle altitude il doit prendre pour bénéficier des meilleures conditions de navigation possible. Les modèles numériques utilisés aujourd'hui, tout



## Système de communication très élaboré

**La capsule du *Breitling Orbiter 3* était dotée de moyens de navigation et de communication par satellites des plus sophistiqués. Cela a permis à Bertrand Piccard et Brian Jones, où qu'ils se trouvent, d'être en communication presque constante avec le centre de planification du vol à Genève. Ils pouvaient ainsi être informés à temps des manœuvres précises qu'ils devaient effectuer pour attraper les bons courants jets.**

ronefs qui se trouvaient dans ses parages, les aéroports, puisque son itinéraire l'amenaît à traverser des zones où naviguaient des avions de ligne, par exemple. Il disposait pour cela de deux postes radio VHF (*Very High Frequency*), dont la portée est fonction de l'altitude à laquelle vole l'utilisateur.

par satellite INMARSAT C, qui permettaient l'envoi de fax et fournaissent à Genève, en temps réel, la position et l'altitude exactes du *Breitling Orbiter 3*. A quoi s'ajoutait un système de transmission de communications vocales entre l'équipage et les gens au sol. Les météorologues suisses étaient donc à même de travailler en véritable osmose avec Bertrand Piccard et Brian Jones. La réussite a tenu à cela.

Le succès a également tenu au choix de la période pour effectuer cette audacieuse tentative.

## ÉVITER LA DÉRIVE VERS UN COURANT CONTRAIRE

Il s'agissait en effet, pour les deux aéronautes, de profiter au mieux des fameux "courants-jets", vents très forts qui existent à haute altitude, notamment à certains moments de l'année.

En météorologie, on désigne sous le nom de "jets" des vents qui dépassent la vitesse de 60 noeuds, soit nettement plus de 100 km/h. Ces vents-là intéressent particuliè-

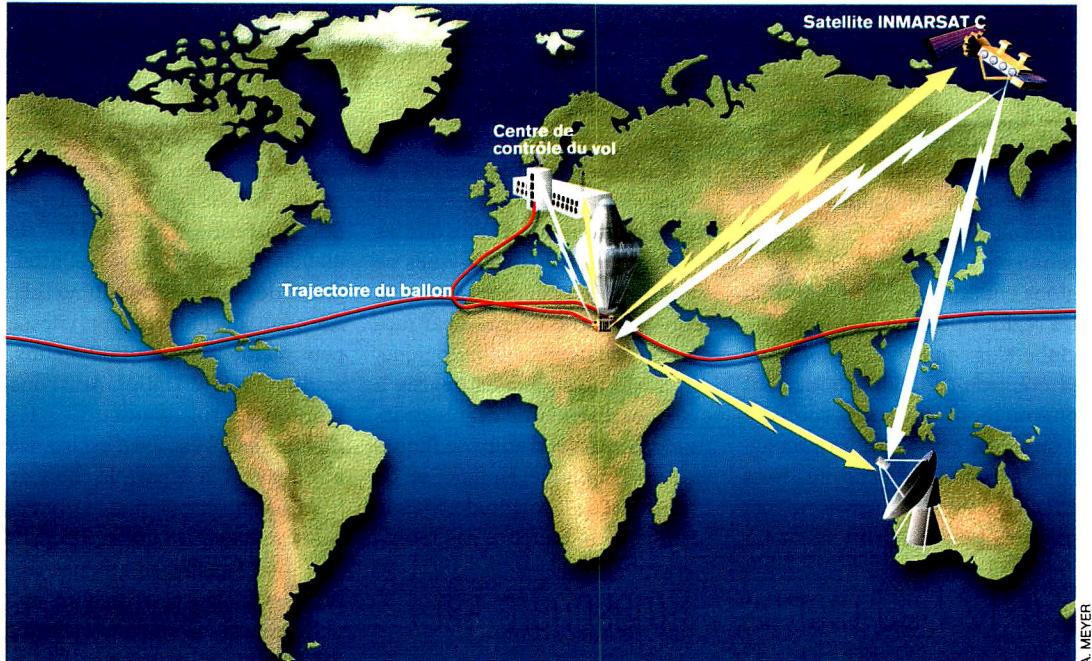
# Une navigation aérienne sur de « véritables fleuves atmosphériques »

comme les moyens de calcul modernes, permettent de réaliser des prévisions fiables de ce genre. « Il y a vingt ans, cela n'aurait pas été possible... », remarque Hervé Hal-lot, de Météo France.

Le *Breitling Orbiter 3* était donc doté de tout un ensemble de télécommunications afin de maintenir un contact permanent avec le sol. Télécommunications à usage purement aéronautique, si l'on peut dire, afin que l'équipage puisse converser avec les centres de contrôle aériens, les autres aé-

A quoi s'ajoutaient deux transpondeurs radars, qui facilitent le repérage par les radars au sol en indiquant à ces derniers la position, l'altitude et l'identité du ballon. Plus deux postes radio HF (*High Frequency*), capables d'assurer des liaisons lointaines, n'importe où dans le monde.

Mais surtout, pour ce qui concerne la navigation au plus près des courants aériens, le centre de contrôle de Genève et le ballon étaient reliés par deux systèmes de transmission de données



A. MEYER

rement les avions commerciaux, qui cherchent à les utiliser lorsqu'ils leurs sont favorables (vent arrière), afin de réduire les temps de trajet, donc les dépenses de carburant. Ou à les éviter, en passant au-dessus ou en dessous des altitudes où ils se manifestent, lorsqu'ils leur sont défavorables (vent de face). On peut en dire autant des "courants-jets" (*jet-stream*, en anglais), qui se caractérisent par des vitesses encore supérieures, 100 nœuds (185 km/h), 150 nœuds (278 km/h), voire 200 nœuds

## A chaque instant, la position et l'altitude du ballon étaient connues

A chaque instant de sa trajectoire (en rouge) le *Breitling Orbiter 3* était en communication avec son centre grâce à deux systèmes Inmarsat C de transmission de données (en blanc). Un système Inmarsat Mini-M (en jaune) permettait les liaisons vocales. Deux transpondeurs radars indiquaient l'altitude et l'identité du ballon aux centres de contrôle aériens régionaux. Deux radios VHF et HF permettaient de converser avec les avions. Enfin, un système GPS donnait en permanence la position et l'altitude du ballon au centre de Genève.

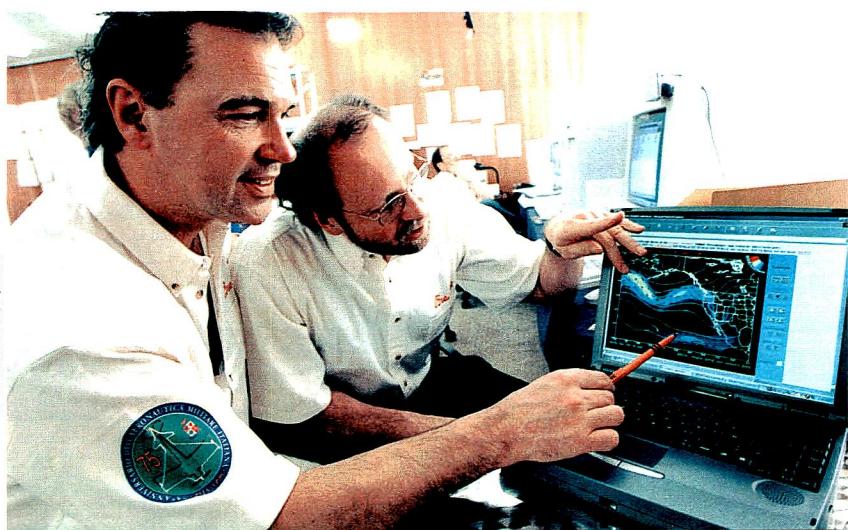
(370 km/h), en fonction des altitudes et des saisons, sur des centaines ou des milliers de kilomètres de long. Selon l'image qu'en donne Hervé Hallot, il s'agit

alors de « véritables fleuves atmosphériques ». Des fleuves de quelques milliers de mètres d'épaisseur au maximum. D'où l'autre image qui vient à l'esprit,

## Les héros de l'ombre ont contribué au succès

**Luc Trullemans** (à gauche) et **Pierre Eckert** (à droite) sont les héros méconnus du premier tour du monde en ballon. La qualité de leurs analyses (ils montrent ici, le 14 mars, la situation du courant jet subtropical), fondées sur les données du service météorologique suisse, a permis aux aéronautes de prendre les bons "jets" au bon moment.

M. TREZZINI/KEystone/AFP



celle de la chaloupe de l'air, avec à son bord un équipage qui cherche à se maintenir dans le courant le plus fort, pour aller le plus vite possible.

En schématisant, on peut dire que la circulation atmosphérique générale est régie par des échanges d'énergie entre les régions équatoriales (air chaud) et les régions polaires (air froid) du globe. Ces échanges conduisent à la création de courants aériens plus ou moins puissants, soufflant d'ouest en est. Ces courants aériens seront nettement plus forts à haute altitude, puisqu'ils ne sont pas ralentis par le frottement sur

Dans l'hémisphère nord, on les rencontre durant notre période d'hiver. Et pendant notre été, on les trouve dans l'hémisphère sud, période d'hiver pour les régions situées en dessous de l'équateur (1).

Pour être tout à fait précis, il convient cependant de dire que les hémisphères météorologiques ne se définissent pas par rapport à l'équateur terrestre, mais par rapport à l'équateur météorologique, qui varie de quelques degrés à quelques dizaines de degrés de latitude, de part et d'autre de l'équateur géographique, en fonction de la saison et de la longitude. Mais le résultat n'en demeure pas moins

tropicaux), et dans notre hémisphère, en période hivernale. C'est-à-dire au moment où les contrastes thermiques, donc énergétiques, entre équateur et pôle sont particulièrement accentués.

Ces "courants-jets" se situent à des altitudes voisines de 40 000 pieds (12 000 m), et atteignent des vitesses de 100 noeuds. Au cœur de l'hiver, leur vitesse peut même friser les 200 noeuds, souligne Hervé Hallot. Ainsi que l'indiquaient d'ailleurs les membres de l'équipe d'assistance au sol avant le départ, le choix de la saison hivernale pour faire décoller le *Breitling Orbiter 3* constituait non pas une simple possibilité parmi d'autres, mais bien une obligation si l'on voulait bénéficier des conditions les plus favorables.

Cependant, même si certains de ces "courants-jets" s'étendent sur plusieurs milliers de kilomètres de long, ils ne forment pas une ceinture continue autour du globe, une sorte de tube de vents forts .....

(1) La circulation des "courants-jets" à haute altitude constitue le pendant des vents alizés dans les basses couches atmosphériques. C'est le météorologue britannique George Hadley qui, prenant en compte l'action déviatrice de la rotation terrestre, mit au point, en 1735, une théorie thermique des vents alizés. La "cellule de Hadley" est l'une des composantes du modèle de circulation atmosphérique qui permet d'expliquer notamment les "courants-jets" subtropicaux.

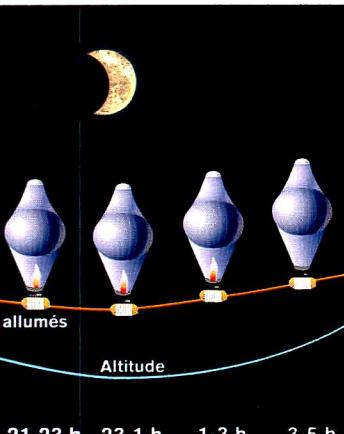
## A 12 000 mètres, l'atmosphère est raréfiée et le froid intense

la surface du globe, et ont tendance à s'accélérer. Et ils ne se manifesteront pas aux mêmes endroits à telle ou telle période de l'année.

là : on trouve des "courants-jets" très forts, d'ouest en est, réguliers et constants, vers 30° de latitude nord (d'où leur nom de jets sub-

## Chauder pour reprendre de l'altitude

Lors de l'ascension, la bulle d'hélium se dilate sous les effets de la baisse de la pression atmosphérique et de la dilatation des gaz réchauffés par le rayonnement solaire. Pour éviter l'explosion de l'enveloppe, la dilatation doit être sous contrôle constant. La nuit, la chute de la température provoque la contraction de l'hélium, et le ballon redescend. Si l'on veut monter pour prendre un "jet" ou conserver son altitude, il faut réchauffer l'hélium à l'aide des bonbonnes de propane. Les réserves du *Breitling Orbiter 3* étaient calculées pour vingt et un jours de vol.



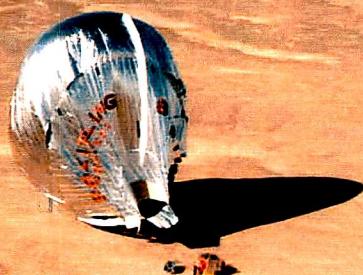
A. MEYER

## Moment historique

P. FAYOLLE/SIPA



**La dernière grande aventure aéronautique du siècle vient de s'achever. Le rêve de Jules Verne s'est accompli en moins de vingt jours. Le *Breitling Orbiter 3* vient d'atterrir dans le désert égyptien. Les deux héros peuvent bien sabrer le champagne.**



DURAND/SYGMA

dans lequel le ballon n'aurait qu'à se positionner. Ce serait trop simple. Ils sont souvent fragmentés. Les météorologues devaient en tenir compte dans l'élaboration de la tactique et de la stratégie du vol. Il s'agissait de guider le ballon à distance, en anticipant les manœuvres qui, de l'extrémité d'un premier "courant-jet", conduiraient le *Breitling Orbiter 3* vers le début d'un second "courant-jet" bien orienté, en profitant des vents même relativement faibles soufflant à moyenne altitude, par exemple, mais dans la direction appropriée.

En évitant surtout la dérive vers un troisième "courant-jet" qui ne conduirait nulle part. Ou vers une zone de calme absolu, un peu comme la chaloupe qui, emportée par des remous, se retrouve en calminée plus loin dans un bras

mort du fleuve ou de la rivière. La tâche des météorologues, encore une fois, s'est donc révélée pri-mordiale.

### NACELLE HERMÉTIQUE ET PRESSURISÉE

Les courants les plus rapides se situant parfois vers 40 000 pieds (12 000 m), il fallait enfin pouvoir disposer d'une nacelle, d'une cabine, qui assure un certain confort aux deux aéronautes, et en tout cas leur survie. A cette altitude, l'atmosphère est raréfiée, et les températures extrêmes (souvent - 55 °C). La cabine était donc hermétiquement close et pressurisée, selon le même principe que les cabines spatiales, avec fourniture d'oxygène, absorption des mauvaises odeurs par deux filtres à charbon actif, et régénération du gaz carbonique par des filtres au

lithium. Avec une provision d'azote sous pression pour repressurer la cabine, en cas de dépressurisation accidentelle.

Quant à la température, elle était maintenue au minimum à 15 °C par un échangeur de chaleur, du fluide de silicium chauffé par les brûleurs à propane (ou par deux flammes indépendantes lorsque les brûleurs étaient éteints) qui jouaient le rôle de fluide calorifuge vers l'intérieur de la cabine.

C'est la combinaison de toutes ces caractéristiques techniques, alliée à l'intelligence et au savoir-faire des hommes au sol, au courage et à la résistance physique et psychologique des deux aéronautes, qui a permis la réalisation de l'exploit du *Breitling Orbiter 3*. Une sorte de triomphe de l'anti-hasard, puisque rien n'avait été négligé. ■

# L'homme qui a dévoilé le système nerveux

**B**rown-Séquard (1817-1894), plus que tout autre savant du xixe siècle, est le prototype du chercheur moderne. Dans son activité de scientifique, il a privilégié la méthode hypothético-déductive et poursuivit, par la collecte obsessionnelle de faits expérimentaux, la vérification de ses théories. Certaines de celles-ci peuvent être considérées comme les fondements de la neurophysiologie et de l'endocrinologie, d'autres, heureusement rares, illustrent l'aveuglement qui les fait parfois sombrer dans le ridicule ou l'oubli rédempteur. Dans la conduite de sa vie, il a montré une mobilité exceptionnelle pour son époque, menant une carrière alternée entre la France et les pays anglo-saxons, comme la pratique en est devenue fréquente aujourd'hui. Sa vie enfin fut une succession de désespoirs - le prix sans doute à payer de son exceptionnelle fécondité.

Voici quelques images entrecoupées de récits fragmentaires de la vie douloureuse et exaltante de Charles Edouard Brown-Séquard.

.....  
(\*) Professeur à l'Institut universitaire de France (université Paris XI et Institut Alfred Fessard du CNRS).

**Au siècle dernier, Charles Edouard Brown-Séquard établit les fondements de la neurophysiologie et de l'endocrinologie. Sa méthode de travail et sa carrière, partagée entre la France et les pays anglo-saxons, préfigurent celles des chercheurs d'aujourd'hui.**

## PORT-LOUIS (FÉVRIER 1817)

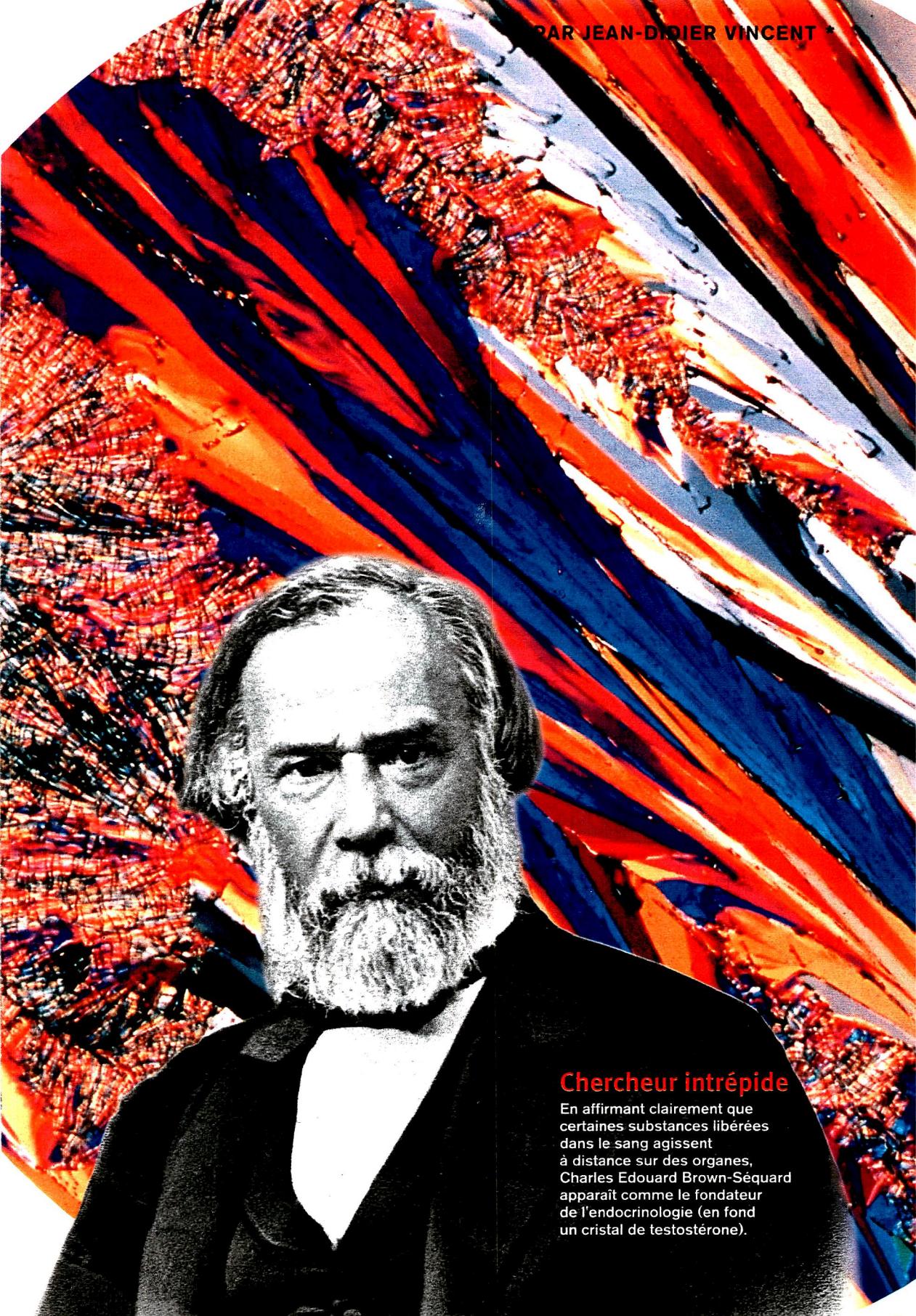
*Un matin, sur un quai de Port-Louis, et la chaleur déjà qui brasse les odeurs extraites de la fraîcheur de la nuit, une jeune femme fixe de ses yeux rougis de larmes un point qui s'éloigne à l'horizon : le bateau du capitaine Brown, son mari, chargé de ramener des Indes une cargaison de riz pour l'île Maurice affamée par la disette. Ni l'homme ni son navire ne reviendront.*

Henriette Charlotte Perrine Séquard était née à l'île de France (île Maurice), en mai 1786, des amours illégitimes de Charles Séquard, marseillais d'origine, et de Marie-Jeanne Nativel, qui venait de l'île voisine, La Réunion. Les parents régularisèrent par la suite, mais le ton de liberté et d'absence de préju-

gés dans lequel fut éduquée Henriette était donné. Elle n'avait que cinq ans lorsque sa mère mourut et fut élevée par son père commerçant ruiné, réduit à un maigre emploi du gouvernement.

Joyau de la France dans l'océan Indien, l'île du même nom était devenue anglaise en 1810 et Maurice par la même occasion. Trois ans après la réunion de l'île à la couronne britannique, Henriette Séquard avait épousé un jeune Américain d'origine irlandaise, Charles Edouard Brown, né à Philadelphie et capitaine au long cours dans la flotte marchande des Etats-Unis. A la fin de l'année





## **Chercheur intrépide**

En affirmant clairement que certaines substances libérées dans le sang agissent à distance sur des organes, Charles Edouard Brown-Séquard apparaît comme le fondateur de l'endocrinologie (en fond un cristal de testostérone).

1816, Henriette avait annoncé à son époux qu'un heureux événement était proche. Mais le devoir appelait le marin. A-t-il péri en mer, victime d'une tempête ou la proie de pirates? Fut-il assassiné? Nul ne saura répondre. Le jeune Charles Edouard Brown vint au monde le 8 avril 1817, sans père et sans fortune, livré à la seule tenuresse d'un grand-père et à la passion exclusive d'une mère qui désormais ne vécut que pour lui.

## LE CIMETIÈRE MONTPARNASSE (JANVIER 1998)

Un matin brumeux parisien, un gardien qui ressemble étrangement à Marcel, l'animalier de mon laboratoire, me conduit sur la tombe de Brown-Séquard. Celle-ci est mal entretenue. « On est de peu chose », remarque Marcel que les morts laissent de marbre. Le caveau de pierre grise est recouvert de mousse et de crasse. Là repose Henriette Charlotte Perrine, couchée pour l'éternité

auprès de Charles Edouard, son fils. Ils se sont tant aimés.

Les quinze premières années de l'enfant se déroulèrent dans la douceur d'un foyer qui lui était tout entier consacré. Les travaux de couture de la mère aidée d'une vieille négresse, la pension du grand-père ont permis de l'inscrire à la pension Singery, où il se révéla un élève exceptionnellement doué. A quinze ans – tout Charles Edouard est là –, il prit conscience des charges qui pesaient sur sa famille. Il décida brutalement d'interrompre ses études pour travailler comme commis dans un bazar-librairie qui se transformait à la nuit en "Café de Paris" où se mêlaient culture et punch créole. Le jour, il lisait tout ce qui lui passait entre les mains et, le soir, il admirait les poètes et artistes de l'île qui se pavanaient au son des segas.

Il fut pris de la rage d'écrire et devint poète, auteur dramatique. Une jeune gloire dans les milieux littéraires de Curepipe et de Port-Louis. Ses amis le poussèrent à chercher à Paris des lauriers dignes de son talent. L'un d'eux lui proposa une recommandation pour le grand conteur Charles Nodier.

Sa mère, qui partageait ses rêves, mit tous ses biens en vente et décida de le suivre. Elle était encore belle, mais de santé fragile. La croisière dura six mois. Arrivé à Paris, Charles Edouard se précipita chez Nodier avec les manuscrits qui lui semblaient les meilleurs. La sanction vint une semaine plus tard : « Il faut être sérieux, jeune homme, lui dit le grand homme, vous n'avez aucun talent. La médecine et le droit assurent, m'a-t-on dit, des situations bien assises qui devraient vous convenir ». Brown de retour à l'hôtel détruisit dans une ivresse rageuse tout le contenu de la malle : les œuvres

## A chaque partie de l'axe nerveux sa propre zone d'innervation

C'est en grande partie à Charles Edouard Brown-Séquard qu'on doit la compréhension de la physiologie de la moelle épinière. Il précisa les zones innervées par les différents étages de l'axe nerveux. Grâce à ses travaux, on put, à partir d'un examen clinique, déterminer la localisation d'une lésion.

Zone innervée par...

... l'axe nerveux des vertèbres cervicales

Zone innervée par...

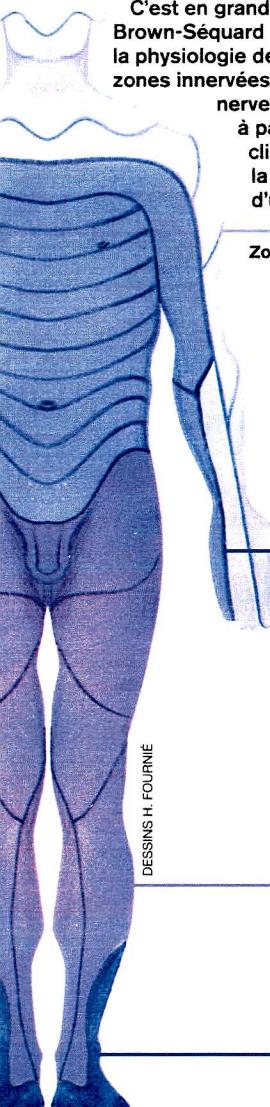
... l'axe nerveux des vertèbres dorsales

Zone innervée par...

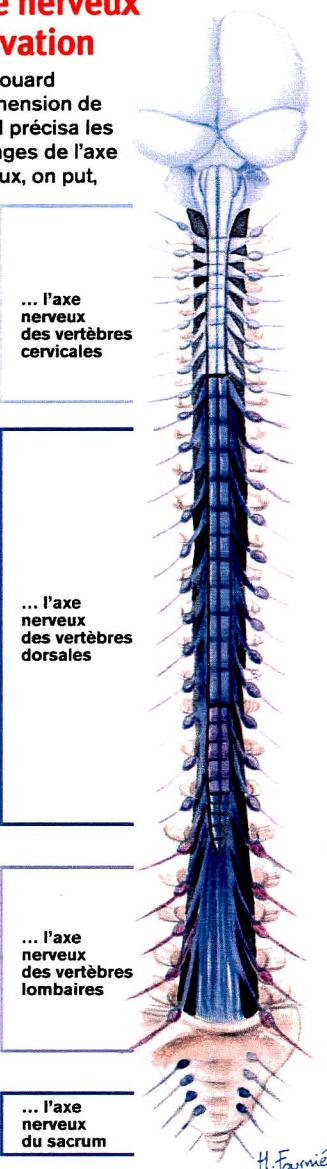
... l'axe nerveux des vertèbres lombaires

Zone innervée par...

... l'axe nerveux du sacrum



DESSINS H. FOURNIÉ



H. Fournié

complètes d'un jeune poète. Par une étrange similitude, Claude Bernard, son rival dans la vie et dans la postérité, monta également à Paris dans le dessein d'y faire une carrière littéraire. Lorsqu'il eut soumis un drame romantique *Arthur de Bretagne* au jugement de Saint-Marc Girardin, un critique célèbre, celui-ci, en termes péremptoires, lui intima le conseil d'abandonner le théâtre. La lucidité de gens de lettres venait, chose rare, de rendre l'immense service à la science de lui fournir deux de ses plus belles gloires.

Mais Bernard sut exploiter son goût pour la littérature dans des écrits scientifiques dont la valeur littéraire ne contribua pas pour rien à la diffusion et la survie de ses idées. Brown écrivit plus de cinq cents mémoires et communications, des ouvrages didactiques et des compilations, mais il ne produisit jamais un ouvrage comparable à *l'Introduction à la médecine expérimentale*. C'est peut-être la véritable raison de l'oubli relatif où il est tombé en France.

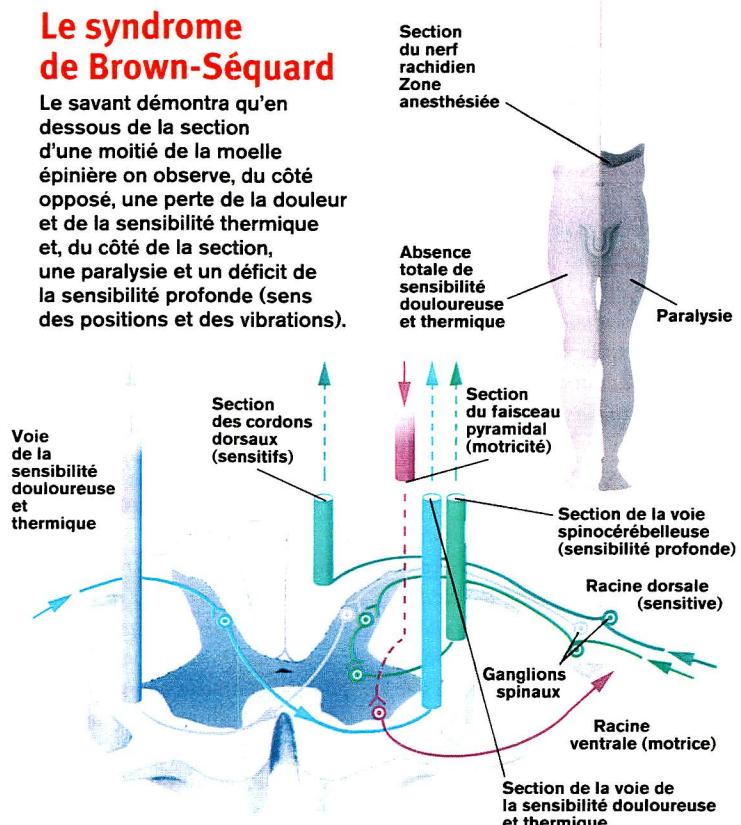
Le jeune homme n'avait pas de véritable culture, il parlait un créole chantant et rythmé qui se colorait parfois de frénésie. Et il n'avait pas le baccalauréat indispensable pour s'inscrire à la faculté de Médecine. Sa mère et lui étaient sans le sou.

Henriette loua un vaste appartement où elle accueillit des jeunes Mauriciens qui faisaient leurs études à Paris. Charles Edouard Brown-Séquard découvrit plusieurs phénomènes neurologiques qui échappèrent à son célèbre concurrent.

Il devint le préparateur du Professeur Martin-Magron qui l'associa bien vite à ses travaux. Trois ans plus tard, il était reçu à l'in-

## Le syndrome de Brown-Séquard

Le savant démontra qu'en dessous de la section d'une moitié de la moelle épinière on observe, du côté opposé, une perte de la douleur et de la sensibilité thermique et, du côté de la section, une paralysie et un déficit de la sensibilité profonde (sens des positions et des vibrations).



ternat, en même temps que son ami Charles Robin. Tous deux furent nommés dans le service du Professeur Trousseau. Dans le même temps, il obtint un baccalauréat ès sciences. Une piqûre anatomique au cours d'une dissection faillit l'entraîner dans la tom-

### L'illustre rival

**La postérité a consacré Claude Bernard. Pourtant Charles Edouard Brown-Séquard découvrit plusieurs phénomènes neurologiques qui échappèrent à son célèbre concurrent.**



be. Sa mère le soigna et, au comble de l'angoisse, c'est elle qui mourut au sortir de la convalescence de son fils bien aimé.

Sa douleur fut terrible et folle. Avec le seul amour de ce jeune homme vierge de vingt-cinq ans venait de disparaître sa raison de chercher la gloire et la fortune. Fin 1842, il s'embarquait pour l'île Maurice.

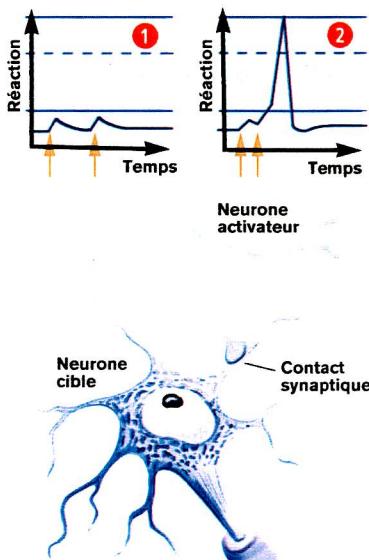
### L'HOMME ERRANT

« Homme libre, toujours tu chériras la mer ». Rien ne vient cependant apaiser la douleur du jeune homme, assis sur un des rochers de ce cap Malheureux où un siècle plus tôt Paul, un autre enfant sans père, avait aimé Virginie. Son attitude fière fait oublier sa taille trop petite. Une chevelure noire et bouclée encadre l'ovale fin du visage qu'éclairent des yeux brillants de fièvre. Son teint d'une matité claire

s'accorde à la couleur bronzée de la terre. Il est beau, mais l'austérité de ses traits en efface tout le charme. Ses gestes, comme sa parole, resteront toute sa vie saccadés et comme dévorés par le feu d'un brasier. Peut-être tire-t-il son étrange nature du mélange de sangs celtique et provençal; un contraste entre la violence de l'imagination et la rigueur de l'intelligence, celle-ci fulgurante et assortie d'une mémoire qui fait l'admiration de ses amis. Il se sent Français comme sa terre natale, île de France pendant deux siècles, mais est attiré par l'Amérique de son père. Sujet britannique, il refusera longtemps de demander la nationalité française qu'il estime lui être acquise de droit. Il fuitra souvent d'un lieu pour un autre, et son seul recours devant le désespoir sera chaque fois de s'em-

## Sommation nerveuse

Brown-Séquard jeta les bases de l'explication du fonctionnement du cerveau, notamment grâce à la découverte des phénomènes de sommation. Par exemple, la sommation temporelle : lorsque le neurone activateur envoie une succession de faibles signaux identiques ①, la réaction du neurone cible est amplifiée ②.



HARVARD UNIVERSITY

## Nul n'est prophète en son pays

Alors que les découvertes de Charles Edouard Brown-Séquard étaient fraîchement accueillies en France, les Américains lui demandèrent, lors de son séjour à Harvard (ci-dessus), de créer la chaire de physiologie.

barquer pour une traversée de l'océan, son remède; il y entend peut-être la voix de ce père qu'il n'a pas connu. Durant sa vie, il passera plus de six années en mer.

Brown s'ennuyait à Maurice et, dès 1845, il reprenait ses études de médecine, ne quittant plus le laboratoire de Martin-Magron. Il passa sa thèse inaugurale le 3 janvier 1846. Elle avait pour titre *Recherche et expérience sur la physiologie de la moelle épinière*, était signée Edouard Brown et dédiée à la mémoire de sa mère.

Il n'est pas exagéré de dire que cette thèse contient en germe les plus importants concepts de ce qui sera la neurophysiologie jusqu'au milieu du xx<sup>e</sup> siècle. Dans la première partie consacrée aux réflexes chez les batraciens, Brown montrait l'existence d'un choc spinal, dû à la perte d'une facilitation venue des centres supérieurs, lors d'une section de la moelle. Dans la deuxième partie, il démontrait que, contrairement au dogme (établi par Charles Bell et confirmé en France par Longuet) selon lequel la sensibilité du corps passait exclusivement par les cordons postérieurs de la moelle, les sensations douloureuses empruntaient les cordons antéro-

et controlatéraux. L'ensemble des contributions de Brown à la physiologie de la moelle s'étale en fait sur les années fécondes qui suivirent sa thèse. En résumé, le savant apportait la démonstration élégante que les voies de la sensibilité suivaient différents tracés dans les cordons de la moelle, selon leur modalité, certaines notamment empruntant des chemins controlatéraux. Ces observations faites sur diverses espèces animales le conduisirent chez l'homme à la description du syndrome éponyme : une section unilatérale de la moelle entraîne au-dessous de son niveau une perte controlatérale de la douleur et de la sensibilité thermique, une paralysie et un déficit de la sensibilité profonde (sens des positions et des vibrations) du côté de la section.

L'ensemble de ces découvertes ouvrait l'ère de la neurologie scientifique. Désormais, un examen clinique permettait de localiser le niveau de la lésion du névraxe, donnant ainsi la possibilité d'intervenir chirurgicalement, ce que Brown fit d'ailleurs spectaculairement à quelques occasions.

Il serait faux de croire que les découvertes du jeune chercheur furent accueillies dans un concert

de louage. Une commission d'expertise fut nommée, présidée par Paul Broca, qui conclut à la véracité de ses assertions.

## GÉNIE ET MISÈRE

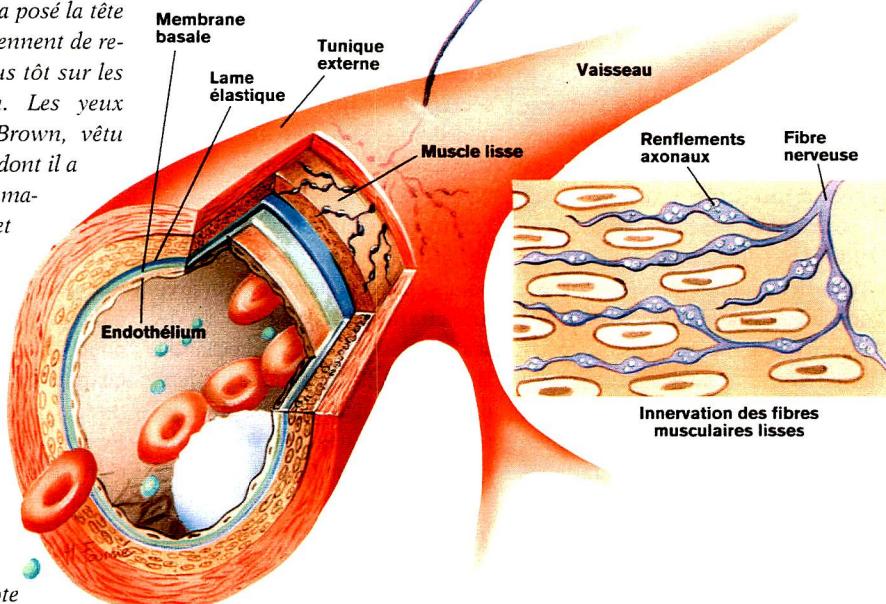
*Une chambre sombre et mal aérée sous les toits. Il s'en dégage une puanteur épouvantable. Des livres jonchent le sol, quelques hardes fripées pendent lamentablement sur un portemanteau. Le froid pénètre avec la lueur pâle de l'aube à travers la fenêtre mal fermée. Assisté de deux jeunes élèves, il a posé la tête du guillotiné qu'ils viennent de recueillir une heure plus tôt sur les lieux de l'exécution. Les yeux brillants de fièvre, Brown, vêtu d'une redingote noire dont il a retroussé les manches, manipule la tête livide et sanguinolente du décapité. Le chercheur a fait un mélange de son propre sang et de celui de ses amis, il l'a défibrillé et oxygéné, et tente maintenant d'en perfuser la tête. Il soumet ensuite les muscles à des stimulations électriques et note les clignotements des paupières et les mouvements de la face. Il observe que la perfusion prolongée empêche la rigidité cadavérique d'apparaître et conclut que le cerveau a conservé une réactivité. Son attente pour obtenir une réponse du décapité aux questions qu'il lui pose restera vaine.*

Dans ces années de misère, Brown développa la plupart des techniques qui ont porté la physiologie à son apogée : greffes d'organes, perfusion, lésions circonscrites, extractions des principes actifs et observations de leurs effets par injections à des animaux ou à des hommes.

Les travaux de cette époque je-

## Réactions en chaîne

L'excitation électrique de certaines voies du système nerveux sympathique (système d'adaptation au stress) provoque la vasoconstriction des vaisseaux sanguins. Cette propriété du système nerveux a également été découverte par Charles Edouard Brown-Séquard.



## Les découvertes de Brown-Séquard ouvrent l'ère de la neurologie scientifique

taint les bases de la compréhension du fonctionnement du cerveau, grâce aux phénomènes d'inhibition et de facilitation par sommation (voir dessin page ci-contre).

Au début de 1851, la santé de Brown se délabra. Pendant des années, il avait vécu d'un peu de pain trempé dans du lait et de six heures de sommeil. Un bref voyage à Maurice le remit sur pied. A son retour, il retrouva la France

livrée à la dictature d'un nouvel empereur. Brown ne disposait d'aucune position officielle et les prix de l'Académie des Sciences semblaient réservés à Claude Bernard. Il décida de s'embarquer pour les Etats-Unis.

Il fit trois longs séjours dans le pays, y occupa trois chaires et s'y maria deux fois. Il n'y trouva pas la fortune et ne survécut que grâce à des conférences qu'il faisait dans un anglais, étrangement mêlé à

de créole, appris au cours d'une traversée de l'Atlantique. On peut notamment lui reconnaître la fondation de la chaire de physiologie de Harvard, grâce à l'amitié d'Agassiz, le grand naturaliste américain.

Entre temps, il entraîna sa jeune femme dans un séjour à l'île Maurice où il soigna une épidémie de choléra et manqua d'en mourir. Après s'être infecté volontairement par l'absorption de déjections de malades, il s'était soigné en expérimentant l'effet de fortes doses d'opium et grâce à la découverte des principes de la réhydratation.

Il n'eut guère de facilité pour expérimenter pendant ses séjours américains. Il n'y avait pas alors aux Etats-Unis l'enthousiasme pour la science qui règne aujourd'hui. L'action éducative de Brown ne fut pas moins importante dans l'essor que connaissent aujourd'hui les neurosciences américaines.

En août 1852, pendant son séjour à Philadelphie, il publia les résultats d'observations faites à Paris qui montraient que l'excitation électrique de la voie nerveuse sympathique cervicale provoquait une constriction des vaisseaux sanguins de la face et une disparition de l'hyperthermie. Cette dernière avait été observée dans un premier temps par Claude Bernard, mais il est indiscutable que la découverte des nerfs vasoconstricteurs revient à Brown – ce que son ami et rival reconnaît d'ailleurs bien volontiers par la suite.

Les errances américaines furent entrecoupées de séjours parisiens. La faculté continuait à se refuser à lui. En 1855, il accepta de s'installer afin de recevoir quelques malades, des pauvres et des clients venus de toute l'Europe et principalement de Russie. L'objectif de Brown restait la recherche. Il créa avec Charles Robin un petit labo-

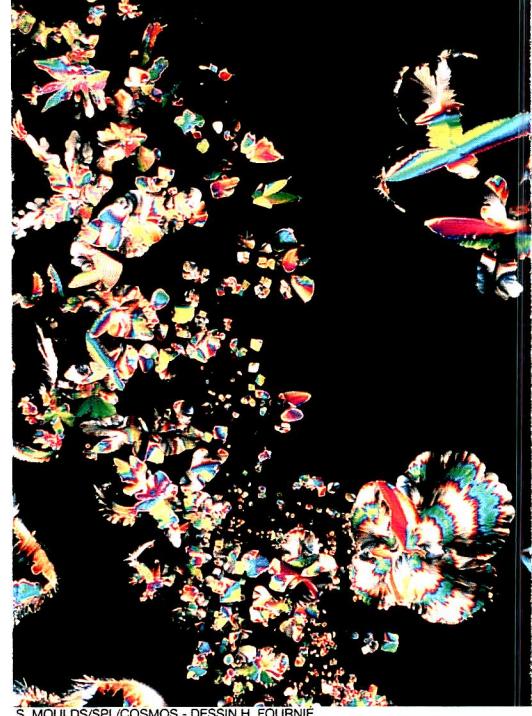
ratoire où affluèrent des élèves qui comptent parmi les plus grands neurologues du siècle, Rosenthal, Westphal et Béclère, qui fut le père de la radiologie médicale.

1856 fut une année faste pour la physiologie. Brown, qui avait obtenu de la reine Victoria l'autorisation d'ajouter le patronyme de Séquard à son nom, découvrit l'importance des glandes surrénales et introduisit la notion de produit actif de sécrétion. Brown-Séquard fut le véritable inventeur de l'endocrinologie et sa théorie de l'action à distance préfigurait la découverte des hormones. Il suffit pour s'en convaincre de comparer une citation empruntée à un de ses articles et un texte de Claude Bernard. Il est indéniable, malgré toute sa gloire, que ce dernier n'eut pas la justesse de vue de son rival malheureux.

Selon Brown-Séquard : « Ces produits spéciaux entrent dans le sang et viennent influencer, par l'intermédiaire de ce liquide, les autres cellules des éléments anatomiques de l'organisme. Il en résulte que les différentes cellules de l'organisme sont ainsi rendues solidaires les unes des autres par un mécanisme autre que les actions du système nerveux».

Pour Claude Bernard au contraire : « Ces glandes modifient le sang, car il se rencontre dans le sang qui en sort des produits qui ne s'y trouvaient pas à l'entrée. On peut donc conclure que c'est l'union de toutes ces sécrétions qui constitue le sang considéré comme un véritable produit de la sécrétion interne».

En 1856, Brown-Séquard n'hésita pas à briguer la succession de



S. MOULDS/SPL/COSMOS - DESSIN H. FOURNIE

Magendie au Collège de France. Il n'avait aucune chance contre Claude Bernard. Ce dernier obtenait également le prix Monthyon pour la troisième fois. Brown-Séquard dut subir quatre échecs successifs avant de recevoir de Claude Bernard lui-même, le prix tant convoité.

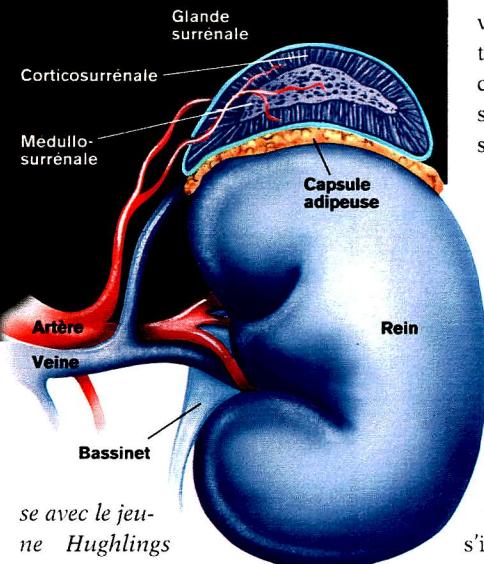
L'Université française ne voulait décidément pas de lui.

### **L'OPULENCE À LONDRES (1860-1863)**

*Charles Edouard Brown-Séquard contemplait du haut du balcon de sa riche résidence de Cavendish Square le flot de voitures qui tentent de se ranger aux abords de son cabinet. Il est irrité par ses succès de clientèle qui en font le médecin le plus couru de Londres. Il regrette de ne pouvoir consacrer son activité à plein temps à la recherche physiologique. Son traitement de l'épilepsie, grâce au bromure, ses diagnostics d'une extraordinaire précision, sont connus dans l'ensemble du monde médical anglo-saxon. Il dirige au National Hospital le premier service de neurologie créé en Angleterre. Sa collaboration fructueuse et orageu-*

## Action à distance

Brown-Séquard s'est intéressé aux effets des sécrétions de diverses glandes, dont les surrenales (ci-dessous). Ces dernières produisent notamment les glucocorticoïdes (ci-contre, de la cortisone) qui participent à la résistance des cellules aux facteurs de stress.



se avec le jeune Hughlings Jackson jette les fondations de l'épileptologie. Il est décidé à tout abandonner pour retrouver un laboratoire.

Boston, New York, Paris, Dublin, pendant quinze années, les positions se sont succédé, honorifiques, mais peu rémunérées. Ce n'est qu'en 1878, à la mort de Claude Bernard, qu'il accéda à une chaire au Collège de France et à la nationalité française. Son retour à Paris sera le début de la gloire et l'occasion d'une dernière contribution à la science.

### LA FONTAINE DE JOUVENCE (1889-1894)

Un petit vieillard très droit au beau visage éclairé d'une longue chevelure blanche dans laquelle brille un regard fiévreux surligné par des sourcils très noirs. Il lit d'une voix claire au curieux accent chantant une communication devant la Société de biologie dont il

est un des fondateurs.

Poursuivant son idée que les glandes vasculaires agissaient par libération dans le sang d'un produit de sécrétion, Brown-Séquard pensait que l'injection d'un extrait de ladite glande devait reproduire les fonctions physiologiques de celle-ci et compenser les signes d'insuffisance observés chez le malade. Il faisait également l'hypothèse que les testicules sécrétaient une substance responsable à la fois de la virilité de l'homme et de sa force, fonctions qu'il jugeait amoindries chez le vieillard.

A six reprises, du 15 au 30 mai 1889, l'intrépide vieil homme s'injecta sous la peau un extrait aqueux de testicules de chien et de cobaye. Le 1<sup>er</sup> juin, il rapportait à ses collègues de la Société de biologie les résultats de l'auto-expérience. A la suite des injections, Brown-Séquard avait ob-

naient pas d'hormones mâles. Les testicules produisent, mais ne stockent pas leurs hormones, et la quantité de substances actives que l'on peut en extraire est infime par rapport à la sécrétion journalière d'une glande. Les effets observés par Brown-Séquard étaient le résultat d'une autosuggestion, qu'on appellerait aujourd'hui effet placebo. Ce n'était ni la première, ni la dernière fois qu'une hypothèse juste est vérifiée par des résultats faux... Il n'empêche que l'acte de naissance de l'hormonothérapie, responsable de millions de guérisons, venait d'être signé.

Brown-Séquard et ses extraits étaient devenus célèbres dans le monde entier et le succès commercial de la préparation, dont il refusa de tirer le moindre profit, ne manqua pas de l'embarrasser.

Malgré les effets bénéfiques de cures de plus en plus rapprochées, la santé du savant se détériora. En collaboration avec d'Arsonval, il continua de mener jusqu'à la fin des expériences qu'il poursuivait lors de ses séjours dans sa villa de Nice où il avait selon son habitude installé un petit laboratoire.

La mort de sa troisième femme

## Le chercheur dut attendre l'âge de 60 ans pour entrer au Collège de France

servé une augmentation de sa vigueur. Il notait avec une exquise pudeur que «d'autres forces, qui n'étaient pas perdues mais qui étaient diminuées, se sont notablement améliorées». Faisons justice à la virilité retrouvée de Brown-Séquard d'avoir engendré l'hormonothérapie moderne et permis la guérison de milliers de malades. Il n'empêche que l'interprétation des résultats était fausse. Les extraits testiculaires utilisés par Brown-Séquard ne conte-

précipita sans doute la maladie finale dont il décrivit le déroulé, dans une lettre à un collègue, avec la même précision que celle qui caractérisait tous ses écrits scientifiques. « Ma jambe va plus mal [...]. Le mauvais état de ma jambe (gonflée et douloureuse) n'est rien à côté des graves symptômes céphaliques qui viennent d'apparaître », suivait une admirable leçon clinique dont il apporta la conclusion par sa mort le dimanche soir 1<sup>er</sup> avril 1894.

# Un court-circuit dans le cerveau

Un système régulateur de l'activité électrique du cerveau permet désormais de prévenir les crises d'épilepsie. Un prodigieux espoir pour les 500 000 Français qui souffrent de ce mal redoutable qu'aucun médicament ne parvient à maîtriser.

**L**oin devant les maladies de Parkinson ou d'Alzheimer – fort médiatisées –, l'épilepsie est le trouble neurologique le plus répandu au monde. C'est même la principale cause d'admission dans les services neurologiques des hôpitaux.

On estime que la maladie affecte 50 millions de personnes. Dans les pays développés, elle toucherait de 0,5% à 1% de la population, soit 2,5 millions d'Américains (chaque année, 125 000 nouveaux cas sont diagnostiqués par la fondation américaine pour l'épilepsie) et de 400 000 à 500 000 Français. Plus grave, quelque 20% des patients, soit de 80 000 à 100 000 personnes en France,

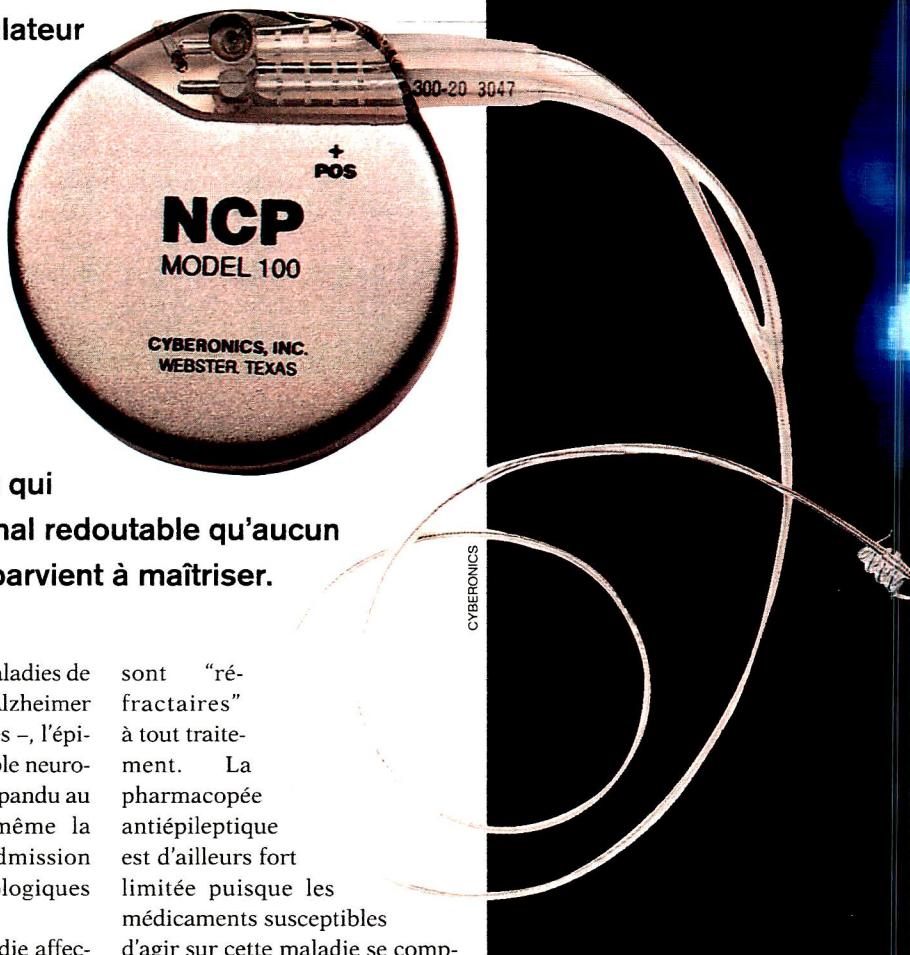
sont "réfractaires" à tout traitement. La pharmacopée antiépileptique est d'ailleurs fort limitée puisque les médicaments susceptibles d'agir sur cette maladie se comptent sur les doigts d'une main. A noter que leur relative efficacité n'a toujours pas été expliquée scientifiquement !

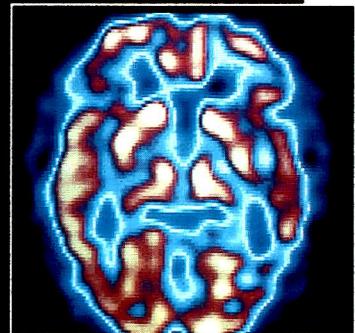
## LA CONSPIRATION DU SILENCE

Or voici qu'apparaît en France un système qui a prouvé sa capacité à guérir les crises d'épilepsie, même chez les réfractaires. Cet

appareil envoie au cerveau, à un rythme régulier, des impulsions électriques qui contrôlent les décharges de courant émises par certaines de ses zones, et qui sont à l'origine des crises. Ce véritable *pacemaker* du cerveau n'est pas plus cher que les traitements médicamenteux de l'épilepsie.

La conspiration du silence ac-



CERVEAU  
SAIN

T. BEDDOE/SPL/COSMOS

CERVEAU  
DURANT  
UNE CRISE  
D'ÉPILEPSIE

T. BEDDOE/SPL/COSMOS

## Un *pacemaker* cérébral

Toutes les cinq minutes, l'appareil NCP délivre au cerveau des épileptiques des impulsions électriques qui préviennent les décharges inopinées de courant (en jaune, cliché ci-contre) à l'origine des crises. Ces tomographies montrent aussi que, si les deux hémisphères du cerveau des personnes qui ne sont pas malades (cliché ci-dessus) réagissent symétriquement, ce n'est pas le cas chez les personnes atteintes d'épilepsie.

tuellement entretenue autour de l'épilepsie s'explique par le fait que même les – très rares – médecins spécialisés, les neurologues-épileptologues, connaissent peu de choses sur une maladie dont il faudrait parler au pluriel, puisqu'elle peut avoir une vingtaine de facteurs déterminants, qu'elle se manifeste par différents types de

crises et que, dans 70% des cas, si on peut en trouver l'origine (dans telle ou telle zone du cerveau), on ne peut en expliquer la cause.

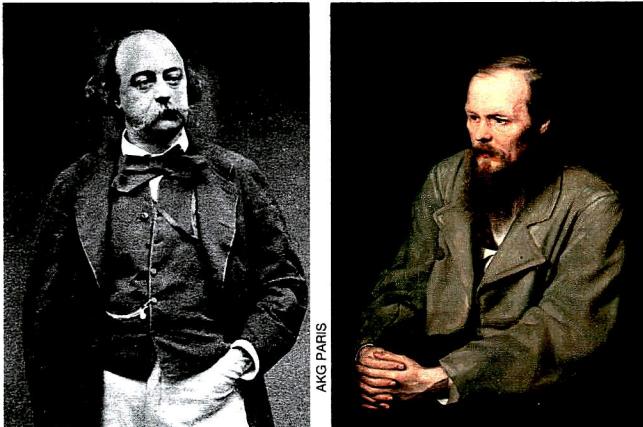
Chacun préfère aussi jeter un voile pudique sur cette maladie plutôt que d'en parler ou de "l'avouer", pour ceux qui en sont atteints. En effet, trop souvent elle est encore considérée comme une

maladie mentale. Parfois, pour se donner bonne conscience, on rappelle que des "génies", César, Flaubert ou Dostoïevski, étaient atteints de ce qu'on appelait alors le "haut mal", puis on parle d'autre chose. La maladie dérange. Elle fait peur. Pour la victime, elle entraîne couramment une perte d'estime de soi-même.

Mais que sait-on scientifiquement de l'épilepsie?

C'est une maladie à vie, donc son traitement aussi. Dans 20% des cas elle se développe avant l'âge de 5 ans et dans 59% avant 25 ans. Sans qu'on en connaisse la raison, tel épileptique peut avoir 3 crises par an, tel autre 100 par jour!

Les crises – la plupart sont bénignes – proviennent d'une lésion ou d'un dysfonctionnement d'une zone du cerveau (épilepsies focales) ou de plusieurs (épilepsies multifocales) (voir dessin ci-dessous). Ces zones, dites épileptogènes, ne sont qu'exceptionnellement opérables, soit parce qu'elles sont hors d'atteinte, soit parce que la chirurgie ne peut les toucher sans entraîner de lésions et de handicaps beaucoup plus importants.



AKG PARIS

## Illustres malades

Comme César, Flaubert (à gauche) et Dostoïevski étaient atteints du "haut mal". Une preuve que cette maladie n'affecte ni l'intelligence, ni les capacités créatrices.

tants, comme des paralysies. Ce sont de brèves perturbations électriques des fonctions normales du cerveau, des décharges, des sortes de "courts-circuits" totalement imprévisibles qui déclenchent les crises. La caracté-

érisation la plus générale que l'on puisse donner de la maladie se trouve dans ses symptômes et dans ses effets : crises à répétition dues à une rupture momentanée du contrôle du corps par le cerveau. Les malades sont généralement prévenus de

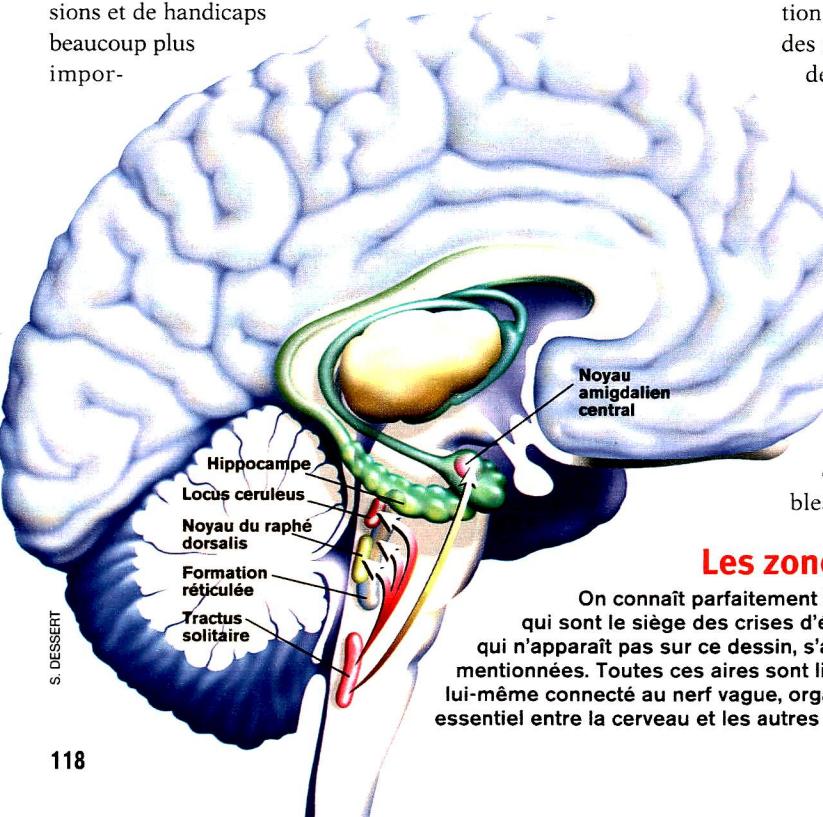
l'arrivée de la crise par un signal d'alarme : l'"aura", qui se caractérise communément par un "goût étrange", une "mauvaise" sensation et une impression de fourmillement.

## DES BLESSURES CÉRÉBRALES DIFFICILEMENT IDENTIFIABLES

Voilà, en 1999, tout ce qu'on peut dire de scientifiquement établi sur l'épilepsie. Bien peu de choses, en vérité! On peut ajouter qu'empiriquement, par l'observation des crises, des symptômes et des manifestations protéiformes

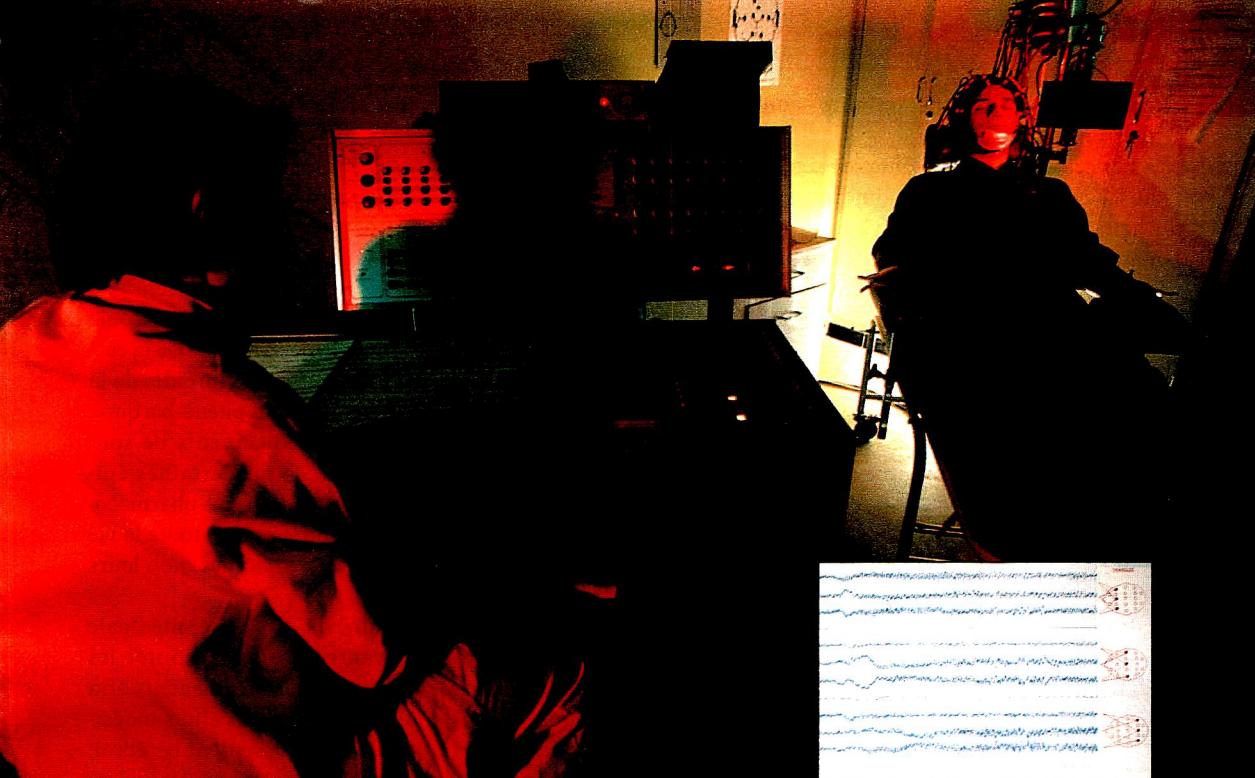
de la maladie, les épileptologues ont constaté qu'il y a plus de 20 sortes de crises différentes qui relèvent de 4 classes et de 3 causes, c'est ce qui leur fait dire qu'il n'y a pas une mais des épilepsies.

Attardons-nous sur les causes de ces crises. Les crises symptomatiques sont celles dont l'origine est connue (30% des crises). Elles sont liées à des blessures identifiables du cer-

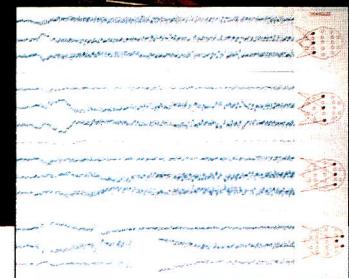


## Les zones épileptogènes

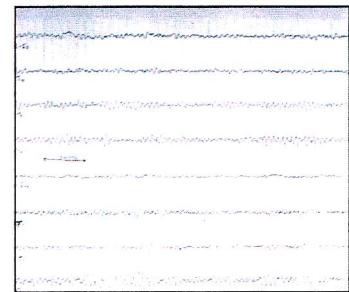
On connaît parfaitement les localisations cérébrales qui sont le siège des crises d'épilepsie – le cortex insulaire, qui n'apparaît pas sur ce dessin, s'ajoute aux zones mentionnées. Toutes ces aires sont liées au tractus solitaire, lui-même connecté au nerf vague, organe de transmission essentiel entre le cerveau et les autres parties du corps.



A. SOLDEVILLE/RAPHO



BSIP CAVALLINI JAMES



COSMOS

## Du courant dans le cerveau

L'électroencéphalogramme révèle la tension électrique permanente qui siège dans le cerveau. Lorsque le patient est atteint d'épilepsie, le tracé de l'examen, relativement "calme" chez une personne non malade (graphe du bas), devient alors terriblement heurté (graphe du haut). La maladie se caractérise en effet par une perturbation de l'activité électrique cérébrale.

veau. Leurs causes les plus fréquentes sont des traumatismes crâniens, des tumeurs du cerveau, des hémorragies cérébrales, des intoxications telles que le saturnisme ou l'alcoolisme, et des infections comme les méningites, l'encéphalite virale, la diphtérie et, moins couramment, les oreillons, la rougeole et autres maladies infantiles.

On distingue ensuite les crises partielles et celles qui sont généralisées. Les crises partielles proviennent d'une zone particulière du cerveau et se manifestent en général par un comportement physique irrationnel tel que des secousses musculaires d'un bras ou d'une jambe, des claquements des lèvres ou des errances. Ces crises durent de quelques se-

condes à plusieurs minutes. Selon leur sévérité, la réaction peut apparaître seulement dans une partie du corps (crise partielle simple) ou dans plusieurs zones à la fois et causer une perte de conscience (crise partielle complète). Les crises généralisées englobent des aires étendues des deux côtés du cerveau et causent souvent de dramatiques convulsions incluant la perte de connaissance. 39 % des épileptiques souffrent d'abord de crises généralisées.

### QUATRE MOLÉCULES POUR SOULAGER

Les crises elles-mêmes peuvent être classées en plusieurs catégories :

- Les crises atoniques, le plus

souvent connues sous le nom de "chutes brusques par dérobement des jambes", se caractérisent par une perte soudaine de tonus musculaire, faisant instantanément tomber.

- Les crises d'absence, généralement très courtes et difficiles à remarquer, provoquent une perte de conscience ou "un blanc" pendant quelques secondes. Elles sont courantes durant l'enfance, mais peuvent aussi se produire à l'âge adulte.
- Les crises myocloniques. Les individus qui subissent ces crises ressentent de secousses mus-

culaires durant une minute environ.

- Les crises toniques-cloniques : aussi connues sous le nom de "haut mal", sont caractérisées par le raidissement du corps tout entier, suivi de secousses musculaires et de contractions. Les victimes de ces crises peuvent perdre conscience. Il leur arrive aussi de ne plus contrôler leur vessie.

Cette énumération prouve combien l'épilepsie est

un mal inhibant et invalidant. Les crises, la menace des crises, le risque de décès prématuré et les effets secondaires des médicaments font peser une lourde charge sur le bien-être physique, psychologique et social des patients. Ceux qui ne peuvent contrôler leurs crises ont des difficultés à aller à l'école, à obtenir un permis de conduire ou à garder un travail. Ils développent un sentiment de dépendance vis-à-vis des autres et perdent fréquemment confiance en eux.

Leurs familles vivent dans l'incertitude car ils présentent un risque supérieur à la moyenne de mort soudaine inexplicable, de décès accidentel et de suicide.

## Déjà l'expérience de plus de 1000 patients

Depuis dix ans, le système NCP est implanté chez des épileptiques. Cet appareil est constitué d'une petite pile de 55 g, insérée dans la poitrine au niveau l'omoplate et reliée par deux électrodes au nerf vague, auquel elle envoie régulièrement des impulsions électriques.

Pour lutter contre tant de crises aussi différentes, il existe les MAE, les médicaments antiépileptiques, qui sont efficaces sans qu'on sache toutefois toujours comment ni sur quoi ils agissent. Ils se limitent pour l'essentiel à quatre molécules qu'on associe éventuellement. Il s'agit de la carbamazépine, du valproate, de la phénytoïne et du phéno-barbitol. Mais ces médicaments ne sont pas efficaces sur certaines épilepsies. De plus, cette pharmacopée à prendre durant toute la vie calme les symptômes, non leurs causes.

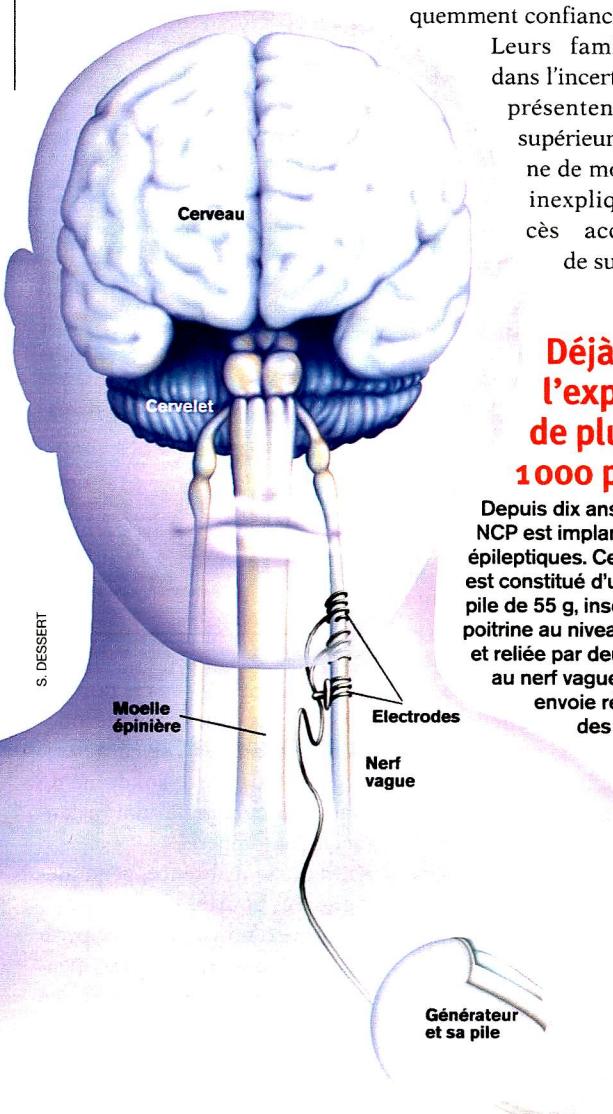
Enfin, la pratique médicale courante consiste à limiter les traitements médicamenteux afin de minimiser leurs effets indésirables (ralentissement cérébral, fatigue, somnolence voire endormissements, difficultés de concentration...) et de limiter le phénomène d'accoutumance, qui provoque une perte progressive d'efficacité de la thérapie.

## AUCUN PROBLÈME DE TOLÉRANCE

Face à un tableau aussi noir, on comprend qu'une nouvelle approche du traitement de l'épilepsie, la première depuis plus de cent ans, suscite bien des espoirs. Ce système de prothèse neurocybernétique (NCP), présenté par la firme américaine Cyberonics, qui arrive aujourd'hui en France,

a prouvé son efficacité même sur les épilepsies résistantes.

Cet appareil est au cerveau ce que le pacemaker est au cœur. Mis au point après plus de dix ans de recherches et d'études



précliniques, il a d'abord été agréé par l'Union européenne puis par la célèbre et rigoureuse Food and Drug Administration (FDA) américaine.

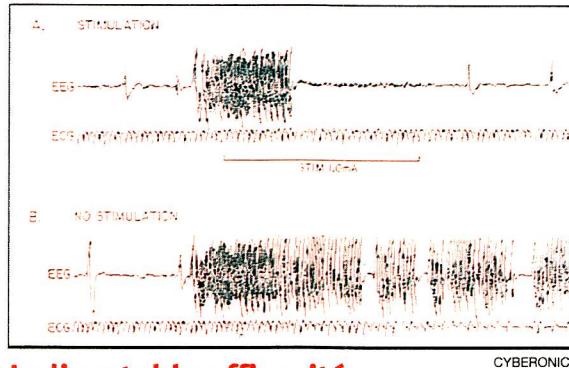
La première implantation du système NCP a eu lieu en 1988. Depuis, plus de 1000 patients répartis dans 24 pays ont reçu cet appareil. Ce qui, au total, représente plus de 2000 années/patients d'expérience d'utilisation. La moitié des malades utilisant ce système a enregistré une réduction immédiate de 20% des crises et une diminution supérieure à 50% après dix-huit mois.

Ce système est, en outre, dénué d'effets indésirables, aigus ou chroniques, cognitifs, comportementaux ou émotionnels, ainsi que de la toxicité des MAE. Ensuite, son action ne diminue pas avec le temps. Au contraire.

### UNE IMPLANTATION SIMPLE ET SANS DANGER

Le traitement délivré par le système NCP, appelé stimulation du nerf vague (VNS), consiste en une émission de pulsations électriques, toutes les cinq minutes, d'une intensité de 1,25 à 2,5 milliampères, d'une fréquence de 30 hertz et d'une durée de 50 nanosecondes (1 nanoseconde =  $10^{-9}$  seconde). L'appareil est extrêmement compact et facile à planter. Il s'agit d'un générateur de la taille d'une petite montre de gousset, pesant à peine 55 grammes.

Deux incisions permettent la mise en place du NCP : l'une dans la poitrine pour insérer le générateur et sa pile au niveau de l'omo-



### Indiscutable efficacité

La comparaison de ces deux tracés d'électro-encéphalogrammes démontre l'action du système NCP. Sur le tracé du haut, qui appartient à un épileptique auquel on a implanté un "pacemaker cérébral", on distingue nettement l'instant où l'appareil "stoppe" la crise : le tracé redéveloppe immédiatement normal. En revanche, sur le second tracé, la crise épileptique se poursuit inexorablement pour le malade non appareillé.

plate, l'autre à la base gauche du cou pour planter les électrodes sur le nerf vague (voir dessin page ci-contre). Un classique travail de "tunnellisation" effectué par le chirurgien permet de relier ensuite les électrodes à la pile.

Pourquoi le nerf vague ? Parce que c'est celui qui contrôle le plus fortement l'activité entre le cerveau et les organes internes. C'est un nerf mixte qui a une fonction à la fois motrice et sensorielle. Il est ainsi essentielle-

qui sont connues pour leurs capacités potentielles à générer des décharges épileptiques.

En agissant sur les zones épileptogènes par l'intermédiaire des fibres afférentes du nerf vague, on parvient à modifier l'activité cérébrale. Le VNS est ainsi un traitement préventif : on modifie l'activité électrique du cerveau en rendant plus nécessaires pour celui-ci les décharges électriques imprévues qui sont à l'origine

des crises d'épilepsie.

Reste un point extrêmement important en ces périodes où l'on resserre drastiquement les crédits de la bourse affectée aux dépenses de Sécurité sociale : le coût de ce nouveau traitement. Avec un prix de 50 000 F et une durée de vie de cinq ans (la pile doit alors être changée), il est pratiquement identique à celui du traditionnel traitement médicamenteux.

Mais il reste encore à

## Même les épileptiques réfractaires à tout traitement sont soulagés par cet appareil

ment (85%) composé de fibres afférentes, c'est-à-dire qui transmettent les informations du bas vers le haut. Ces fibres sont largement distribuées au sein du système nerveux central. Elles sont ainsi liées aux poumons, au cœur, à l'aorte, au tractus intestinal, etc. dont elles transmettent les informations vers des structures corticales (amygdale, hippocampe, cortex insulaire, etc.)

convaincre les autorités administratives... Car, en France, ce sont souvent les comptables qui règnent en maître. Ils préfèrent gérer les dépenses de santé au jour le jour plutôt que les placer dans une perspective à long terme. Sans oublier que le système NCP n'entraîne pas d'effets secondaires, toujours dommageables pour le patient et coûteux pour la collectivité.

# Processeurs : enfin l'âge du

Depuis plus de trente ans tous les circuits intégrés de l'informatique sont câblés avec de l'aluminium. Aujourd'hui, ils commencent à l'être avec du cuivre. Peu de chose en apparence, mais en réalité une étape décisive dont l'importance est comparable à ce que fut l'arrivée du turboréacteur au temps des avions à hélice.

**Q**uels que soient ses mérites par ailleurs, l'informatique détient le peu enviable record – pour l'usager – du vieillissement le plus rapide de tous les objets usuels : au bout de six mois, le *nec plus ultra* est déjà périmé (et son prix a baissé de 30%). Ce dépassement perpétuel des performances tient à une seule chose : la miniaturisation sans cesse plus poussée des circuits intégrés qui peuvent ainsi exécuter plus d'instructions en moins de temps.

Or, avec l'arrivée des processeurs câblés au cuivre en remplacement de l'aluminium, l'écart entre ce qui

se faisait la veille et ce qui se fera le lendemain va se creuser de manière encore plus abrupte.

Le processeur, on le sait, est en fait le moteur de tout ordinateur ; il rassemble, sur un carré de silicium mince comme une feuille de papier et large de 1 cm, plusieurs millions de transistors qui, sur commande, laissent passer le courant ou l'arrêtent. On a ainsi les 0 ou 1 du calcul binaire, base de toute l'informatique.

## L'EXCEPTION INFORMATIQUE

Pour que le courant puisse passer de l'un à l'autre, ces transistors doivent être reliés entre eux, sur le Carré de silicium, par des fils



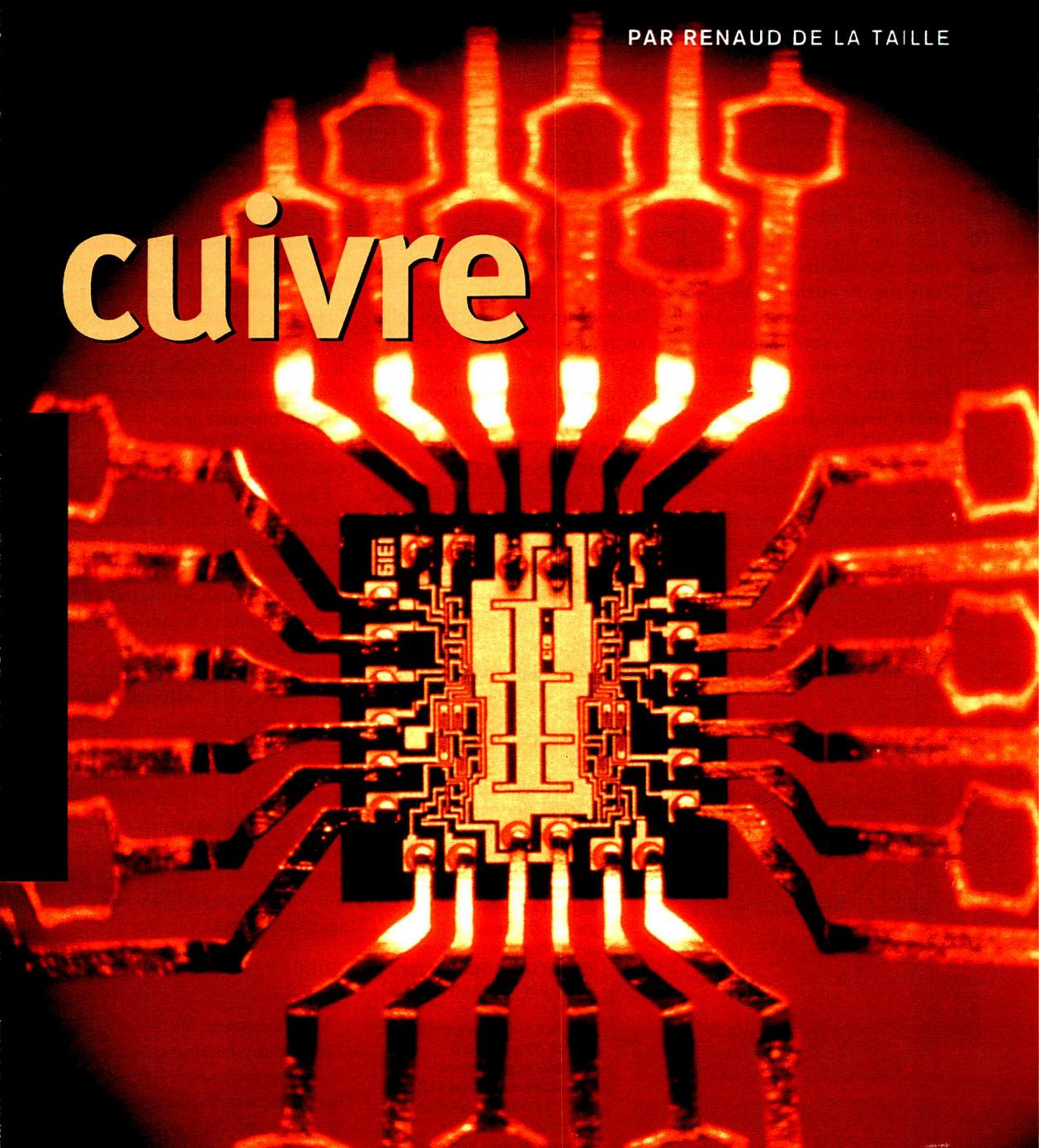
MOTOROLA

## La course à la performance

La fabrication des processeurs (ci-dessus chez Motorola) se fait toujours en salle blanche, mais aujourd'hui le cuivre remplace l'aluminium pour les connexions (ci-contre). De ce fait, les performances pourront continuer à doubler tous les dix-huit mois, ce que ne permettait plus l'aluminium.

conducteurs. Or, depuis trente ans, ces fils sont en aluminium, ce qui peut sembler curieux à tous ceux qui ont réparé un jour une prise de courant ou resserré les écrous d'un interrupteur : tous les fils électriques de la maison sont en cuivre, et il en va de même de ceux de la machine à laver, de la per-

# cuivre



DR

ceuse, du magnétophone ou des bobinages d'un moteur.

Il s'agit d'un choix tout à fait logique puisque le cuivre est quasiment le meilleur conducteur de l'électricité – il n'est battu de peu que par l'argent. Le courant est fait d'un déplacement global des électrons au sein de la matière, mais ce

déplacement se fait de manière plus ou moins aisée selon le matériau : tout conducteur oppose une certaine résistance au passage du courant, ce qui amène à classer les métaux en fonction de leur résistivité – exprimée en mégohms. mètres ( $M\Omega \cdot m$ ) –; en tête l'argent avec 1,6 suivi du cuivre avec 1,7;

ensuite l'or avec 2,3 et l'aluminium avec 2,8. Le nickel traîne déjà à 7,8 et le fer à 9,6.

Or, bien que sa résistance soit supérieure de 65% à celle du cuivre, l'aluminium assure depuis le début le câblage interne de tous les circuits intégrés. Il y a à cela une raison simple, d'ordre purement tech-

nique : l'aluminium se marie très bien avec le silicium, matériau de base des circuits intégrés ; le cuivre ou l'argent, très mal, au point d'être considérés comme de véritables poisons du silicium. Par ailleurs, les liaisons sur un microprocesseur ne se font pas avec un fil métallique au sens habituel, mais par un dépôt microscopique dont l'épaisseur et la largeur se comparent en fraction de micromètre.

### LES LIENS ÉTROITS DU SILICIUM ET DE L'ALUMINIUM

Or l'aluminium est un métal dont on maîtrisait déjà bien le dépôt en couches minces dès 1970, et les techniques ne firent que s'affiner ensuite. De surcroît, l'aluminium adhère solidement au silicium, et il est ensuite facile d'y graver à l'aci-

## Les meilleurs conducteurs

Métal	Conductivité ( $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )	Résistivité ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	Densité ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )
Argent	$62 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	10,5
Cuivre	$59 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	8,9
Or	$43 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	19,3
Aluminium	$35 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	2,7

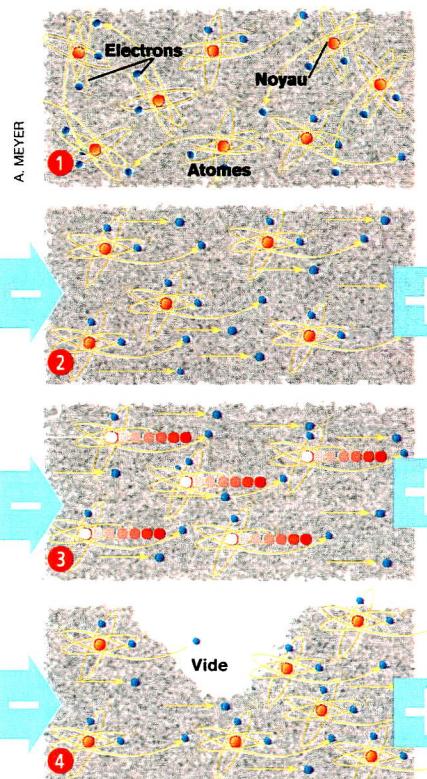
de le dessin nécessaire pour relier les transistors entre eux ; il ne pose pas non plus de problèmes de compatibilité avec la silice (oxyde de silicium) qui sert d'isolant et on peut le surfacer à un très haut niveau de polissage. Enfin, à l'air libre, il se couvre immédiatement d'une couche mince d'oxyde qui a l'avantage d'être étanche – ce qui protège le métal sous-jacent –, à peu près inaltérable et surtout très dure. Cet oxyde n'est autre que l'alumine, dite aussi corindon, dont les variétés colorées don-

ment le saphir et le rubis.

Pendant plus de vingt ans, la moindre conductivité de l'aluminium ne s'avéra pas trop gênante, d'autant plus que les connexions entre transistors avaient encore des largeurs de l'ordre de plusieurs micromètres. A ce niveau, les liaisons en aluminium constituaient de fort bons conducteurs et les progrès se firent surtout sur les transistors eux-mêmes, sur l'architecture générale du processeur et sur la structure des couches semi-conductrices.

En revanche, le problème commença à se poser il y a une dizaine d'années quand le nombre de transistors montés sur un centimètre carré de silicium se mit à dépasser largement le million. Pour arriver à ce résultat, il n'y avait eu qu'un moyen : réduire la taille des transistors, des jonctions et des connexions. Celles-ci, toujours faites en aluminium, descendirent sous la barre du micromètre : d'abord 0,5 µm, puis 0,25 aujourd'hui et 0,18 pour demain – il y a le même écart de diamètre entre un conducteur de 0,2 µm et un cheveu qu'entre un fil à coudre et un tronc d'arbre.

## Quand le courant pousse les atomes



Dans un métal, les électrons, de charge électrique négative, circulent librement d'un atome à l'autre ①, et chaque atome oscille en permanence autour d'une position d'équilibre – c'est l'agitation thermique.

Sous l'influence d'un champ électrique ②, les électrons se déplacent en groupe du - vers le +, et les chocs engendrés par ce mouvement de masse augmentent la température – c'est l'effet Joule –, et donc l'agitation thermique. Si le flux devient trop important par rapport à la taille du conducteur ③, les atomes se déplacent de plus en plus loin dans le sens du flux et finissent par ne plus revenir à leur point de départ : ils se décalent peu à peu vers le +. C'est le phénomène d'électromigration, lequel crée un vide ④ qui se creuse jusqu'à faire une coupure dans le métal.

### RONGÉ PAR SES PROPRES ATOMES

Mais, à ce stade, les faiblesses de l'aluminium commencèrent vraiment à se faire sentir ; en particulier, la résistance offerte au passage du courant dans un conducteur aussi microscopique se traduit par un effet d'électromigration (dessin ci-contre) : le flux d'électrons finit par entraîner avec lui une partie des atomes, laissant des vides dans la masse du métal. Cette partie affaiblie devient encore plus sensible au phénomène et la disparition progressive du métal amène à la longue une coupure du fil.

Le seul moyen d'y remédier



IBM

## Câblé sur six étages

Cette coupe d'un circuit intégré IBM nouvelle génération laisse voir les six couches d'interconnexions en cuivre qui servent à relier les millions de transistors les uns aux autres (en bleu, le silicium).

que l'argent dans le silicium et la silice qui sert d'isolant.

En revanche, c'est un métal qui est d'usage industriel courant, ce qui n'est pas le cas de l'argent. De ce fait, il bénéficie d'un savoir-faire technique reposant sur des dizaines d'années d'expériences dans tous les domaines : métallurgie, usinage, alliages, dépôts en couches minces, etc. Restait seulement à trouver le moyen de l'associer au silicium en évitant tout contact entre les deux. En interposant donc un élément qui empêcherait le cuivre d'aller se répandre dans le semi-conducteur.

C'est à cette tâche que

consiste à garder des conducteurs un peu larges, mais de plus en plus rapprochés puisque, dans le même temps, on aura réduit la taille du circuit. Toutefois, à ce moment, on augmente la capacité des connexions (deux conducteurs proches forment un condensateur) et les effets d'induction (tout courant engendre un champ magnétique qui, à son tour, crée un courant dans le conducteur voisin). Les performances du processeur s'en trouvent diminuées.

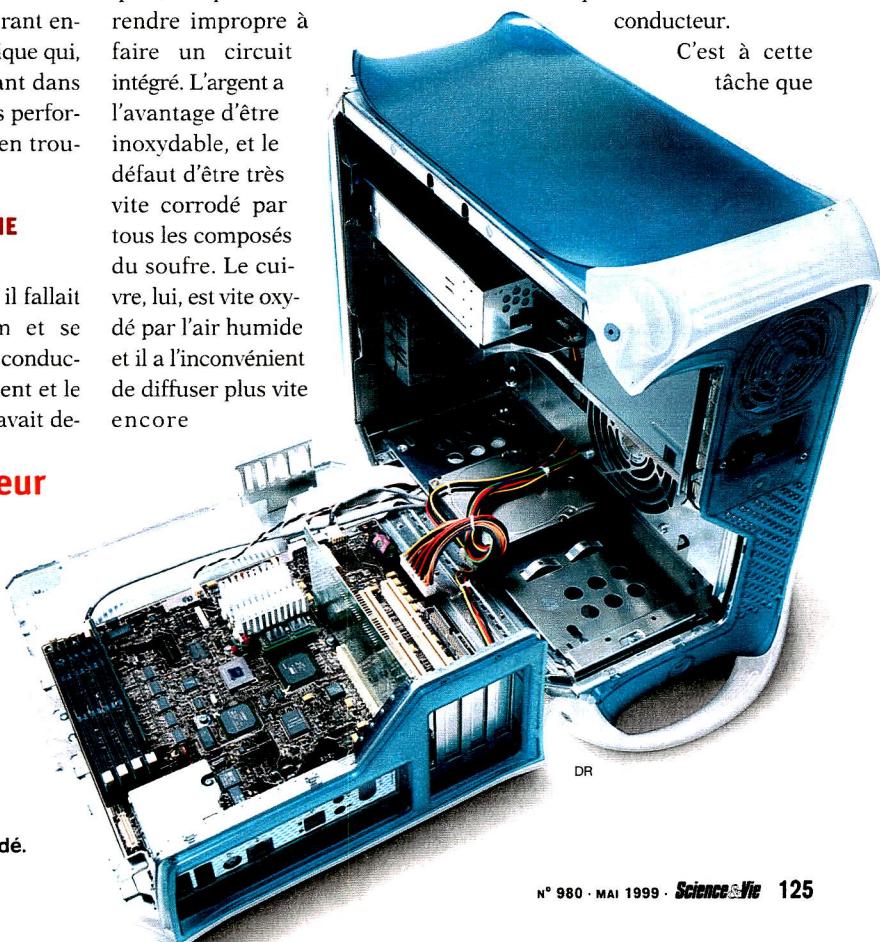
### UN MÉTAL QUI BÉNÉFICIE D'UN SAVOIR-FAIRE

Pour progresser encore, il fallait abandonner l'aluminium et se tourner vers les meilleurs conducteurs de l'électricité, l'argent et le cuivre. L'ennui, et on le savait de-

puis longtemps, vient de ce que ces deux métaux diffusent dans le silicium comme une tache d'encre sur un buvard; cette diffusion d'atomes conducteurs dans un semi-conducteur en modifie de manière radicale les propriétés électriques, au point de le rendre impropre à faire un circuit intégré. L'argent a l'avantage d'être inoxydable, et le défaut d'être très vite corrodé par tous les composés du soufre. Le cuivre, lui, est vite oxydé par l'air humide et il a l'inconvénient de diffuser plus vite encore

## Premier ordinateur au cuivre

Dans le domaine grand public, la firme Apple a été la première à diffuser un appareil équipé d'un processeur câblé au cuivre avec le Power Mac G3, dont les performances sont effectivement impressionnantes comparées à celles des ordinateurs qui l'ont précédé.



DR

s'attelèrent les chercheurs de Motorola et IBM il y a plusieurs années. La voie étant nouvelle, et complètement inexplorée, il fallut innover en tout domaine : comment déposer le cuivre, comment dessiner le circuit (la gravure à l'acide, parfaite avec l'aluminium, ne convenait pas avec le cuivre), et surtout quel alliage choisir comme séparateur entre cuivre et silicium. Pour faire le film de cuivre, il y avait le choix entre trois méthodes : le dépôt en phase gazeuse, le placage par réduction chimique et le placage électrolytique. Ce dernier, d'usage industriel courant, s'avéra le meilleur choix.

### DES TECHNIQUES VOISINES CHEZ IBM ET CHEZ MOTOROLA

Pour la gravure du circuit, IBM inventa un nouveau procédé, dit double damasquinage – en souvenir des épées dont la lame était faite de plusieurs couches de fer et d'acières divers ; un passage à l'acide suivi d'un polissage mettait en évidence cet enchevêtrement sous forme d'un dessin semblable à celui des étoffes de Damas. Avec cette technique, le réseau de connexions est d'abord dessiné par lithographie sur la silice. L'alliage (tenu secret) destiné à séparer cuivre et silicium vient ensuite tapisser le fond et les bords des sillons gravés par l'acide, puis le cuivre est déposé par électrolyse. L'excès de métal est enfin enlevé par un polissage spécial mécanochimique.

Un film de nitrite de silicium vient recouvrir cette première couche de connexions, puis le procédé est répété jusqu'à obtenir les six niveaux de câblage nécessaires pour la jonction des millions

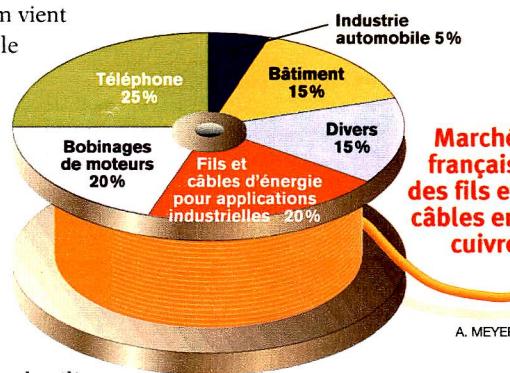
## LE GRAND RETOUR DU CUIVRE

■ Trop cher à produire et à transporter, le cuivre avait disparu de nombreuses applications. Mais les technologies ont évolué et en font aujourd'hui un produit d'avenir dans toutes les industries. Ainsi, d'ici à deux ans, il sera utilisé pour la fabrication des radiateurs des voitures européennes. La volonté d'économiser les matières premières importées, avait incité les constructeurs français à faire appel à l'aluminium, très abondant en Europe. Alors que les principaux lieux d'extraction du cuivre, si l'on excepte la Russie et la Pologne, se trouvent en Amérique du Sud et du Nord, et en Asie. Aujourd'hui, l'éloignement des lieux de production ne pose plus de problème : le coût du transport, sur des bateaux qui peuvent en transporter jusqu'à 8 000 tonnes, devient minime. Sous le règne de l'aluminium, la technologie du cuivre a aussi beaucoup progressé.

« Les nouveaux radiateurs,

indique Pierre Blazy, directeur du Centre d'information du cuivre, seront plus résistants, plus performants, et leur durée de vie sera de deux à trois fois supérieure à celle des radiateurs actuels... » Le cuivre ne se contente pas de reconquérir le secteur automobile. Ses caractéristiques le rendent particulièrement attractif pour les industriels : très bonne conductivité thermique et électrique ; malleabilité – qui permet d'obtenir des fils extrêmement fins – ; aptitude à supporter n'importe quel traitement de surface ou à s'allier à d'autres métaux ; propriétés bactéricides ; qualités esthétiques. Le cuivre est ainsi utilisé dans des domaines aussi divers que l'électricité, la fabrication de canalisations sanitaires, de chauffage ou de gaz, la couverture et les gouttières des toits.

Le surcoût du cuivre lié à sa production est compensé par son excellente résistance à la corrosion : ainsi, le prix d'une toiture en cuivre est de 15 % supérieur à celui d'une toiture en zinc, mais elle dure trois fois plus longtemps. Enfin, le cuivre présente un dernier atout : il est recyclable (1). Aujourd'hui, en France, un tiers des produits en cuivre sont fabriqués



A. MEYER

de transistors. Les ingénieurs de Motorola ont suivi une voie similaire qu'ils appellent métallisation par double incrustation. Les canaux gravés dans le semi-

conducteur sont plaqués avec du nitrite de titane qui sert à la fois à éviter le contact entre cuivre et silice et à assurer une bonne adhésion au cuivre qui est déposé ensuite. Le même processus est repris pour



Après la fusion, le cuivre devra subir encore diverses refontes pour devenir pur à 99,99% et être ainsi utilisable en électronique.

IBM

à partir de déchets recyclés. Les nouvelles technologies constituent un terrain que le métal rouge est donc bien placé pour conquérir. Qu'il s'agisse de supraconductivité, de sustentation magnétique pour véhicules à grande vitesse, d'instrumentation pour la médecine, d'alliages

à mémoire de forme, etc. Un signe ne trompe pas : un brevet pour un nouvel alliage à base de cuivre est déposé chaque jour quelque part dans le monde...

**Germain Chambost**

..... Mis à part le sulfate de cuivre utilisé en agriculture, et les câbles électriques sous-marins.

faire les six niveaux de connexions. IBM et Motorola annoncèrent à peu près en même temps – fin 1998 – la sortie de leurs premiers processeurs au cuivre, lesquels ouvraient une ère nouvelle pour l'informatique. Pour commencer, le

cuivre offre 40% de moins de résistance au passage du courant que l'aluminium. Le gain est spectaculaire si l'on veut bien se rappeler que les chercheurs pavoisent dès qu'ils réussissent à améliorer les performances d'un circuit de 2

ou 3%. Ainsi, IBM testa d'abord le cuivre sur un processeur PowerPC 750 conçu pour le câblage en aluminium et pouvant tourner à 300 MHz. Le seul fait de remplacer les connexions d'origine par des connexions en cuivre permit de le faire tourner à 400 MHz, soit un gain de 33%.

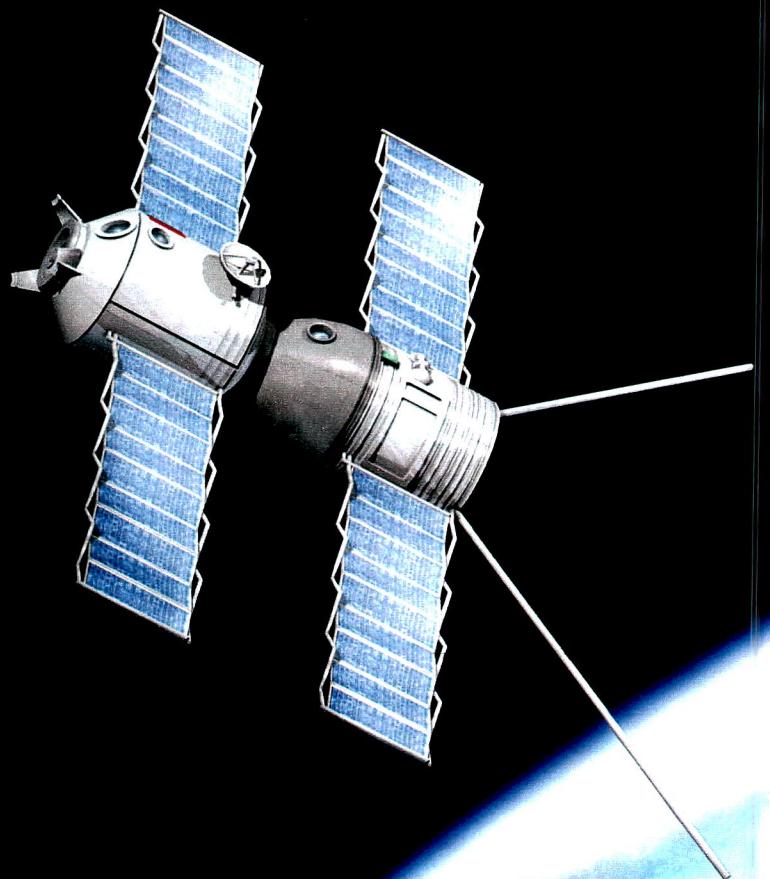
Meilleur conducteur, le cuivre est de plus beaucoup moins sensible au processus d'électromigration qui, à lui seul, condamnait l'aluminium. On peut d'ailleurs le durcir encore en lui ajoutant un faible pourcentage d'étain qui ne modifie que peu sa résistance électrique mais le rend encore plus solide face à ce processus – pour les mêmes raisons on ajoutait un peu de cuivre à l'aluminium. Du fait de sa température de fusion beaucoup plus élevée (1085 °C contre 658 °C) le cuivre peut supporter des densités de courant plus de 10 fois supérieures à celles que peut tenir l'aluminium.

## 8 FOIS PLUS DE TRANSISTORS AU CENTIMÈTRE CARRÉ

On peut ainsi envisager des densités de 150 à 200 millions de transistors par centimètre carré – le record actuel est celui du AMD K6 III avec 21 millions de transistors. L'arrivée du cuivre constitue donc une avancée majeure qu'exploitent déjà Motorola avec la nouvelle série des PowerPC G3 et des futurs G4, et IBM avec les PowerPC 740/750 de la technologie CMOS7S. Sont également visés les circuits destinés à des applications spécifiques (ASIC) : vidéo, robotique, téléphonie, etc. En ce qui concerne l'électricité, il ne restera plus alors à l'aluminium qu'un domaine très particulier : celui des lignes à haute tension, pour une question de poids, alors qu'il s'agissait plutôt d'une question de routine dans le cas des processeurs.

# Un Chinois d'

Quelque 40 ans après l'Union soviétique et les Etats-Unis, la Chine va devenir le troisième pays au monde à lancer des hommes dans l'espace. Une opération qui aura un retentissement considérable.



## Le vaisseau et la station

Le vaisseau spatial chinois (100 m<sup>3</sup>, 8,2 tonnes) sera biplace, avec des caractéristiques proches du Soyouz soviétique. Il disposera d'une pièce d'amarrage en vue de rendez-vous avec une future station spatiale (pourquoi pas internationale) et peut-être la station *Mir*.

# ans l'espace

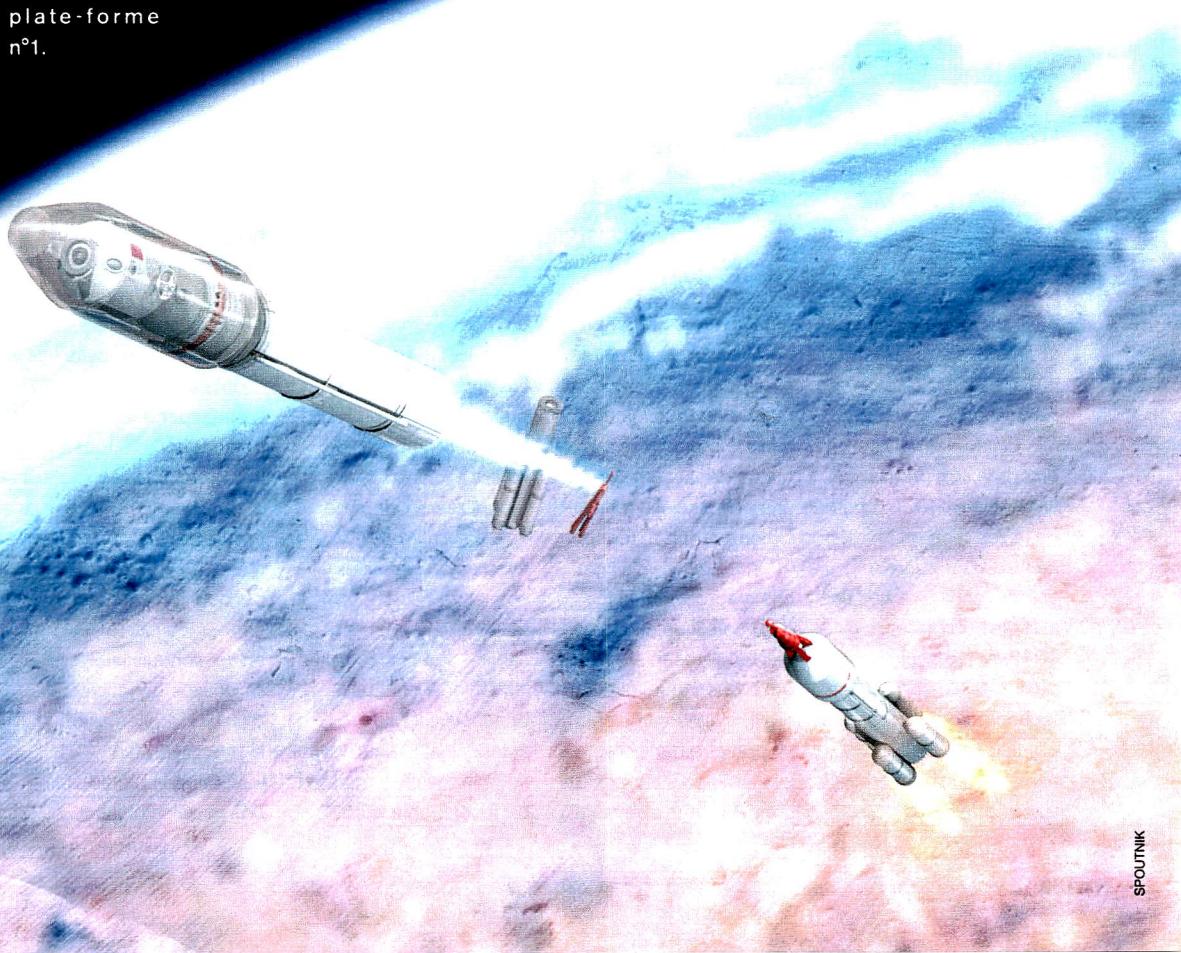
**S**ur la cahoteuse route à deux voies bordée par une voie ferrée unique, deux voitures noires aux vitres teintées filent vers le nord. Elles ont quitté quelques minutes auparavant la ville-garnison de Léninsk, et se dirigent vers le cosmodrome de Baïkonour. Une quarantaine de kilomètres à franchir avant d'atteindre la tribune d'honneur, d'où l'on peut suivre les lancements effectués de la plate-forme n°1.

Ce jour-là, 17 août 1996, la Russie va lancer un nouveau Soyouz en direction de la station *Mir*. A son bord, outre deux cosmonautes soviétiques, la première Française de l'espace, Claudie André-Deshays. Les limousines noires, pourtant, ne véhiculent pas des personnalités françaises,

mais

une délégation chinoise, venue se rendre compte du déroulement d'une mission spatiale habitée.

Cette visite n'est pas un événement fortuit. En effet, depuis plusieurs mois déjà,



■ Comme les États-Unis et l'URSS, la Chine est entrée dans l'ère spatiale en transformant des missiles en lanceurs de satellites. Si elle est devenue – aussi rapidement – une puissance spatiale, elle le doit à l'aide initiale apportée par les Soviétiques. En effet, en 1958 Moscou livra à Pékin deux missiles balistiques de type R-1 que les ingénieurs chinois s'empressèrent de désosser. Une soixantaine d'autres, de la série R-2, furent livrés peu après et testés en septembre 1960, sur un champ de tir créé tout spécialement. Dans le cadre du programme "Longue Marche", débuta le développement d'un missile intercontinental, le DF-3 de 10 000 km de portée, qui réussit son premier tir trois mois et demi avant l'explosion de la première bombe atomique chinoise dans le désert de Lop Nor. Modifié, il permettra à la Chine de mettre en orbite son premier satellite, en 1970. A partir de là, les responsables ne tarderont guère à utiliser l'espace à des fins militaires. En juillet 1975, après seulement deux satellites à vocation technologique, un premier satellite espion est mis en orbite, transmettant ses

informations par radio. Un autre le suit quatre mois plus tard, inaugurant la série FSW (*Fanhu Shi Weixing*). Il s'agit toujours de satellites espions, mais dotés d'une capsule récupérable de 150 kg



HAN XINHUA/SYGMA

renfermant les films des prises de vues, à l'instar de ce que firent au début les Corona américains et les Zénith soviétiques. Aujourd'hui, la Chine en est à sa troisième génération de satellites de reconnaissance photographique, dotés de capsules de 300 kg. Mais le rythme des lancements (en moyenne un par an pour les deux premières générations), n'est plus que de un tous les deux ans, pour des missions qui ne dépassent guère une semaine. Au total, la Chine a lancé et récupéré 17 satellites de ce type. Elle a également lancé deux satellites météo et huit satellites télécom. Ils ont *a priori* une vocation civile, mais comme cela se pratique dans d'autres pays, certains canaux sont vraisemblablement



AFP/STEPHEN SHAYER



La fusée "Longue Marche 2" (à g.), dérivée d'un missile balistique intercontinental, est le fer de lance de l'écurie spatiale chinoise qui compte aujourd'hui sept modèles de lanceurs.

réservés aux militaires. La Chine, comme toutes les grandes puissances stratégiques, dispose d'une panoplie de missiles adaptés à toutes les situations. C'est ainsi qu'elle vient de développer le DF-31, missile mobile de 13 000 km de portée. Elle a par ailleurs conçu un missile – nom de code JL-1 – pouvant être tiré en sous-marin. Son premier essai a eu lieu le 27 septembre 1988, l'ogive ayant été récupérée au large de Taïwan. Enfin, des missiles antisatellites seraient à l'étude. Mais pour améliorer la fiabilité des lanceurs, les Chinois ont aussi bénéficié de l'aide américaine. Cela s'est fait sous forme d'un transfert de technologie qui

suscita, en juin 1998, une enquête du congrès US. Tout a commencé en février 1996, après l'explosion d'une "Longue Marche" porteuse d'un satellite commercial américain, qui fit d'ailleurs d'importants dégâts humains, la fusée étant retombée sur une zone habitée. La Chine, dans un souci apparent de coopération, invita ses clients américains à participer à la commission d'enquête. Il s'agissait en fait d'un moyen astucieux pour bénéficier du conseil d'experts. Le plus grave est que la fusée concernée existe aussi en version militaire ; elle va pouvoir bénéficier d'un guidage amélioré, la précision étant justement le point faible des missiles chinois...

cosmonautes chinois se trouvent en formation à la Cité des étoiles, près de Moscou. Le fait n'a en lui-même rien d'étonnant, dans la mesure où, avant même l'effondrement de l'URSS, le centre d'entraînement Youri-Gagarine s'était déjà ouvert aux cosmonautes étrangers, qui purent ainsi séjourner à bord de Saliout 7 et de *Mir*. Les heureux bénéficiaires furent d'abord les pays « frères » d'Europe de l'Est, à partir de 1978, puis d'autres pays communistes comme le Vietnam et la Mongolie, pour ne citer que des voisins de la Chine. La France, avec Jean Loup Chrétien, fut le premier pays occidental à faire exception, dès 1982, en raison d'une longue tradition de coopération.

Pour les Chinois, toutefois, ce stage à la Cité des étoiles n'entrant

pour interconnecter leurs réseaux) : la Chine a désormais en main tous les atouts pour concrétiser un vol spatial habité.

De fait, depuis quelques mois, des informations évoquent avec de plus en plus d'insistance le lance-

Lihen, confirma cette option : « Les vols habités sont un objectif intéressant, qui fait partie de notre développement d'ici à 2020. » D'où l'on pouvait en déduire que la Chine préparait activement l'envoi de cosmonautes. « La Chine a depuis



## De la Cité des étoiles à l'espace...

Wu Tsé et Li Tsinglung (ici en formation à la Cité des étoiles, en Russie) seront très probablement les occupants du premier vaisseau spatial chinois. Leur mission est attendue à partir du mois d'octobre prochain.

Après le lancement de leurs deux premiers satellites, en avril 1970 et mars 1971, les Chinois ont engagé un programme de satellites espions – ce qui les a amenés à faire revenir sur Terre des capsules de 300 kg. Ainsi maîtrisent-ils, depuis déjà 14 ans, la technique des retours atmosphériques. Des lanceurs puissants (jusqu'à 9 tonnes en orbite basse), des capsules récupérables, des cosmonautes formés, un réseau de stations de poursuite (France et Chine ont signé en février dernier un accord

longtemps l'intention de se constituer un corps d'astronautes », affirma de son côté Tang Jinan, le P-DG de CGWIC, la société de la « Grande Muraille », qui commercialise les lanceurs chinois à l'image de ce que fait Arianespace.

Puis il y eut le stage des deux pilotes militaires qui, en 1996-1997, ont suivi un entraînement d'un an



SYGMA

à la Cité des étoiles. Leur préparation s'est faite dans le cadre d'un accord signé entre les deux pays en 1992. Le projet chinois de vol spatial habité est connu officiellement sous le nom de "Programme 921", ce qui se lit en fait "92.1". Dans la terminologie chinoise cela signifie que ce programme a réelle-

## Un vol habité pourrait avoir lieu avant fin 1999

ment démarré en 1992, et qu'il a bénéficié de la plus grande priorité. Il est donc logique de penser que cet événement historique pourrait n'être plus désormais qu'une question de mois, même si à deux reprises déjà la Chine a tenté d'engager un programme de vols habités, que les autorités ont à chaque fois stoppé, par suite de divergences politiques ou pour des raisons économiques.

Si l'on reprend les déclarations officielles, l'on constate qu'elles évoquent tantôt la fin de la décennie en cours, tantôt le début du prochain millénaire, ce qui est assez contradictoire. Dans le premier cas, cela implique un lancement habité avant décembre 1999; dans le second cas, à partir de janvier 2001. La première possibilité paraît la plus plausible.

A la fin de l'année dernière, en effet, des spécialistes russes participant à une exposition cosmique à Pékin ont rapporté que leurs col-

## Un lanceur puissant

Une version adaptée de la fusée CZ-2E sera le lanceur du vaisseau spatial chinois. Avec 460 tonnes au décollage et une masse satellisable de 9 tonnes en orbite basse, elle présente des performances légèrement supérieures à la plus puissante version d'Ariane 4.

lègues chinois évoquaient un vol habité pour le 1<sup>er</sup> octobre 1999, afin de marquer de façon spectaculaire le 50<sup>e</sup> anniversaire de la naissance de la Chine communiste. Un quotidien de Hongkong, le *Saout Chine Morning Post*, affirma à son tour que le premier vol spatial humain chinois aurait lieu à cette date. Cela n'aurait *a priori* rien d'étonnant, si l'on se souvient que la pratique des lancements importants effectués à des dates symboliques était courante dans la Russie communiste : les deux premiers Spoutnik furent ainsi en quasi-coïncidence avec le 50<sup>e</sup> anniversaire de la révolution bolchevique.

« Un vol habité est relativement proche », admet de son côté l'attaché militaire de l'ambassade de France à Pékin, qui estime toutefois « peu probable » que l'événement ait lieu le 1<sup>er</sup> octobre prochain. Pourtant, à l'occasion d'une réception donnée à Moscou en 1997, le général de brigade Fen-Jouï-Tsian, conseiller militaire de l'ambassade de Chine, annonça que le premier vol spatial chinois serait réalisé dans le courant de l'année 1999...

## PIED-À-TERRER COSMIQUE

L'on sait par ailleurs que le vaisseau spatial, construit dans une usine aérospatiale de la CASC (*Chines Aerospace Corporation*) dans la banlieue sud de Pékin, est aujourd'hui disponible ou sur le point de l'être. Quelques industriels français installés en Chine ont eu l'occasion de le voir. L'on sait seulement que sa masse est comprise entre 7 et 8 tonnes, ce qui en fait l'équivalent d'un Soyuz. Il s'agit probablement d'un vaisseau biplace.

Quant à la fusée destinée à le mettre en orbite, la presse chinoise annonce qu'elle sera « bientôt disponible ». De quelle fusée s'agit-il ? La panoplie dont dispose

# LES BASES SPATIALES CHINOISES

■ La Chine dispose de trois bases spatiales, chacune ayant une vocation particulière : militaire (Jiuquan), adaptée aux orbites moyennes ou polaires (Taiyuan), et commerciale (Xichang).

## Jiuquan, anciennement

Shuang Cheng Tzu  
(41° N/100° E).

Créée en 1958 dans le désert de Gobi, tout près de la frontière mongole. Tests de missiles, puis fusées du type FB-1 à partir de 1969. Lance aujourd'hui des CZ-2C et 2D porteuses de satellites militaires de reconnaissance, dits FSW, dont les capsules sont récupérées.

A connu 30 lancements.

## Xichang

(28° N/100° E).

C'est le site situé le plus bas en latitude, dans la province du Sichuan,

De la base de Xichang (ci-dessous), partiront les cosmonautes chinois. Ci-contre, contrôle satellite.



APPELÉ SIEU YING

par plus de 1500 m d'altitude dans une vallée entourée de montagnes. En service depuis 1984. Lance exclusivement des fusées de la série CZ-3, qui placent en orbite

des satellites géostationnaires. A été le théâtre d'un grave accident le 14 février 1996 lorsqu'un lanceur s'est brisé en phase d'ascension, retombant sur un village situé sous



CHINE NOUVELLE/SIPA PRESSE

la trajectoire en faisant de nombreuses victimes (officiellement 20 morts, probablement 120).

A connu 25 lancements.

## Taiyuan (38° N/112°E).

C'est le site le plus proche de Pékin.

Il n'est utilisé que depuis 1988. Affecté au petit lanceur CZ-4 de satellites météo en orbite polaire

héliosynchrone. Lance également depuis peu des fusées CZ-2C emportant des satellites de télécommunication de la série Iridium. A réalisé 7 lancements.

la Chine est aujourd'hui bien connue, de belles maquettes des différentes versions de la série "Longue Marche" – que les Chinois désignent par le préfixe CZ pour Chang Zhang – étant présentées dans tous les salons et congrès d'astronautique de par le monde. Les deux plus puissants lanceurs disponibles sont actuellement les CZ-3B et CZ-2E. : le première a une capacité de 5 tonnes, ce qui est insuffisant pour un vaisseau spatial, tandis que le second, bien que plus puissant (9 tonnes) est optimisé pour des tirs en orbite géostationnaire. C'est pourtant

ce modèle-là qui semble avoir été retenu, dans une version modifiée déjà désignée CZ-2EA. Elle satelliserait 14 tonnes.

Le nom des premiers cosmonautes chinois est même déjà connu. Il devrait s'agir de Wu Tsé et de Li Tsinglung, les deux pilotes qui se sont entraînés en Russie. Ils sont officiellement présentés comme des instructeurs ayant pour mission de préparer d'autres cosmonautes. Mais un bon instructeur ne doit-il pas avoir eu l'expérience d'un vol spatial?

Quel serait leur programme ? Faire tourner deux hommes au-

tour de la Terre, pendant quelques jours, dans une capsule exiguë n'a plus guère d'intérêt aujourd'hui. C'est pourquoi ils se rendront très probablement à bord d'une station orbitale, les Chinois n'ayant d'ailleurs jamais caché leur intention de disposer d'un pied-à-terre cosmique, dont le premier concept fut dévoilé en 1990 par les professeurs Z. Zhang et Z. Jin de l'université de Shanghai, à l'occasion du congrès international d'astronautique qui se tenait à Dresde. Six ans plus tard, au congrès de Pékin, la station chinoise était présentée comme un ensemble de

4 modules cylindriques alimenté en énergie par panneaux solaires, dont la masse pourrait être comprise entre 60 et 90 tonnes.

« La Chine a besoin d'un lanceur lourd pour mettre en orbite une station orbitale au siècle prochain », déclaraient par ailleurs, dès 1990, Dong Chun et Zuwei Huang, du département de recherche spatiale du ministère de l'Industrie. D'autres sources, plus récentes, confirment que la Chine travaille sur un lanceur lourd permettant de satelliser les éléments de cette station. Cette fusée – provisoirement baptisée CZ-X – serait capable de placer 22 tonnes en orbite basse, ce qui en fait l'équivalent de la Proton russe ou de l'Ariane 5 européenne. Cette masse est aussi à peu près celle du corps central de *Mir*.

#### **MIR MAINTENUE EN ORBITE**

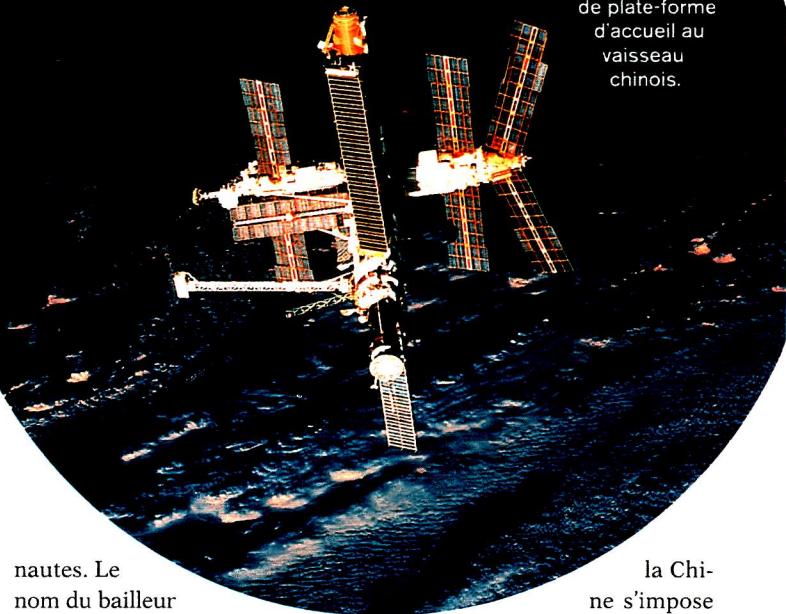
Mais pour l'heure, ni les modules ni le lanceur destiné à les mettre en orbite ne sont disponibles. Dans un premier temps, la Chine utiliserait donc une infrastructure existante. La station internationale étant exclue – elle ne sera achevée qu'en 2004 et aucun accord n'a été signé avec ce pays – il reste *Mir*, dont les Russes cherchent par tous les moyens à prolonger la carrière. Aucune annonce officielle n'a été faite en ce sens, mais on rappellera que le 23 décembre dernier

nautes. Le nom du bailleur de fonds potentiel est

encore secret à ce jour, mais il est « prêt à mettre de l'argent en échange de garanties gouvernementales ». Or, un mois et demi plus tard, le 12 février, le Premier ministre russe Evgeni Primakov signait le décret autorisant le maintien en orbite de la vieille station orbitale russe pour trois années supplémentaires, à charge pour la société Energia d'en financer la maintenance, évaluée à 1 milliard de francs par an. Cette somme représente deux à trois vaisseaux Soyouz pour la relève des équipages, et autant de cargos

#### **Station d'accueil**

La station *Mir*, dont les Russes reportent sans cesse la désorbitation annoncée, pourrait servir de plate-forme d'accueil au vaisseau chinois.



la Chine s'impose comme une évidence.

Une cession pure et simple de la station reste cependant inimaginable, les Chinois n'ayant aucune expérience du vol spatial. Si co-opération il doit y avoir, ce sera plutôt un partenariat, voire une copropriété, où des cosmonautes des deux pays cohabiteraient, la Russie assurant la logistique.

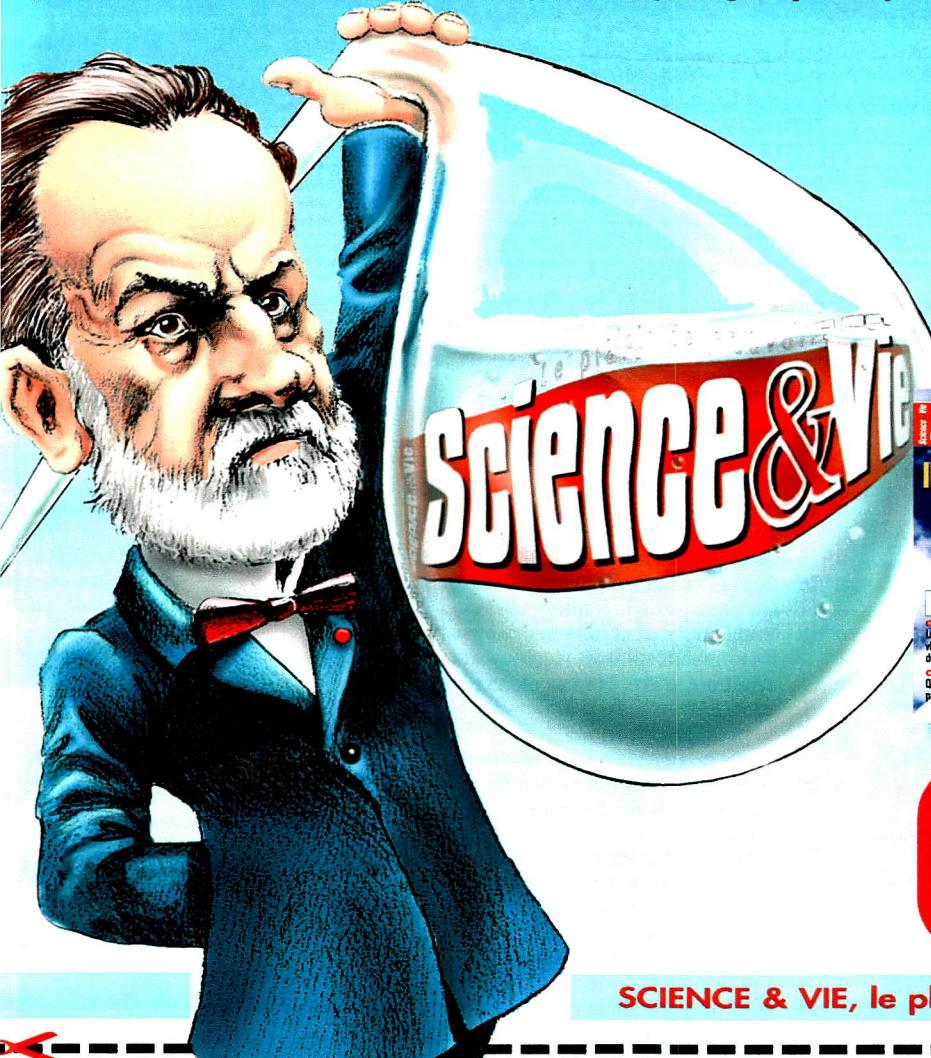
Qu'ils soient lancés le 1<sup>er</sup> octobre prochain ou un peu plus tard, et qu'ils s'amarrent ou non à la station *Mir*, les premiers cosmonautes chinois auront, en tout cas, certainement une pensée pour un nommé Wan Hu. Un mandarin vivant sous la dynastie Ming, à la fin du XIV ou du XV<sup>e</sup> siècle, qui prit place sur un siège porté par deux cerfs-volants et auquel il avait fixé 47 fusées. De Wan Hu, disparu dans l'explosion dont cette expérience s'ensuivit, il ne reste plus aujourd'hui qu'une statue à l'entrée du musée du Cosmos, dans la banlieue de Pékin, et une montagne qui porte son nom... sur la face cachée de la Lune.

## Une coopération est envisageable entre cosmonautes russes et chinois

Youri Semionov, directeur de la société RKK-Energia qui exploite *Mir*, annonçait avoir trouvé un investisseur pour assurer le maintien en orbite de la station, information confirmée par plusieurs cosmo-

Progress pour le ravitaillement des cosmonautes, ainsi que les frais de suivi au sol. On peut imaginer un repreneur privé, mais il est plus plausible de penser à un Etat, et dans ces conditions l'hypothèse de

# Le meilleur vaccin contre la désinformation : c'est SCIENCE & VIE !



226  
francs  
seulement

SCIENCE & VIE, le plaisir de savoir.

## Bulletin d'abonnement à SCIENCE & VIE

à retourner sous pli affranchi avec votre règlement à SCIENCE & VIE Service Abonnements - 1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris Cedex 15

**Oui** Je m'abonne à SCIENCE & VIE  
pour 1 an soit 12 mensuels.

● Je règle la somme de **226 francs\*** seulement.

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal \_\_\_\_\_

Ville \_\_\_\_\_

### Je choisis de régler par :

- chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE  
 carte bancaire

N° \_\_\_\_\_

expire à fin \_\_\_\_\_ mois \_\_\_\_\_ année

Date et signature obligatoires

\* Au lieu de 276 francs prix normal de vente des magazines chez votre marchand de journaux

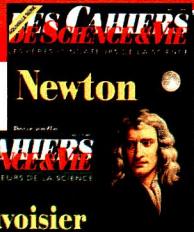
OFFRE VALABLE JUSQU'A FIN 1999 ET RESERVEE A LA FRANCE METROPOLITAINE.

You pouvez aussi vous abonner par téléphone  
au 01 46 48 47 17 ou Minitel : tapez 36 15 ABON

SV 980

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 06/01/1978 vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par cette intermédiaire, vous pourrez être informé à tout moment des publications à autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nouscrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et le numéro de cette référence ci-dessus.

# Collectionnez les grandes figures de l'aventure scientifique



**Newton**

**Lavoisier**

**Einstein**

**MENDEL**

**MAXWELL**

**ARCHIMEDE**

**BUFFON**

**CARNOT**

**KEPLER**

**FREUD**

**MARIE CURIE**

LE NUMERO  
**40 francs\*\***  
seulement

- n° 13 - Pour enfin comprendre la relation entre une pomme et la Lune...: **Newton**
- n° 14 - De la révolution chimique à la guillotine...: **Lavoisier**
- n° 15 - Comment naquit la génétique : **Mendel**
- n° 16 - Des atomes aux étoiles : **Einstein**
- n° 17 - Les champs de la lumière : **Maxwel**
- n° 18 - Mathématicien et ingénieur, il étonna un roi trois siècles avant notre ère, et nous étonne encore...: **Archimède**
- n° 19 - Le premier chirurgien des temps modernes : **Ambroise Paré**
- n° 20 - Pourquoi sa machine a soufflé le chaud et le froid sur toute la physique : **Carnot**
- n° 21 - Comment, par ses calculs, il vit un clair de Terre : **Képler**
- n° 22 - Comment fut découvert la psychanalyse : **Freud**
- n° 23 - Du Grand Livre de la Nature à la Grande Galerie : **Buffon**
- n° 24 - Sa découverte de la radioactivité lui valut deux prix Nobel : **Marie Curie**



**AMBROISE PARÉ**



**CARNOT**



**KEPLER**



**FREUD**

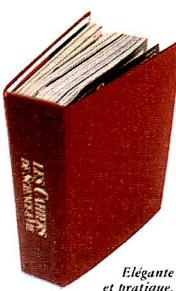


**MARIE CURIE**

\*\* Tarif France métropolitaine

## Bon de commande

à compléter et à retourner avec votre règlement à l'ordre des CAHIERS DE SCIENCE & VIE sous enveloppe affranchie à : Service VPC - 1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris cedex 15 France



Elegante et pratique,  
chaque reliure est conçue  
pour classer 6 numéros des  
CAHIERS DE  
SCIENCE & VIE

- Je commande les ouvrages suivants de la collection «GRANDES FIGURES» des CAHIERS DE SCIENCE & VIE :

Cochez les cases de votre choix

n° 13  n° 14  n° 15  n° 16  n° 17  n° 18  
 n° 19  n° 20  n° 21  n° 22  n° 23  n° 24

au tarif unitaire de 40 francs  
(frais de port inclus pour la France métropolitaine)

au tarif unitaire de 45 francs  
(frais de port inclus pour l'étranger)

- Je profite de ma commande pour vous acheter  reliures des CAHIERS DE SCIENCE & VIE

au tarif unitaire de 65 francs (étranger 75 francs)

● Le montant de ma commande est de  francs

● Je joins mon règlement par chèque bancaire ou postal (\*)

Nom

Prénom

Adresse

Code postal     Ville

Pays

(\*) Etranger : mandat international ou chèque compensable à Paris.

En application de l'article L.27 de la loi du 6.01.1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et sont exclusivement communiquées au destinataire la trame. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès d'Excelsior. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient communiqués ultérieurement.

Offre valable jusqu'au 31.12.99.

DIRIGÉ PAR ROMAN IKONICOFF

Science  
@  
Puce



© TOSHIYUKI AZAWA/REUTERS/MAXPPP

## Puce digitale



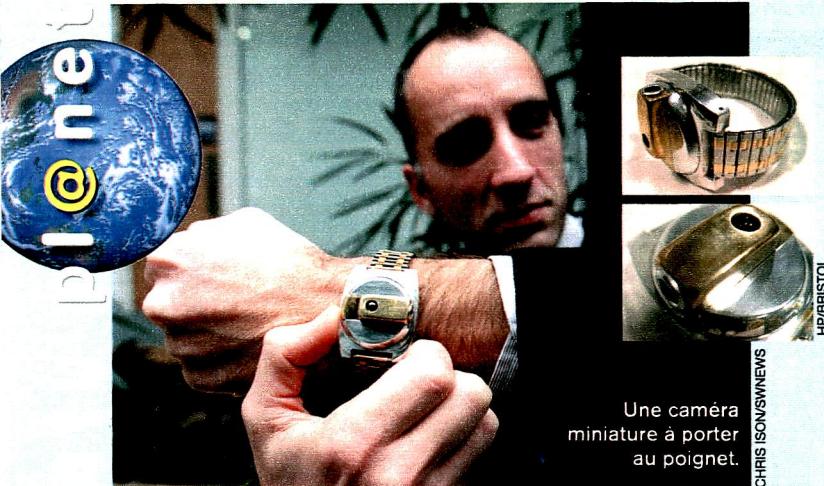
Le petit microprocesseur de 15x15 mm<sup>2</sup>, conçu dans les laboratoires du japonais NTT, est muni d'une surface sensible qui traduit en données numériques

les empreintes digitales de celui qui y pose son doigt. Les empreintes sont alors identifiées par le microprocesseur. Ce type de puce pourrait s'intégrer dans un système de sécurité informatique.

**ACTUALITÉ** p.137  
Les dernières nouvelles du multimédia

**PASSEPORT POUR INTERNET** p.142  
L'internet polymorphe

**INTERNET** p.148  
Pollutions en ligne



Une caméra miniature à porter au poignet.

CHRIS ISOM/SWENNS

## Vers le tout-gratuit



Un PC et un abonnement à la Toile gratuits ? C'est du sérieux. Aux Etats-Unis, la société

Free-PC propose ce doublet à tous les futurs internautes qui accepteraient, en échange, de se voir bombardés par de la publicité ciblée via l'ordinateur. L'Europe n'en est pas encore là, mais des propositions d'abonnements gratuits à l'internet pour chaque ordinateur acheté commencent à apparaître. En France, le fabricant Gateway va lancer la formule en juin. En Angleterre, les fournisseurs d'accès Freeserve et Yahoo! proposent déjà l'abonnement gratuit à la Toile tout comme la banque Barclays, qui l'offre à ses clients.

Mais une question reste posée : comment financer ce type d'offre ? Une alternative : ou bien le fournisseur d'accès fait payer à l'opérateur téléphonique (par exemple, France Télécom) une dîme pour chaque internaute connecté, ou bien le fournisseur se rembourse grâce à la publicité ciblée, comme aux USA. La loi du marché tranchera.

## Vision minimale



La miniaturisation n'a pas dit son dernier mot. Des chercheurs britanniques de la société d'informatique Hewlett-Packard ont mis au point un microprocesseur qui regroupe l'ensemble des fonctions nécessaires à l'acquisition et au traitement des images...

Bref, un laboratoire de numérisation de film qui ne mesure que quelques mm<sup>2</sup>. Couplée à une caméra vidéo, la puce peut être installée dans une montre, un téléphone, etc. Grâce à une liaison infrarouge ou radio, le microprocesseur délivre ses images à un PC ou à une télévision.

Royaume-Uni

Allemagne

Suède

Norvège

Espagne

Finlande

Pays-Bas

Italie

Danemark

Autriche

France

Belgique

Portugal

Islande

Grèce

Irlande

## Top 15 européen



■ La France arrive en 11<sup>e</sup> position des pays européens branchés à la Toile, avec 400 000 utilisateurs réguliers de l'internet (selon NUA).

## Espoir

Le ministre de l'économie, Dominique Strauss-Khan s'est fixé comme objectif pour l'an 2000 : 10 millions d'internautes et la connexion à la Toile d'au moins une entreprise sur deux en France. Ceci alors que 75% des Français avouent ignorer tout ce qui touche au Réseau (selon BetValue).



**En avoir pour son argent : monnaie courante dans le pays qui a inventé le Voyager.**

CHRYSLER VOYAGER. TOUTE L'AMÉRIQUE DANS UN MONOSPACE. Connaissez-vous un pays qui évoque autant l'abondance, la technologie et la convivialité ? Et maintenant, citez un monospace capable de vous offrir tout cela au moindre coût. Vous avez deviné : le Chrysler Voyager. Elegance, espace, confort, fonctionnalité, performance et débauche d'équipements de série : ABS, airbags\* conducteur et passager avant, air conditionné, radiocassette RDS, 7 places, peinture métallisée, 2 portes latérales coulissantes, régulateur électronique de vitesse\*\*, sellerie cuir partiel\*\*, ordinateur de bord\*\*. Le tout à un prix vraiment compétitif. Ceci explique pourquoi les 7 millions de Voyager déjà vendus à ce jour suffiraient à construire une chaîne plus longue que le tour de la planète. Et pour les familles qui pensent pouvoir remplir 4 880 litres de volume de chargement, nous avons aussi le Grand Voyager. Venez découvrir toute la gamme Voyager à partir de 159 900 F\*\*\*. THE SPIRIT OF AMERICA ON WHEELS.\*\*\*\*



Chrysler

Pour découvrir et essayer le Chrysler Voyager :

36 15 Chrysler

1.296 F/mn

N° Indigo 08 08 08

# A pas de course



Simulations informatiques les plus réalistes possibles.

pose une véritable bibliothèque de mouvements (concernant notamment la course à pied, le cyclisme, le basket, etc.) réalisés à partir de simulations informatiques. Celles-ci reposent sur des principes physiques (prenant en compte le poids, la taille ou la morphologie des personnages, etc.) qui rendent les mouvements plus réalistes. La bibliothèque est destinée à fournir des modèles comportementaux dans des simulations d'évacuation d'édifice ou de situations d'urgence.  
<http://www.cc.gatech.edu/gvu/animation/>



Une équipe du Georgia Institute of Technology (États-Unis) spécialisée dans les nouvelles technologies graphiques et visuelles (GVU) pro-

## Les décrets

sur la libéralisation  
du cryptage, qui portent à  
128 bits la taille autorisée  
des clefs de cryptage sans  
contrôle de l'Etat sont au :  
[www.internet.gouv.fr/francais/commerce/textesref.htm#1](http://www.internet.gouv.fr/francais/commerce/textesref.htm#1)

## Grand peur et misères



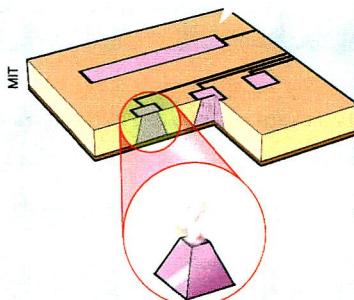
Le "bogue de l'an 2000", cette "lacune" informatique qui pousse les ordinateurs à confondre le 1<sup>er</sup> janvier 2000 (01/01/00) avec le 1<sup>er</sup> janvier 1900 (01/01/00), inspire une terreur de plus en plus forte. Partout on teste les ordinateurs afin de s'assurer qu'ils ne déraileront pas l'heure venue. C'est lors d'un de ces tests que le système informatique d'une centrale nucléaire de Pennsylvanie (Etats-Unis) est resté bloqué pendant sept heures. De leur côté, les compagnies aériennes, qui craignent de voir leur avions désertés au fatidique soir du 31 décembre 1999, ont trouvé la bonne parade (commerciale) : annoncer que leurs dirigeants prendraient l'avion ce jour-là. Plus globalement, des consultants informatiques et autres organismes spécialisés ont effectué un classement des pays en fonction de leur risque "bogue". La France est classé dans le groupe des "33%" (33% d'entreprises qui risquent d'affronter des pannes graves). Dans le premier groupe, celui des 15%, on trouve les États-Unis, la Belgique, le Royaume-Uni... La Russie, elle, est classé dans le dernier groupe, avec un risque de 66%. (consulter notamment : [www.gartner.com](http://www.gartner.com) et [www.global2k.com](http://www.global2k.com)).

## Micro-pharmacie électronique



Un objet rectangulaire en silicium de 310 µm d'épaisseur sur 2mm<sup>2</sup> de surface – bref, une puce – sera peut-être la prochaine pilule à avaler... C'est ce qui ressort d'un article publié dans la revue *Nature* par l'équipe de John Santini Jr, chimiste au Massachusetts Institute of Technology (USA). En effet, le chercheur vient de fabriquer une puce-pharmacie qui, au lieu de résistances, de transistors et de

condensateurs, contient d'infimes réservoirs remplis de médicaments variés. Chaque réservoir est scellé par une fine couche d'or, matériau d'excellente biocompatibilité. Lorsqu'on applique, via des conducteurs électriques, une très faible tension aux bornes des réservoirs, l'or fond et laisse échapper le contenu. L'intérêt de la machine réside dans la possibilité de piloter électriquement la vitesse de fonte de chacun des couvercles en or. Ainsi, il serait possible de délivrer des médicaments de manière parfaitement contrôlée (par un système électronique) à des malades auxquels on a préalablement injecté (ou fait ingurgiter) la petite puce chimique. L'article n'indique cependant pas les dimensions du système électronique ni de la batterie électrique qu'il faudra aussi ingurgiter pour que cela fonctionne...



Le microprocesseur chimique libère dans le milieu (par exemple, le sang) de très faibles quantités de substances.

# Le monde vous attend sur Internet



**Wanadoo**  
INTERNET AVEC FRANCE TELECOM

## Vous êtes bien sur Internet

### Wanadoo vous aide et vous accompagne

- Une assistance téléphonique du lundi au samedi

### Wanadoo vous apporte la qualité et l'innovation

- Un réseau d'accès rapide et facile
- Une messagerie avec 5 adresses personnalisées
- Un moteur de recherche **Volta**
- La possibilité de créer son propre site

### Wanadoo vous propose une formule adaptée à vos besoins

- Une connexion illimitée pour 95 F TTC/mois\*
- Trois heures par mois pour 45 F TTC/mois\*
- Un accès sans abonnement

\* Hors coût des communications téléphoniques locales



## Gratuit

### 1 mois d'abonnement illimité pour découvrir Internet

Offre d'accès Internet gratuit avec connexion illimitée le 1er mois,  
hors coût des communications téléphoniques locales.

### Pour demander votre kit de connexion Wanadoo :

PRIX APPEL LOCAL

N°azur 0 801 105 105

- Agences France Télécom
- Grandes surfaces ou magasins spécialisés
- 3615 Wanadoo (0.45 F TTC/minute)
- [www.wanadoo.fr](http://www.wanadoo.fr)



France Telecom

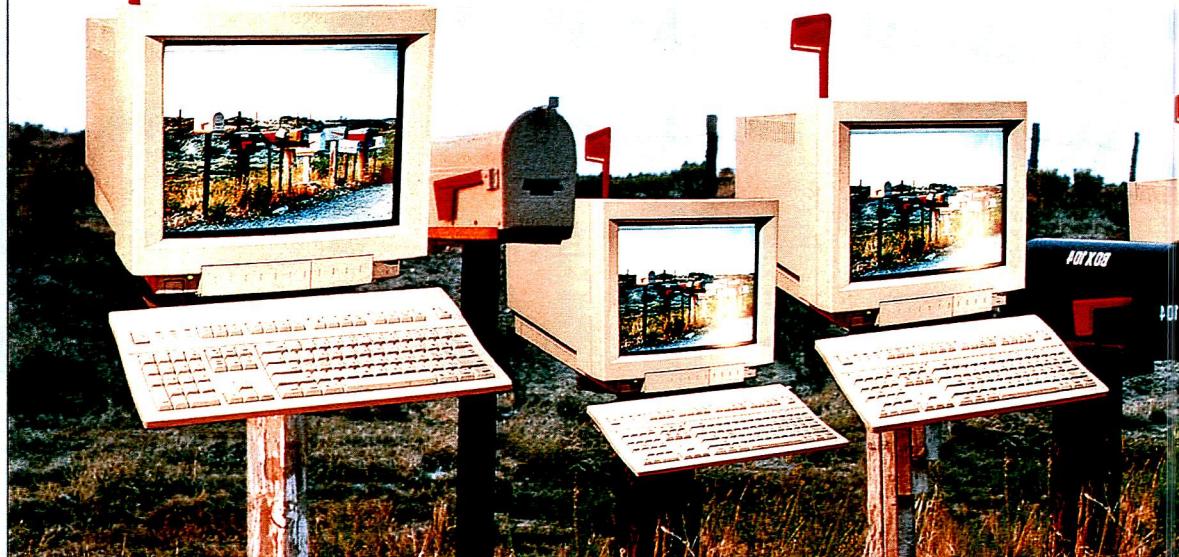


# Passeport pour l'internet

## 2/L'internet polymorphe

Si grâce à l'internet, les ordinateurs du monde entier sont interconnectés et peuvent "parler" entre eux, reste que pour y accéder l'envoi de séries de codes totalement obscurs pour le commun des mortels est indispensable. Mais l'hypertexte et les e-mails déchargent l'utilisateur de cette tâche.

1



**I**e mois dernier, nous avions comparé le cheminement de l'information sur l'internet à des fourmis se promenant sur une raquette de tennis. Si cette image était bien adaptée pour illustrer le parcours chaotique emprunté par les données, nous allons ce mois-ci choisir une autre métaphore pour présenter les différences qui existent entre l'internet, le Web, l'hypertexte et les e-mails.

Il est possible de comparer l'internet à un réseau ferroviaire. Les câbles ou les fibres optiques de liaison en seraient les voies. Des wagons de marchandise dans lesquels sont convoyées les informations remplacent les paquets de données circulant selon le protocole TCP/IP. Rappelons brièvement que, sous ce mode de transmission, un texte, un son ou une image ne sont jamais transmis en un seul bloc sur le réseau mais

scindés en une multitude de petits paquets de données avant la transmission. Lors de la réception, les paquets sont réorganisés pour retrouver l'information d'origine (voir *Science & Vie* n° 979 pour plus de détails). Les ordinateurs, quant à eux, deviennent, suivant cette métaphore, des gares de marchandises, avec des zones de stockage et des quais d'embarquement pour envoi des colis par la route vers leurs destinataires. Une

de cheminer d'une machine à l'autre ou d'y accéder directement. Chaque centre informatique est identifié par une adresse électronique qui lui est propre, son URL (*Uniform Resource Locator* : indicateur standard de localisation). Il s'agit d'une série de chiffres incompréhensible pour le commun des mortels. Pis encore, même une fois l'interconnexion réalisée, extraire l'information requiert la

WWW ou, plus simplement, le Web. Il ne s'agit pas d'un réseau différent de l'internet, mais plutôt de l'un de ses modes de fonctionnement, avec une vocation bien précise : la recherche d'informations. Pour cela, WWW est optimisé pour répondre le plus simplement et efficacement possible à cette tâche. Le Web est ce que les informaticiens appellent une "sous-couche" de l'internet.

## SIMPLIFIER LES PROCÉDURES FAVORISE LES ÉCHANGES

C'est le CERN (Centre européen pour la physique des particules) qui fut le berceau du Word Wide Web. Il y a plus de dix ans, ce centre de recherche possédait déjà un réseau informatique important. Ses dirigeants souhaitèrent cependant simplifier son fonctionnement, afin de favoriser les échanges d'informations entre chercheurs en les transmettant directement sous forme informatique d'un laboratoire à l'autre. En effet, le projet de recherche international sur les hautes énergies impliquait un dialogue permanent entre les divers laboratoires du monde ; il semblait toutefois difficile d'obliger des chercheurs en physique nucléaire à devenir éga-

Lorsqu'il "clique" un mot hypertexte, l'utilisateur accède à de nouvelles informations ou est dirigé sur un autre site.

frappe d'une série de codes. Or, si le protocole TCP/IP assure la liaison, il ne gère en rien ce "dialogue" électronique, destiné à expliquer au centre serveur ce que l'on attend de lui. Un handicap qui aurait interdit le développement de l'in-

## Le Web n'est pas un réseau différent mais un sous-ensemble

ternet si, pour se connecter, l'utilisateur devait devenir un expert en informatique. C'est un peu comme si, pour envoyer un colis de Paris à Marseille, il fallait mentionner sur son étiquette le numéro du train emprunté, ses horaires, le numéro du hangar de stockage en gare de Marseille, etc. Ce sont la poste et la SNCF qui prennent en charge ce travail d'acheminement. Leur équivalent sur l'internet est le World Wide Web, encore appelé

lement des virtuoses de l'informatique pour parvenir à confronter leurs expériences. Dès 1989 Tim Berners-Lee, du CERN, eut l'idée de mettre au point un système capable de simplifier l'échange des données en standardisant et en automatisant la "composition" de l'adresse électronique des

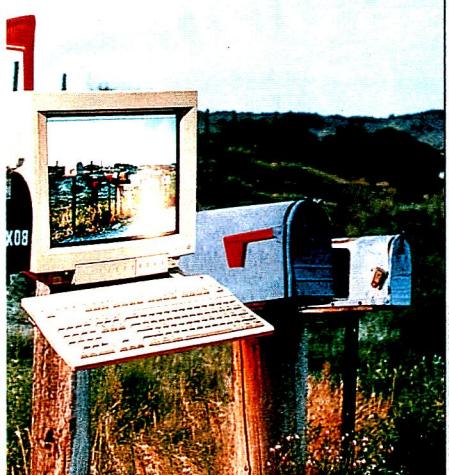


© MICHAELE DENNIS NOVAK

**Une nouvelle boîte aux lettres... qui reçoit beaucoup de publicité.**

gare peut, en fonction de la destination des convois, soit faire office de centre d'aiguillage, soit vider ou remplir les wagons d'un train. Nous verrons que les "routeurs" ou "serveurs" de l'internet ne fonctionnent pas autrement.

Sur l'internet, si les ordinateurs sont interconnectés – tout comme les gares sont reliées entre elles par des voies – il n'est pas évident



© MICHAEL DENNIS NOVAK



ordinateurs. Le concept du

World Wide Web était né.

Son secret réside dans l'utilisation du langage informatique

**HTML** (*HyperText Mark-up Language* : langage d'indexage hypertexte) qui permet d'as-

socier à des mots soulignés

dans un texte les coordonnées informatiques d'un ordinateur : une sorte de numéro d'appel. C'est ce

un nouvel ordinateur et sur une zone précise de sa mémoire.

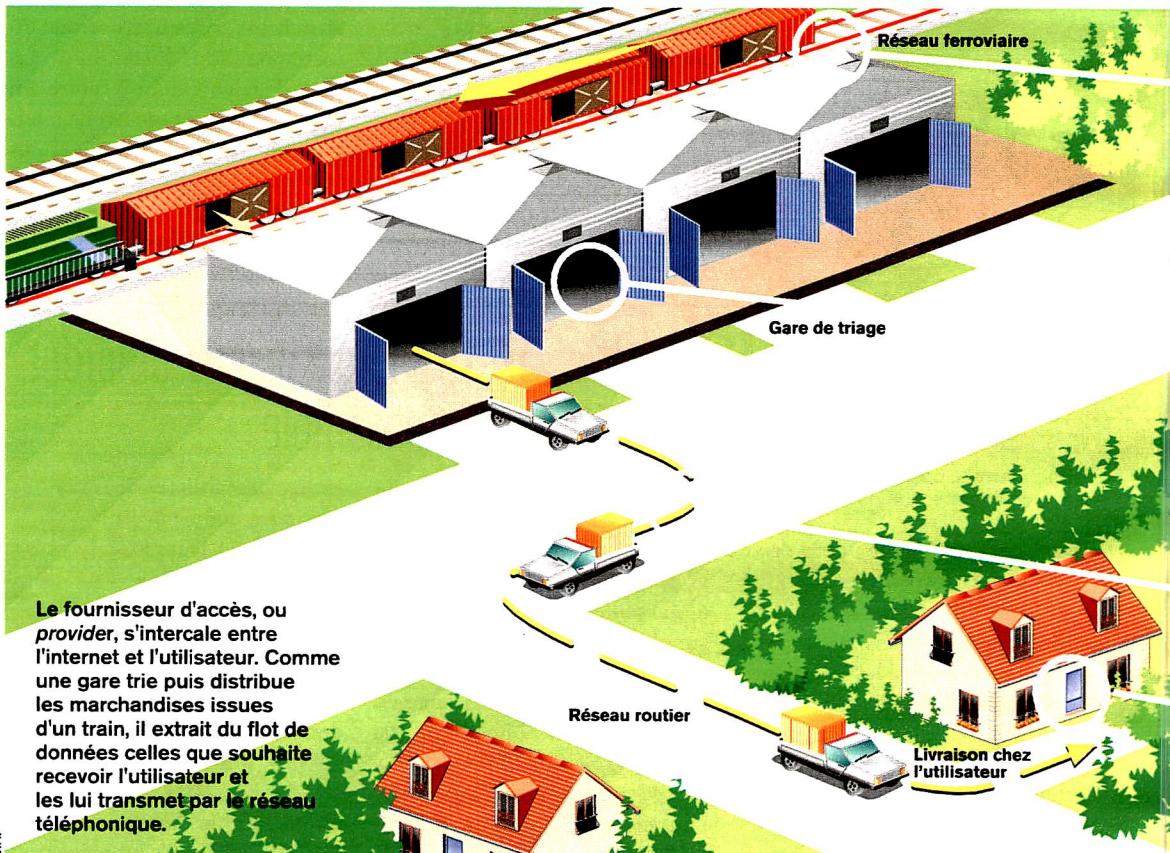
Reprendons le parallèle avec le réseau ferroviaire et supposons que La Redoute ou Les Trois Suisses disposent d'un entrepôt directement en gare de triage de Roubaix. Si on passe une commande par correspondance, le colis une fois préparé est chargé dans un train puis expédié. En aucun cas le client n'aura à spécifier que l'article souhaité se trouve sur l'étagère n° 7 du

Mais, pour que la réponse apparaisse à l'utilisateur également en hypertexte, donc avec des mots soulignés ouvrant la porte à de nouvelles recherches, le centre serveur ne se contente pas de renvoyer un texte ou une image au demandeur. Il associe autant de nouvelles adresses Internet que de mots soulignés. Pour que textes et adresses ne se mélangent pas, lors de l'affichage sur l'écran de l'utilisateur, le Web exploite un codage particulier, appelé "format". C'est le format **HTTP** (*HyperText Transfer Protocol* : protocole de transfert hypertexte). Ici encore, on peut poursuivre notre parallèle avec le magasin de vente par correspondance : c'est

## Langage HTML et format HTTP, ou la communication en mode hypertexte

que l'on nomme les liens hypertexte. Lorsque l'utilisateur "clique" un tel mot sur l'écran de son ordinateur, il accède automatiquement à la demande en se connectant sur

container n° 3 stocké dans le hangar 12. Le personnel de gestion des stocks s'organise en conséquence. Sur l'internet, le Web et son protocole HTML font de même.



un peu comme si ce dernier joignait systématiquement à ses liens un nouveau catalogue, emballé à part pour bien le distinguer de la marchandise livrée.

Ces quelques explications rendent limpide l'interprétation des adresses internet qui se cachent derrière les mots hypertextes lorsque l'on navigue sur le Web. Elles apparaissent d'ailleurs dans une petite fenêtre sur l'écran de l'ordinateur dès que l'on pointe avec la flèche de la souris un mot souligné.

Ces adresses ont toujours la même structure :

**http://www.[nom du serveur].  
[pays, .com, .org, .edu ou .gov]/  
[sous-section]/  
[sous-section], etc.**

Examinons-en les différentes composantes :

**http** indique que la communica-



Tim Berners-Lee, du laboratoire des hautes énergies du CERN, échafauda, dès 1989, les bases du Web pour que les chercheurs, sans maîtriser l'informatique, puissent confronter leurs études.

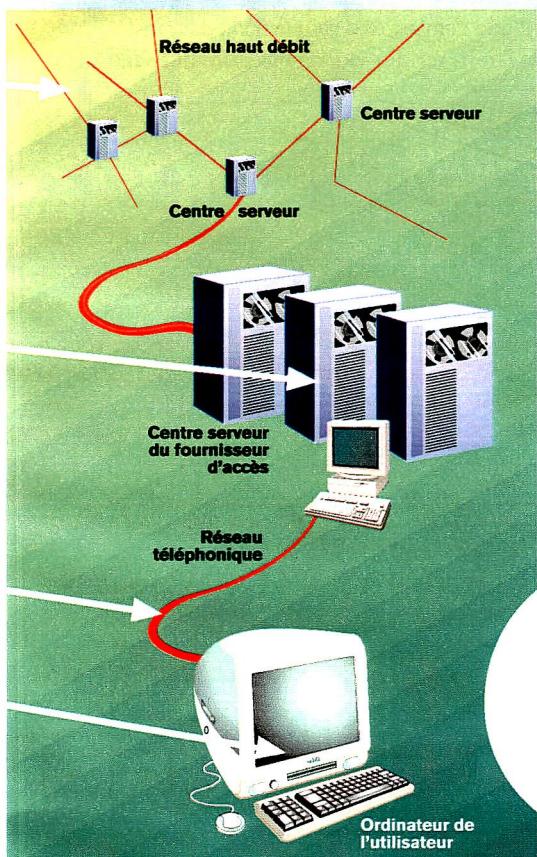
tion va s'effectuer en mode hypertexte; puis **//www** mentionne que la recherche va se faire sur le Web. La communication s'aiguille ainsi vers cette sous-section de l'internet. Vient alors le nom du serveur suivi de son pays ou d'autres abréviations. Le nom du pays est toujours en abrégé et ne porte que deux lettres. La France, par exemple, se résume à **.fr**, l'Angleterre à **.uk**, le Canada à **.ca**, etc. Il existe également d'autres abréviations. Parmi les plus courantes **.edu** indique qu'il s'agit d'un établissement scolaire (école université, etc.). **.gov** correspond à un organisme gouvernemental. Enfin **.com** ou **.org** ne précisent pas directement le lieu du serveur. Ces abréviations correspondent respectivement à communication ou organisation.

### AIGUILLAGES ET CENTRES SERVEURS

Ensuite chaque **"/** suivie d'un nom ou de commentaires indique une zone particulière du serveur contacté. N'oublions pas qu'un serveur n'est autre qu'un gros ordinateur. Généralement les données sont mémorisées par un énorme disque dur. Comme sur tout ordinateur elles sont classées sur ce disque par **"dossier"**. Dans le cas de la consultation par l'intermédiaire d'internet, chaque **"/** indique le passage d'un dossier vers un sous-dossier et ainsi de suite autant de fois qu'il le faut pour atteindre le document souhaité. Prenons l'exemple suivant obtenu en cliquant "nouvelles du jour" sur le serveur de la NASA :

**http://www.nasa.gov/today/index.html**

Et comme précédemment, la





communication se fait en mode hypertexte, sur le Web, dans le serveur nasa qui est un serveur gouvernemental et sur lequel, dans le dossier "today", nous allons piocher le dossier "index" qui est lui-même transmis en **HTML**, donc offrant de "nouveaux aiguillages". Cette structure est commune à toutes les demandes réalisées sur le Web. C'est grâce à elle

que l'on peut faire des recherches directement jusqu'au domicile de chacun. Lorsque l'on commande un colis, il n'est pas non plus jeté sur le bord de la voie ferrée. Une société de livraison assure son transit entre la gare la plus proche et le domicile du destinataire. Elle possède ses propres entrepôts dans la gare ainsi que des camionnettes de livraison. Sur l'internet, on retrouve le même concept : ici, l'équivalent de la société de livraison est le fournisseur d'accès, tel qu'AOL, Wanadoo,

ternet et, d'autre part, au réseau téléphonique. Ainsi un particulier n'a-t-il plus qu'à connecter son ordinateur au téléphone pour accéder au Web depuis son domicile. Nous verrons que de nouvelles technologies tendent à remplacer le téléphone, mais cette modification du mode de la "transmission finale" ne change en rien le rôle du fournisseur d'accès ni le principe de son fonctionnement.

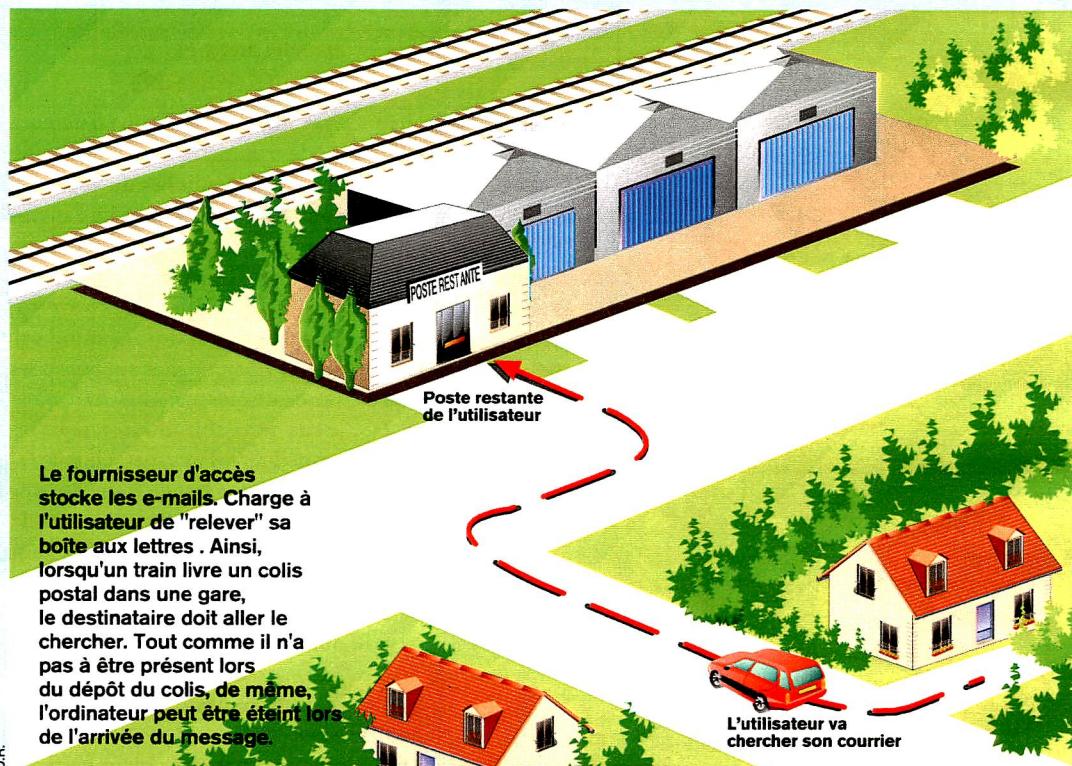
La recherche d'informations n'est pas la seule fonction de l'internet. L'échange d'e-mails, ou courriers électroniques, prend une part de plus en plus importante. Dans ce cas l'utilisateur ne demande plus au réseau de lui fournir des images, des textes ou des sons mais, plus simplement, de transférer un document (un message

## Mode de fonctionnement spécifique pour l'acheminement d'e-mail

qu'il est possible de "surfer" sur l'internet et d'accéder aux données désirées de manière simple et conviviale en passant rapidement d'un site à l'autre.

Pour reprendre notre comparaison avec les trains, les voies n'ar-

rivent pas directement jusqu'au domicile de chacun. Lorsque l'on commande un colis, il n'est pas non plus jeté sur le bord de la voie ferrée. Une société de livraison assure son transit entre la gare la plus proche et le domicile du destinataire. Elle possède ses propres entrepôts dans la gare ainsi que des camionnettes de livraison. Sur l'internet, on retrouve le même concept : ici, l'équivalent de la société de livraison est le fournisseur d'accès, tel qu'AOL, Wanadoo,



éventuellement accompagné d'un texte, d'une photo ou même d'un logiciel) de sa machine vers celle de son correspondant. L'internet doit fonctionner, dans ce cas, sur un mode totalement différent de celui de la recherche d'informations. Chez un particulier, l'ordinateur familial n'est ni allumé ni connecté au téléphone en permanence. Comment assurer la transmission du document dans de telles conditions? Pour résoudre ce problème, la communication ne s'effectue pas directement d'un utilisateur à un autre mais du centre serveur d'un fournisseur d'accès à un autre. Pour cela, les fournisseurs d'accès réservent une zone mémoire privée à chacun de leurs abonnés dans leur ordinateur central. C'est un peu comme si, en nous référant de nouveau au parallèle avec les train, chaque client d'un service de vente par correspondance possédait dans la gare de triage un casier de stockage temporaire des colis commandés : une boîte aux lettres. Cette appellation a d'ailleurs été conservée sur l'internet et on parle de boîte aux lettres électronique.

### MOT DE PASSE ET BOÎTE AUX LETTRES ÉLECTRONIQUE

Comme il s'agit d'un simple échange de données avec un autre utilisateur, le type de transmission diffère totalement. Dans ce cas, en effet, plus question d'hypertexte. Internet doit seulement convoyer des données d'un point à un autre. Le World Wide Web n'est pas non plus mis à contribution. C'est pour cela qu'une adresse e-mail ne porte ni "http" ni "www". Généralement elle possède la structure suivante :

**[nom d'utilisateur]@[nom du fournisseur d'accès].[pays]**

Il suffit que le réseau connaisse le nom de fournisseur d'accès destinataire et le nom de la boîte aux lettres. Ainsi, dans une adresse



Il existe des logiciels spécialisés dans l'envoi automatique de publicité (ci-contre). Pour constituer leurs listes et réaliser des campagnes publicitaires, certains serveurs demandent de fournir une adresse e-mail (ci-dessous).



e-mail, le plus juste serait de traduire le symbole @ par "chez". Elle se résume alors à : "Monsieur X chez le fournisseur Y", en France, par exemple. La transmission s'effectue en protocole **SMTP** (*Simple Mail Transfert Protocole* : protocole de transfert du courrier simple). La particularité de ce protocole est de ne modifier en rien ni d'interpréter le contenu du message. Son seul but est d'acheminer l'information brute d'un point à l'autre du globe. De même la machine du fournisseur d'accès possède un mode de fonctionnement spécifique lorsqu'il s'agit de l'acheminement de courrier électronique. Elle fonctionne en serveur **POP** (*Post Office Protocol*). Cette fonction accorde une part importante à la sécurité en vérifiant l'identité de l'abonné dès qu'il tente de consulter le contenu de sa boîte aux lettres électronique. Le serveur commence par lui demander

de fournir un **login**, "identifiant", puis un **pass word**, code confidentiel. Une série de lettres et de chiffres constituent ces deux paramètres. Dès leur réception le serveur contrôle leur exactitude puis transmet le contenu de la boîte aux lettres. Ici encore, les informations transitent sans modification ni ajout de liens hypertextes ou autres fioritures. Nous verrons que ce fonctionnement "transparent" du réseau, c'est-à-dire sans modification des données transportées, est aussi un atout. Il offre non seulement la possibilité d'envoyer des messages écrits mais aussi des logiciels, des images, des sons, de la vidéo, etc. en associant leurs données au message.

C'est ce que l'on nomme  les pièces jointes.

.....

#### LE MOIS PROCHAIN :

Navigateurs, moteurs de recherche, e-mail et pièces jointes.

# Pollutions en ligne

**Information et sensibilisation, tels sont les objectifs des adresses internet consacrées à l'environnement et aux pollutions de l'air, de l'eau et du sol. Voici une sélection de sites originaux et pratiques.**



Selon l'Institut français de l'environnement (IFEN), 80% des Français estiment que les problèmes liés à l'environnement sont « réellement préoccupants ». Créé en 1991, l'IFEN (<http://www.ifen.fr>) est le service de statistiques du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement.

Parmi les nombreuses données diffusées sur son site, les internautes ont accès aux "chiffres clés de l'environnement", classés par thème : l'air, les déchets, le sol, la faune-flore, etc. On y apprend ainsi qu'en 1996, sur 895 anciens sites industriels pollués, 370 l'étaient par des hydrocarbures. L'IFEN propose en ligne de nombreuses publications telles que *les Données*

**Objectif d'Aquatox : sensibiliser les enfants à la pollution de l'eau.**

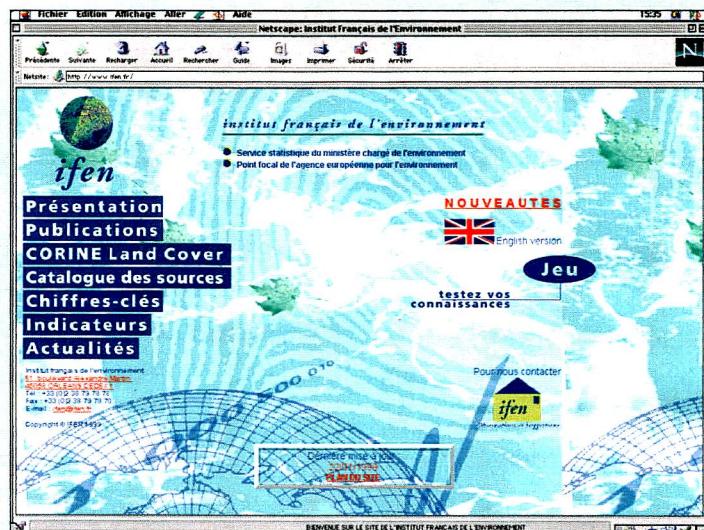
**AQUAtox 2000**

Le Réseau scolaire international sur la toxicité de l'eau

Le CRDI a mis au point ce site pour aider les enfants à réaliser des tests simples sur la qualité de l'eau dans leur école ou leur village. Les résultats peuvent être envoyés à l'Institut français de l'environnement (IFEN) à Paris.

CRDI

Le CRDI est une association privée de recherche et d'éducation en sciences et techniques appliquées à l'environnement. Ses activités sont axées sur l'éducation et la formation des jeunes, la recherche et le développement, et la diffusion de l'information scientifique et technique.



**Le serveur de l'IFEN diffuse gratuitement les statistiques relatives à l'environnement français, assorties de commentaires.**

*de l'environnement*, une synthèse mensuelle sur un thème précis comme la qualité de l'air.

Le serveur de l'Ecole des mines de Saint-Etienne (<http://helios.emse.fr/~brodhag/projelev/frame1.htm>) va un peu plus loin et analyse les diverses pollutions. En cliquant sur le lien "pollutions des eaux", les visiteurs accèdent à des documents qui présentent les origines et les effets des polluants de l'eau, puis les techniques de contrôle et de dépollution.

Le Centre de recherche pour le développement international (CRDI), basé au Canada, a souhaité sensibiliser les enfants de la planète à la pollution de l'eau. Pour cela, le CRDI a mis au point un réseau scolaire international d'étude et a créé le site Aquatox 2000 (<http://www.idrc.ca/aquatox/>). Les enfants de seize pays (dans un premier temps) procéderont à des tests simples – à l'aide de bulbes d'oignons, de graines de laitue –

pour analyser l'eau de leur ville ou de leur village. Ils enregistreront ensuite leurs résultats sur le site et pourront discuter avec des scientifiques associés au projet. Objectif final : tracer « un portrait de l'état de l'eau de la planète ».

La pollution de l'air est l'une des préoccupations majeures des Français. Le site d'Airparif (<http://www.airparif.asso.fr/>), réseau de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France, répond à

**Les internautes d'Ile-de-France peuvent connaître la qualité de l'air de leur région sur Airparif.**

**AIRPARIF**

L'atmosphère capitale

Le rôle d'AIRPARIF

Les dernières chiffres de la pollution (données générales et station par station)

La qualité de l'air en Ile-de-France

Les différents moyens de mesure

Les données du passé

Le site d'Airparif propose des informations sur la qualité de l'air à Paris et dans les autres villes de France. Il fournit des données historiques et actuelles sur la pollution atmosphérique à Paris et dans les autres villes de France. Il aide à la prévention et à la réduction de la pollution atmosphérique à Paris et dans les autres villes de France.

leurs inquiétudes. Le serveur donne l'indice quotidien de la qualité de l'air, en détaillant les différents moyens de prélèvement puis d'analyse des 16 000 données enregistrées chaque jour. Le site rappelle les origines des polluants et donne quelques conseils à suivre en cas de pic de pollution.

Dégazage (<http://www.ktaland.com/degazage/dossier/dossier1/>), un "web-zine" (magazine en ligne) consacré à l'environnement, propose un dossier sur la pollution atmosphérique et tente de répondre à la question suivante : l'air que nous respirons est-il sain ? Vaste programme, mais le contenu est informatif et pertinent. Autre problème inquiétant : les déchets. Pour valoriser ceux des industries (5 millions de tonnes par an selon l'IFEN), le Centre d'information environnement pour les entreprises a ouvert sur le réseau

Fichier Edition Affichage Aller Aide

Netscape: Dégazage: Pollution de l'air

Précedent Suivant Recharger Accueil Rechercher Guide Images Imprimer Sécurité Arrêter

Adresse : <http://www.ktaland.com/degazage/dossier/dossier1/>

**Dégazage** Editorial Actualité Dossier Glossaire Forum Ecoloweb

Pollution de l'air...

**Introduction** Introduction Historique

Suivi de l'actualité quotidienne, forum, glossaire des termes de l'environnement : le jeune site Dégazage a des débuts prometteurs !

une bourse des déchets industriels (<http://www.ccip.fr/bourse-des-dechets/>). Des entreprises viennent y vendre ou y échanger du bois, du papier, des minéraux, etc. En marge de ce lien destiné aux professionnels, les particuliers trouveront des informations sur les plans départementaux d'élimination des déchets. Ils pourront également lire des documents sur la valorisation des déchets et

consulter la liste des organismes et sociétés qui s'en chargent. Les internautes qui souhaiteraient découvrir d'autres sites consacrés à l'environnement peuvent se laisser guider par le répertoire québécois l'Ecologie sur la toile (<http://www.union-fin.fr/natcog/ecologie/ecologie.html>). Le site propose aussi un lexique, très pratique, des termes utilisés en écologie. ■

**COLLECTIONNEZ**  
LE SAVOIR  
AVEC  
LA RELIURE  
SCIENCE & VIE

**BON DE COMMANDE**  
à compléter et à retourner payement joint à SCIENCE & VIE  
1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 PARIS cedex 15

**OUI, je commande \_\_\_\_\_ reliure (\*) SCIENCE & VIE**  
au prix de 95 francs - Etranger : 100 francs \*\*

\* Je joins mon règlement de \_\_\_\_\_ francs à l'ordre de SCIENCE & VIE

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_  
ADRESSE \_\_\_\_\_ VILLE \_\_\_\_\_  
CODE POSTAL \_\_\_\_\_

(\*) Chaque reliure est conçue pour classer 12 numéros (\*\* Dans la limite des stocks disponibles)  
OFFRE VALABLE JUSQU'A FIN 99

**votre prochain voyage ?**  
**3615 123 PARTEZ**

**le meilleur itinéraire routier,  
le plus rapide,  
le moins cher....  
en quelques instants.**

(Excelsior Filipacchi - 2,23 F/Minute)

# CONSO

PAR HENRI-PIERRE PENEL  
ET JEAN-LUC GLOCK

## La route en couleurs

Garmin a doté son nouveau récepteur GPS 12 CX d'un écran haute résolution en couleurs. Cette option n'est pas un gadget. Elle permet de mieux mettre en évidence les points clefs de l'itinéraire. De grandes dimensions, rétro-éclairé, l'écran possède un contraste élevé qui garantit une bonne lisibilité. Mais le 12 CX a d'autres atouts. Sa mémoire interne comprend une base de données cartographiques des principales villes européennes. Capable de recevoir simultanément les émissions de douze satellites, ce GPS offre une remarquable précision de localisation (15 m). De plus, l'actualisation permanente du positionnement permet au récepteur d'estimer la vitesse de déplacement (entre 0,2 et 2000 km/h). Le logiciel Fugawi (pour PC uniquement) permet de préparer un trajet sur ordinateur puis de le transférer dans la mémoire du récepteur GPS. Prix : 3300 F (503 €) pour le GPS 12 CX Garmin, 990 F (150 €) pour le logiciel Fugawi.

L'autonomie du récepteur est de trente-cinq heures. Pour le logiciel, il existe des CD-Rom cartographiques par zone.



## Cybercabines publiques



**L**'internet va bientôt être accessible depuis des cabines publiques à l'image des Point phone. Baptisées Cyberdeck, elles seront équipées du matériel multimédia nécessaire pour naviguer sur le Web, consulter sa boîte aux lettres électronique ou participer à une visio-conférence. Le paiement de la connexion se fera grâce à une carte à puce semblable à une carte téléphonique mais réservée à cet usage. Prix non encore communiqués.

Des Cyberdeck devraient être installées prochainement dans des agences bancaires et des grandes surfaces.

# Le portable sonne au poignet

Pour lutter contre la "pollution sonore" des téléphones portables, Casio a mis au point une montre qui prend le relais de la sonnerie. En cas d'appel, le vibrer de la montre Vivcel se déclenche. Son porteur est ainsi averti en toute discréction qu'un correspondant cherche à le joindre. Il est possible de programmer les plages horaires durant lesquelles la montre relaie la sonnerie. Prix : 1195 F (182 €) avec un bracelet en résine, 1575 F (240 €) avec un bracelet en métal.

La Vivcel donne l'heure de vingt-sept capitales, et son calendrier est programmé jusqu'en 2039.



## FM qualité numérique

Les autoradios de la nouvelle gamme SkyLine de Blaupunkt comportent un système de traitement numérique de la réception FM, le Dig-Ceiver. En traitant la dynamique des émissions radio, il élimine le "souffle" qui leur est inhérent et confère une qualité de son proche de celle qu'offre un disque compact. Six modèles sont disponibles. Trois d'entre eux possèdent un lecteur de disques compacts, et les autres, un lecteur de cassettes. La façade basculante de l'appareil vient masquer la trappe du lecteur durant la lecture.

Cette solution a permis à Blaupunkt d'équiper ses appareils de larges afficheurs électroluminescents et de boutons enfin accessibles. Prix : de 1990 F à 3990 F (de 303 € à 608 €) environ.



Les appareils de cette gamme se déclinent en de nombreuses versions, du simple lecteur de cassettes au "juke-box CD". Leur égaliseur intégré permet d'adapter le son à l'acoustique du véhicule.

## Une chambre à part

Procéder à une correction totale de la perspective et de la netteté sans objectif à décentrement spécifique ni chambre traditionnelle, c'est ce que permet la chambre X-ACT2 de Rollei. Utilisable aussi bien avec un film argentique qu'avec un dos numérique, elle accepte un vaste choix d'objectifs hautes performances (Carl Zeiss et Schneider-Kreuznach). Le système conserve toutes ses libertés de réglage même aux focales les plus courtes.

Prix : environ 36 200 F (5515 €).

Le dos pivotant permet d'intervertir rapidement viseur et magasin sans la moindre secousse. Les réglages se font par des vis micrométriques munies d'un système de blocage ; il est ainsi aisément de les retrouver avec précision.



# Conso



## Karaoké sur mesure

Le Voice Eliminator d'Advance Tech élimine la voix du chanteur sur vos disques compacts et vos cassettes préférés, les transformant ainsi en version karaoké. L'entrée micro qui l'équipe permet de substituer votre voix à celle du chanteur. Prix : 790 F (120 €).

Le procédé s'appuie sur la comparaison des sons diffusés par les canaux droit et gauche. L'élimination de la voix du chanteur n'est parfaite que si ce dernier est "centré" dans l'espace sonore. Si l'enregistrement comporte trop de réverbération ou d'écho, la voix n'est que partiellement atténuee.

## Dissuasion crescendo



Plus efficace qu'une simple barre de blocage de la direction, l'AutoTaser déclenche une sirène d'avertissement (130 dB) à la moindre tentative d'effraction. Au bout de cinq secondes, si le voleur persiste, l'AutoTaser émet des décharges électriques – douloureuses, mais sans grand danger. Prix : 2 490 F (380 €).

La mise en route et l'arrêt de cet antivol s'effectuent à l'aide d'une télécommande. Le code qu'elle échange avec la barre antivol change à chaque manœuvre, ce qui rend son brouillage particulièrement difficile.

## Plus haut, plus loin, plus vite.

**Paris-Bruxelles en 1h25,**  
à partir de 320F A/R\* (48,78€).

**Paris-Cologne en 4h05,**  
à partir de 428F A/R\* (65,25€).

**Paris-Amsterdam en 4h15,**  
à partir de 446F A/R\* (67,99€).

Mais aussi Düsseldorf, Aix-la-Chapelle, Rotterdam, La Haye, Schiphol-Aéroport, Anvers, Liège, Mons, Charleroi, Namur, Gand, Bruges et Ostende, direct depuis Paris.

**Paris**

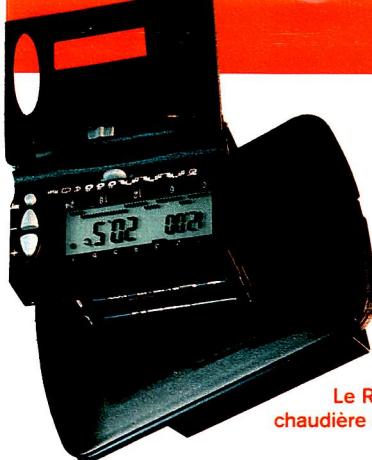
**THALYS**

Thalys est un service offert conjointement par les chemins de fer belges, français, néerlandais et allemands.

\*Tarif Mini non échangeable, non remboursable, accessible dans la limite des disponibilités.

**Infos et réservations :** 08 36 35 35 36 (2,23F la minute), gares et boutiques SNCF, agences de voyages agréées. **Informations sur Internet :** <http://www.thalys.com>

**SNCB**



## Un thermostat intelligent

**L**a régulation de la température d'une habitation est délicate à maîtriser. L'inertie thermique du local provoque souvent un problème d'oscillation thermique. Pour le résoudre, Siemens-Landis & Staefa a mis au point le Chro-nogyr REV 26. Son microprocesseur analyse et mémorise le comportement thermique de l'habitat. Après une courte phase d'auto-apprentissage, il adapte le pilotage du chauffage au comportement de la maison et assure une température parfaitement stable. Prix : environ 935 F (143 €).

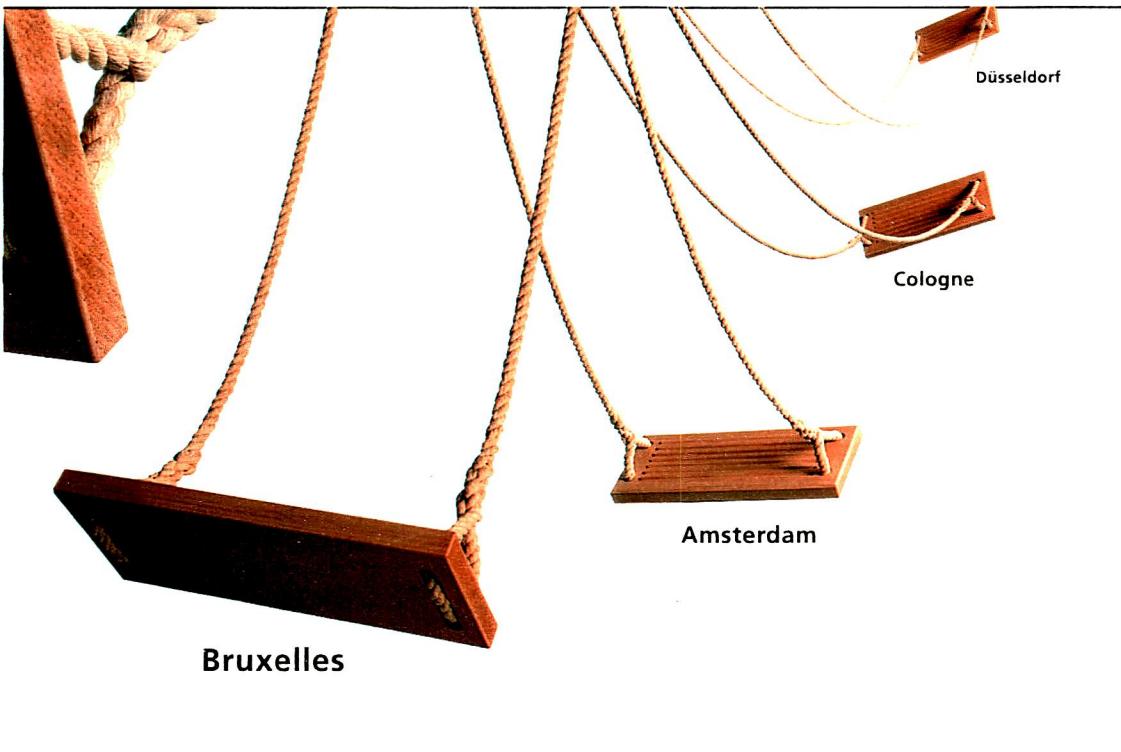
Le REV 26 s'adapte à tous les dispositifs de chauffage, des convecteurs électriques à la chaudière au gaz ou au fioul.

## Alarmes prêtes à poser

Pour mieux protéger son habitation, Diagral propose deux packs d'alarmes prêtes à poser. Le premier, baptisé Evolution, est plutôt destiné aux appartements. Le second, nommé Dissuasion, s'adresse à l'habitat pavillonnaire. Il comporte un détecteur extérieur qui déclenche une pré-alarme. On peut compléter ces kits par l'adjonction de détecteurs optionnels. Diagral offre un avoir de 500 F avec Dissuasion et de 1000 F avec Evolution.

Prix : Evolution 6 340 F (966 €), Dissuasion 7 830 F (1194 €).

Entièrement sans fil, ces systèmes d'alarme se posent en moins d'une heure.



# La nouvelle révolution du livre

On peut aujourd'hui télécharger dans un livre électronique de la taille d'un ordinateur de poche des ouvrages proposés sur l'internet. La grande révolution de l'édition est pourtant à venir : sur le papier électronique de demain, textes et images apparaîtront, s'effaceront ou s'animeront à la demande.

**C**onvertis un livre en données numériques n'est pas une nouveauté : l'internet propose déjà de nombreux ouvrages. Mais pour les consulter, il faut nécessairement passer par l'intermédiaire d'un ordinateur. Impossible donc de parcourir ces ouvrages dans le métro, ou tranquillement installé sur une plage.

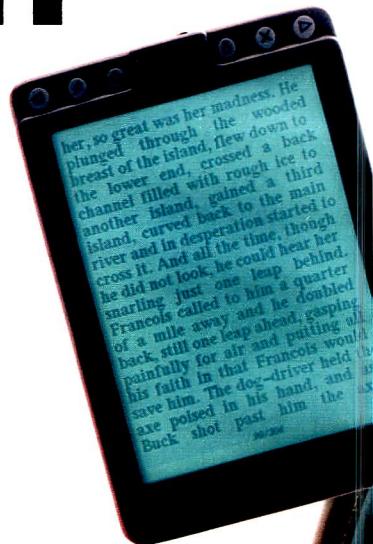
Ce nouveau média se lance à l'assaut d'un marché mondial qui représente plus de 400 milliards de francs – et qui suscite bien des convoitises –, mais ses limites d'utilisation constituent un frein à son développement dans le domai-

ne de l'écrit. Il restait donc aux électroniciens à concevoir un support de poche pour que l'internet se transforme en bibliothèque où, contre paiement, le lecteur pourrait consulter à sa guise n'importe quel ouvrage.

Des expériences ont été récemment tentées avec des ordinateurs de poche tels que le PalmPilot. Cependant, la vocation de ce type d'appareil est davantage d'être un assistant électronique qu'un "terminal" de lecture. Il fallait donc concevoir une machine spécialement conçue pour cet usage.

Aux États-Unis, on peut déjà trouver trois produits de ce genre,

comparables dans leur aspect et leurs caractéristiques. Librius Inc. commercialise le Millennium Reader, Nuvo Media le Rocket eBook et SoftBook... le Soft-Book. Ce sont de vrais livres électroniques, dont l'ergonomie est conçue pour la lecture. Leur taille est celle d'un livre de poche et leur poids varie de 280 g à 1 kg environ, contre 120 g pour un ouvrage imprimé de même taille. En revanche, la capacité des livres électroniques est très nettement supérieure. Ils peuvent stocker de



4 000 à 100 000 pages incluant des photographies ou des illustrations, jusqu'à l'équivalent d'une quarantaine de livres de poche. Une fois le texte mémorisé, la lecture s'effectue, selon le modèle, via deux touches de défilement des pages, ou bien en pointant des icônes sur l'écran tactile. L'écran à cristaux liquides, qui occupe la quasi-totalité de la façade, offre un confort de lecture tout à fait acceptable. Le prix de ces livres électroniques varie de 200 à 500 dollars (de 1 200 F à 3 000 F environ) en fonction des

options (modem intégré, écran tactile, capacité de la mémoire, etc.). Notons que deux de ces livres électroniques ne sont pas intégralement autonomes. Le Millennium Reader – le moins cher – et le Rocket eBook ne peuvent télécharger les œuvres depuis le Web que par l'intermédiaire d'un ordinateur PC. Le SoftBook, quant à lui, est doté d'un modem rapide et d'un mini-logiciel de téléchargement qui le rendent indépendant de l'ordinateur.

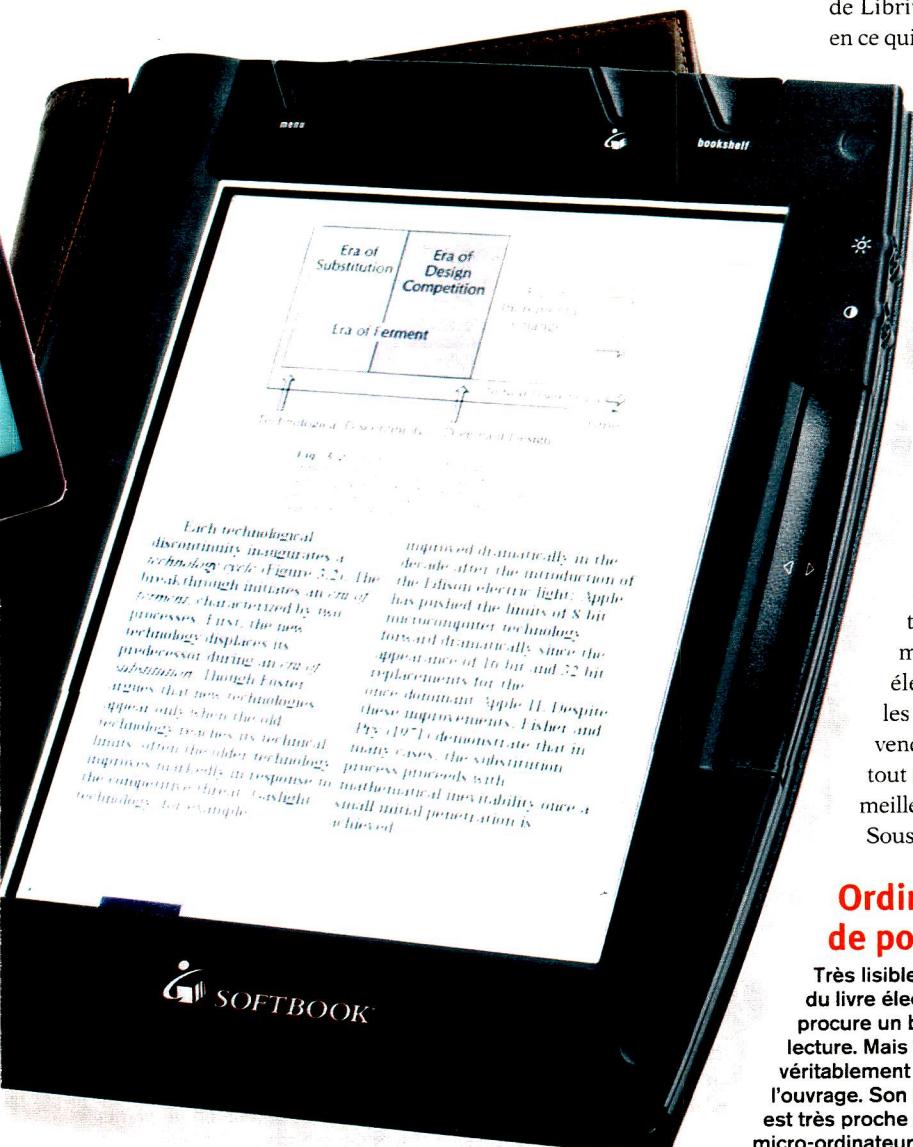
Comme on s'en doute, le télé-

chargeur des œuvres n'est pas gratuit. La société SoftBook vise une utilisation semblable à celle d'une bibliothèque. Le cyberlecteur accède en ligne à son service contre paiement d'un abonnement mensuel de 19,95 dollars, soit environ 120 F. La firme Librius Inc. a préféré une facturation au coup par coup, dont le montant dépend de l'ouvrage sélectionné (de 4 à 15 dollars, soit de 25 à 90 F pour un livre de science-fiction, par exemple).

Don Bottoms, directeur général de Librius Inc., est très optimiste en ce qui concerne l'avenir du livre

électronique. « Ce support, déclare-t-il, devrait dégager un marché de plus de 2,5 millions de dollars (15 millions de francs) dès 2002 ». De plus, assure-t-il, de tels produits devraient dynamiser le marché du livre. Comme il le souligne, les frais d'impression et de distribution peuvent représenter jusqu'aux deux tiers du prix de vente d'un livre. Autant d'intermédiaires que suppriment les livres électroniques. En somme, les ouvrages pourraient être vendus deux fois moins cher, tout en offrant aux éditeurs de meilleures marges.

Sous cette forme, le livre élec-



## Ordinateur de poche

Très lisible, le grand écran du livre électronique procure un bon confort de lecture. Mais on ne peut pas véritablement "feuilleter" l'ouvrage. Son fonctionnement est très proche de celui des micro-ordinateurs de poche.

tronique ressemble encore beaucoup à un ordinateur de poche. Il ne procure ni le plaisir de feuilleter ni la rapidité d'accès à la page souhaitée.

Pour donner au livre électronique un aspect identique à celui des ouvrages imprimés, le laboratoire Media du MIT (Massachusetts Institute of Technology) travaille à la mise au point d'un papier électronique. Si ses feuilles vierges ressemblent en tout point à du papier ordinaire, textes et images y apparaissent miraculeusement, s'effacent ou s'animent à la demande. Le secret de ce papier réside dans son encre. Baptisée *e-ink* (pour encre électronique) par son concepteur, Joseph Jacobson, il s'agit de la version multimédia de l'encre sympathique.

A la différence près que l'encre

blanches de un millième de millimètre. Ces dernières ont la particularité d'être sensibles aux champs électriques. C'est cette propriété qui est utilisée pour faire apparaître et disparaître du texte, des images fixes ou animées.

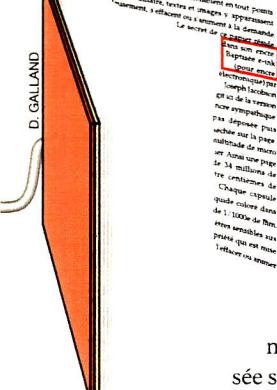
## UNE ROUSTESSE À TOUTE ÉPREUVE

En effet, outre les microcapsules, la feuille de papier électronique comporte un réseau de fils électriques, qu'on peut scinder en deux groupes. Le premier est constitué de fils verticaux et le second de fils horizontaux. Ces fils sont invisibles à l'œil nu. Les capsules sont prises en "sandwich" entre ces deux groupes de fils. Lorsqu'on applique simultanément une tension à un fil horizontal et à un fil vertical, les capsules situées au point d'intersection de ces deux conducteurs sont sou-

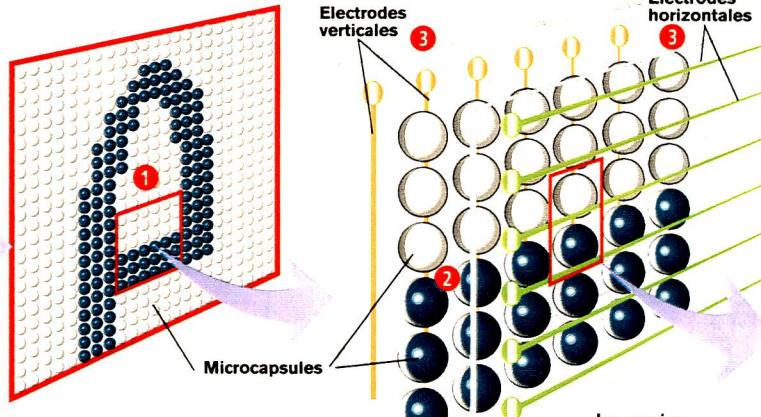
blancs qui permet de reproduire un texte ou une image. Ce mode de fonctionnement en lignes et en colonnes est, d'ailleurs, très proche de celui des écrans à cristaux liquides ; les puces électroniques traditionnelles sont parfaitement en mesure de le gérer. Cette technologie bénéficie donc d'un bel atout pour se développer.

En outre, ce procédé présente un intérêt majeur : il reste stable en l'absence de champ électrique. Une fois la page "imprimée", le texte perdure.

De même, l'impression est insensible aux secousses. Seule l'application d'une nouvelle tension efface ou modifie le contenu de la page. Une caractéristique particulièrement importante, car elle résout le problème de la mémorisation du texte. Plus besoin de disque dur ou de mémoire électronique pour le stocker : le papier élec-



**Papier électronique**  
dans son encre.  
Baptisé *e-ink*  
(pour encre)



n'est pas déposée sur la page, puis séchée. Une multitude de microcapsules couvrent la surface du papier. Ainsi, une page standard ne compte pas moins de 34 millions de microscopiques sphères de quatre centièmes de millimètre de diamètre chacune. Chaque capsule renferme une petite quantité de liquide coloré dans lequel baignent des billes

mises à un champ électrique. Suivant la polarité de ce champ, c'est-à-dire en fonction de la valeur respective des tensions appliquées au fil vertical et au fil horizontal, les billes blanches vont monter à la surface et masquer le liquide coloré ou, à l'opposée, sombrer et le laisser apparaître. On crée ainsi sur la feuille soit un point blanc, soit un point noir. C'est la succession de points noirs ou de points



## Librairie sur le Web

**Sur l'internet, des serveurs proposent déjà, contre paiement, de télécharger des livres.**

tronique s'en charge. Par ailleurs, l'inconvénient que représente la faible autonomie (de cinq à vingt heures) des livres électroniques disparaît.

Enfin, dernier atout de ce support : son faible coût de production. Joseph Jacobson estime qu'une feuille de papier électronique coûtera de 2 à 4 dollars (de 12 à 24 F). Certes, il ne s'agit encore que d'un

prototype. Mais d'ici à moins de deux ans, le MIT devrait présenter un premier livre d'une dizaine de pages.

A terme, l'objectif est beaucoup plus ambitieux. L'ouvrage devrait comporter 400 pages. Une fiche de connexion permettra de le raccorder à un modem ou à un micro-ordinateur pour télécharger l'œuvre. Dans cette version, le livre comportera une batterie ; mais elle ne sera utilisée que pendant la phase de "mise à jour" de son contenu. En utilisation normale, elle ne

cacité. Néanmoins, une telle opération suppose la présence d'une mémoire dans le livre : les problèmes d'autonomie se posent de nouveau.

Une autre filière que pourrait exploiter le papier électronique est celle de la presse quotidienne. Dans ce cas, à condition d'avoir souscrit un abonnement, le journal électronique pourrait se connecter automatiquement sur l'internet pendant la nuit. A son réveil, l'abonné trouverait les dernières nouvelles sur son ordinateur.

## Le papier électronique se transformera en écran de télévision géant

sera pas sollicitée et ne limitera donc pas l'autonomie de l'ouvrage.

Le prix de ces produits devrait être de 500 à 1 000 dollars (de 3 000 à 6 000 F). Une somme qui peut paraître élevée par rapport au prix d'un livre conventionnel : mais il faut comparer ce livre électronique à un ordinateur qui comporterait quatre cents écrans.

L'encre électronique présente en outre un particularité fort intéressante : sa vitesse de réaction est suffisamment grande pour afficher des images animées. Le papier électronique pourrait ainsi donner naissance à une nouvelle génération de livres. Il serait, par exemple, tout à fait envisageable de réaliser des ouvrages qui com-

porterait moins de pages mais qui offriraient des animations. Livres pour enfants, documents techniques, guides et autres fascicules de maintenance gagneraient certainement en originalité, en intérêt et en effi-

Enfin, contrairement aux autres procédés, le papier électronique n'est pas fragile. Il ne craint ni les torsions ni les chocs, terreur des écrans à cristaux liquides. Cette robustesse du papier électronique est liée au fait qu'il s'agit réellement de papier et non d'un feillage de vitres, de polariseurs et de transistors.

Mais le livre n'est pas la seule application du papier électronique. Des tests ont prouvé qu'il était possible de modifier le contenu d'une page entière à la cadence de trente fois par seconde. Une feuille de papier électronique pourrait ainsi se transformer en écran de télévision. Le MIT travaille à la mise au point de capsules renfermant des encres rouge, verte et bleue afin de restituer une image en couleur. A terme, on pourrait assister à la naissance d'écrans géants, aussi simples à poser chez soi que du papier peint...

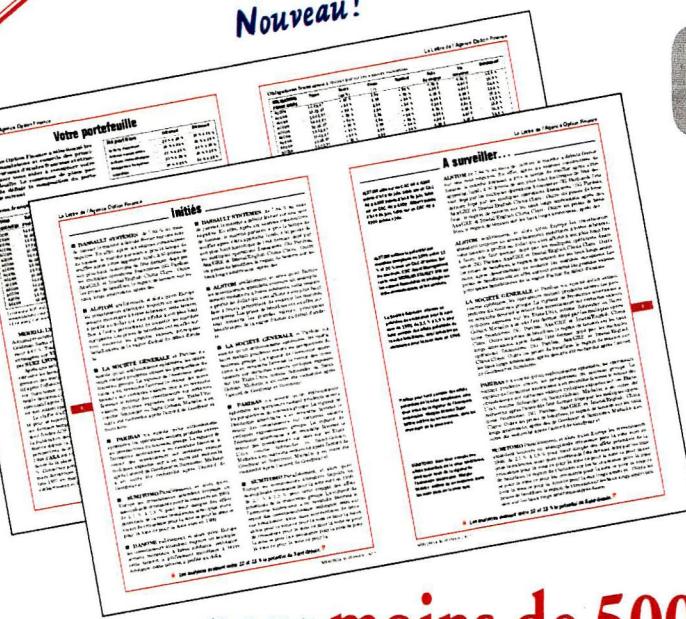
Les recherches de Joseph Jacobson ne laissent d'ailleurs pas indifférent le monde de l'industrie. Pour preuve, un consortium réunissant 75 entreprises a été créé pour soutenir son projet.



Nouveau!

# La Lettre OPTION FINANCE

Bénéficiez  
chaque semaine  
de l'expertise  
des meilleurs  
professionnels  
de la Bourse  
pour moins de 500 francs par an !



Chaque mercredi matin, **La Lettre OPTION FINANCE** vous livre les analyses de ses experts, la sélection de leur propres valeurs, leurs conseils d'investissement et leurs portefeuilles types... 8 pages denses et précises, qui vous permettront de mieux gérer vos investissements et de faire fructifier votre patrimoine.

Abonnez-vous à **La Lettre OPTION FINANCE** pendant un an, 52 numéros, au tarif exceptionnel de 498 francs, soit une économie de plus de 50% ! \*.

Et vous recevrez en cadeau de bienvenue. Cet élégant collector dans lequel vous pourrez archiver vos hebdomadaires.

**La Lettre OPTION FINANCE** est réalisée par l'Agence OPTION FINANCE, première agence financière des professionnels en France.



## BULLETIN D'ABONNEMENT A LA LETTRE OPTION FINANCE

A compléter, à découper et à renvoyer à **La Lettre OPTION FINANCE - Service Abonnement - 1, rue du Colonel Pierre-Avia - 75503 PARIS CEDEX 15.**

**OUI**

je m'abonne à  
**La Lettre OPTION FINANCE**  
pendant un an (52 numéros)  
au tarif exceptionnel de **498 francs**  
seulement au lieu de **1 040 francs\***

- Ci-joint mon règlement de 498 francs rédigé à l'ordre de  
**La Lettre OPTION FINANCE** par :

Chèque bancaire

Chèque postal

Je préfère vous régler la somme de 498 francs par carte bancaire dont je vous indique

le N° :

Expiré à fin

Date et signature obligatoire :



\* Prix optionnel versé des 52 numéros de **La Lettre OPTION FINANCE** à 1 040 francs. \*\* Données à mi-terme des stocks disponibles. Date d'émission : 01/01/95. Période d'envoi : 01/01/95 à 13/12/95 et réservée exclusivement aux professionnels. Les abonnements sont renouvelables automatiquement, vous en recevant un rappel. Action ou autre document nous consulter au 03 48 48 47 06. Envoi : à l'adresse de l'édition : 01/01/95 au 01 46 48 47 17. Les informations ci-dessous sont indispensables au traitement de votre commande. Vous avez droit à une déclinaison et au rectificatif d'erreurs. Vous pouvez nous apporter à la connaissance littérale de celles-ci.

**Vous pouvez aussi vous abonner sur Internet : [www.abomag.com](http://www.abomag.com).**  
**ou par téléphone au 01 46 48 47 17 ou par fax au 01 46 48 47 58.**

- J'ai bien noté que je recevrai dès l'encaissement de mon règlement mon cadeau de bienvenue (\*\*):  
le classeur de **La Lettre OPTION FINANCE**.

- Je vous indique ci-après l'adresse à laquelle je souhaite recevoir mon abonnement à **La Lettre OPTION FINANCE**:

Monsieur     Madame     Mademoiselle (cochez SVP)

NOM :

Prénom :

Adresse :

Code postal :

Ville :

# Encyclopédie

Sous la direction de JEAN-FRANÇOIS ROBREDO

# du XXI<sup>e</sup> siècle

CERN

## La révolution quantique

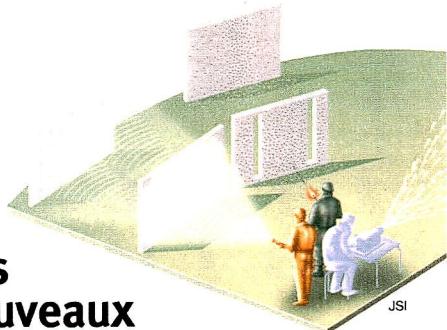
### L'infiniment petit bouleverse le monde

p. 160



SOLVAY/ARCHIVES ULB

PAR LEÏLA HADDAD



Les nouveaux commandements

p. 166

PAR LEÏLA HADDAD

ENTRETIEN



Alain Aspect

p. 168

«Des codes secrets protégés par les lois de la nature»

S. CHIVET

# La révolution quantique

# L'infiniment bouleverse le

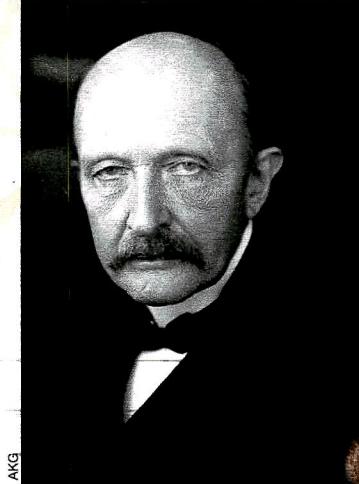
**Octobre 1927 : l'édifice de la physique classique bascule. Une nouvelle conception émerge, qui va changer notre vision du monde et transformer nos rapports avec la nature. Plus personne ne la remet en cause aujourd'hui.**



FONDS IIPCS, ARCHIVES DE L'ULB

**I**ls sont venus, ils sont tous là! Ils prennent la pose, pour la photo de classe la plus huppée de l'histoire de la physique. La plus forte concentration de génies au centimètre carré qu'il a jamais été donné de glisser dans un album... Il y a là tout le haut du panier de la physique mondiale, rien que de l'illustre : Albert Einstein, Max Planck, Niels Bohr, Paul Langevin, Louis de Broglie, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli... Une seule femme, Marie Curie. Tous ont répondu présent à l'appel du cinquième congrès Solvay, tenu en octobre 1927, et se sont rendus à Bruxelles pour déposer leur of-

# petit monde



AKG

## L'homme des débuts

Max Planck, Prix Nobel de physique 1918, affirmait ne pas beaucoup aimer ce qu'il avait trouvé.



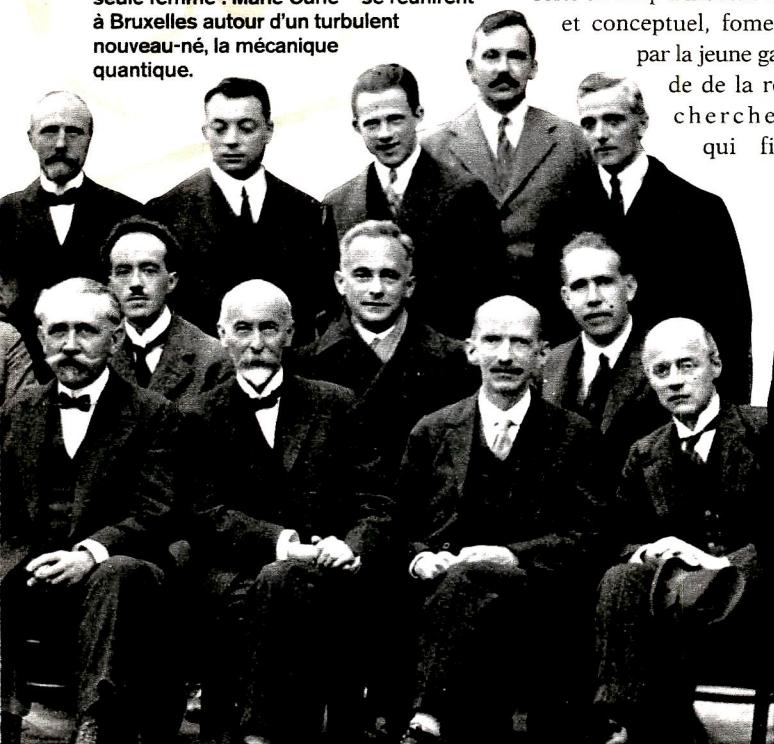
frande dans la corbeille d'une curieuse princesse : la mécanique quantique.

Elle a, depuis, largement fait la preuve de sa redoutable efficacité et nous a encombré d'une multitude d'objets, dont le laser, les micro-ordinateurs et le microscope électronique. A l'époque, beaucoup pourtant jugèrent l'enfant monstrueux : le

plus éminent des éminents, Albert Einstein *himself*, refusa de l'adopter sans chirurgie esthétique. Le bébé découra-gea Louis de Broglie, Erwin Schrödinger s'en déclara insatisfait, et Max Planck, ce-lui par qui tout avait commencé, fri-sa le court-circuit. Quant aux heu-reux parrains – Niels Bohr, Werner Heisenberg, Max Born, pour ne citer qu'eux –, ils firent bloc au-tour de leur bébé, laid, mais telle-ment efficace. Solvay fut une sorte de coup d'Etat théorique et conceptuel, fomenté par la jeune garde de la re-cherche, qui fit

## Solvay, acte de naissance

Pour le cinquième congrès, les physiciens les plus éminents – parmi eux, une seule femme : Marie Curie – se réunirent à Bruxelles autour d'un turbulent nouveau-né, la mécanique quantique.



## L'ombre d'un doute

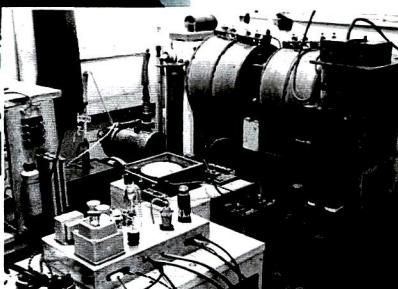
Einstein resta toujours convaincu que la mécanique quantique était une théorie incomplète, incapable de donner une représentation satisfaisante du monde.

HENRI MANUEL/N.D. VIOLET

# La révolution quantique



HARLINGUE-VIOLLET



BOYER-VIOLLET

basculer cul par-dessus tête tout l'édifice de la physique classique.

Il fut un temps, pas si lointain, où le monde était bien rangé, avec d'un côté les particules et de l'autre les ondes. Les deux tribus faisaient physique à part, obéissant à des lois qui ne concernaient qu'elles. Il leur arrivait cependant de faire du troc.

## CATASTROPHE ULTRAVIOLETTE ET CONSTANTE DE PLANCK

Un corps noir est une sorte de corps idéal qui, chauffé, émet des radiations dont les caractéristiques – la fréquence et la longueur d'onde – ne dépendent que de la température et non de la nature du corps. Pour les physiciens, le jeu consistait à établir un lien entre l'énergie – la chaleur – transmise par la matière au rayonnement et la fréquence des radiations. Ce fut une catastrophe, dite ultraviolette : d'après les formules obtenues, la quantité d'énergie associée aux radiations de haute fréquence, les ultraviolets, était infinie.

Un professeur de l'université de Berlin, Max Planck, s'attaque au problème dès

1895 et trouve une solution, qu'il présente le 14 décembre 1900 à l'Académie des sciences de Berlin. Planck propose de considérer que les échanges d'énergie ne se font pas de manière continue, mais par paquets, par quantum d'action. Des sortes de billes qui passent de la matière au rayonnement, et vice versa. Il calcule l'énergie de chaque bille, égale à la fréquence du rayonnement multipliée par une constante,  $h$ , plus connue sous le nom de constante de Planck. Plus grande est la fréquence du rayonnement, et plus grosse est la bille transmise : pour pouvoir l'émettre, il faut une énergie énorme, et donc une température colossale. Dans la foulée, Planck rajoute une condition : il ne peut exister

de rayonnements pour des quantités d'énergie qui ne sont pas des multiples entiers de  $h$ . Si on prend un rayonnement de fréquence  $X$ , il paye la matière en pièces de monnaie énergétiques qui ne peuvent prendre que des valeurs bien définies,  $hX$ ,  $2hX$ ,  $3hX$ , etc. Max Planck n'aime pas beaucoup ce qu'il a trouvé, « dans un moment de désespoir », dira-t-il plus tard : les quanta d'énergie ne sont, pour lui, que des artifices de calcul et n'ont pas de signification physique.

Ce serait compter sans l'effet photo-électrique, observé lors des expériences conduites en 1887 par Heinrich Hertz. Une plaque de métal éclairée à la lumière ultraviolette devient électriquement chargée. La lumière, une onde électromagnétique, peut donc transmettre suffisamment d'énergie aux électrons pour leur permettre de s'arracher et de casser la force électromagnétique. Plus le rayonnement est intense, plus les électrons arrachés sont nombreux. Normalement, leur vitesse d'éjection doit aussi dépendre de l'intensité de la lumière. Il se trouve qu'elle est fonction de la fréquence du rayonnement.

## Un prince au labo

Le prince Louis de Broglie (en haut à g., à sa table de travail), reçut le Prix Nobel en 1929 pour son hypothèse sur la nature ondulatoire des particules. Il avait été initié à la physique par son frère ainé, Maurice, et disposait d'un laboratoire privé (ci-dessus).

Plus elle est élevée, plus grande est l'énergie des électrons.

Entre en scène Albert Einstein, obscur employé du Bureau des brevets à Berne, en Suisse. En 1905, il publie trois articles majeurs, dont un où il résout le casse-tête photo-électrique. Il postule que la lumière transporte l'énergie sous forme de grains, des quanta d'énergie. Lorsque le rayonnement frappe la plaque, il transmet ce quantum à l'électron. Celui-ci en utilise une partie pour se dégager, et épargne le reste sous forme d'énergie cinétique. Plus la fréquence du rayonnement est élevée, plus le grain d'énergie, suivant la formule de Planck, est "gros" et plus l'électron est rapide. En 1915, le physicien américain Robert Millikan confirmera la chose par l'expérience et donnera une valeur très précise de la constante de Planck.

### LE SPECTRE DE L'HYDROGÈNE

Ce n'est qu'en 1923 que les physiciens admettront la réalité de ces grains de lumière, qui seront baptisés photons en 1926.

Un autre sujet turlupinait les savants de la Belle Epoque : expliquer, à partir de la structure même de l'atome, le spectre des éléments. L'hydrogène, par exemple, émet une lumière très caractéristique, qu'il est possible de décomposer en plusieurs ra-



REPRINTED WITH PERMISSION OF AT&T

### Un heureux hasard

*C'est tout à fait par hasard, alors qu'ils effectuaient des expériences en commun, que Clinton Davisson, Prix Nobel 1937, et Lester Germer (ci-dessus), mirent en évidence la nature ondulatoire de l'électron. Tous deux travaillaient chez Bell Company, à New York.*

dinations de différentes longueurs d'onde. Il absorbe aussi des rayonnements, et son spectre apparaît comme une alternance de raies colorées, correspondant aux rayonnements émis, et de raies noires d'absorption.

En 1912, un jeune (27 ans) et timide Danois, Niels Bohr, claque la porte du laboratoire de Cavendish, où Joseph John Thomson, découvreur de l'électron, montrait fort peu d'intérêt pour son travail. Il se réfugie à Manchester, où officie celui que ses étudiants qualifiait de « boy, man, and genius », Ernest Rutherford. En 1911, ce dernier avait imaginé un modèle d'atome d'hydrogène formé d'un noyau de charge positive, où se concentre l'essentiel de la masse, autour duquel gravite l'électron. Un système solaire miniature, en somme. Selon la théorie électromagnétique, une charge électrique qui subit un mouvement accéléré, ce qui est le cas d'un électron en révolution, devrait rayonner, donc perdre de l'énergie. Au bout d'une fraction de seconde, l'électron serait alors condamné à s'écrabouiller sur le noyau. Bohr imagina un modèle d'atome d'hydrogène où les orbites que peut suivre l'électron sont quantifiées : seules certaines lui sont autorisées, et à chacune d'entre elles correspond une énergie bien déterminée.

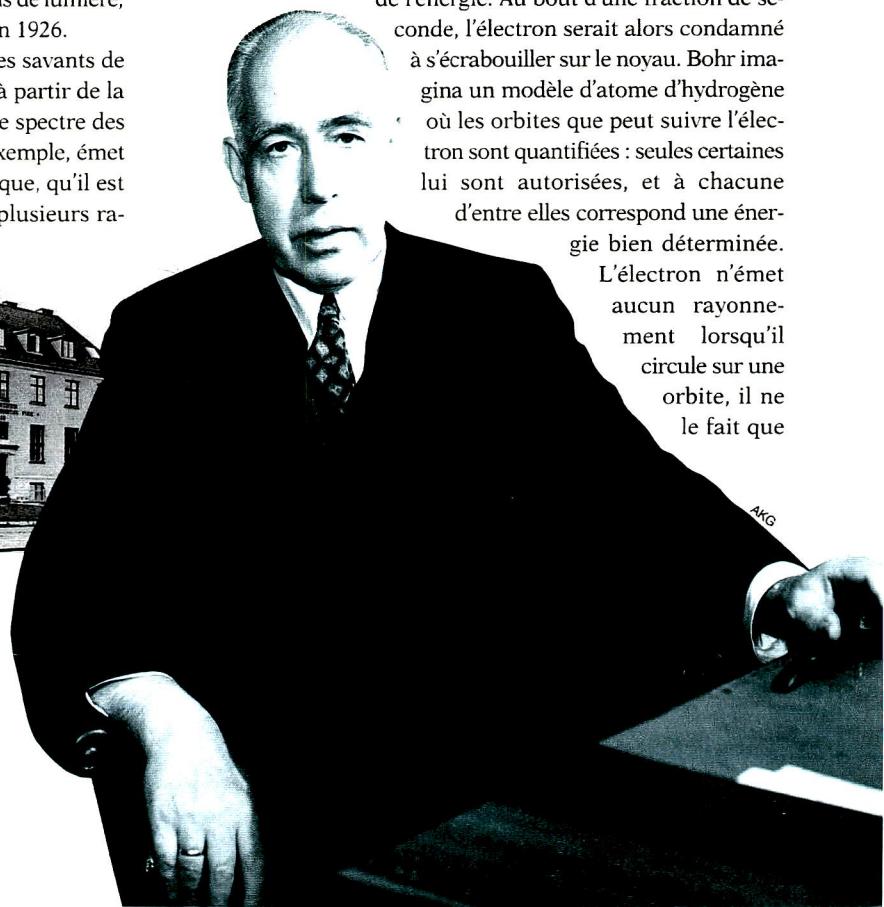
L'électron n'émet aucun rayonnement lorsqu'il circule sur une orbite, il ne le fait que

NIELS BOHR ARCHIVE



### Intime conviction

Niels Bohr, promoteur de la mécanique quantique et son plus ardent défenseur, imagina un modèle d'atome. Prix Nobel 1922, il avait fondé l'Institut de Copenhague (ci-dessus).



# La révolution quantique

## Maths et physique

Formidable mathématicien, Paul Dirac (ci-contre) a ouvert la voix à la physique des particules.

Max Born, professeur de physique théorique à Göttingen, Prix Nobel en 1954, était, comme Bohr, promoteur et parrain de la nouvelle théorie.



COLLECTION VOLLET

lorsqu'il passe de l'une à l'autre. Pour passer à une orbite d'énergie supérieure, il absorbe un certain quantum d'énergie, correspondant, suivant la formule de Planck, à une certaine fréquence. Il émet un quantum lorsqu'il descend à une orbite d'énergie plus basse. L'électron ne peut descendre sous une certaine orbite, dite fondamentale. L'affaire du spectre de l'hydrogène était réglée. Mais pourquoi un atome passe-t-il, à un moment donné, à un niveau d'énergie plutôt qu'un autre ? Mystère. Max Bohr publie son travail en 1913. Le spectre s'avérant de plus en plus compliqué – il changeait sous l'action de

champs magnétiques et électriques –, il fallut perfectionner ce modèle planétaire. L'Allemand Arnold Sommerfeld, de l'université de Munich, s'y colla en 1916. D'autres théoriciens lui emboîtèrent le pas, dont l'Autrichien Wolfgang Pauli, à l'époque professeur de physique

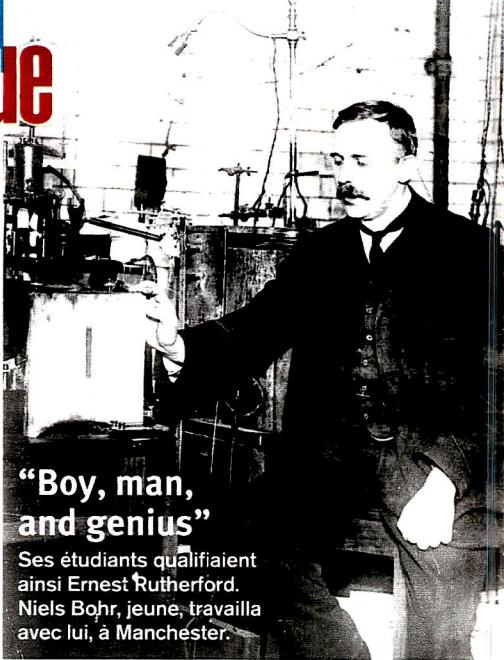
théorique à l'université de Zurich. En plus du nombre d'orbites permises, trois autres nombres quantiques vinrent compléter la carte d'identité de l'atome, et la manière dont se répartissent les électrons autour du noyau fut sévèrement réglementée.

Le "machin" de Bohr tient dix ans, jusqu'à la réapparition des ondes dans une thèse soutenue en 1924 par Louis de Broglie, jeune et authentique prince français formé aux subtilités de la physique par son frère aîné, Maurice. Son idée : si les ondes, comme la lumière, peuvent se comporter comme des particules, pourquoi l'inverse ne

RUE DES ARCHIVES

## "Boy, man, and genius"

Ses étudiants qualifiaient ainsi Ernest Rutherford. Niels Bohr, jeune, travailla avec lui, à Manchester.



serait-il pas vrai ? Selon lui, les deux types de comportement, ondulatoire et corpusculaire, sont mêlés. L'électron est associé à une onde, que l'on peut imaginer comme une espèce de "corde" vibrante faisant un cercle autour du noyau. Il ne peut s'y propager que les vibrations dont la fréquence est proportionnelle à la taille de l'orbite. Les changements d'énergie correspondent aux changements de fréquences de l'onde électronique.

## LA VRAIE NATURE DE L'ÉLECTRON

Bien qu'ayant le mérite d'expliquer le pourquoi des orbites apparemment si arbitraires de Bohr, l'idée, soutenue par Einstein, parut saugrenue. Cinq ans plus tard, la nature ondulatoire de l'électron fut mise en évidence, tout à fait par hasard, par Clinton Davisson et Lester Germer, de la Bell Compagny à New York : en bombardant la surface d'un cristal de nickel avec un faisceau d'électrons, ils obtiennent des franges d'interférences analogues à celles produites par des rayons X.

En 1925, un chercheur précoce (24 ans) et matheux de l'université de Göttingen, Werner Heisenberg, soutenu par son directeur, Max Born, et

AKG



zone plutôt que dans telle autre. Les deux formulations sont les deux faces mathématiques d'une même pièce de monnaie. Le britannique Paul Dirac, autre surdoué, les unit dans un appareil mathématique autrement plus élégant. Il introduira aussi la relativité dans les recettes quantiques

en 1928, ouvrant une voie royale à une discipline aujourd'hui florissante, la physique des particules.

### MARGE D'ERREUR

En 1927, Heisenberg découvre ses fameuses inégalités, plus connues sous le nom de principe d'incertitude. Nous ne pouvons déterminer simultanément, avec la même précision, la vitesse et la position d'une particule. Si nous réussissons à mesurer la position au poil de nanomètre près, nous commettons obligatoirement une erreur sur la mesure de la vitesse. Inversement, plus la marge d'erreur sur la vitesse est réduite, plus celle sur la position est grande. C'est obligatoire, quel que soit l'instrument de mesure utilisé. C'était comme si, en mécanique quantique, la vitesse et la position étaient mal définies, floues.

Munis de ce savoir tout frais, nos physiciens se retrouvent pour le congrès Solvay, où Niels Bohr, alors directeur de l'Institut de physique théorique de Copenhague, et Max Born se posent en champions de la nouvelle théorie. Contre Einstein, qui n'y voyait qu'une sorte de boîte à outils extrêmement performante mais incapable de donner une représentation satisfaisante du monde. Jusqu'à sa mort, en 1955, il resta convaincu que la mécanique quantique était une théorie incomplète. En 1982, une expérience menée par Alain Aspect, à l'Institut d'optique d'Orsay, lui donnera définitivement tort... ■



AKG



UPI/CORBIS/BETTMANN/SIPA

### Mise en forme

Elève de Max Born à l'université de Göttingen (à gauche), Prix Nobel de physique 1932, Werner Heisenberg (en haut) et Erwin Schrödinger (ci-dessus), Prix Nobel de physique 1933 avec Paul Dirac, ont mathématiquement mis en forme la mécanique quantique.

épaulé par son collègue Pascual Jordan fait définitivement entrer l'atome dans l'enfer de l'abstraction mathématique. Heisenberg ne s'intéresse qu'aux seuls effets mesurables et observables des atomes, les spectres. Peu importe à quoi ressemble la chose, il s'agit de trouver la théorie qui permette de prédire les raies émises par les électrons de n'importe quel atome passant d'un état à un autre. Pour cela, Heisenberg sort l'artillerie lourde : il range les variables décrivant l'état de la particule dans des tableaux de chiffres – les matrices, qu'il combine entre elles de manière à retrouver les résultats expérimentaux. Dégouté par "le gros œuf quantique" – l'expression est d'Einstein – pondu par Heisenberg, un professeur de l'université de Zurich, Erwin Schrödinger, se découvre un faible pour l'onde de De Broglie. En 1926, il sort de son chapeau l'équation qui porte son nom et qui est censée régir le comportement de l'électron, lequel y est représenté par une entité mathématique baptisée fonction d'onde. Les physiciens apprécient, l'équation est du même type que celles qui réglementent l'univers des ondes. Mais il restait à trouver une signification à cette fonction d'onde : l'électron était-il, véritablement, une onde, ou était-ce autre chose ? Max Born dépouilla la fonction d'onde de Schrödinger de toute réalité physique, en proposant de n'y lire qu'une probabilité, celle de trouver en un endroit donné de l'espace la particule qui lui est associée. L'électron peut se trouver n'importe où, nous pouvons juste dire que nous avons plus de chance de le trouver dans cette

POUR EN SAVOIR PLUS :

- Sven Ortolini, Jean-Pierre Pharabod, *le Cantique des quantiques*, éditions La Découverte.
- John Gribbin, *le Chat de Schrödinger*, Flammarion, coll. Champs.

# La révolution quantique

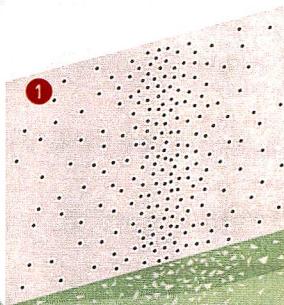
## Les nouveaux commandements

### Ondes ou corpuscules ?

Regardé sous deux angles différents, un cylindre nous apparaît tantôt comme un cercle, tantôt comme un rectangle. Pourtant, il n'est ni l'un ni l'autre. Ainsi en va-t-il d'un électron : suivant le point de vue, c'est-à-dire l'expérience menée, il se comporte soit comme une onde, soit comme un corpuscule. Mais il ne se conduit jamais comme les deux à la fois. Ni onde ni corpuscule, un électron est un quanton, être quantique dont il est impossible de donner une représentation.

### 1 Corpuscule

La plaque percée de deux fentes est sous le feu d'une mitrailleuse. Soit les balles sont arrêtées par le mur, soit elles se faufilent par l'une des deux fentes pour aller s'écraser sur l'écran derrière la plaque. La majorité des points d'impact est concentrée dans une zone de l'écran.



2



### 2 Onde

Le faisceau d'une lampe électrique est dirigé vers un mur percé de deux fentes.

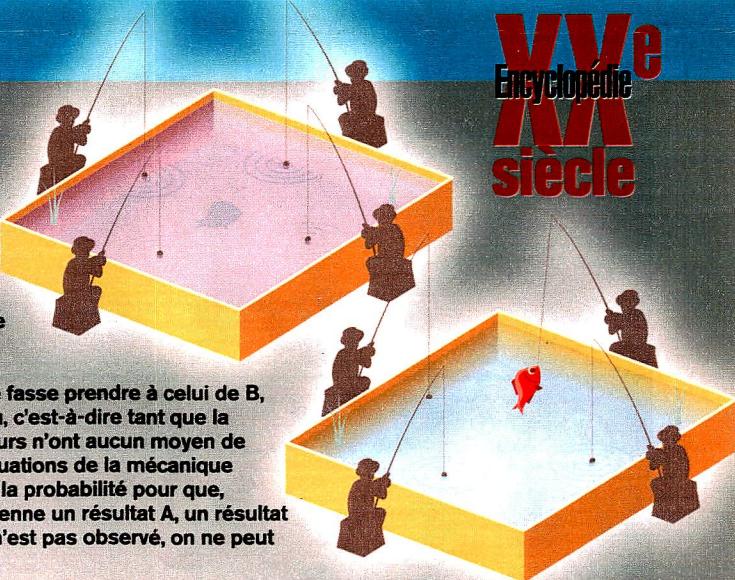
Les ondes lumineuses qui se propagent à travers ces fentes dessinent, sur l'écran situé derrière, des figures particulières, une alternance de bandes verticales claires et obscures. Ce sont les franges d'interférences, caractéristiques du comportement ondulatoire.

### Le domaine quantique

Pour comprendre le comportement des atomes, ou celui de leur noyau, cent mille fois plus petit, la théorie quantique est nécessaire. Mais il existe aussi des systèmes macroscopiques – les lasers, les matériaux supraconducteurs ou l'hélium superfluide –, dont le comportement ne peut s'expliquer que grâce à la théorie quantique. Pour savoir quand ils doivent y avoir recours, les physiciens calculent l'"action" d'un corps, une combinaison de grandeurs physiques telles que le temps, la distance et la masse. Si l'action est de l'ordre de grandeur de la constante de Planck, c'est-à-dire  $6,62 \cdot 10^{-34}$  joules par seconde, alors on est dans le domaine quantique.

## A la pêche

Un électron est enfermé dans une boîte. Autour s'installent plusieurs pêcheurs quantiques, qui lancent leur ligne à l'intérieur de la boîte. A quel hameçon l'électron va-t-il mordre ? Les pêcheurs n'en ont aucune idée. Ils savent seulement qu'il y a une certaine probabilité pour qu'il morde à l'hameçon de A, une autre pour qu'il se fasse prendre à celui de B, etc... Tant que l'électron n'a pas mordu, c'est-à-dire tant que la mesure n'a pas été réalisée, les pêcheurs n'ont aucun moyen de savoir ce qu'il fait dans la boîte. Les équations de la mécanique quantique nous donnent à chaque fois la probabilité pour que, lorsqu'on effectue une mesure, on obtienne un résultat A, un résultat B, C, D, etc... Mais, tant que l'électron n'est pas observé, on ne peut pas dire qu'il a une position précise.



## La non-séparabilité quantique

Deux billes quantiques, une "rouge" et une "verte", entrent en collision. Au moment du choc, elles vont former un système unique, ayant ses propres caractéristiques. Puis les deux billes se séparent et chacune est capturée dans une boîte. Les physiciens qui se proposent de les étudier sont au moins sûrs d'une chose : à cause de leur passé commun, quand ils les détecteront, ils trouveront une bille verte et une rouge.



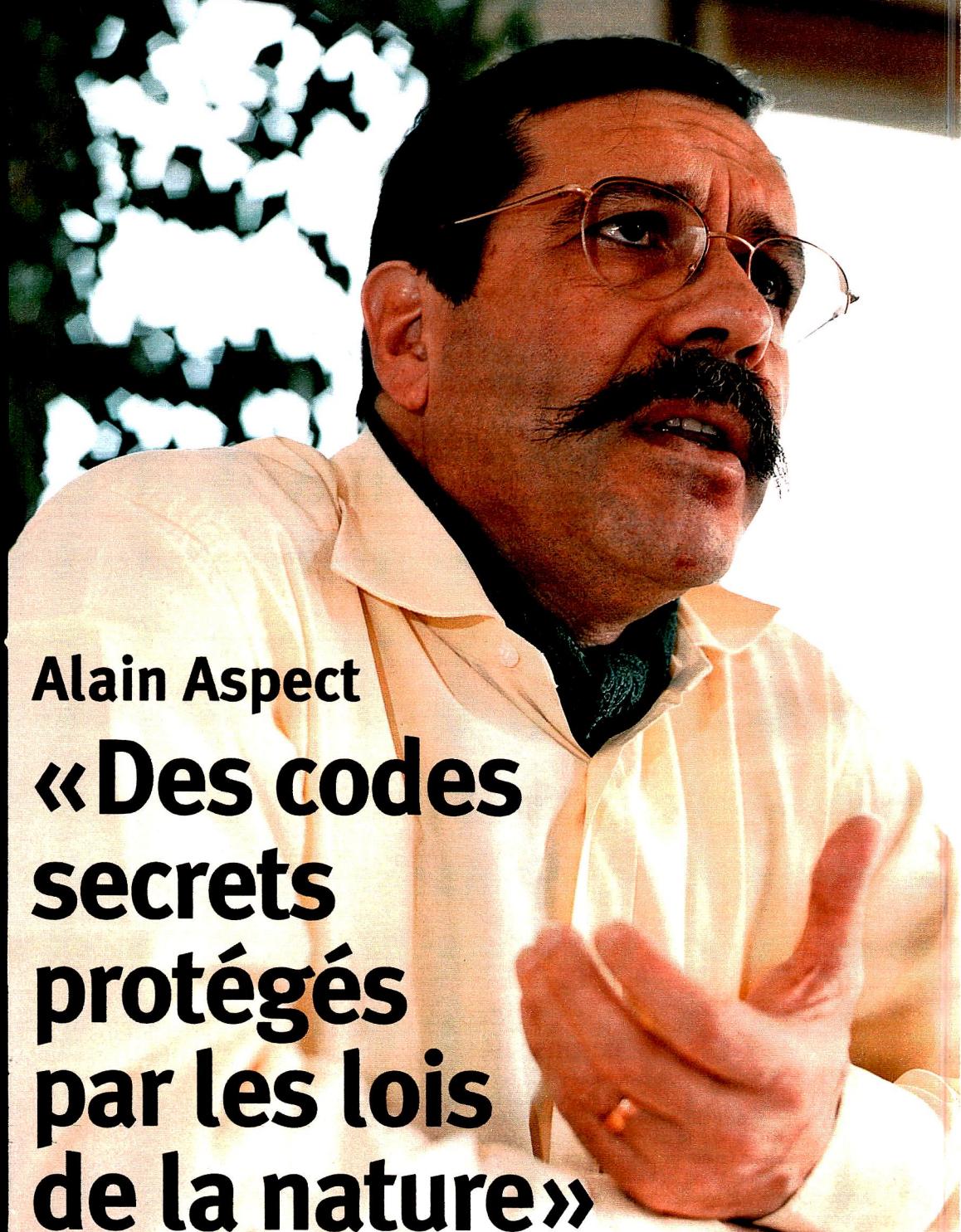
## 3 Ondes et corpuscules

Un canon envoie un par un des électrons sur la plaque percée de deux fentes. L'écran du détecteur se couvre de points d'impact, ce qui, *a priori*, plaide en faveur de la nature corpusculaire des électrons. Mais, au fur et à mesure que le nombre des impacts augmente, leur répartition reconstitue sur l'écran un système de franges d'interférences... L'électron, tel le cylindre ci-dessus, a bien une double personnalité, il se comporte tantôt comme une onde, tantôt comme un corpuscule.

**INTERPRÉTATION CLASSIQUE**  
Chacune des billes a conservé sa couleur après la séparation. L'une est rouge et l'autre est verte, bien avant que l'observateur ne jette un œil dans la boîte. Elles constituent deux systèmes séparés.

**INTERPRÉTATION QUANTIQUE**  
Tant que personne n'a regardé dans la boîte, la couleur de la bille reste indéterminée. Ce n'est qu'au moment où la mesure est effectuée sur l'une que l'autre acquiert ses caractéristiques : si l'une des billes apparaît rouge, l'autre devient verte, et vice-versa. Les deux billes forment un ensemble inseparable, même si elles sont éloignées par un océan...

# La révolution quantique



Alain Aspect  
**«Des codes secrets protégés par les lois de la nature»**

**Le monde quantique, peuplé d'objets qui ont le don d'ubiquité et se comportent tantôt comme des ondes, tantôt comme des particules, échappe à notre logique habituelle. Alain Aspect, directeur de recherche au CNRS, professeur à l'Ecole polytechnique et responsable du groupe d'optique atomique à l'Institut d'optique théorique et appliquée d'Orsay, dissipe un peu de cette brume quantique en nous expliquant comment ces curieuses propriétés peuvent accoucher d'une technologie digne de la science-fiction.**

**Science & Vie** : La mécanique quantique est aujourd'hui une vieille dame qui n'a plus à faire la preuve de son efficacité. Il reste cependant quelques "mystères" à éclaircir. Par exemple, comment se fait le passage entre ce monde aux étranges propriétés et notre univers macroscopique ?

**Alain Aspect** : C'est un grand problème qui n'est toujours pas résolu... La mécanique quantique autorise l'existence de ce qu'on appelle une superposition cohérente de deux situations qui, prises séparément, ne sont pas étonnantes. Prenons, par exemple, une particule qui va interférer. Pour cela, elle doit passer en deux endroits différents. Je peux dire, séparément : « La particule est d'un côté », et cela n'a rien d'étonnant du point de vue de la mécanique classique. « Elle est de l'autre côté », et, là aussi, la situation n'a rien d'extraordinaire.

En revanche, si je dis : « La particule est des deux côtés à la fois », voilà qui est étonnant. Pourtant, c'est ce qui se passe lorsqu'on a une superposition cohérente qui se manifeste par des interférences. Mais avec des objets à notre échelle nous n'obtenons jamais un tel phénomène. Un objet n'est jamais à deux endroits à la fois. Pourquoi ? On pense que les interactions incontrôlables avec l'environnement détruisent très vite toute superposition cohérente d'objets macroscopiques. Un pho-

## PARCOURS

**1947** : naissance à Agen.

**1965-1971** : agrégation de physique, Ecole normale supérieure de l'enseignement technique. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle.

**1971-1974** : enseignant à l'Ecole normale supérieure de Yaoundé (Cameroun).

**1974-1985** : tests des fondements de la mécanique quantique avec des paires de photons non-séparables.

**1985-1991** : expériences de refroidissement atomique par laser dans le groupe de Claude Cohen Tannoudji (Ecole normale supérieure et Collège de France).

**1991** : crée à l'Institut d'optique d'Orsay le groupe d'optique atomique.

**I** Deux particules éloignées constituent pourtant un tout inséparable

ton qui se propage dans une enceinte à vide a très peu d'interactions avec l'environnement, et il n'y a pas de décohérence. Mais plus l'objet est gros, plus il a de facilité à interagir avec l'environnement, et plus la décohérence se produit facilement, rapidement. Cela étant, il ne faut pas imaginer qu'il existe une frontière, une barrière nette et claire entre le monde quantique et le monde macroscopique,

**PHOTOS**  
**SOPHIE CHIVET**

# La révolution quantique

qu'il suffirait de sauter pour passer de l'un à l'autre. Si nous prenons un gros objet et si nous faisons très attention à ne pas le perturber, il pourra encore montrer des effets quantiques. On a fait récemment de gros progrès sur cette question. Je pense par exemple aux expériences d'interférences avec des atomes ou des molécules ou aux expériences sur la décohérence réalisées à l'Ecole normale supérieure dans le groupe de Serge Haroche et Jean-Michel Raymond. Il n'en reste pas moins que nous sommes loin de tout comprendre.

**S & V : Le monde quantique a de bien curieuses propriétés... Quelles en seront les nouvelles applications ?**

**A. A. :** Tout d'abord, il faut se souvenir

que le laser ou le transistor sont des objets quantiques. Mais si nous pensons aux applications des propriétés quantiques à grande échelle, alors la cryptographie quantique me semble un excellent exemple. C'est une véritable révolution technique, autorisée par la non-séparabilité. Au début des années 80, personne n'avait imaginé que les études fondamentales que nous menions sur la non-séparabilité quantique auraient abouti à ça.

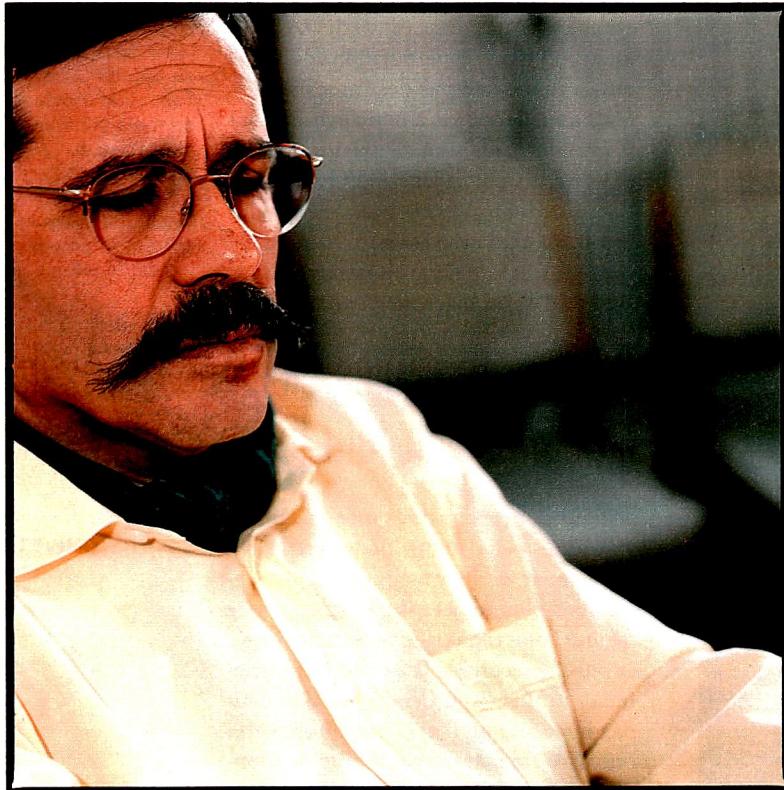
**S & V : Qu'est-ce que la non-séparabilité ?**

**A. A. :** Après la mise en place de la mécanique quantique, en 1925, il y a eu une grande discussion entre Niels Bohr et Albert Einstein à propos de la signification de cette théorie. Elle portait sur la ques-

tion de la fameuse non-localité quantique, soulevée par Einstein et ses collègues en 1935, et encore d'actualité. D'après Niels Bohr (et en simplifiant beaucoup son raisonnement) le formalisme de la mécanique quantique prévoit la possibilité que deux particules très éloignées l'une de l'autre constituent un tout inséparable, de manière qu'on ne puisse parler séparément de l'une et de l'autre.

Einstein proposait une autre interprétation de ce phénomène, en attribuant aux particules des propriétés que certains ont appelé variables cachées, sous-jacentes au formalisme quantique mais qui n'étaient pas incompatibles avec lui. En 1965, John Bell découvrit qu'en réalité il y avait incompatibilité entre les deux conceptions. Il fallait trancher, par une sé-

## En cryptographie, la non-localité garantit le codage de l'information



rie d'expériences auxquelles nous avons apporté une contribution importante dans les années 80. Toutes les expériences ont montré que la nature fonctionne suivant les prévisions de la mécanique quantique : les particules sont éloignées, et pourtant elles constituent un tout inséparable.

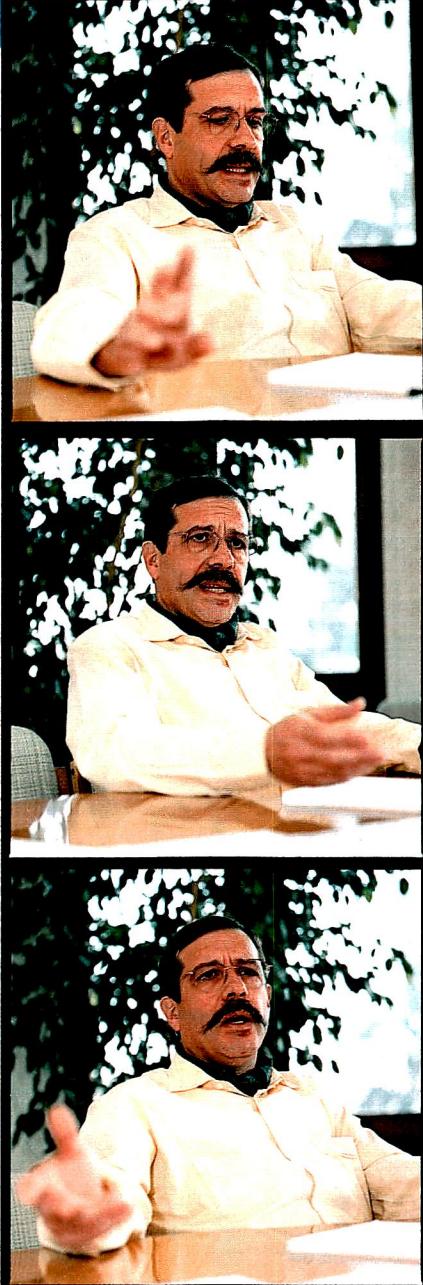
**S & V : Pour reprendre une image plus familière (bien que fausse), c'est comme si les particules "communiquaient" à distance. Quelle pourrait être la nature de ce lien ?**

**A. A. :** Ah, ça... La seule réponse solide est dans les équations. Si néanmoins je cherche une image, je n'arrive pas à me représenter ce lien autrement que par une espèce d'interaction instantanée. Mais, d'un autre côté, je sais démontrer que cette interaction est différente des interactions habituelles, car elle ne peut me permettre d'envoyer un message. La non-séparabilité existe, mais nous ne pouvons pas nous en servir pour transporter de la matière, de l'énergie ou de l'information utilisable, contrairement à ce qu'on a pu lire à propos de la téléportation quantique. Nous pouvons démontrer que, certes, tout se passe comme s'il existait un lien non local, mais nous ne pouvons l'utiliser pour prendre une décision concrète.

**S & V : Comment utiliser cette non-localité pour crypter des messages ?**

**A. A. :** La cryptographie, c'est tout simplement l'art de coder l'information, de façon indéchiffrable par un adversaire.

Jusqu'à présent, la sûreté du codage reposait sur deux hypothèses : l'adversaire



## Il fallait trancher

**Les expériences menées par Alain Aspect et ses collaborateurs dans les années 80 ont permis d'apporter une réponse à la question de la non-localité, ouverte depuis la naissance de la mécanique quantique.**

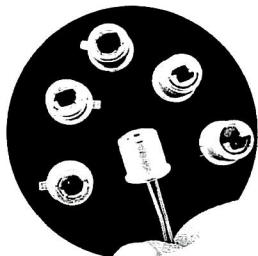
n'a pas d'ordinateur beaucoup plus puissant que le vôtre, et il n'a pas fait de progrès mathématiques insoupçonnés qui lui donneraient le moyen de casser votre code. La sécurité n'est donc pas garantie de façon absolue.

En cryptographie quantique au contraire, ce sont les lois de la physique quantique, c'est-à-dire les lois de la nature, qui vont vous garantir que deux correspondants ont en main deux copies identiques de clefs secrètes qui n'ont été interceptées par aucun espion. La méthode utilise des paires inséparables de photons qui se dirigent chacun vers un des deux correspondants. Ces derniers, en faisant des mesures de polarisation, obtiennent deux séries de nombres aléatoires strictement identiques, qui serviront de clef de codage et de décodage. Cette clef n'existe pas, jusqu'au moment où nos deux observateurs font la mesure. Si un espion tente au passage de lire la polarisation des photons pour avoir une copie de la clef, il laissera inévitablement des traces.

**S & V : De quel genre de traces s'agit-il ?**

**A. A. :** Précisément une décohérence qui se traduira par une modification subtile des polarisations observées. Les deux observateurs détecteront cette modification en confrontant le résultat des mesures aux inégalités de Bell.

Ce qui est remarquable, c'est que des propriétés aussi subtiles puissent survivre avec des paires de photons inséparables envoyées sur le réseau standard à fibre optique des télécoms, ainsi que l'ont montré nos collègues de Genève. ■

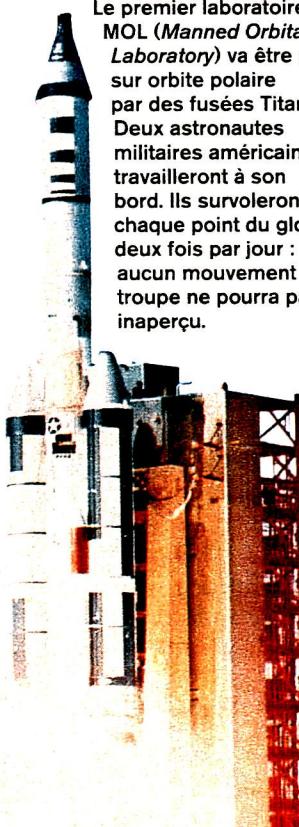


## La lampe qui ne grille jamais

Ces lampes-boutons sont, en fait, des transistors lumineux. Pour la première fois on sait convertir directement, au sein d'un corps solide, l'électricité en lumière. Plus de lampes qui chauffent, de verre qui casse, de fluorescence qui faiblit : le semi-conducteur lumineux est au néon ce que l'ampoule est à la chandelle.

## Espionnage spatial

Le premier laboratoire MOL (*Manned Orbital Laboratory*) va être placé sur orbite polaire par des fusées Titan III. Deux astronautes militaires américains, travailleront à son bord. Ils survoleront chaque point du globe deux fois par jour : aucun mouvement de troupe ne pourra passer inaperçu.



# Il y a 30 ans

## SCIENCE & VIE

LE SEXE N'EST PAS UNE AFFAIRE DE SEXE  
MILLIARDS SOUS L'EAU POUR RATS  
BIBLIOTHÈQUE • POUR S'ÉCLAIRER DES  
TRANSISTORS AU PLAFOND • LES FR  
ACHÈTENT TROP D'ORDINA



MAI 1969

Cet ordinateur géant qui domine un paysage d'Ile-de-France est le symbole de la menace que font peser sur notre économie des achats inconsidérés d'ordinateurs. Certains constructeurs bricolent leurs vieux matériels, puis les bradent auprès de PME mal informées.

PHOTOS DR

## Modernes chercheurs d'or

Les chasseurs de trésors sont motorisés. Sous-marins nains biplaces, scooters ou torpilles montées, tous ces engins de recherche subaquatique permettent aux modernes aventuriers de décupler leur rayon de prospection ainsi que leurs gains : la mer paie comptant.

## Le train du futur

La maquette du "train à 300 à l'heure" qui sera construit pour la SNCF a été une des premières réalisations de P. Bracq et J. Cooper, stylistes au sein d'un bureau d'études d'esthétique industrielle. Ce train, engin de prestige, comme le *France* ou le *Concorde*, sera le "port-drapeau" de la SNCF et de la France.



# ULTRATONE POURQUOI?

L'achat d'un appareil de gymnastique est une décision importante.

Il est donc normal que vous vous posez, au préalable, un certain nombre de questions.

ULTRATONE est le créateur et le leader mondial de l'électro-stimulation musculaire, inventée par Herman Schaefer en 1965. Des millions d'appareils produits depuis près de 35 ans lui ont permis d'acquérir un savoir-faire unique dans les domaines les plus variés de l'esthétique et du fitness.

Tout comme un exercice physique, ULTRATONE contracte et relaxe les muscles à un rythme contrôlé, régulier et agréable. Il fonctionne de la façon suivante :

**LA FORME DE COURANT UTILISÉE EST ULTRAWAVE OU SCHAEFER STROM.**

**LE SIGNAL ULTRATONE ULTRAWAVE EST UN SIGNAL :**

**A pente raide = EFFICACITÉ.**  
Plus le front d'une impulsion est raide, plus le début est brusque, plus elle est efficace et surtout confortable.



Les Champions du Monde 98 de Football utilisent ULTRATONE

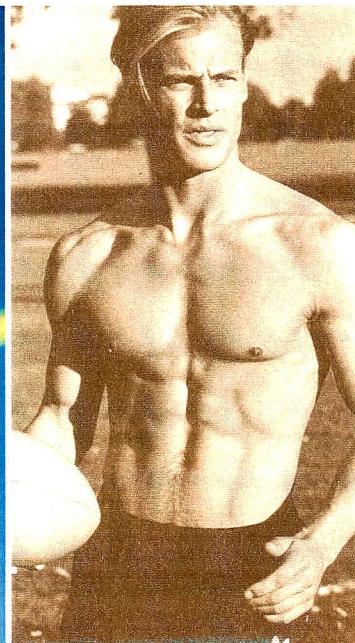


29, rue des Favorites  
75015 PARIS  
Tél. : 01 45 31 39 69  
Fax : 01 45 31 19 34  
[www.mondial-innovation.com](http://www.mondial-innovation.com)



Mérite au développement du secteur paramédical et esthétique 1998

# ULTRA WAVE : les nouveaux courants physioséquentiels et rotatifs La Grande Avancée Technologique



Construisez-vous votre corps de demain avec  
l'appareil du futur !

ULTRATONE offre des **appareils spécifiques**, des systèmes **évolutifs** ouverts à toutes les **recherches scientifiques** du futur.

Des systèmes très puissants sous une forme miniaturisée.

Un savoir faire scientifique en évolution permanente, c'est l'**assurance de résultats excellents, dès aujourd'hui et c'est l'assurance de bénéficier des progrès scientifiques du futur, sans changer votre appareil.**

Les références importantes des recherches scientifiques et médicales sont les bases de la confiance solide que ULTRATONE obtient dans le monde entier.

ULTRATONE a reçu les certificats d'application du "Bureau Veritas Quality International" : BS EN ISO 9001. Tous les systèmes ULTRATONE ont été testés en conformité avec les plus hauts standards médicaux : IEC 601-1, IEC 601-2.10, IEC 601-1-2, MDD 0301



## VENTE EN PHARMACIES ET MAGASINS MÉDICAUX

## DEMANDE DE DOCUMENTATION

à retourner à MONDIAL INNOVATION DELATEX  
29, rue des Favorites - 75015 PARIS

NOM : ..... PRÉNOM : .....

ADRESSE : ..... C.P. : .....

VILLE : ..... TÉL. : .....

Votre date d'anniversaire : .....

Ces informations resteront confidentielles.

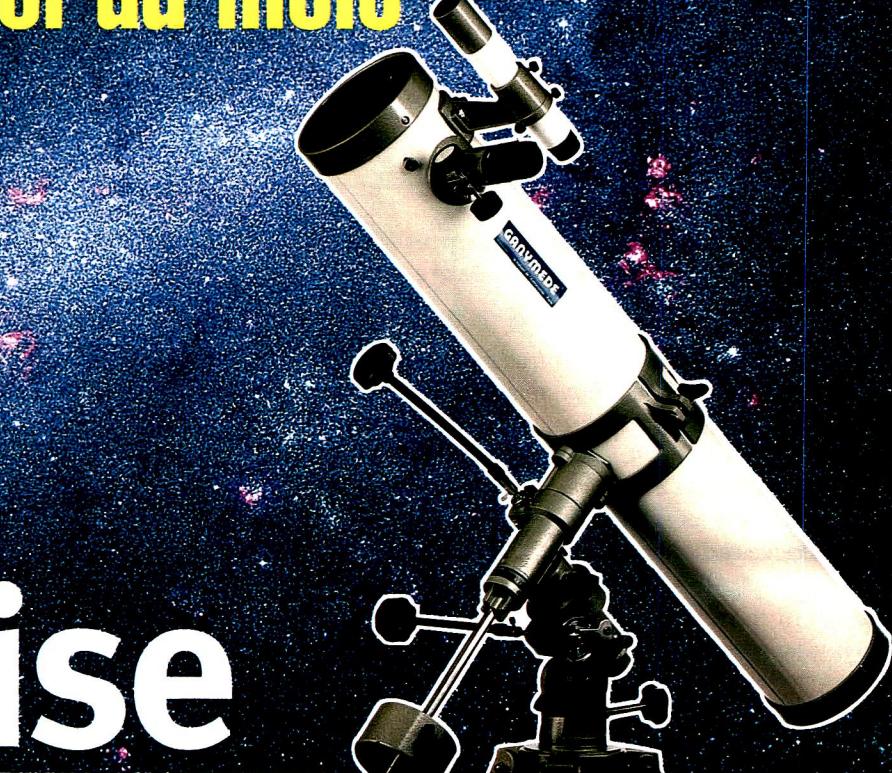
Conformément à la loi informatique et libertés n° 78.17 du 6 Janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant.

# Le ciel du mois

PAR YVES DELAYE

# Mise en station

**Le réglage de la monture équatoriale, une opération simple mais indispensable pour "retenir" les astres dans le champ de la lunette.**



ESO - DR

**L**'heureux possesseur d'un instrument astronomique s'aperçoit, dès les premières observations, que la Terre tourne, et vite! En effet, dès qu'il a centré l'oculaire de son appareil sur un astre, ce dernier se met à défiler jusqu'à sortir du champ. Pour palier cette "fuite", les lunettes et les télescopes sont la plupart du temps équipés d'une monture dite équatoriale.

Son rôle est de compenser la rotation de la Terre. Ce résultat est obtenu en rendant l'un des axes de la monture parallèle à celui de la rotation terrestre. Il suffit alors que l'appareil tourne autour de cet axe en sens inverse de la Terre, et à la même vitesse, pour que l'astre observé soit immobile dans le champ de vision. Bien entendu, pour pointer n'importe quel objet de la sphère céleste, il est indispensable

d'effectuer également une réglage sur un autre axe, perpendiculaire au premier.

L'axe parallèle à l'axe de rotation terrestre est nommé axe polaire, ou axe d'ascension droite, l'axe perpendiculaire axe de déclinaison.

Mais comment rendre effectivement parallèle l'axe d'ascension droite à l'axe terrestre. Bon nombre de débutants sont embarrassés par cette opération, dite de mise en station. Elle est pourtant facile si on souhaite simplement profiter d'un instant de ciel clair pour faire un peu de "tourisme céleste". En effet, dans ce cas, peu importe d'avoir à pratiquer quelquefois un recentrage de l'image, une mise en station approximative suffit donc – en revanche, pour prendre des photographies avec un très long temps de pose, ce réglage ne sera pas assez précis.

Bien entendu, à l'installation de l'appareil, vous vous assurerez que la base de la monture est bien horizontale. Beaucoup de montures sont maintenant équipées d'un niveau à bulle et de pieds réglables en hauteur, ce qui facilite la tâche.

Pour que l'axe d'ascension droite de la monture soit parallèle à l'axe de rotation de la Terre, il doit avoir une inclinaison précise par rapport à l'horizontale et une certaine orientation en azimut. Le réglage d'inclinaison se réalise facilement de jour, en s'aidant du cadran gradué fixé à cet effet sur le côté de la monture. L'angle à afficher est égal à la latitude du lieu d'observation, laquelle est pour Paris, par exemple, de  $48^{\circ} 50'$ . Si vous ne connaissez pas la latitude de votre site, vous vous référerez aux cartes IGN, série verte ou bleue, qui l'indiquent avec exactitude.

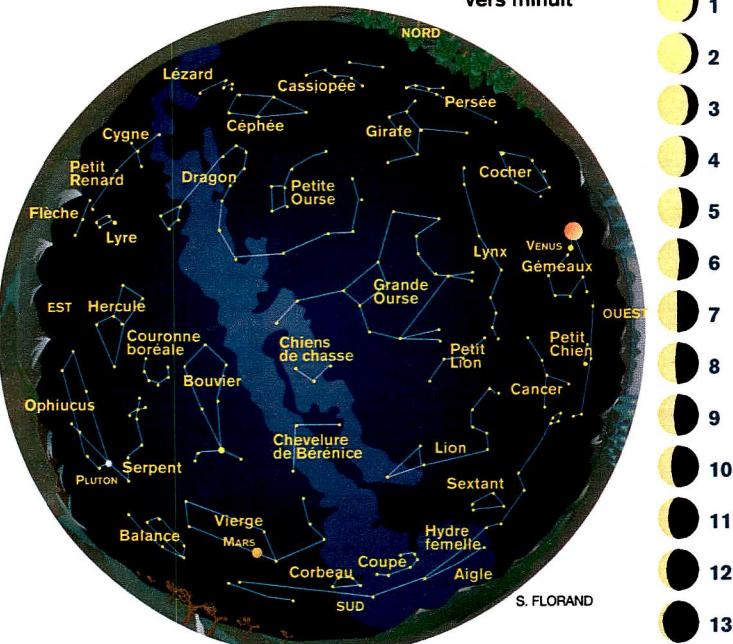
### AVEC L'AIDE DE L'ETOILE POLAIRE

Vient ensuite l'orientation en azimut. Si l'axe de rotation de la Terre est virtuellement prolongé vers le nord, il perce la voûte céleste en un point nommé "pôle céleste Nord". Le hasard fait qu'une étoile bien visible se trouve à proximité de ce point : c'est Alpha de la Petite Ourse, appelée, pour cette raison, Polaire. Il faut cependant noter que, si l'Etoile polaire indique la position approchée du pôle Nord, elle n'est toutefois pas située exactement à son emplacement, l'écart actuel est d'environ 50 minutes d'arc.

Pour une mise en station approchée, vous pouvez vous contenter d'aligner l'axe de la monture sur l'Etoile polaire. Cette opération sera réalisée à vue, en vous plaçant dans le prolongement de l'axe ou bien en vous aidant du chercheur. Dans ce cas, il faut tout d'abord vérifier qu'il est parfaitement aligné avec le télescope. Puis vous placerez le tube de la lunette ou du télescope parallèlement à l'axe polaire. Enfin, vous viserez l'Etoile polaire au moyen du chercheur, mais en déplaçant l'ensemble de la monture. Une fois la Polaire placée au plus près de la croisée des fils du réticule du chercheur, vous pourrez considérer que la mise en station est terminée. Rappelons encore une fois qu'il s'agit là d'une méthode approchée et rapide, ne convenant que pour une observation visuelle de courte durée. ■

# ASTRES ET LUNE EN MAI

vers minuit



### LES PLANÈTES

#### Vénus

La planète illumine le ciel du soir de ses feux et brille encore tard dans la nuit puisqu'elle se couche presque 3 h 30 après le Soleil. Dans un instrument, vous observez nettement sa phase sous forme d'un premier quartier de 20 secondes d'arc!

#### Mars

Après son opposition du mois dernier, la planète est encore en bonne position pour être observée. Son diamètre appa-

rent, de plus de 15 secondes d'arc, autorise, avec un instrument, la vision de nombreux détails de sa surface.

#### Jupiter

Elle redévient visible en deuxième partie du mois, peu avant le lever du Soleil à l'est. Encore assez basse, elle se trouve donc dans les couches les plus perturbées de notre atmosphère, ce qui risque de gêner la visibilité des détails de ses bandes équatoriales.

### LES GRANDS RENDEZ-VOUS

#### Samedi 1<sup>er</sup>

Dans les lueurs de l'aube, à l'est, conjonction de Jupiter et de Mercure.

#### Lundi 10

En soirée, la planète Vénus passe à proximité de l'amas M 35 dans les Gémeaux.

#### Jeudi 13

A l'horizon est, à l'aube, un fin croissant de Lune

a rendez-vous avec Jupiter.

#### Mardi 18

Vers 23 h 30, au nord-ouest, rapprochement de la Lune et de Vénus, juste en dessous de Castor et Pollux.

#### A partir du 25 et jusqu'au début de juin

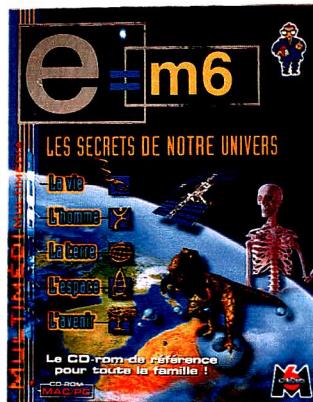
A proximité de l'étoile Spica, qui servira de repère, virage de Mars à suivre tous les soirs.



# CD-Rom

PAR JEAN-RENÉ GERMAIN

# La science en famille



## Pédagogique

La science, dans l'optique pédagogique de la célèbre émission de télévision.

mations. Il s'inscrit parfaitement dans la démarche de vulgarisation scientifique de la célèbre émission de télévision qui le parvient. On peut ainsi comprendre facilement comment la vie est apparue sur Terre. La partie "avenir" initie aux grands problèmes

### E=M6, LES SECRETS DE NOTRE UNIVERS

D'un maniement extrêmement simple, ce CD-Rom d'initiation aux grandes questions scientifiques de notre époque (la vie, la Terre, l'espace, l'avenir) accorde une place de choix aux images (vidéo) et aux anima-

que la science aura à résoudre : pollution et réchauffement du climat. Et si l'on bute sur un mot, Mac Lesggy, le présentateur vedette de l'émission E=M6 vient à la rescoussse avec son dictionnaire pour lever toute ambiguïté! Les ateliers (il y en a trop peu à notre goût) constituent l'un des attraits de ce CD-Rom d'initiation aux sciences : on apprend comment alunir sans trop dépen-  
sier de carburant, quels sont les méca-  
nismes génétique de la transmission des ca-  
ractères, les bases de la perception des couleurs, etc.

.....  
M6-Multimédia-Ubi Soft, 259 F (39,48 €) pour PC/Mac.

# Voyage fantastique

## MAPA MONDI : UNE CARTE DU MONDE AU XIV<sup>e</sup> SIÈCLE

Le numérique offre ceci de particulier qu'il permet de mettre à la portée du grand public des documents rares réservés aux spécialistes, et d'en montrer toute la splendeur. C'est le cas aujourd'hui de cet extraordinaire atlas catalan réalisé en couleur pour le compte du roi Charles V, et aujourd'hui conservé à la Bibliothèque nationale. On ne peut que s'extasier devant la profusion des illustrations qui le transforment en véritable encyclopédie visuelle de son époque. De toute évidence, il reflète une vision du monde où l'homme était, par l'intermédiaire du zodiaque, relié, intégré dans l'Univers. Et n'attendez pas

d'y voir l'Amérique : elle n'était pas encore découverte ; l'Atlantique s'ouvre, immense, sur l'inconnu.

Un système de navigation astucieux permet de créer des hyperliens pour inventer son propre cheminement géographique en images. Pour un peu, en le parcourant, on se sentirait comme Marco-Polo partant à la découverte du monde!

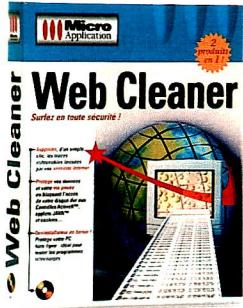
.....  
Montparnasse Multimédia-Bibliothèque nationale de France, 349 F (53,20 €), pour PC/Mac.



# Anti-espionnage

## WEB CLEANER

Ce CD-Rom s'adresse aux internautes soucieux de la sécurité de leur vie privée : on sait qu'en se connectant aux sites internet, on risque d'héberger un cookie, et que certains "Controls Active X" permettent d'espionner les e-mails, de connaître les habitudes de l'internaute. Ainsi les responsables des sites consultés peuvent en apprendre beaucoup sur vous et avoir une idée du contenu de votre ordinateur. Ce programme permet d'éviter cela. En faisant le bilan après chaque cession internet, il supprime les cookies, barre l'accès aux fichiers que vous aurez préalablement sélectionnés, et fait le ménage de toutes les pages et fichiers internet. Un logiciel surveille les nouvelles installations de programmes téléchargés et vous permet de les supprimer en toute sécurité. *Web Cleaner* fonctionne pour Internet Explorer de Microsoft et Netscape Navigator/Communicator.



Micro-Application, 167 F (25,46 €), pour PC.

## NOUS AVONS AIMÉ

### LE GUIDE DES PLUS BEAUX JARDINS DE FRANCE

La France, a dit le poète, est un pays de jardins. Réunissant une sélection de cent soixante beaux jardins, ce CD-Rom nous le prouve amplement. Outre le stricte intérêt documentaire et culturel, en sélectionnant le thème (arboretum, jardins à la française, jardin exotique, création contemporaine) ou la région qui vous intéresse, il vous permettra de préparer vos promenades. Votre sélection faite, il est possible de vagabonder virtuellement dans le parc de votre choix au milieu de chants d'oiseaux. Une sélection du menu vous donnera l'historique de chacun des jardins visités, ainsi qu'un index des termes utilisés par les jardiniers.

Tangram Multimédia, 199 F (30,34 €).



**NOUVEAU**  
**MEADE**  
**ETX-90/EC**  
**4950 F TTC**

**Des anneaux de Saturne  
aux canines du gentil tigre...**



Liste des revendeurs  
sur simple demande au  
**01 43 39 91 36**

Le nouveau télescope MEADE ETX-90/EC, ultra-compact, ultra-transportable a reçu toutes les dernières modernisations. Tout est fait pour faciliter son utilisation, même pour les débutants. Le suivi des objets célestes est aisément assuré à la raquette de commande électronique.

Le nouveau MEADE ETX-90/EC ne se limite pas à l'observation du ciel. Très léger (4,1 Kg), vous l'emporterez partout pour observer les beautés de la nature, les animaux en forêt, le détail d'une architecture ou un bateau à l'horizon.

Grâce à sa mise au point de 3,5 mètres à l'infini, rien ne vous échappera. De plus, le nouveau MEADE ETX-90/EC devient un puissant télescope pour vous pouvez adapter à votre appareil photo, pour faire un gros plan sur les canines du gentil tigre...

Importé et garanti par  
**paralux**  
Professionnel de l'optique depuis 1914

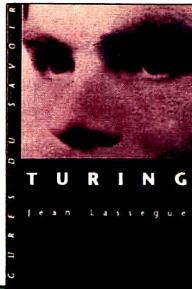
PAR JEAN-FRANÇOIS ROBREDO

# Du Chiffre et de l'être

## TURING

**Jean Lassègue**

Bien des livres sur le mathématicien anglais Alan Mathison Turing (1912-1954) ont déjà été écrits. Et pour cause ! Chez cet être d'exception, la génialité le disputait à l'originalité. A 24 ans – en 1936 –, il généralise aux



A 38 ans – en 1950 –, il publie dans la revue *Mind* "Les ordinateurs et l'intelligence", texte qui ouvre la voie à la naissance de l'intelligence artificielle et dans lequel il propose son fameux "test de Turing", qui permet de mesurer l'intelligence d'une machine. A partir de 1951, il se consacre entièrement à la morphogenèse (apparition et développement des formes et des structures chez les êtres vivants). Malheureusement, en 1954, il se suicide (par ingestion d'une pomme macérée dans du cyanure), alors qu'il a été condamné à la castration chimique par la justice anglaise pour homosexualité.

Voici donc un nouveau livre sur l'un des Anglais les plus brillants et les plus mal aimés de son époque. En dépit de sa qualité et de sa précision, l'ouvrage, par sa concision (210 pages), reste difficile d'accès pour les néophytes, notamment en ce qui concerne les descriptions

fonctions le théorème de non-calculabilité de Gödel (le plus brillant résultat de logique de l'histoire). C'est pour les besoins de sa démonstration mathématique que Turing imagine ce qui deviendra plus tard l'ordinateur. Pendant la guerre de 39-45, il collabore avec les services du Chiffre du gouvernement britannique, et il devient un élément clef du décryptage des messages secrets allemands. Après la guerre, il participe à la conception du premier ordinateur, pour lequel il invente le premier langage de programmation.

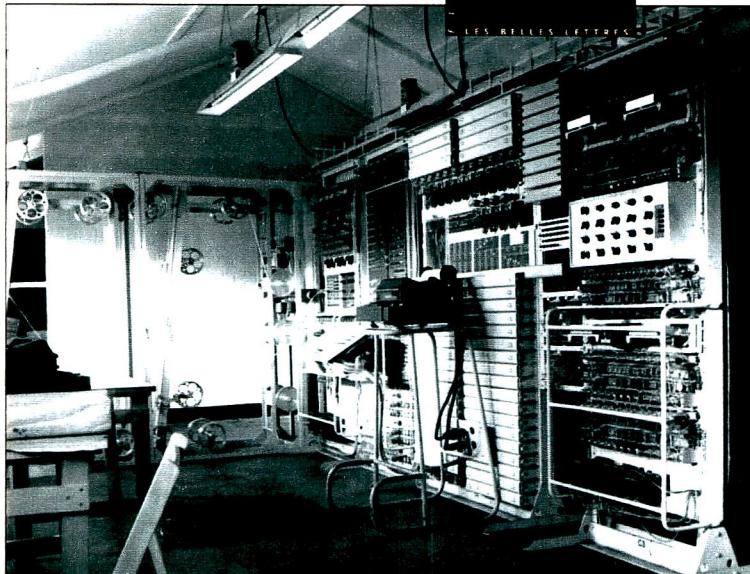
techniques. Cependant, il a le mérite de rappeler que Turing fut toujours émerveillé par les mécanismes du vivant. Jean Lassègue y montre que, malgré l'apparence hétéroclite de son parcours intellectuel, Turing – dont il explore quelques traits psychologiques – n'a fait que scruter les différentes faces d'une seule et même question : comment reconstruire physiquement et mentalement l'être humain.

**Roman Ikonoff**

.....

Les Belles Lettres, 210 p., 39 F.

BRETCHLEY PARK TRUST SCIENCE & SOCIETY



## Décryptage

**Recrute  
par les services  
secrets britanniques  
en 1939,  
le mathématicien  
Alan Turing  
conçoit une machine  
électronique  
à décrypter  
les messages codés  
qui préfigure  
l'ordinateur.**

# Le chien sur le divan

UN CHIEN NE MENT JAMAIS EN AMOUR

**Jeffrey Moussaieff Masson**

**A** près son ouvrage sur la vie émotionnelle des animaux sauvages (*Quand les éléphants pleurent*), le psychanalyste américain Jeffrey Moussaieff Masson nous livre aujourd'hui ses réflexions sur celle du plus vieil ami de l'homme, d'après ses observations et les études de nombreux scientifiques.

Si les chiens, ces "loups juvéniles", sont à nos côtés depuis des centaines d'années, c'est qu'ils y trouvent un intérêt pour leur survie. Nous aimons-ils parce que nous les nourrissons ? Non. Ils n'aiment pas les robots distributeurs d'aliments mais s'attachent à des gens qui ne les nourrissent jamais... Ces animaux de meute sont sans doute contraints à rester avec nous par leurs plus grandes peurs : celles de l'abandon et de la solitude.

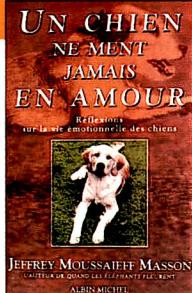
L'essence même du chien serait-elle la

compassion et le besoin d'aimer ? Quand un chien qui n'a pas été spécialement dressé sauve un enfant perdu ou aboie pour signaler que son maître est en danger, peuvent-on parler de soumission ?

Dans tous les cas, les rapports maître-chien sont proches des relations mère-enfant. Petits, nous adorions les caresses de notre mère. Le chien, lui, recherche les nôtres tout au long de sa vie.

Dans le chapitre "Penser comme un chien", l'auteur fait part de sa plus grande leçon d'optimisme : un chien très malheureux dans le passé réussit à effacer totalement la tristesse et la souffrance par sa simple faculté d'aimer. Un exploit inconcevable pour les humains, qui ont besoin de l'aide des psychanalystes pour exprimer leurs émotions intérieures.

Marie-Sophie Germain



## Emotions canines

Que savons-nous de ce que les chiens perçoivent et ressentent ?

.....  
Albin Michel, 345 p, 125 F.

## Bulletin d'abonnement à SCIENCE & VIE

à retourner sous pli affranchi avec votre règlement à SCIENCE & VIE 1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris Cedex 15

SCIENCE & VIE  
HOUSSE  
L'UNIVERS DE LA GRAVITATION

Comment Einstein dépasse Newton

Inconscient  
Des expériences dévoilent la face cachée du rêveur

Science & Vie

Comment Einstein dépasse Newton

Inconscient  
Des expériences dévoilent la face cachée du rêveur

Grippe  
Le virus mortel viendra-t-il de Bretagne ?

XX<sup>e</sup> siècle

N° 5 : La découverte de l'ordinateur avec Jean-Louis Chauvin

SCIENCE & VIE

12 mensuels + 4 hors série trimestriels de SCIENCE & VIE + en cadeau le N°1 de LA SCIENCE ET LA VIE

**296 francs seulement**

Oui

je m'abonne 1 an à SCIENCE & VIE et à ses hors série soit 12 mensuels + 4 trimestriels thématiques.

je règle la somme de **296 francs\*** seulement et je recevrai en cadeau le N°1 de LA SCIENCE ET LA VIE\*\* paru en 1913.

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Code postal \_\_\_\_\_

Ville \_\_\_\_\_

### Je choisis de régler par :

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

carte bancaire

N° \_\_\_\_\_

expire à fin \_\_\_\_\_ mois \_\_\_\_\_ année \_\_\_\_\_

Date et signature obligatoires

\*Prix normal de vente des magazines chez votre marchand de journaux

\*\* Délai de réception de 3 à 4 semaines, à partir du règlement de votre abonnement.

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 1999 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE METROPOLITAINE.

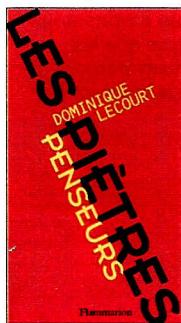
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 17

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

# Sans péril

**LES PIÈTRES PENSEURS**

**Dominique Lecourt**



Ceux qui n'ont rien à dire peuvent-ils monopoliser la parole? Il semble bien que oui. Et ce depuis plusieurs décennies. C'est le constat que fait Dominique Lecourt, philosophe, historien des sciences et professeur d'épistémologie à l'université Paris VII, dans son dernier ouvrage, *les Piètres Penseurs*. Le titre est assez explicite, et les intellectuels mis en cause sont nommément cités (André Glucksmann, Bernard-Henri Lévy, André Comte-Sponville, Luc Ferry, Michel Onfray...).

Comment en est-on arrivé là? Pour Dominique Lecourt, ces "nouveaux philosophes" ont érigé devant eux un ennemi fictif, "la pensée 68". Une fois l'adversaire modelé à leur convenance, ils ont pu le dénoncer d'autant plus facilement qu'il n'existe pas réellement (Dominique Lecourt démontre que "68" n'a jamais donné lieu à une pensée unique identifiable). A vaincre sans péril...

Dominique Lecourt dénonce aussi le manque de rigueur des démonstrations, la complaisance des raisonnements et l'abandon devant les difficultés de la pensée. Repli sur la morale (qui, ici, se confond avec les "idées reçues"), critique de la démarche scientifique (tendance au relativisme et à l'amalgame) : cette orientation de la pensée est avant tout une manière d'éviter de prendre des risques. Plutôt commenter en spectateur ("savant") que bousculer en se mettant en danger.

Et, puisque, pour le grand public, le silence vaut acceptation, il fallait, pour Dominique Lecourt, réagir d'urgence. Ce petit livre démonte clairement l'enchaînement historique et la logique profonde de la situation actuelle. En espérant que de nouveaux "nouveaux philosophes" montent sur scène sans se soucier d'effet médiatique mais de rigueur et de vérité.

Jean-François Robredo

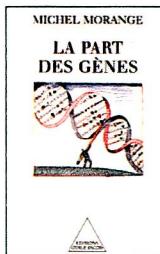
.....  
Flammarion, 216 pages, 99 F.

Le plaisir de savoir  
**Science & Vie**

## Prix du livre scientifique

Lors du Salon du livre, en mars dernier, **Science & Vie** organisait pour la première fois de son histoire le Prix du livre scientifique.

Dans la catégorie "beaux livres", le prix a été décerné à *Figures du ciel* (Marc Lachièze-Rey et Jean-Pierre Luminet), un ouvrage coédité par le Seuil et la Bibliothèque nationale.



Dans la catégorie "essais", c'est *la Part des gènes* (Michel Morange), édité chez Odile Jacob, qui a été primé.



Le prix de la catégorie "livres pédagogiques" a été remporté par *les Abeilles* (Minh-hà Pham-Delègue), aux éditions de La Martinière.



Enfin, *Science & Vie* a décerné le prix spécial du jury à Denis Guedj pour son roman *le Théorème du perroquet*, édité au Seuil.

Rendez-vous dans un an pour un autre Prix du livre scientifique.

L'Art égyptien  
au temps  
des pyramides  
9 avril-12 juillet  
Galeries nationales  
du Grand Palais

# Les Mystères des Pyramides

L'Égypte n'a plus de secrets pour vous

UN FILM DE JEAN-FRANÇOIS DELASSUS AVEC LA PARTICIPATION DE FRANÇOIS DE CLOSETS

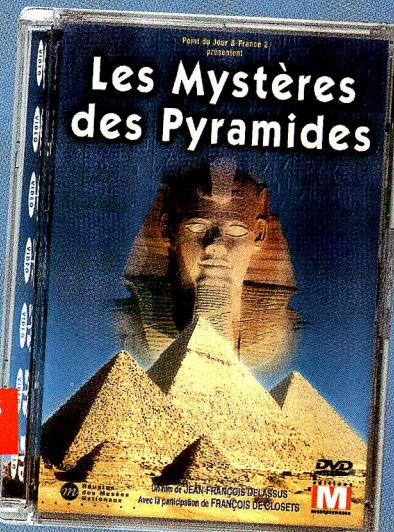


Avec François de Closets et Jean-François Delassus, partez à la découverte des fabuleux secrets des pyramides égyptiennes. Une enquête exceptionnelle qui vous fera partager les étonnantes mystères des plus

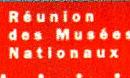
extraordinaires constructions de l'histoire du monde.

Une aventure dans la nuit des temps, à vivre chez vous en vidéo et DVD vidéo.

LE FILM + ÉLÉMENTS COMPLÉMENTAIRES



DÉCOUVREZ ET JOUEZ AVEC LE FILM  
ET L'EXPOSITION : [WWW.EXPO-EGYPTE.COM](http://WWW.EXPO-EGYPTE.COM)



# Nouvelle Opel Vectra. Le meilleur moyen d'allier style et performances.

MCCANN



Approchez-vous de la Nouvelle Opel Vectra et découvrez sa nouvelle ligne : allure sportive, nouvelle calandre et phares à effet diamant. Installez-vous confortablement. Dans son habitacle lumineux, vous profitez pleinement de l'air conditionné et du système audio RDS. Démarrez. Découvrez la vivacité et la sobriété de ses nouvelles motorisations ECOTEC 16 soupapes essence ou Turbo-Diesel à Injection directe. Vous êtes en toute sécurité grâce à son freinage ABS et au double Airbag Opel\* de série. Nouvelle Opel Vectra à partir de 112 900 F\*\*.



\* Marque déposée : coussin gonflable de sécurité. \*\* Opel Vectra 4/5 p. GL 1.6 16V : 17 211,49 €. Mod. prés. avec options : Break GL 1.6 16V : 122 400 F (hors accessoires) ou 18 659,76 €. Consommation (CE 93/116) 10,3 / 6,2 / 7,7. AM 99.

**OPEL**