

Mensuel n° 1012 - janvier 2002

**Galaxies**

L'ancêtre identifié

**Epilepsie**

Prévoir les crises

**Pyramides**Vraies pierres ou  
pierres moulées ?  
Le débat continue...**50 PAGES****SPÉCIAL AFGHANISTAN**

## LE POUVOIR ABSOLU DES ARMES ÉLECTRONIQUES

**Bombes GPS,  
drones armés,  
mini-bombes  
atomiques...**

T 2578 - 1012 - 23,00 F - 3,51 €







CRÉATEUR D'AUTOMOBILES





# RENAULT Clio

## L'Assistance au Freinage d'Urgence de série\*.

Pour certains, c'est un système de freinage sans égal. Pour d'autres, une meilleure perception des limites. Une chose est sûre, l'expérience que vous vivrez à bord de la nouvelle Renault Clio vous marquera à jamais. Couplée à l'ABS de série, l'Assistance au Freinage d'Urgence vous offre la meilleure distance d'arrêt possible quand vous en avez besoin. Venez découvrir la nouvelle Renault Clio et rejoignez la communauté.

COMMUNITY - CLI0.COM

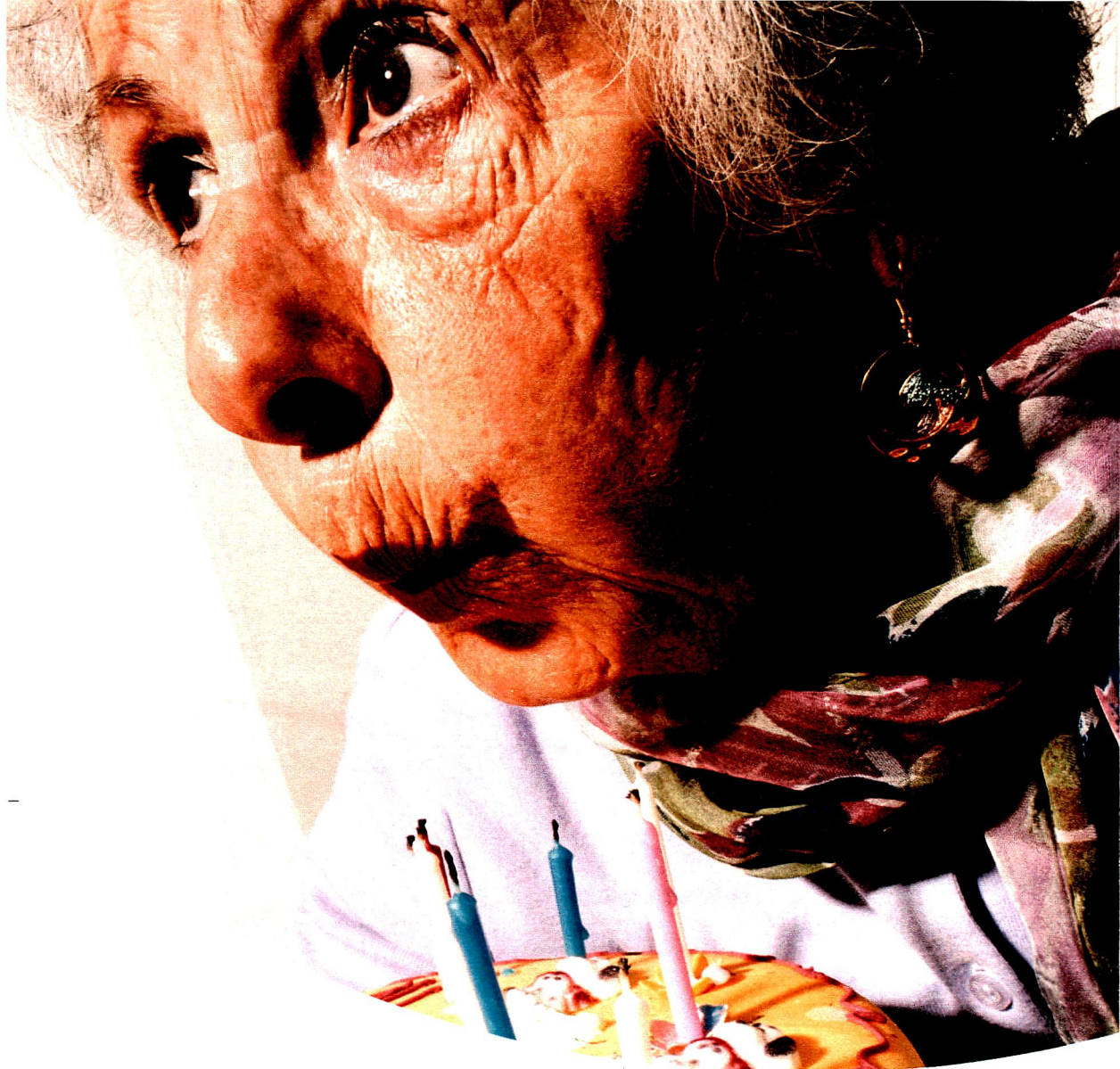
Qu'est-ce qui vous arrête ?

RE88 \* sauf sur Clio Renault Sport

REJOIGNEZ LA COMMUNAUTÉ







## Imprimante EPSON STYLUS PHOTO. Ne comptez pas sur elle pour atténuer les rides.



EPSON STYLUS PHOTO 810

Qui n'a jamais raté une photo ? Au moins avec une imprimante EPSON STYLUS PHOTO les textures sont si bien restituées que vous garderez sans doute le tirage. Grâce à la technologie jet d'encre EPSON capable de combiner haute résolution,



précision mécanique et variation du volume des gouttes d'encre selon les besoins, vous êtes certains d'obtenir des tirages à la qualité inégalée (6 nuances de couleur et jusqu'à 2880 dpi). De plus, la plupart des modèles permettent de tirer les photos

sans marge perdue, et avec une résistance au temps et à la lumière impressionnante.

Pour connaître les conditions de résistance au temps et à la lumière, contactez EPSON Informatique au 0.821.017.017 (0.79F/min) ou connectez-vous sur [www.epson.fr](http://www.epson.fr)

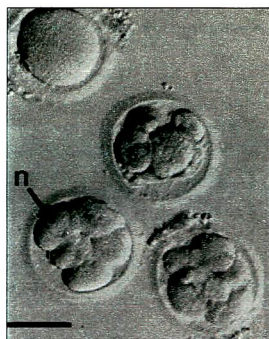
**QUI VOUS COMPREND MIEUX QU'EPSON ?**

# EPSON

Imprimantes-Scanners-Projecteurs-Appareils photo numériques



# Clone triste



Les trois premiers clones humains, obtenus par la firme américaine Advanced Cell Technology.

Is ne sont pas allés bien loin, les premiers clones humains. Trois petits amas de six cellules chacun qui ont fini comme ils ont commencé, au fond d'une éprouvette. Du strict point de vue de la performance, c'est à peine mieux que rien du tout. Ce résultat maigrelet a pourtant connu un considérable retentissement médiatique. Las ! Le soufflé est retombé aussi vite que lesdits clones ont "vécu" : quarante-huit heures. Dans une perspective scientifique, l'expérience fut décevante.

Les clones passés, les questions demeurent. Après tout, pourquoi ne pas soutenir ce travail porteur de tant d'espoirs ? Partout, on ne cesse de vanter les promesses du clonage thérapeutique, cette « formidable aventure scientifique et médicale » potentiellement régénérative de tous nos organes. Faut-il y croire ? Dans notre dossier consacré aux cellules souches, en novembre dernier, nous expliquions pourquoi on ne peut en attendre de spectaculaires avancées médicales avant... bien longtemps. Ne faut-il pas plutôt condamner de la manière la plus nette ces manipulations qui entretiennent des relations on ne peut plus ambiguës avec un tout autre clonage, aux perspectives singulièrement moins réjouissantes, le clonage reproductif ? Nombreuses sont les voix qui s'élèvent contre cette recherche scientifique qui avancerait masquée, parée des plus beaux atours pour dissimuler ses véritables desseins : le fantasme de réification et la quête du profit.

Bien malin qui peut trancher définitivement ces questions. Mais une chose est sûre : alors que tout un chacun s'interroge sur l'opportunité de peaufiner les techniques du clonage, ce sont des pans entiers de la population mondiale qui agonisent sous l'assaut du plus surnois des virus, celui du sida. Vingt millions de morts à ce jour et quarante millions de séropositifs, les morts de demain si rien n'est fait rapidement. Car la majorité d'entre eux sont sauvables. Mais ils ne sont pas solvables...

**S & V**

D.R.



n° 1012 • janvier 2002

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 p. 23 et p. 35. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08, sur minitel en tapant 3615 ABON (1,29 F la minute) ou sur l'internet (<http://www.excelsior.fr>).

Un encart abonnement est broché sur les exemplaires de la vente au numéro. Diffusion : France métropolitaine, Suisse et Belgique. Un dépliant Paris Match est joint sur 10000 exemplaires abonnés. Diffusion : France métropolitaine. Un encart "Aviation 1913-2001" est jeté entre les pp. 84 et 85. Diffusion : France métropolitaine. Un encart "La Science se Livre" est diffusé aux abonnés des Hauts-de-Seine.

Couverture : Courtesy Boeing/Space Imaging

# Sommaire

Forum .....6

Forum : Les pyramides .....8

## Actualité

Recherche .....16

Environnement .....28

Technologie .....32

Médecine .....36

## En couverture

### Spécial guerre

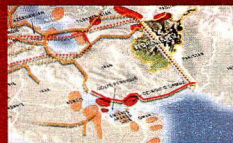
# Le pouvoir absolu des armes électroniques ... 41



"Liberté immuable",  
phase 1 ..... 42



Avions, drones, bombes...  
et technologies ..... 62



L'or noir  
au cœur de la guerre ..... 78

## Astronomie

L'ancêtre des galaxies  
a été identifié .....90

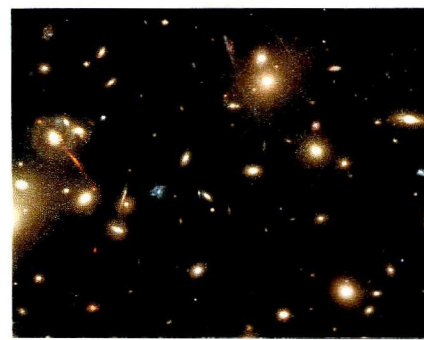
## Agriculture

De quoi souffrent vraiment  
nos abeilles? .....96

■ Un cliché rapporté  
par *Hubble* vient  
de révéler l'astre le  
plus ancien. Le tout  
premier de l'Univers.

HST/NASA

# 90



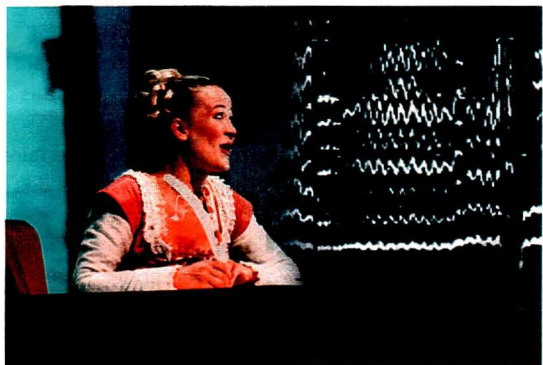




SCOTT T. SMITH/CORBIS

■ Les abeilles sont malades. Pour les apiculteurs français, seul le Gauchon est coupable. Mais les suspects sont légion.

96



S. COLOMYÈS

■ Pour percer le secret des voix d'or, une scientifique a créé une nouvelle discipline, l'odologie, qui analyse les mécanismes les plus complexes du chant lyrique.

104

■ Le rêve de tout automobiliste bien près d'être réalisé : un pneu qui ne déjante jamais, même en cas d'éclatement ou de perte rapide de pression... Et la sécurité n'est pas son seul atout.



PHOTOS MICHELIN

130

## Odologie

La science au service des divas .....104

## Enquête

Des arbres contre l'effet de serre ..... 110

## Neurologie

Prévoir les crises d'épilepsie ... 120

## Focus

La télévision numérique en questions .....122

## Technologie

Le pneu qui ne déjante jamais .....130

## Science net

La biodiversité à portée de souris .....137

## Internet

Conversions en tout genre ... 142

## Conso

Le CinémaScope dans le salon 144

## Loisirs

Le ciel du mois .....148

CD-Rom .....150

Livres .....152

## Histoire

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, Vaucanson rêvait d'une machine vivante .....156

## Rétro

Il y a 40 ans .....164





# L'échec des maths à l'école

Officiellement, tout va bien. Mais, en coulisses, l'enseignement des mathématiques est accusé de tous les maux : trop élitiste, trop mécanique, dépourvu de sens... La reine des disciplines traverse une crise sans précédent. Parviendra-t-elle à faire comprendre la grandeur de son véritable objet ?

**C**onstruire un triangle rectangle, additionner deux fractions, résoudre une équation, lire une courbe, calculer une moyenne, mesurer une probabilité, dériver une fonction, évaluer ses limites... Une nouvelle année de cours de mathématiques va bientôt commencer. Et la classe de maths, en début de soirée, à celle de terminale, en fin de l'après-midi ou au matin, est-elle plus de cinq millions et dix-sept cent mille élèves qui passent plus de onze heures en classe de mathématiques, toujours mille sept-

seurs sont chargés de les transmettre avec le savoir essentiel de cette discipline.

Après tout, n'a-t-on pas les programmes ? sont-ils vraiment la référence des enseignants de l'enseignement qui a connaissance de sa charge sans peur de la classe de connaître, attendu cette année la classe de première et sera appliquée en terminale l'année prochaine, les détails de cette dernière année ont été officiellement publiés en juillet.

« L'enseignement des mathématiques est un modèle pour toutes les autres disciplines », assure Luc Vercoutre, directeur du

**A**ppel pour les maths Suite à l'article sur l'enseignement des mathématiques, paru au mois de septembre dernier (*Science & Vie* n° 1008, p. 36), Michel Delord, un professeur de mathématiques rencontré lors de notre enquête, nous informe qu'il est « à l'origine d'un appel sur l'enseignement primaire, soutenu notamment par Jean-Pierre Demailly. L'article de *Science & Vie* soulignait déjà les grosses difficultés rencontrées dans le secondaire, il en est de même dans l'enseignement primaire qui devrait assurer les bases de l'enseignement des degrés supérieurs ; or, simple exemple, depuis 1995, la multiplication et la division des décimaux ne sont plus enseignées à ce niveau, car elles sont censées dépasser les capacités d'un élève de cet âge. Les nouveaux programmes justifient ainsi cette "structure en gruyère" des programmes, qui rend plus difficile ou même impossible la compréhension des savoirs fondamentaux. C'est pourquoi l'axe de cet appel est : "Arrêter la destruction de l'enseignement d'une pensée structurée." Du

mathématicien Alain Connes (médaille Fields 1982) à Pierre Vidal-Naquet (directeur d'études à l'Ecole des hautes études de sciences sociales), il a déjà été signé par de grandes personnalités et sa signature est désormais ouverte au public (<http://www.sauv.net/prim.php>). » ■

**enteur d'escargot** « Dans l'article sur la chirurgie sans frontière [Science & Vie n° 1010, p. 58], il me semble qu'il doit y avoir une erreur sur la vitesse de transmission des informations, car, je faisais à 150 m/s. elles mettraient 12 h 02 min 13 s.

***A ce rythme-là, je pense que ce n'est plus possible. Donc, étant donné que les informations passent par des fibres optiques, elles doivent être reçues avec un délai de 150 ms.»***

**Laureau Frédéric (Dijon)**

**Vous avez parfaitement raison, une coquille s'est glissée dans le texte. Il n'était pas dans notre intention de parler de mètres par seconde mais bien de millisecondes.**

**P**êche lumineuse  
«Vous publiez, p. 110  
du n° 1010, une carte  
de la pollution lumineuse  
dans le monde qui  
montre des régions  
où cette pollution semble impro-  
bable. Comment expliquer qu'une  
région comme les Malouines  
dégage une telle luminosité?»

**Jean Darmont (par l'internet)**

Elle est produite par les flottes de pêche, tout comme le long de l'Argentine, en mer du Japon ou près de Malacca. On voit aussi l'activité pétrolière en mer du Nord, en mer de Chine et dans le golfe Persique, et les torchères de gaz naturel au Nigeria. Ces lumières ne sont pas aussi intenses que celles des grandes métropoles, mais le système de mesure ne permet pas de faire la différence. Vous trouverez des données statistiques sur la luminosité nocturne et la visibilité de la voie lactée depuis l'Hexagone sur <http://debora.pd.astro.it/cinzano/papers.html>.

## MEDECINE

PAR PHILIPPE CHAMBRON



C'est une première mondiale : un chirurgien a effectué une opération sur une patiente située à 6 500 km de distance.

[illegible][illegible]





**L'insouciance islandaise** « J'ai été surpris par votre écho "Risques naturels : insouciance en Islande" (n° 1009, p. 32). En effet, mon fils, étudiant en géologie, glaciologie et sciences de l'environnement, a justement travaillé plusieurs mois dans la région d'Isafjordur pour le compte du Musée d'histoire naturelle de Bolungarvik et l'équivalent local de notre DDE. Il conteste fortement ce que vous affirmez. Selon lui, il n'y a aucune insouciance de la part des Islandais. Un immense paravalanche protège Flateyri; Bolungarvik aura le sien probablement d'ici le printemps; le village de Sudavik a été déplacé; les habitants de certaines maisons à Hnifsdalur ont été expropriés, et Isafjordur a sa propre protection contre les coulées de débris. En observant de près la photo jointe à l'écho, on peut d'ailleurs voir un fossé à la base de la montagne, derrière les habitations! »

**Bernard Chareyron (par l'internet)**

En ce qui concerne Isafjordur, le problème reste entier. Le fossé visible sur la photo est un drain qui ne sert qu'à dévier les eaux s'écoulant du versant (pluie et fonte nivale). Profond de 2 m et large d'autant, il ralentit la progression des premières coulées mais ne les stoppe pas, et il ne constitue donc pas une protection contre les coulées de débris. Or, des habitations ont été construites sur la trajectoire de ces dernières.

Une protection a été édifée juste à l'aval d'une coulée (celle du centre de la photo) en 1999. Mais le versant en compte douze, qui se déclenchent dès que les conditions météorologiques sont favorables (averses intenses, pluies de longue durée, fonte nivale rapide). Le risque pour la population est donc bien réel.

C'est ce qu'a observé le jury du festival Territoires en images (sur le thème des risques naturels et technologiques), organisé en mars 2001 à l'Institut de géographie de Paris par l'association Arrimage, qui a attribué le premier prix à cette photographie. ■

# L'accélérateur du savoir **Science & Vie**

Publié par Excelsior publications SA.

Capital social : 1 717 360 €.

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 : svmens@excelsior.fr, télex : Sienvie Paris.

Principaux associés : Yveline Dupuy, Paul Dupuy.

## **DIRECTION, ADMINISTRATION**

Président-directeur général : **Paul Dupuy**. Directrice générale : **Yveline Dupuy**. Directeur général : **Jean-Pierre Beauvalet**. Directeur général adjoint : **François Fahys**. Directeur financier : **Jacques Béhar**. Directeur marketing : **Marie-Hélène Arbus**. Directeur des abonnements : **Bertrand Baisle**. Directrice des ventes : **Chantal Contant**. Directeur des études : **Roger Goldberger**. Directeur de la fabrication : **Pascal Rémy**, chef de la fabrication, **Laurent Remise**, assistés de : **Valérie Brunehaut**.

## **RÉDACTION**

Directeur de la rédaction : **Matthieu Villiers**, assisté d'**Elisabeth Latsague**. Rédacteurs en chef adjoints : **Gérard Morice**, **Philippe Chambon**, **Akela Sari**. Rédacteur en chef adjoint (infographie) : **Gilles Moine**. Chef des informations : **Isabelle Bourdial**. Chef d'édition : **Grégoire Bouillier**. Secrétaires de rédaction : **Agnès Marillier**, **Jean-Luc Glock**. Chef de rubrique : **Germain Chambost**. Rédacteurs : **Pierre Rossion**, **Marie-Laure Moinet**, **Henri-Pierre Penel**, **Hélène Guillemot**, **Valérie Greffoz**, **Hervé Poirier**, **Matthieu Crocq**. Conception graphique : **Nathalie Baylaucq**. Direction artistique : **Yvonne Diraison**. Maquette : **Lionel Crooson**, **Valérie Samuel**. Service photo : **Anne Levy**. Documentation : **Marie-Anne Guffroy**. 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**

**Pierre Allée**, **Pascal Boniface**, **Serge Brunier**, **Camille Chaplain**, **Loïc Chauveau**, **Julie Coquart**, **Serge Courrier**, **Martin Crag**, **Jean-René Germain**, **Philippe Henarejos**, **Marcelle Mayo**, **Jean-François Mondot**, **Valérie Pauliac**, **Ariane Poulantzas**, **Véronique Rochewsky**, **Vincent Tardieu**, **Anne Thiaville**, **Muriel Valin**.

## **RELATIONS EXTÉRIEURES**

**Michèle Hilling**, assistée de **Chrystel More**.

## **DÉPARTEMENT INTERNATIONAL**

Directeur : **Marie-Ange Rouquet-Dezellus**, tél. : 01 46 48 47 26, fax : 01 46 48 19 19. Chef de produit junior : **Mathilde Janier**, 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. Directeur général adjoint : **Olivier Meinvielle**. Assistantes : **Valérie Louis**. Directrice de la publicité : **Anouk Diamantopoulos**. Directrices de clientèle : **Véronique Le Gall**, **Aline Reiniche**. Assistante de publicité : **Elise Naudin**.

## **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 (réservé aux dépositaires). Belgique AMP, 1 rue de la Petite-Isle, 1070 Bruxelles. Abonnements et marketing direct : **Bertrand Baisle**.

## **ABONNEMENTS**

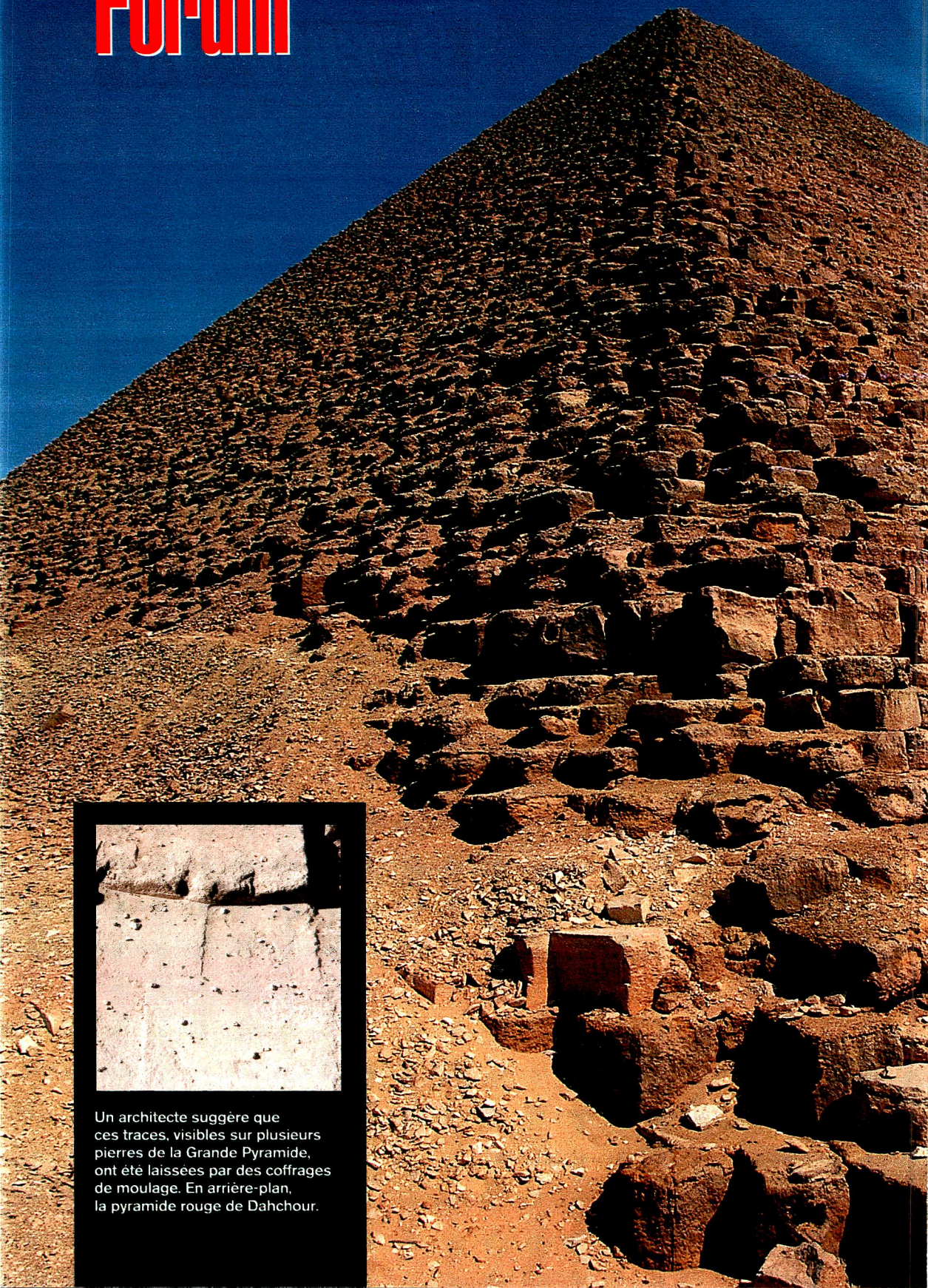
Relations clientèle abonnés : par téléphone, 01 46 48 47 08 (de 9 h à 17 h 30), par courrier, service abonnements, 1, rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15. Vous pouvez aussi vous abonner sur <http://www.excelsior.fr>. Aux Etats-Unis et au Canada : **RoweCom Canada**, 2155 rue Guy bureau 950, Montréal, Québec, A3H 2R9. En Suisse : **Naville**, case postale 1211, Genève 1. En Belgique : **Press-Abonnements**, avenue des Volontaires, 1160 Bruxelles. Autres pays : nous consulter.

## **À NOS ABONNÉS**

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec *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 1999 *Science & Vie*.







Un architecte suggère que ces traces, visibles sur plusieurs pierres de la Grande Pyramide, ont été laissées par des coffrages de moulage. En arrière-plan, la pyramide rouge de Dahchour.

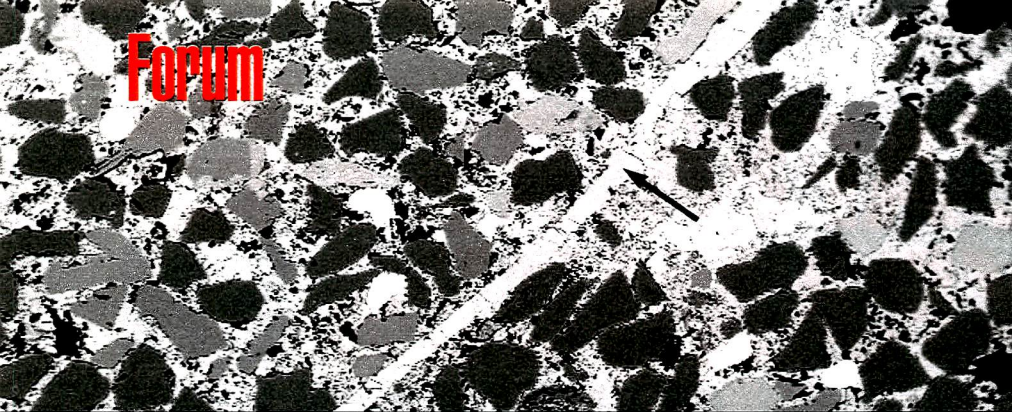




# L'AFFAIRE DES PYRAMIDES EN FAUSSES PIERRES

**L**es maçons égyptiens ont-ils utilisé des pierres reconstituées (autrement dit, du béton) pour bâtir les pyramides ? Cette hypothèse audacieuse et quelque peu provocante est défendue par un architecte, Joël Bertho. Longuement développée dans notre numéro de décembre, elle a suscité de vives réactions chez les égyptologues. Aucun ne peut admettre que les plus célèbres vestiges de l'Antiquité puissent être, même partiellement, en toc. Certains fustigent la démarche de Bertho, d'autres placent la discussion sur un plan historique, plusieurs contre-argumentent en s'appuyant sur des données d'ordre physique ou chimique. Ces nouveaux éléments permettent-ils aujourd'hui de trancher ? Battue comme plâtre, l'hypothèse des fausses pierres a-t-elle résisté à ce véritable baptême du feu ? Réponse en huit points.





Sur cet échantillon de la pyramide rouge de Dahchour, une longue baguette de gypse (flèche) et des grains anguleux dissociés donnent à penser qu'il s'agit d'un matériau synthétique.

**“Des pyramides de sable et de chaux? Possible, mais très peu probable.”**

**Claude Traunecker**  
Directeur de l'Institut d'égyptologie (université Marc-Bloch).

## 1. La fabrication de fausses pierres était-elle à la portée des Egyptiens de l'Antiquité?

Pour répondre à cette question, il faut être chimiste et égyptologue. C'est le cas de Claude Traunecker, directeur de l'Institut d'égyptologie de l'université Marc-Bloch. «L'un des meilleurs moyens de faire du mortier est de chauffer du calcaire à 900 °C pour le transformer en chaux vive, puis de le gâcher à l'eau afin d'obtenir de la chaux éteinte. Mélangée à un sable ou à de la pierre réduite en poudre, à la granulométrie contrôlée par tamisage, cette pâte durcit en interagissant avec le gaz carbonique de l'air en présence d'humidité. La technique de fabrication de la chaux consomme beaucoup de combustible. Elle n'est pas facile à maîtriser, car il faut savoir éteindre la chaux et la laisser mûrir. Sous un climat sec, la réaction de carbonatation qui conduit au durcissement de la chaux ne peut s'accom-

plir que si l'on prend soin d'arroser la chaux pendant plusieurs jours. Une technique très ancienne, mais dont l'usage ne se répand en Egypte qu'à l'époque des Ptolémées (à partir de 322 avant notre ère) – à quelques exceptions près, comme dans le temple de Thoutmosis I<sup>er</sup> (1504-1492), à Karnak, où l'on recourt à la chaux pour faire du mortier et stabiliser les sols.

«A l'époque antique, on connaît surtout le mortier de plâtre, infiniment plus facile à fabriquer mais beaucoup moins résistant. Au début des années soixante-dix, j'ai moi-même recouru au plâtre pour faire la copie d'une chapelle, lorsque je dirigeais les travaux de restauration de Karnak. Il faut la refaire aujourd'hui... La chaux aurait donné de meilleurs résultats. Mais je ne vois pas les ouvriers du chantier de Chéops en fabriquer d'énormes quantités pour élever une pyramide.»

Aux yeux de ce spécialiste, une

pyramide de sable et de chaux est possible, mais très peu probable.

Pour Joël Bertho, d'autres options s'offraient aux maçons égyptiens : «Les recherches menées par la fondation EDF ont montré que les bâtisseurs de la pyramide de Chéops ont fabriqué un mortier à base d'anhydrite pour jointoyer des pierres. Il ne s'agit pas de plâtre mais d'un matériau obtenu en chauffant du gypse à plus de 290 °C. Il ne peut être utilisé en masse, sauf sous sa forme naturelle, plus résistante. Ni plâtre commun ni chaux, ce matériau pourrait très bien entrer dans la composition d'une pierre artificielle.»

## 2. L'aspect insolite des échantillons étudiés pourrait-il s'expliquer naturellement?

Suzanne Raynaud, du Laboratoire de tectonophysique de l'université Montpellier II, a étu-

## Quelques pistes pour en savoir plus

L'hypothèse de l'utilisation de la pierre moulée a un autre partisan : Joseph Davidovits, déjà cité dans notre précédent dossier. Ce spécialiste des ciments s'est exprimé pour la première fois sur ce sujet en 1979, lors de la Conférence internationale des égyptologues organisée

par le Centre national de la recherche scientifique. Il a fondé et dirige l'Institut géopolymère, sur le site duquel est développée sa théorie ([www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org)). Voici, par ailleurs, l'adresse du site consacré au livre de Joël Bertho : [www.pyramide-reconstituee.com](http://www.pyramide-reconstituee.com).



dié plusieurs échantillons de pierres de la pyramide rouge de Dahchour, fournis par Joël Bertho. Certains se sont révélés être de vraies pierres. Mais l'examen des autres au microscope électronique à balayage a livré plusieurs anomalies. Ainsi, l'un des échantillons présentait des grains de quartz et de feldspath de forme anguleuse, dispersés dans un liant non cristallisé. On connaît deux types de matériaux rocheux naturels pouvant correspondre à cette description : les lèss, formations périglaciaires inconnues en Egypte, et les coulées éoliennes, roches structurées par le vent qui, en revanche, peuvent se rencontrer dans ce pays. Cependant, on observe dans ce type de matériau des baguettes de gypse (du sulfate de calcium) longues de 1,5 à

les roches évaporitiques (formées lors de l'évaporation de l'eau de mer) contiennent bien des cristaux de sel, ceux-ci sont généralement emballés dans un liant cristallisé. Ce qu'elle observe ne correspond à aucune roche sédimentaire identifiée à sa connaissance. « La probabilité que ces échantillons proviennent de pierres reconstituées est forte », conclut Suzanne Raynaud.

### 3. Et s'il s'agissait d'un mortier utilisé pour restaurer le monument ?

« Quelle garantie a-t-on que les échantillons censés provenir de la pyramide rouge de Dahchour n'ont pas, en réalité, été ramassés sur les fondations du temple funéraire qui jouxte la pyramide sur sa face est, et qui vient d'être restauré par Rainer Stadelmann, de l'institut allemand d'archéologie ? » demande Jean Rousseau. Ce polytechnicien se passionne pour la construction des pyramides et publie régulièrement dans la revue *Oxford Discussions in Egyptology*. « Avec tous ces travaux de maçonnerie, le mortier abonde autour de la pyramide. Si, d'aventure, vous découvrez une montre sur les lieux, allez-vous en déduire que les Egyptiens de l'Antiquité ont inventé l'horlogerie ? »

« C'est tout le problème des prélèvements faits sans contrôle, à l'insu des autorités égyptiennes », assène Jean-Pierre Cortegiani, de l'Institut français d'archéologie orientale du Caire (IFAO). « Un prélèvement à la sauvette ne peut être fait qu'au sol ou sur une pierre qui se délite. Cette roche est alors usée, exposée à la pollution, et sa structure peut s'être modifiée. Il faut recueillir des échantillons sur des pierres saines pour obtenir des résultats valables. Certes, plusieurs des arguments de Joël Bertho

**“ La probabilité que ces échantillons proviennent de pierres reconstituées est forte. ”**

**Suzanne Raynaud**

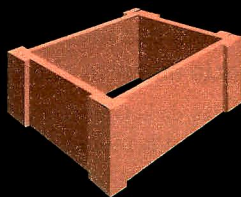
Géologue au Laboratoire de tectonophysique (université Montpellier II).

2 mm, trop grosses et trop fragiles pour exister à l'état naturel dans une coulée éolienne. De nos jours, le gypse sert d'adjuvant pour retarder la prise d'un mortier.

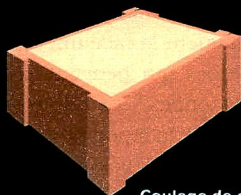
Entretemps, la géologue de Montpellier a poursuivi ses recherches et découvert de nouvelles structures inhabituelles : ainsi, l'une des pierres provenant d'une autre pyramide est composée de cristaux de sel (chlorure de sodium) enchâssés dans un ciment de calcium non cristallisé. Or, si



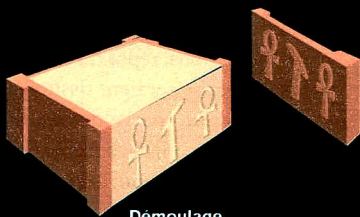
Tampon de bois avec des hiéroglyphes en relief



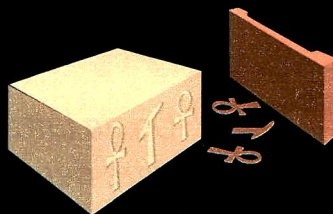
Coffrage



Coulage de ciment dans le coffrage



Démoulage



Récupération des hiéroglyphes

Le moulage des blocs permet de ciseler le ciment avant qu'il sèche ou d'y incruster des motifs décoratifs. De gros tampons de bois sculptés ont été mis au jour lors de fouilles archéologiques. Auraient-ils servi à décorer certaines pierres ?



peuvent sembler séduisants. Mais ils ne suffiront pas à convaincre la communauté des archéologues. On ne lutte pas contre deux siècles de certitude égyptologique sans démonstration rigoureuse. »

## 4. Comment expliquer autrement le parfait ajustement des pierres sur leur socle ou entre elles ?

**L**es pierres de la Grande Pyramide épousent la moindre aspérité de l'assise sur laquelle elles reposent, comme si elles avaient été moulées sur place... S'il s'agit de pierres taillées, comment les maçons égyptiens ont-ils pu sculpter aussi finement la face inférieure de ces blocs qui peuvent peser plusieurs tonnes ? Jean Rousseau pense détenir la réponse. « La Pyramide de Chéops possède 202 assises. Chacune d'elles doit comprimer celles qui lui sont inférieures au point de les souder à leur base, sans qu'il soit fait usage de liant. »

« Dans ce cas, répond Joël Bertho, les pierres se seraient fissurées. De plus, aucune charge ne pèse sur le dallage qui entoure la pyramide, qui s'incruste pourtant parfaitement dans le relief du sol... »

Jean Rousseau a également une théorie pour expliquer la finesse



d'ajustement de chaque bloc de l'édifice et la présence de pierres aux angles irréguliers s'encastrant parfaitement dans l'appareil. « Les moellons étaient alignés les uns à côté des autres, puis leurs faces horizontales étaient retouchées par polissage. Lorsqu'ils ne s'ajustaient pas aux blocs voisins ou lorsque l'extrémité de l'assise ne coïncidait pas parfaitement avec l'arête de la pyramide, on enfonçait dans l'orifice vacant une pierre en forme de prisme qui s'encastrait et que l'on taillait ultérieurement pour aligner sa face verticale avec celle de ses voisines. Ces pierres de rattrapage présentent des angles irréguliers. »

## 5. Pourquoi faire compliqué quand il y a plus simple ?

**L**e recours aux pierres reconstituées n'est simple qu'en apparence. A bien des égards, la taille de la pierre se révèle plus réaliste que la fabrication du mortier, selon nos interlocuteurs. Pour Jean

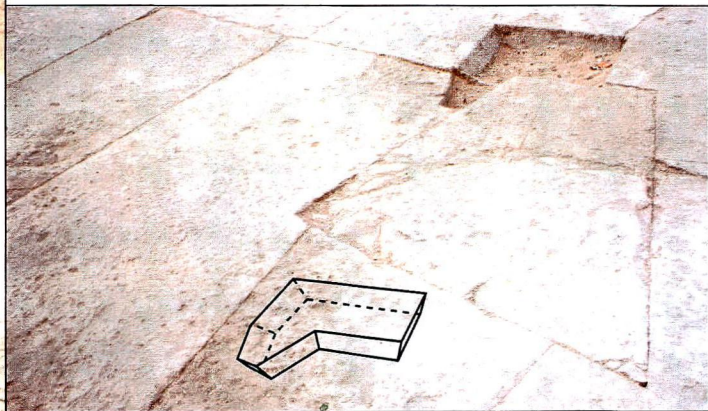
Leclant, secrétaire perpétuel de l'Académie des inscriptions et belles lettres, « c'est toute une affaire de fabriquer de "l'aggloméré". Le volume des pierres concassées serait énorme. Et quel travail fastidieux, quand on dispose de belles carrières dans les environs... » Tourah et Massara, d'où sont extraites les pierres de parement en calcaire fin des pyramides de Giza, ne sont qu'à quelques kilomètres de là. Quant au calcaire ordinaire, il affleurerait à flanc de colline sur le plateau de Giza et fut extrait d'une carrière aménagée à proximité du chantier. « Le choix de l'implantation des pyramides à Giza n'est pas dû au hasard », rappelle Jean Rousseau. « L'utilisation d'excroissances de calcaire dur présentes sur le site a réduit d'environ 10 % la quantité de pierres nécessaires pour ériger la pyramide. Car une partie de la colline elle-même constitue le noyau de l'édifice. »

« La construction en massif s'impose. C'est une question de bon

**“ On ne lutte pas contre deux siècles de certitude égyptologique sans démonstration rigoureuse. ”**

Jean-Pierre Corteggiani  
Institut français d'archéologie  
orientale du Caire.





Certains blocs semblent avoir été coulés sur place. A gauche, la face convexe d'une pierre épouse les courbes concaves du bloc voisin. A droite, pour s'emboîter parfaitement, la pierre manquante devait avoir une forme très complexe...

## 6. Si les pierres ont été moulées, à quoi servaient les rampes retrouvées sur certains monuments ?

Le mode de construction de la Grande Pyramide demeure un mystère, mais celui des édifices plus récents, comme les pyramides du Moyen Empire ou le vaste complexe de Karnak, est connu depuis plus d'un siècle. Ce dernier ensemble, dont la construction s'échelonne de 2134 à 362 avant notre ère, a livré de nombreux témoignages des techniques de maçonnerie de l'époque, rappelle Sydney Aufrère. Le premier pylône de la première cour du plus grand temple d'Égypte a conservé une partie de sa rampe de construction, englobant dans sa masse l'un des éléments de la colonnade sud : à peine dégrossie, la première colonne est restée enveloppée dans l'appareil de briques crues. En outre, les vestiges de deux rampes perpendiculaires ont été mis au

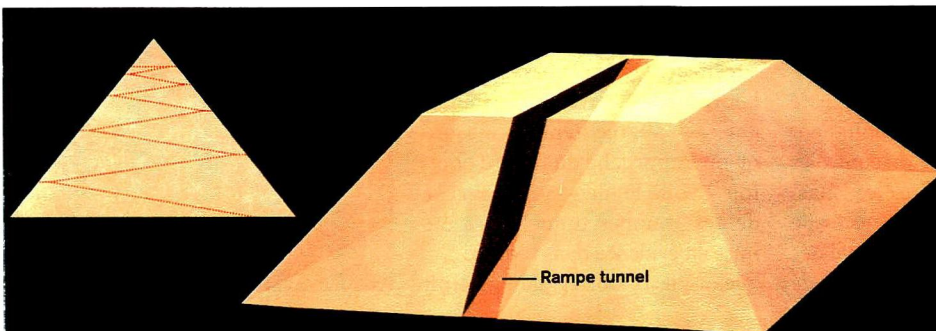
jour devant le premier pylône. « L'égyptologue français Georges Legrain, qui dirigeait la restauration de Karnak, a rebâti à la manière de Ramsès II la salle hypostyle du temple, après sa destruction partielle en 1899. Il a construit plusieurs rampes en terre crue et les a recouvertes de limon avant d'y faire glisser des blocs chargés sur des rondins. L'un de ses successeurs, Henri Chevrier, a constaté que le limon mouillé permettait de déplacer des pierres très lourdes avec une traction humaine relativement faible », raconte le directeur de recherche au CNRS. Et de conclure qu'aucun doute ne subsiste sur les techniques de construction de la plupart des monuments égyptiens du Moyen Empire. Extrapoler ces techniques à l'édification de la Grande Pyramide, menée sous l'Ancien Empire, vers 2550 avant notre ère, mettrait quelque peu à mal l'hypothèse des fausses pierres. Mais la projection

sens », martèle Sydney H. Aufrère, du Laboratoire de religion et société dans l'Égypte de l'époque tardive (CNRS-Montpellier III). « Le chef du chantier dispose de matériaux en suffisance, d'une main-d'œuvre de faible coût, car il peut mobiliser des ouvriers par milliers, et il possède la technologie adéquate. Pas besoin d'inventer autre chose. Les outils de taille – ciseaux en cuivre, masses en dolérite, un basalte très dur – retrouvés dans les carrières ou les monuments du site de Lisht (d'époque ultérieure), tout comme les vestiges des rampes de débarquement des barges provenant de Tourah, en témoignent. »

**“ La construction en pierre massive s'impose. C'est une question de bon sens. ”**

**Sydney Aufrère**

Laboratoire de religion et société dans l'Égypte de l'époque tardive (CNRS-université Montpellier III).



Des galeries en zigzag auraient pu permettre d'acheminer les pierres taillées jusqu'au sommet de la pyramide (sur le dessin, on a figuré le vide laissé pour les ménager).



Pour la plupart des égyptologues, les blocs étaient hissés le long de rampes en briques crues.

se révèle délicate, à moins de donner à la rampe une pente modeste qui la conduit à mi-hauteur de l'édifice, et d'envisager un autre système pour la partie supérieure.

## 7. Les autres solutions proposées sont-elles satisfaisantes?

S'il s'agit de pierre massive, quels moyens ont-ils été mis en œuvre, quelles techniques utilisées pour extraire, convoier, élever et ajuster les 2,3 millions de pierres de la pyramide de Chéops? Les plus lourdes pèsent une cinquantaine de tonnes. Les plus modestes sont des cailloux. Assemblées, elles forment une pyramide parfaite aux arêtes convergentes et rectilignes. Chaque égyptologue y va de sa solution, mais tous s'accordent sur un point : pour être acheminés sur leur lieu de pose, les blocs ont été tractés le long de rampes, sans doute en briques crues, consolidées par des madriers de bois.

La forme de ces rampes ne fait pas l'unanimité; pour certains, les maçons dressaient une rampe unique, droite, qui s'élevait à mesure de la construction du bâtiment. L'écueil est de taille : une fois la Grande Pyramide à son apogée, pour posséder une déclivité acceptable, cette rampe radiale aurait dû être longue de plusieurs kilomètres et représenter un volume supérieur à celui de la pyramide elle-même.

Le principe d'une rampe hélicoïdale s'enroulant autour du bâtiment est accepté par la majorité des experts. Certains soulignent toutefois la difficulté de contrôler la convergence des arêtes, masquées par la rampe, et la nécessité de procéder au polissage final des faces après le démantèlement de

cette voie spiralée. Un surcroît de travail non négligeable!

Jean Rousseau propose une solution particulièrement élégante. Il expose, dans *Construire la Grande Pyramide*, publié aux éditions L'Harmattan, comment les maçons égyptiens auraient pu acheminer les pierres à l'intérieur de la bâtisse, dans des corridors de faible pente, aménagés en zigzag (voir le dessin page précédente). Par ailleurs, les énormes blocs de granite constituant la chambre funéraire du roi auraient été hissés d'assise en assise sur de petites rampes élémentaires. Cette hypothèse a, de surcroît, l'avantage d'expliquer la différence de densité mesurée par la Compagnie de prospection géophysique française (avec le soutien de la fondation EDF) entre la partie supérieure (1,8) et la base (2,35) de la pyramide – le volume relatif des galeries augmentant à mesure qu'on s'approche du faite. Toutefois – voilà le hic –, aucune trace de ces "rampes tunnels" n'a été mise en évidence dans l'édifice...

Jean-Pierre Corteggiani ne croit

pas à l'existence de rampes tunnels : « Le réseau de circulation interne de la Grande Pyramide est déjà le plus complexe découvert à ce jour. Je doute qu'elle abrite encore d'autres corridors. »

La pyramide de Chéops, monument de mystère, n'en finit pas d'intriguer les esprits curieux. ■

## Le grain de sel de Science & Vie

Des pyramides en pierres moulées? L'hypothèse était suffisamment argumentée pour retenir notre intérêt. Notre dossier nous a valu un abondant courrier, nourri de nombreux compliments mais aussi de quelques critiques acerbes.

Force est de constater qu'il suscite un débat scientifique passionnant. Pierres ou fausses pierres? La question ne peut plus être occultée. La réponse, elle, continue de se faire attendre...





Nous arrêterons de vous proposer  
**des portables différents**  
 le jour où vous serez tous pareils.

• En toute liberté

La performance aux meilleurs prix

#### Satellite 3000-X4

- Processeur mobile Intel® Celeron™  
 933 MHz  
 • 192 Mo SDRAM  
 • DD 15 Go  
 • DVD 8X  
 • Ecran 14" 1 TFT XGA  
 • Microsoft® Windows® XP Edition Familiale  
 (WorkSuite 2001 inclus).



**9990 FTTC<sup>(1)</sup>**  
**1522,97 €**

#### Satellite 1800-814

- Processeur mobile Intel® Pentium® III  
 1,1 GHz  
 • 192 Mo SDRAM  
 • DD 20 Go  
 • DVD 8X  
 • Ecran 14" 1 TFT XGA  
 • Microsoft® Windows® XP Edition Familiale  
 (WorkSuite 2001 inclus).

**11990 FTTC<sup>(1)</sup>**  
**1827,86 €**

Au cœur de la chaîne numérique

#### Satellite 3000-214

- Processeur mobile Intel® Pentium® III  
 933 MHz - M  
 • 256 Mo SDRAM  
 • DD 20 Go  
 • CD-RW/DVD SmartMedia  
 • Ecran 14" 1 TFT XGA  
 • nVidia GeForce2 Go 16 Mo  
 • Microsoft® Windows® XP Edition Familiale  
 (WorkSuite 2001 inclus).



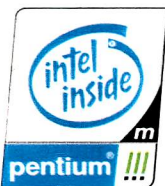
**14990 FTTC<sup>(1)</sup>**  
**2285,21 €**

#### Satellite 5000-204

- Processeur mobile Intel® Pentium® III  
 1,1 GHz - M  
 • 512 Mo SDRAM  
 • DD 30 Go  
 • CD-RW/DVD SmartMedia-SD card  
 • Ecran 15" Super Fine TFT UXGA  
 • nVidia GeForce2 Go 32 Mo  
 • Bluetooth  
 • Microsoft® Windows® XP Edition Familiale  
 (WorkSuite 2001 inclus).



**23990 FTTC<sup>(1)</sup>**  
**3657,25 €**



Pour plus d'information contactez Toshiba Info au :  
**0892 69 29 49** (2,23 F/mn) ou sur **www.pc.toshiba.fr**

(1) Prix conseillés chez les revendeurs agréés Toshiba participant à l'opération en France  
 Métropolitaine. Offre valable du 19/11/2001 au 31/01/2002, dans la limite des stocks  
 disponibles et non cumulable avec d'autres promotions Toshiba ou conditions particulières.

Les PC de Toshiba utilisent la version légale de  
 Microsoft® Windows® [www.microsoft.com/piracy/howtotell](http://www.microsoft.com/piracy/howtotell).

Choose freedom.\*

**TOSHIBA**



## RECHERCHE

# Une planète qui ne manque pas d'air

Pour la première fois, des astronomes ont détecté une atmosphère autour d'une planète lointaine.

C'est désormais certain : les planètes lointaines ressemblent vraiment à celles de notre système solaire. Quelque part dans la constellation de Pégase, à 150 années-lumière de la Terre (plus d'un million de milliards de kilomètres), une planète tourne autour d'un soleil semblable au nôtre. Un peu plus grosse que Jupiter, elle est entourée, comme elle, d'une couche de gaz que des astronomes sont parvenus à analyser. Cette première a été annoncée au siège de la Nasa, le 27 novembre dernier, par David Charbonneau, du California Institute of Technology de Pasadena, et Timothy Brown, du National Center for Atmospheric Research de Boulder (Colorado).

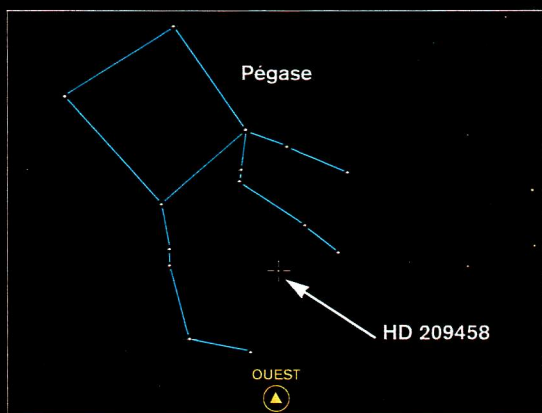
Il y a quelques mois, les deux astronomes ont orienté le satellite *Hubble* en direction de cette planète, qu'ils avaient découverte en 1999 autour de l'étoile HD 209458 (voir *Science & Vie* n° 988, p. 48). Ce choix ne doit rien au hasard : parmi les 76 exoplanètes (les planètes extérieures au système so-

laire) recensées à ce jour, elle est la seule à passer très fréquemment entre son étoile et la Terre (tous les trois jours et demi).

## LA SIGNATURE DU SODIUM

Une particularité extrêmement précieuse pour les astronomes, qui leur avait déjà permis, en suivant l'ombre de la planète sur son étoile, d'estimer sa masse (220 fois environ celle de la Terre). Cette fois-ci, ils ont réussi à détecter la présence d'une atmosphère, et même à identifier l'un de ses constituants – du sodium –, un élément chimique que l'on trouve dans l'atmosphère ténue de la Lune, ou dans celle de Mercure.

PAR ISABELLE BOURDIAL

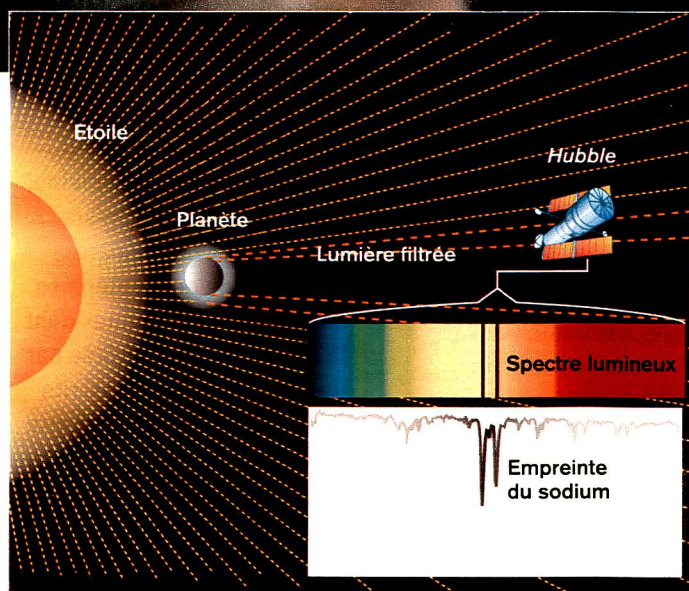


Autour de l'étoile HD 209458, dans la constellation de Pégase, gravite une planète avec une atmosphère (en fond, une vue d'artiste)

Pour y parvenir, les chercheurs ont observé la lumière de l'étoile au moment où la planète passait devant elle, de manière à analyser très précisément comment cette lumière était filtrée par les gaz de l'atmosphère planétaire (voir schéma). Ils ont pu le faire grâce au spectrographe du satellite *Hubble*, un instrument capable de décomposer la lumière des astres.

Le 6 juin 1761, l'astronome russe Mikhaïl Lomonosov avait été le premier à découvrir l'atmosphère d'une planète du système solaire, celle de Vénus, en l'observant lors de son passage devant le Soleil. Deux cent quarante ans plus tard, les deux astronomes ont utilisé





La lumière de l'étoile, en traversant l'atmosphère de la planète, est filtrée : elle garde l'empreinte des composants de cette atmosphère, que le satellite *Hubble* parvient ainsi à analyser à distance.

le même principe de détection, mais les techniques, elles, ont prodigieusement évolué. On peut aujourd'hui étudier l'environnement d'une planète qu'aucun humain n'approchera vraisemblablement jamais : même si l'on se déplaçait à la vitesse de la lumière, le voyage vers HD 209458 nous prendrait cent cinquante ans...

## UNE VÉRITABLE FOURNAISE

« Nous avons réussi à montrer qu'il était possible d'arriver à analyser en détail l'atmosphère d'une planète qui est très loin de nous, et qui tourne autour d'une autre étoile que le Soleil ! », se réjouit Timothy Brown. Une prouesse saluée aujourd'hui par toute la communauté astronomique. Son collègue, David Charbonneau, pense déjà à l'avenir : « Dans les mois qui viennent, nous allons essayer d'obtenir plus d'informations sur cette atmosphère, savoir si elle contient du méthane [un gaz présent dans notre propre atmosphère] ou même de la vapeur d'eau... ». Mais les deux chercheurs reconnaissent qu'il n'y a pratiquement aucune chance pour que cette planète abrite une forme quelconque de vie. D'une part, ce n'est pas une planète tellurique (c'est-à-dire une petite planète rocheuse) comme la Terre, mais une géante gazeuse, comme Jupiter ou Saturne. Et surtout, elle est si proche de son étoile (7 millions de km, alors que la Terre se trouve à 150 millions de km du Soleil) que sa surface est une véritable fournaise : sa température doit facilement dépasser 1000° C !

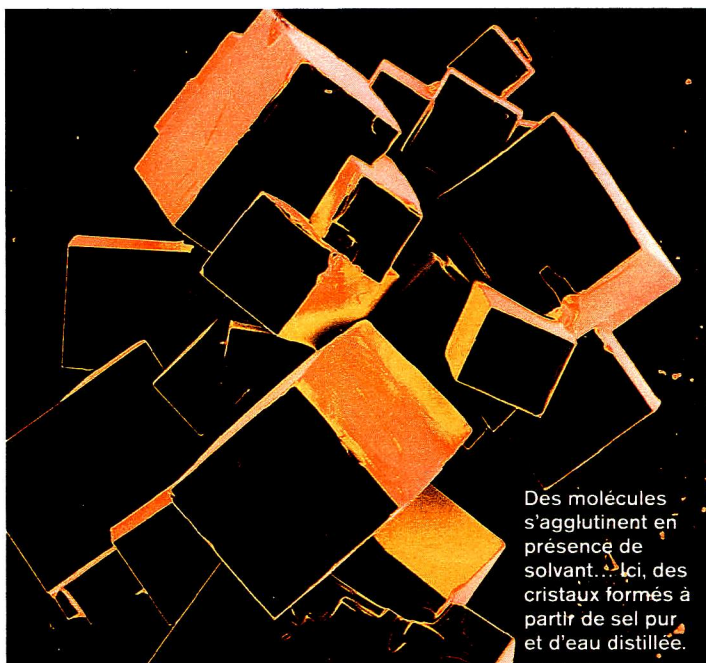
D'autres planètes semblables à la Terre tournent peut-être autour de HD 209458, ou d'autres étoiles... En 2004, le satellite français *Corot* partira à leur recherche, suivi vers 2006 de la mission américaine *Kepler*, puis du satellite européen *Eddington*. La quête des mondes habités continue. **V. G.**



## Pour concentrer, diluez !

**L**e hasard est souvent à l'origine de découvertes stupéfiantes, telle celle que relatent deux chimistes d'un laboratoire co-réen dans *Chemical Communications*. En travaillant sur des fullerènes (des molécules à base de carbone), ils ont constaté que des dilutions de plus en plus fortes provoquaient non pas la dispersion des molécules dans l'eau mais leur agrégation en amas de plus en plus gros (jusqu'à 10 fois leur taille initiale). Ils ont reproduit l'expérience avec un sucre, la cyclodextrine, avec de l'ADN, enfin avec... du sel ! Seuls les solvants polaires (qui ont une répartition disymétrique de charges) produiraient ce phénomène.

ne. La formation d'amas d'une taille suffisante pour être biologiquement actifs pourrait fournir des bases scientifiques à l'homéopathie. Et redonner un coup de jeune au vieux débat sur la mémoire de l'eau. **A. D.**



Des molécules s'agglutinent en présence de solvant... Ici, des cristaux formés à partir de sel pur et d'eau distillée.

J. BURGESS/S.P.L./COSMOS

### BIOCHIMIE

## LE CALAMAR QUI RÉSISTE AU SARIN

■ Des scientifiques allemands ont découvert qu'un calamar, *Loligo vulgaris*, synthétisait naturellement une enzyme de résistance aux gaz de combat tels que le sarin, tristement célèbre depuis l'attentat du métro de Tokyo en 1995. L'équipe de chercheurs de l'Institut de chimie biophysique de l'université de Francfort et du département de biologie des membranes moléculaires de l'Institut Max-Planck a cultivé et caractérisé aux rayons X une structure cristalline produite dans le cerveau du céphalopode. Cette enzyme

de la famille des DFPases détruit par hydrolyse les organophosphates composant ces gaz neurotoxiques. Des enzymes proches, capables de détruire des insecticides organophosphatés, avaient été repérées chez certains oiseaux ou insectes. Mais la découverte de la DFPase de *Loligo vulgaris*, bien plus puissante, ouvre la porte à de vrais antidotes aux gaz de combat neurotoxiques qui, même à très faible dose, entraînent rapidement la mort en bloquant la transmission des signaux nerveux. **M. C.**

### GÉNÉTIQUE

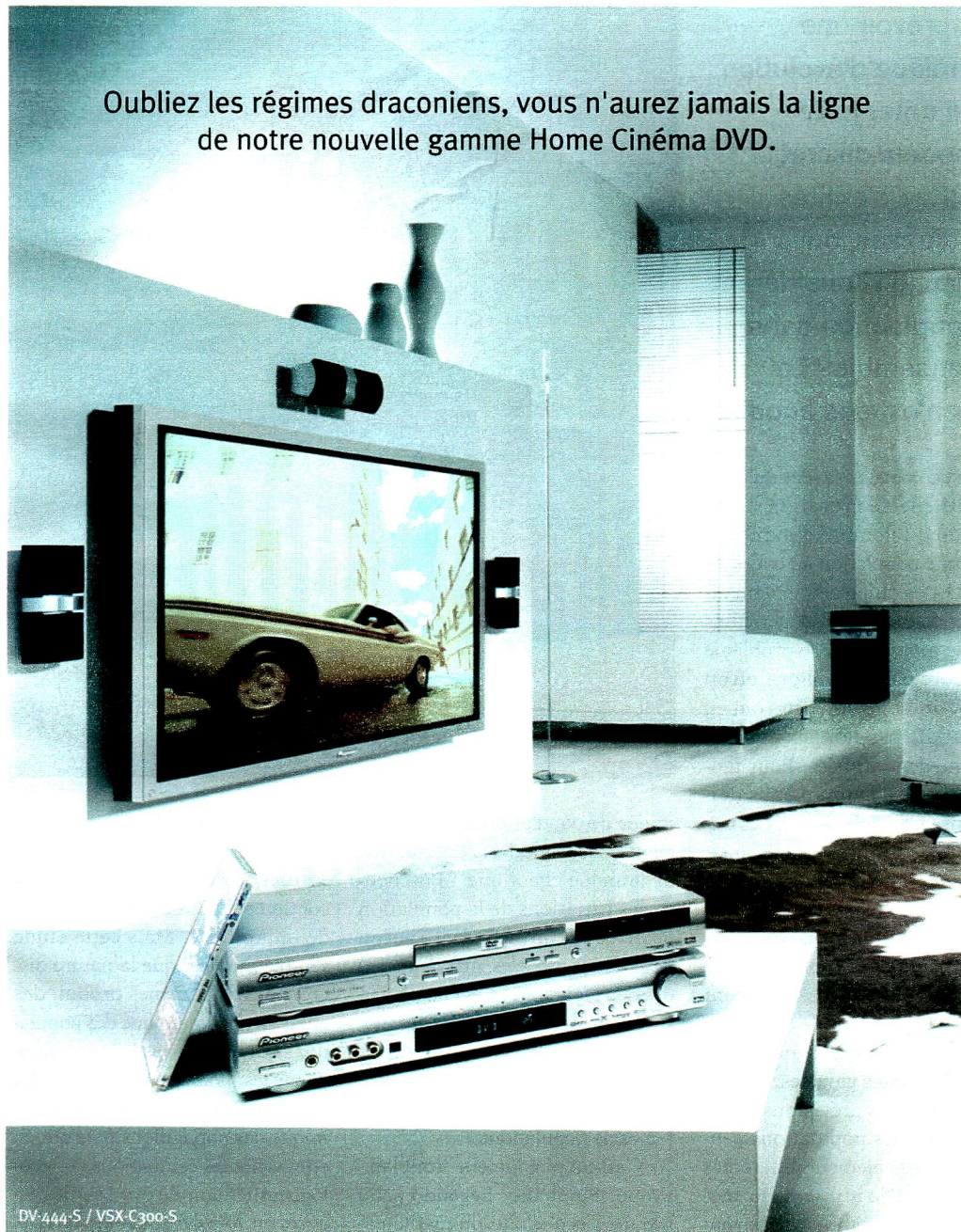
## “Décrypton” ensemble

Le Décrypton propose aux internautes de participer à la première comparaison exhaustive des 500000 protéines répertoriées à ce jour au sein des règnes animal et végétal. Ils sont invités à faire tourner leur PC deux heures par semaine, au service des chercheurs qui réalisent la première cartographie des protéomes, ensemble des protéines dont la synthèse est contrôlée par un génome. 100000 inscrits permettraient d'obtenir cette cartographie en quatre mois. Le Décrypton a été lancé par l'AFM, IBM et Génomin en décembre dernier à l'occasion du Téléthon 2001. **I. B.**  
Inscriptions sur le site : <http://www.telethon.fr>



**Des performances inégalées pour le système le plus compact du marché.** Désormais, vous pouvez améliorer la qualité de votre système audiovisuel sans sacrifier votre espace vital. D'une hauteur (peut-on encore parler de hauteur ?) de 120 mm, le lecteur de DVD DV-444-S et l'amplificateur audiovisuel VSX-C300-S offrent une qualité exceptionnelle, pour le système le plus compact du marché. Souple et pratique, la connexion audiovisuelle frontale vous permet d'utiliser aisément votre caméra vidéo ou votre console de jeux. Avec Pioneer, le DVD affirme son style.

Oubliez les régimes draconiens, vous n'aurez jamais la ligne  
de notre nouvelle gamme Home Cinéma DVD.



DV-444-S / VSX-C300-S



LECTEURS



SYSTÈMES



PORTABLES



VIDEO EMBARQUÉE



SYSTÈME DE NAVIGATION



ENREGISTREURS\*\*

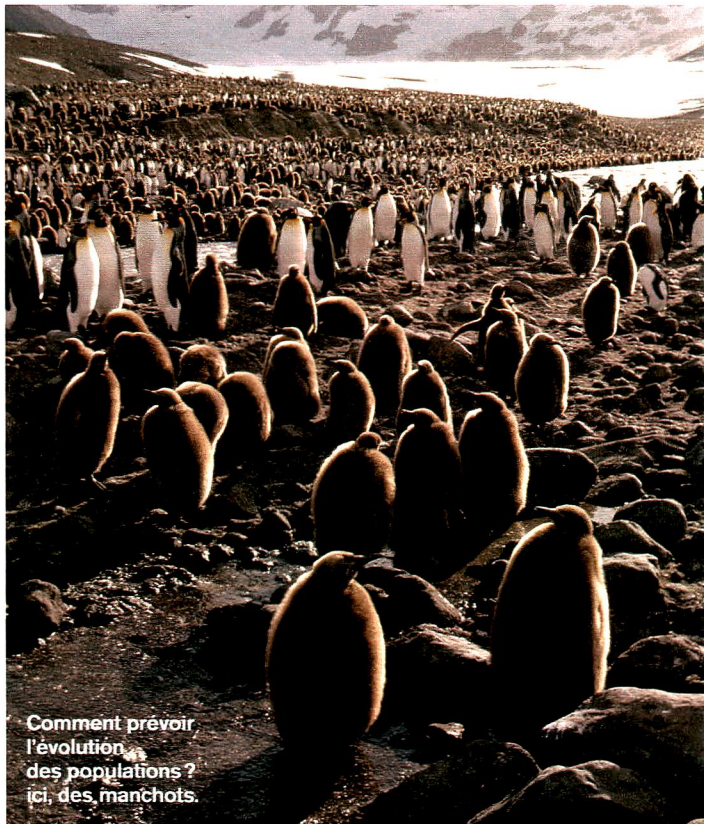


# Quand l'individu cache la foule

Pour prévoir une dynamique d'évolution faut-il opter pour un modèle discret, constitué d'entités individuelles, ou continu, en considérant une population dans son ensemble? Le choix n'est pas anodin.

**L**es écologistes savent qu'il est difficile de prévoir la variation du nombre d'individus d'une population au cours du temps. Une équipe de mathématiciens et de biologistes américains vient de montrer que le problème est encore plus compliqué qu'on ne croyait. Les chercheurs ont en effet étudié pendant six ans une centaine de scarabées. Pour modéliser cette dynamique, ils doivent faire un choix. Soit ils considèrent les scarabées – mais aussi n'importe quelle population – comme un ensemble d'entités "discrètes" définies chacune par des probabilités de mortalité et de reproduction, soit ils les voient comme un ensemble continu, dont les variations ne sont plus individuelles, mais globales.

Problème : les prévisions sur la dynamique des populations peuvent être radicalement différentes selon le modèle utilisé. Leur modèle discret produit une dyna-



Comment prévoir l'évolution des populations ? Ici, des manchots.

TUI DE ROY/MINDENZHE

mique de population régulière (cyclique) ; leur modèle continu, une dynamique chaotique... Pis encore, les variations de la population observée ne correspondent à aucun de ces deux modèles, mais à un peu des deux à la fois... Les chercheurs suggèrent qu'« un mélange des modèles continu et discret sera sans doute nécessaire pour avoir une compréhension complète des systèmes de populations ».

« C'est un phénomène troublant, avoue Stéphane Legendre, du groupe d'éco-évolution mathéma-

tique de l'Ecole normale supérieure de Paris. Dans la plupart des cas étudiés, le choix entre un modèle continu ou discret n'avait pas grande importance. Mais cette étude semble montrer que la nature discrète des organismes produit des effets sur la dynamique des populations qui ne sont pas pris en compte par les modèles continus... » La divergence des modèles de dynamique des populations pourrait en effet vicier les estimations des écologistes tentant de protéger les espèces en voie d'extinction. **H. P.**



# AFGHANISTAN

**Faut-il des images  
pour vous convaincre  
que les Afghans  
ont besoin d'aide ?**

Depuis plus de 20 ans, les Médecins Sans Frontières portent secours au peuple afghan. Plus que jamais nous avons besoin de votre soutien. **Aidez-nous à les aider.**

Adressez vos dons à

**Médecins Sans Frontières Afghanistan**

BP 2000 - 75011 Paris

ou appelez tout de suite

**► N° Indigo 0 825 832 832**

0,98 F TTC / MN



AGIR EN TOUTE INDÉPENDANCE

[www.paris.msf.org](http://www.paris.msf.org)



## RECHERCHE

## BIOLOGIE

## Le double jeu du cholestérol

Dans la compréhension du système nerveux central, la formation des synapses, ces zones de communication entre neurones, restait quelque peu mystérieuse. En 1997, des chercheurs français et allemands, ont démontré que la synaptogenèse est associée à la présence des cellules constituant le tissu conjonctif qui "soutient" les cellules nerveuses : les cellules gliales. Et qu'en l'absence de ces dernières, les neurones mis en culture sont incapables d'établir des connexions entre eux. Ces cellules gliales étaient donc supposées sécréter un facteur favorisant la formation des synapses. Facteur que ces mêmes chercheurs viennent d'identifier comme étant... le cholestérol. Précisons que ce cholestérol est produit *in situ* par certaines cellules gliales, les astrocytes. Il n'a donc pas grand chose à voir avec le cholestérol sanguin, dont l'excès serait, à l'inverse, néfaste pour le cerveau. Plusieurs équipes ont en effet observé récemment que le cholestérol sanguin stimulait la production de la protéine bêta-amyloïde, qui est impliquée dans la dégénérescence cérébrale des patients atteints de la maladie d'Alzheimer. C. D.

## ASTRONOMIE

## Odyssey à bon port

Après les deux échecs cuisants, en 1999, de *Mars Climate Orbiter* et de *Mars Polar Lander*, les scientifiques de la Nasa ont été soulagés de voir que leur sonde *2001 Mars Odyssey* s'était correctement mise en orbite autour de la planète rouge, le 24 octobre dernier, après deux cents jours de croisière.

Cette image thermique prise dans l'infrarouge (ci-dessus), l'une

des premières enregistrées par la sonde, montre les énormes écarts de température à la surface de Mars (le disque bleu de 900 km de diamètre correspond à la couche de glace carbonique qui recouvre le pôle Sud). Au cours de sa mission scientifique, qui doit débiter ce mois-ci, *2001 Mars Odyssey* a pour objectif la réalisation des premières cartes géologique et chimique de la planète.

V.G.

## PHYSIQUE

## ACCIDENT À SUPER-KAMIOKANDE

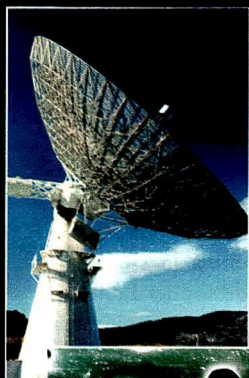
Un accident a fortement endommagé le plus grand détecteur de neutrinos du monde, l'observatoire japonais Super-Kamiokande situé près de Tokyo, à 1000 mètres de profondeur. Plus de la moitié des 11 000 détecteurs de lumière chargés de

repérer les très discrètes particules élémentaires traversant notre Terre ont été détruits. Pas de blessé, mais près de 20 millions d'euros de dégâts et un an d'indisponibilité pour un instrument essentiel à la connaissance des propriétés de la matière. H. P.

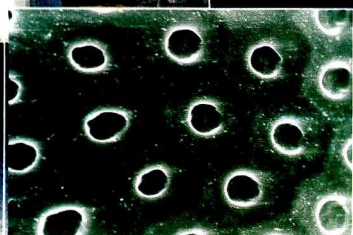


SCIENCE & VIE, l'accélérateur du savoir.

# Pour comprendre le sens de la vie comme le sens de l'univers... Abonnez-vous à SCIENCE & VIE.



**38,50 €**  
seulement  
252,54 F



## 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 **38,50 €** (252,54 F) seulement  
au lieu de 42 €\* soit un mois de lecture gratuite.

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

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

Ville \_\_\_\_\_

Téléphone \_\_\_\_\_

e-mail \_\_\_\_\_

### 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

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 2002 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE MÉTROPOLITAINE.

**Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone**  
au 01 46 48 47 08 ou Minitel : tapez 36 15 ABON,  
par internet : <http://www.excelsior.fr>

SV 1012

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

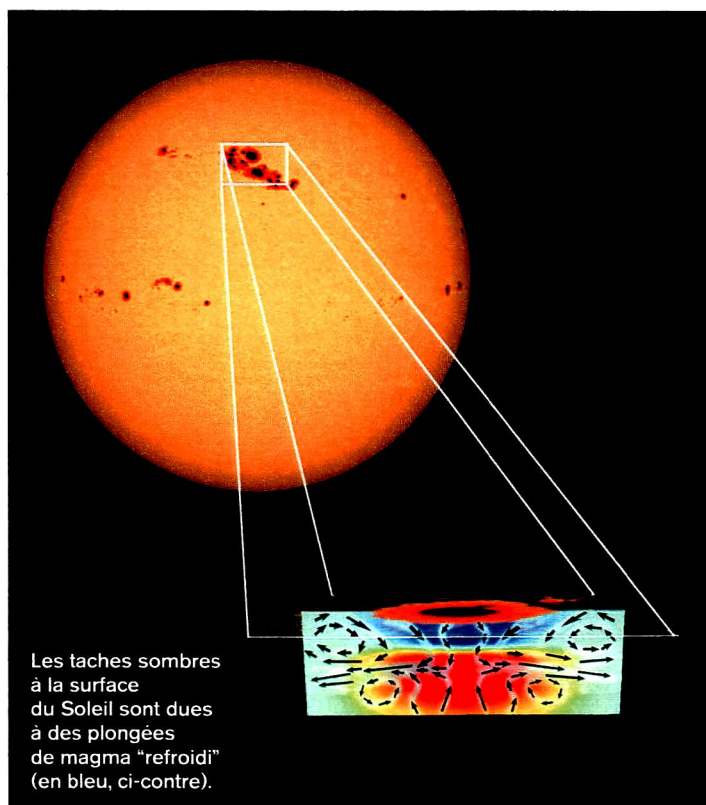


# Lumière sur les taches sombres

**L**es astrophysiciens ont enfin réussi à élucider le mécanisme de formation des taches solaires. Il y a quatre cents ans, lorsque Galilée révéla à ses contemporains que le Soleil avait des taches, l'astre perdit tout à coup son aspect divin pour devenir objet de questionnement. Depuis, les physiciens n'ont eu de cesse de chercher à comprendre l'origine de ces verrues célestes.

Ces marques sombres, aussi larges que des planètes, qui apparaissent en masse lorsque l'activité magnétique du Soleil est à son apogée, sont finalement dues à des mouvements de plasma qui plongent vers l'intérieur de l'étoile à très grande vitesse.

Ce scénario, qui avait été proposé il y a plus de vingt-cinq ans, vient d'être confirmé par des chercheurs de l'université Stanford



Les taches sombres à la surface du Soleil sont dues à des plongées de magma "refroidi" (en bleu, ci-contre).

(Californie) et de la Nasa. Ceux-ci ont utilisé le satellite européen et américain *Soho* (Solar and Heliospheric Observatory) pour faire de la tomographie acoustique : ils ont écouté les ondes qui

se répercutent à la surface du Soleil, afin de sonder l'intérieur de l'étoile. Ils ont ainsi pu recomposer les flux de plasma plongeant à plus de 4000 km/h, et s'enfonçant jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres sous la surface.

Comment les taches solaires se forment-elles ? Aux endroits où le champ magnétique est le plus intense, il empêche l'énergie interne du Soleil d'affluer, créant ainsi des zones plus froides et donc plus sombres que le reste de la surface. Le magma "refroidi" (4500° C au lieu de 6000° C), plus dense, plonge. Il entraîne dans sa chute le magma alentour, renforçant par là-même l'action du champ magnétique. Et le phénomène s'auto-entretient : voilà pourquoi les taches peuvent perdurer plusieurs semaines.

Une stabilité qui constituait jusqu'à présent l'un des grands mystères de la physique solaire. **V. G.**

NASA

## PHYSIOLOGIE

### BACTÉRIES PAPETIÈRES

■ Peut-être n'aura-t-on bientôt plus besoin d'abattre des arbres pour faire du papier. Des chercheurs viennent de montrer que neuf espèces de cyanobactéries, ou "algues bleues" sont capables de synthétiser de la cellulose. Ce composé principal du bois, du lin et du coton joue un rôle économique important. Outre la fabrication du papier, il est utilisé pour élaborer des plastiques et des fibres synthétiques. La découverte de

l'équipe de David Nobles, du département de génétique moléculaire de l'université du Texas, confirme la filiation entre ces micro-organismes, qui peuplent la Terre depuis plus de 2,8 milliards d'années, et les plantes supérieures. Cette capacité de synthèse cellulosique pourrait être conférée à d'autres bactéries, par génie génétique, et exploitée industriellement. Ce qui entraînerait la réduction des besoins en bois d'abattage. **M. V.**



## Le pétoncle enregistre le climat de l'Antarctique

Pour mesurer l'évolution du climat au cours du xx<sup>e</sup> siècle dans la région Antarctique, les paléo-climatologues de l'université du Michigan pallient le manque de relevés de température en analysant les coquilles de pétoncles (*Adamussium colbecki*). Les bivalves de cette région peuvent vivre plus de cent ans, et leur coquille enregistre, année après année, les variations du climat : la composition isotopique de l'oxygène contenu dans chaque cerne de la coquille reflète la composition de l'eau de mer au moment de la croissance – et la composition chimique de cette eau dépend de la fonte de la glace continentale durant l'été austral, donc de la température. Pour la période récente, l'analyse des pétoncles de l'Antarctique offre un relevé des variations climatiques bien plus détaillé que l'analyse des carottes de glace. Cette méthode a permis d'observer, dans l'Antarctique comme dans la majeure partie du globe, une tendance globale au réchauffement durant le siècle passé.

H.G.

PAPONVILLE/ÉQUIPE

## LE GPS DES MIGRATEURS

■ Au cours de leur migration, certains oiseaux doivent traverser de grandes étendues désertiques, où ils ne pourront se nourrir. Tous font des provisions de graisse, mais comment savent-ils à quel moment les faire ? Jusqu'ici, on savait que, pour diriger leur vol, les oiseaux migrateurs se servent des variations du champ magnétique de la Terre comme boussole. Des chercheurs suédois soupçonnent maintenant les rossignols et autres migrants de pouvoir se localiser exactement. Thord Fransson et son équipe du département de zoologie de l'université de Stockholm ont capturé de jeunes migrateurs, sur le point de prendre leur premier envol. Ils les

D. HUBAUT/BIOS



Le rossignol sait toujours où s'arrêter.

ont placés dans une cage où ils ont simulé les changements de champs magnétiques que les jeunes aventuriers auraient rencontrés : les oiseaux ont fait leurs réserves au moment de leur arrêt simulé en Egypte. Soit juste avant de traverser le Sahara. Reste à savoir si les oiseaux ont réagi aux qualités mêmes du champ magnétique égyptien ou à ses différences avec celui de la Suède, leur point de départ. J. C.

## NEUROSCIENCES

## Du bon pied

En décortiquant neuf matchs de la dernière Coupe du monde de football, qui s'est tenue en France en 1998, l'équipe de psychologues britanniques de l'université d'Aberdeen s'est penchée sur la faculté des grands footballeurs à jouer avec leur mauvais pied, soit celui avec lequel ils sont censés être le moins adroits. L'analyse de 19295 actions individuelles menées par 236 joueurs montre que si 80 % des dribbles, tackles, passes ou tirs sont réalisés avec le pied préféré, les actions entreprises avec

le "mauvais" pied offrent quasiment le même pourcentage de réussite. « Ces résultats suggèrent que la latéralité du pied est largement innée », conclue

David Carey, qui a dirigé cette étude. Les professionnels ont beau devenir quasiment aussi adroits des deux pieds, ils ne peuvent s'empêcher de préférer leur pied conducteur naturel.

H. P.

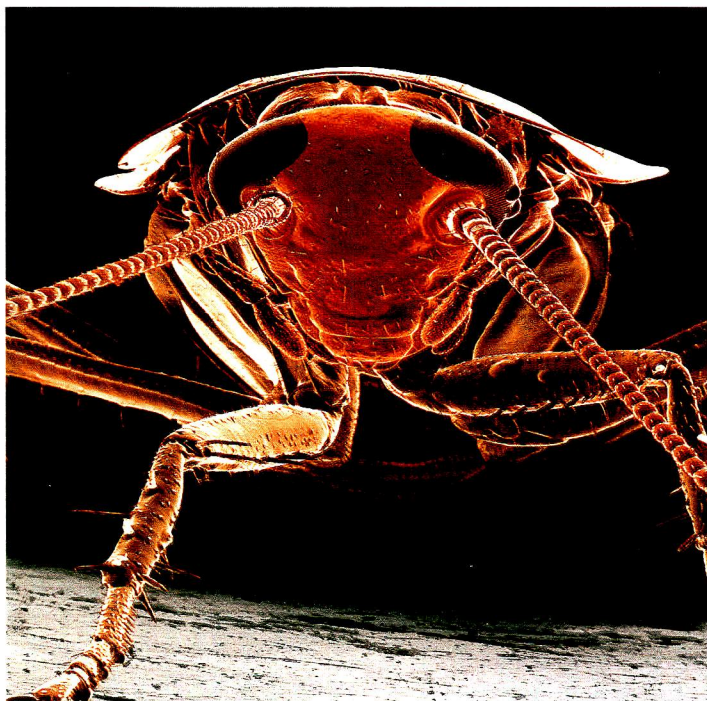
Même Zinedine Zidane n'a pas le choix...





## Les cafards se passent de carottes

**D**es chercheurs de l'Institut Sechenov de biochimie et de physiologie de l'évolution de Saint-Petersbourg (Russie) ont montré que les cafards américains (*Periplatena americana*) sont capables de synthétiser du bêta-carotène, une capacité jamais trouvée encore chez un animal. Durant trois ans, ils ont étudié deux populations de cafards : l'une supplémentée en jus de carotte, et l'autre soumise à un régime alimentaire déficitaire en carotène. Les cafards supplémentés en jus de carotte finissent par présenter une concentration en carotène plus de dix fois supérieure à la normale, témoignant d'une capacité à le stocker. Les cafards carencés ne deviennent pas aveugles, comme l'on pourrait s'y attendre. Après leur avoir injecté un précurseur radioactif du bêta-



D. SCHARF/S.P.L./COSMOS

Le cafard américain est capable de synthétiser du bêta-carotène.

carotène, les chercheurs ont même vérifié que lorsqu'ils ne le trouvent pas dans l'alimentation ces cafards pouvaient synthétiser leur propre carotène, selon un mécanisme qui reste encore inconnu.

C. D.

## MATHÉMATIQUES

### Pas de Nobel, mais un Abel

Il n'y a jamais eu de prix Nobel de mathématiques. Il y a désormais le prix Abel. Le gouvernement norvégien a décidé d'accorder chaque année un prix de 625 000 € à un mathématicien pour la qualité de ses travaux, en s'inspirant des récompenses décernées depuis cent ans par la Suède dans les domaines de la physique, de la chimie, de la médecine, de la paix, de la littérature et de l'économie. Le premier prix Abel sera attribué cette année pour le deux centième anniversaire de la naissance du plus fameux mathématicien norvégien, Niels Henrik Abel.

H. P.

## CHIMIE

### PHOTOSYNTHÈSE EN LABO

■ Le mécanisme de photosynthèse est un modèle du genre. C'est à travers lui que la nature exploite une source d'énergie propre, renouvelable et gratuite : la lumière. Lors de cette réaction biochimique, les plantes vertes utilisent l'énergie du Soleil pour produire un sucre dont l'énergie est ensuite utilisable par d'autres organismes. Les chimistes tentent de réaliser de telles conversions, avec des succès divers... L'équipe américaine de Alan Heyduck et Daniel

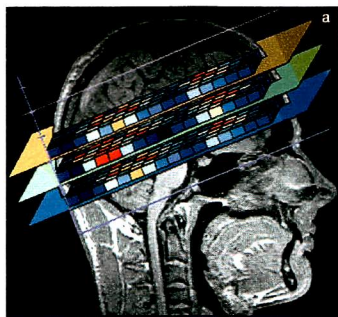
Nocera, du Massachusetts Institute of Technology, travaille ainsi à la mise au point de catalyseurs capables de piéger les photons pour alimenter une réaction chimique. Leur dernier né : un complexe à base de rhodium. Ce composé métallique mis en solution avec un acide halogéné et éclairé par de la lumière déclenche une réaction de production d'hydrogène. Ce gaz pourrait justement constituer une alternative aux énergies non renouvelables.

P. V.



# Cartographie de l'échiquier cérébral

**A** l'aide d'un procédé d'imagerie magnétique, cinq chercheurs de l'université de Constance (Allemagne) ont comparé l'activité cérébrale de vingt joueurs de haut niveau, professionnels et amateurs, comptant chacun plus de dix ans de pratique. Alors qu'ils jouaient face à un ordinateur, leur cerveau était scanné pendant les cinq secondes suivant chaque coup de leur adversaire numérique. Les scientifiques ont ensuite cartographié dans les enregistrements les sursauts d'activité dans la bande gamma (oscillations entre 20 et 40 Hz). Bilan : l'activité du lobe temporal médian, qui correspond à l'encodage et à l'analyse de nouvelles informations, est plus intense chez le joueur amateur. Les profession-



Les zones les plus actives (ici en jaune et rouge) du cerveau d'un joueur d'échecs amateur de haut niveau diffèrent de celles d'un grand maître professionnel.

comme inattendu) des pièces de leur adversaire, les seconds font appel à la mémoire des centaines de milliers de coups emmagasinés en plus de dix ans d'entraînement intensif. **M.C.**

nels, eux, font essentiellement appel à leur cortex pariétal et frontal, corrélié à la mémoire à long terme. La différence entre amateurs de haut niveau et grands maîtres ne réside donc pas seulement dans l'étendue du savoir, mais aussi dans l'organisation cérébrale de celui-ci. Tandis que les premiers analysent chaque nouveau déplacement (considéré

**Ont collaboré à cette rubrique : Julie Coquart, Matthieu Crocq, Anne Debroye, Clara Delpas, Valérie Greffoz, Hélène Guillemot, Hervé Poirier, Mathilde Vaudon, Perrine Vennetier.**

*J'aimerais tant voir la Sicile...*



**Le meilleur de la Sicile  
se réserve dès maintenant.**



**Une semaine en Sicile : vols + l'hôtel-club TORRE MACAUDA\*\*\*, pension complète avec vin inclus, chambre double, transferts, animations : à partir de 518€ TTC (3398 Frs)**

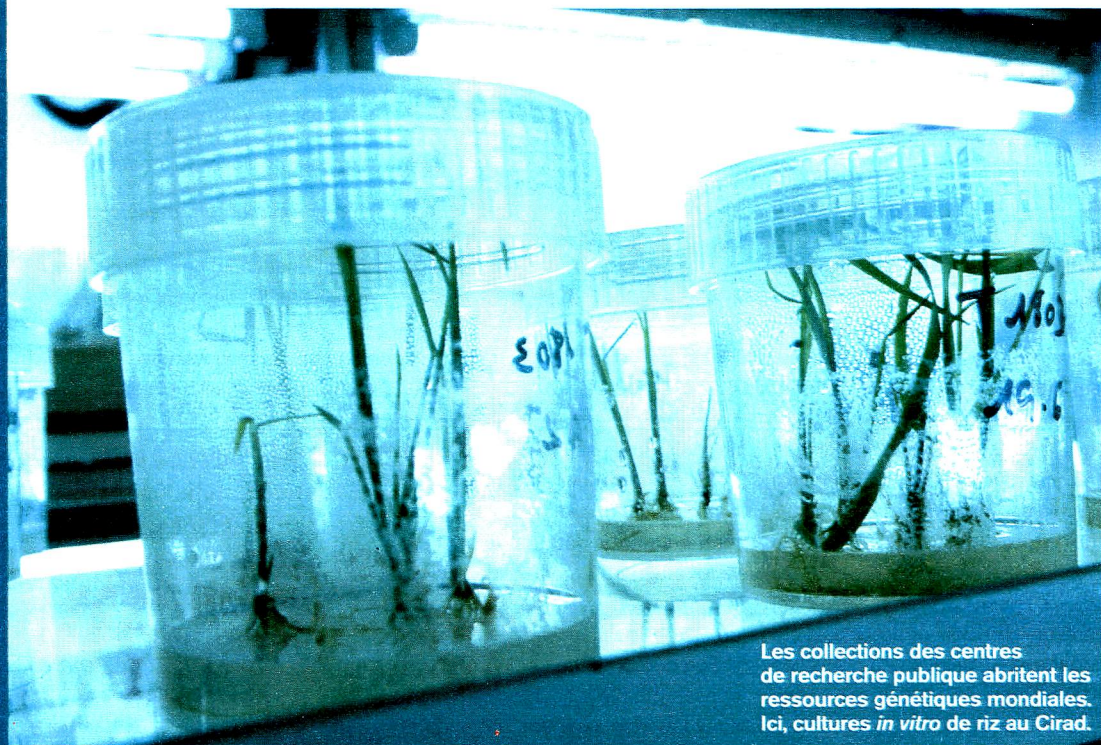
**Sicil'Air**  
LE SPECIALISTE DE LA SICILE

Chaque vendredi de mars à octobre :  
vols vers Palerme au départ de Paris, Nantes, Lyon, Marseille, Toulouse et Metz

Autres formules de vacances en Italie, Sicile et Sardaigne : nous consulter.

Renseignements : 01 48 01 98 98 / sicilair@wanadoo.fr





Les collections des centres de recherche publique abritent les ressources génétiques mondiales. Ici, cultures *in vitro* de riz au Cirad.

MOSCHETTI/REA

# La biodiversité agricole sous contrôle

**Un nouveau traité international veut concilier l'intérêt des paysans locaux et celui des semenciers. Y parviendra-t-il ?**

**L**e 3 novembre dernier, après sept ans de négociations, 116 pays ont signé, à Rome, le premier Traité international sur les ressources génétiques végétales pour l'alimentation et l'agriculture. Ses objectifs ? Préserver la biodiversité des plantes vivrières, faciliter la création de nouvelles variétés, et garantir « le partage juste et équitable des avantages » qui en

découlent. Il s'agit de maintenir l'accès gratuit aux plantes du monde entier, source de sécurité alimentaire, mais aussi, ce qui est plus original, de récompenser financièrement les communautés autochtones, notamment les paysans, qui ont su conserver ces ressources. Pas facile.

Ce traité réduit la portée de la Convention sur la diversité biologique de Rio (1993), qui retirait aux

plantes le statut d'héritage commun de l'humanité, statut énoncé par la Food and Agriculture Organization (FAO) en 1983. Rio en faisait des biens nationalisés, une menace pour l'approvisionnement des centres de recherche agronomique publique qui n'ont pas les moyens de rétribuer les plantes fournies par les différents pays. C'est le cas des membres du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCGRI), un réseau mondial qui prospecte les plantes vivrières à travers la planète, et diffuse gratuitement les résultats de ses recherches. Par exemple, des lignées de maïs résistant à la séche-



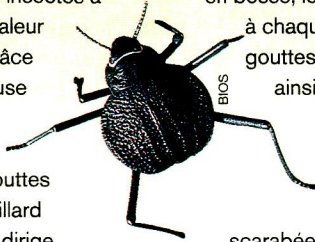
## JUSQU'À LA DERNIÈRE GOUTTE

■ Pourquoi le *Stenocara*, un petit scarabée noir du désert de Namibie, résiste-t-il bien mieux que les autres insectes à l'écrasante chaleur ambiante ? Grâce à une ingénieuse carapace qui collecte les minuscules gouttes d'eau du brouillard matinal, et les dirige jusqu'à ses mandibules.

Andrew Parker, de l'université d'Oxford, a remarqué que la carapace de ce petit coléoptère était constituée de bosses lisses et hydrophiles (qui attirent l'eau), séparées par de petites

anfractuosités recouvertes de cire hydrophobe (qui la repousse). Poussées de bosse en bosse, les gouttes fusionnent à chaque fois avec d'autres gouttes, et grossissent ainsi progressivement jusqu'à ce qu'elles atteignent les mandibules du scarabée. Andrew Parker travaille avec les laboratoires britanniques QuinetiQ afin de reproduire industriellement cette structure originale, et fabriquer des tissus ou des revêtements capables de recueillir et de canaliser l'eau.

V. G.



## ALIMENTATION

# Le poisson se dévoile

**A** partir du 1<sup>er</sup> janvier 2002, le consommateur qui dégustera un bar ou une dorade saura s'il s'agit d'un poisson sauvage ou d'élevage. Car la Commission européenne impose désormais d'afficher, en plus de la dénomination commerciale de l'espèce, son origine : "pêché en mer", "pêché en eaux douces", ou "élevé". Un timide début de traçabilité. Dans le premier cas, la mention doit préciser la zone de capture, définie à grande échelle parmi douze : Atlan-

tique (Nord-Ouest, Nord-Est – sauf mer Baltique –, Centre-Ouest, Centre-Est, Sud-Ouest ou Sud-Est), mer Baltique, mer Méditerranée, mer Noire, océan Indien, océan Pacifique, Antarctique. Pour le poisson d'eaux douces, l'étiquette nomme le pays d'origine, et pour l'aquaculture, celui où s'effectue la phase de développement final. Le nom scientifique d'espèce est facultatif. On verra donc encore des "soles" tropicales (*Cynoglossus species*) sous le nom de soles (*Solea solea*), et du "loup" de mer d'Atlantique (*Anarhichas lupus*) profiter de cette appellation méridionale du bar (*Dicentrarchus labrax*). Les produits surgelés étiquetés avant le 1<sup>er</sup> janvier 2002 peuvent, eux, être commercialisés jusqu'à épuisement des stocks.

**Ces étiquettes-là ont vécu. Elles doivent désormais mentionner également l'origine du poisson.**



R. DAMORET/REA

resse, obtenues en 2001 au Zimbabwe, sont mises à la disposition des sélectionneurs du monde entier qui peuvent librement les utiliser dans leurs croisements. En contrepartie, ils renoncent à breveter le matériel « dans la forme reçue ». Ce qui n'est pas toujours le cas : certains laboratoires japonais et américains ont déposé des demandes de brevets sur des variétés courantes de pomme de terre et de quinoa andins, de riz parfumé thaïlandais ou de haricot jaune mexicain, plantes qui leur ont été fournies gracieusement.

Pour éviter cette façon de procéder et les accords de pays à pays, le nouveau traité préserve de la nationalisation 35 espèces cultivées et 29 plantes fourragères qui entrent désormais dans un « système multilatéral de l'accès facilité et des bénéfices partagés ». Ces plantes vivrières retrouvent ainsi le statut de bien commun. L'Union européenne a signé du bout de la plume, car, pour elle, la liste est incomplète. La Chine a refusé d'y mettre le soja, les pays d'Amérique latine ont exclu la tomate et l'arachide, ceux d'Afrique ont exclu des plantes tropicales...

Les Etats-Unis et le Japon, eux, ont refusé de signer parce que le traité est ambigu sur la possibilité de breveter des séquences génétiques isolées à partir d'un matériel végétal reçu en don. Le champ d'application de ce traité reste donc limité. D'autant plus que le partage des bénéfices n'est pas évident, même si son principe est clair : au cas où le bénéficiaire d'un matériel végétal veut en restreindre l'accès, il doit dédommager les signataires du traité en versant une somme à un pot commun à répartir ensuite « équitablement ». Une répartition qui risque de générer de véritables casse-têtes juridiques lorsque le traité entrera en vigueur, c'est-à-dire lorsque quarante pays l'auront ratifié.



## DÉPOLLUTION

## Les plantes auxiliaires

Drôle de don ! Un lycée new-yorkais situé près des décombres des Twin Towers, le Stuyvesant High School, a reçu mille plantes ornementales offertes par des pépiniéristes. L'un d'entre eux, Eric Keil, s'était souvenu des travaux de la Nasa selon lesquels certaines plantes d'intérieur comme le philodendron, l'aloë vera ou le ficus présentent un pouvoir épurateur vis-à-vis de polluants organiques tels que le toluène, le benzène, le formaldéhyde, l'ammoniac ou le trichloréthylène.

Jean-Pierre Garrec, directeur du laboratoire d'étude de la pollution atmosphérique à l'Inra de Nancy (1) le confirme. En atmosphère confinée, ces polluants provenant de l'extérieur, ou diffusés par les meubles, les peintures, etc., ne sont pas évacués. Leur captation par les plantes assainit donc l'air intérieur. Les substances organiques sont retenues à la surface des folioles recouvertes de cires très lipophiles, tandis qu'une faible proportion est absorbée par la plante et métabolisée. La vertu de ces plantes reste donc bien ornementale et... dépolluante.

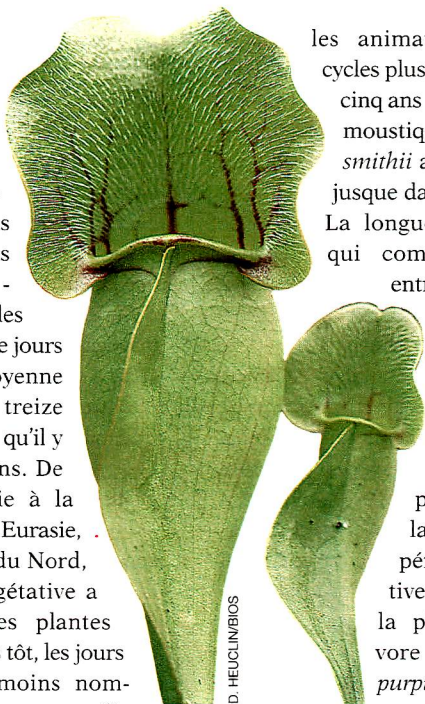
H.V.

(1) Auteur de *Sur un air de pollution*, Editions Platypus Press. A paraître fin janvier 2002.

## PHÉNOLOGIE

## La génétique s'en mêle

L'hiver ne doit pas faire oublier que le climat se réchauffe globalement. Dans les systèmes méditerranéens, les feuilles se déplient seize jours plus tôt en moyenne et tombent treize jours plus tard qu'il y a cinquante ans. De la Scandinavie à la Macédoine, en Eurasie, en Amérique du Nord, la période végétative a augmenté. Les plantes fleurissent plus tôt, les jours de gel sont moins nombreux. Oiseaux et grenouilles pondent plus tôt. Du puceron britannique au papillon espagnol,



D. HEULINBIOS

les animaux ont des cycles plus précoces. En cinq ans seulement, le moustique *Wyeomyia smithii* a même réagi jusque dans ses gènes. La longueur du jour qui commande son entrée en léthargie est aujourd'hui plus courte qu'autrefois. Il profite dès lors pleinement de la plus longue période végétative de son hôte, la plante carnivore *Sarracenia purpurea*.

Le moustique *W. smithii* achève son développement dans l'eau des urnes de *S. purpurea*.

## TRANSPORT

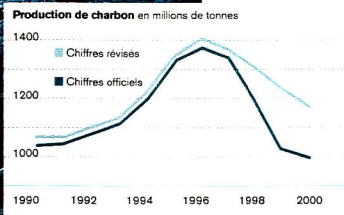
## L'ISLANDE AU TOUT HYDROGÈNE

■ Les Islandais veulent en finir avec les importations de gaz et de pétrole ! Grâce à l'hydrogène, ils espèrent atteindre l'indépendance énergétique d'ici à 2030. Trois autobus équipés de piles à combustible sont actuellement mis en service à Reykjavik. En 2002, les cent bus de la capitale en posséderont. L'Union européenne, intéressée par l'expérience, soutient ce projet à hauteur de 30 millions de francs. En 2004, le gouvernement islandais prévoit de mettre en service les

premières voitures et les premiers bateaux de pêche à hydrogène. Au final, le pays se passera de pétrole pour les transports et réduira ses émissions de CO<sub>2</sub> de 50 %. Il ne produira plus de particules polluantes ni de dioxyde de soufre. Un exemple pour la France qui discute actuellement des énergies renouvelables... D'ici à 2004, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) va engager plus de 150 personnes et 150 millions de francs pour étudier l'utilisation de l'hydrogène.

D. G.





L. C.

Ont collaboré à cette rubrique :  
Loïc Chauveau, Valérie  
Greffoz, David Groison, Hélène  
Guillemot, Hélène Vaillé.

# Eco-économie à la chinoise

**D**ébut 2001, l'annonce par le gouvernement chinois d'une baisse de 27 % de sa production-consommation de charbon avait fait bondir le gouvernement américain. George Bush venait de rejeter le protocole de

Kyoto sur la réduction des gaz à effet de serre sous prétexte que cela menaçait la vitalité économique des Etats Unis. Or, la Chine se targuait d'avoir augmenté son PIB de 33 % entre 1995 et 2000 tout en ayant abaissé sa production de charbon de 1400 à 1000 millions de tonnes... En juge de paix, l'Agence internationale de l'énergie vient de revoir les statistiques chinoises et arrive à une réduction de 17 %, soit

## Les organismes marins très sensibles au CO<sub>2</sub>

Pour diminuer les rejets de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) liés à l'activité humaine dans l'atmosphère et limiter le réchauffement du climat par effet de serre, l'une des solutions proposées consiste à injecter le CO<sub>2</sub> au fond de l'océan (voir *Science & Vie* n° 1006 p. 26). Mais le remède pourrait être pire que le mal, selon deux spécialistes américains de biologie marine. Les animaux et les micro-organismes vivant dans les grandes profondeurs sont très sensibles aux variations de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'eau de mer. Une augmentation se traduit par un accroissement de l'acidité de l'eau. Les organismes marins compensent en réduisant leur métabolisme, leur croissance et leur reproduction. Ainsi, l'injection de CO<sub>2</sub> pourrait perturber l'écosystème des grands fonds, voire plus.

H. G.

LA SCIENCE SE LIVRE 2002  
LES 4 ÉLÉMENTS

“eau, terre, air et feu”

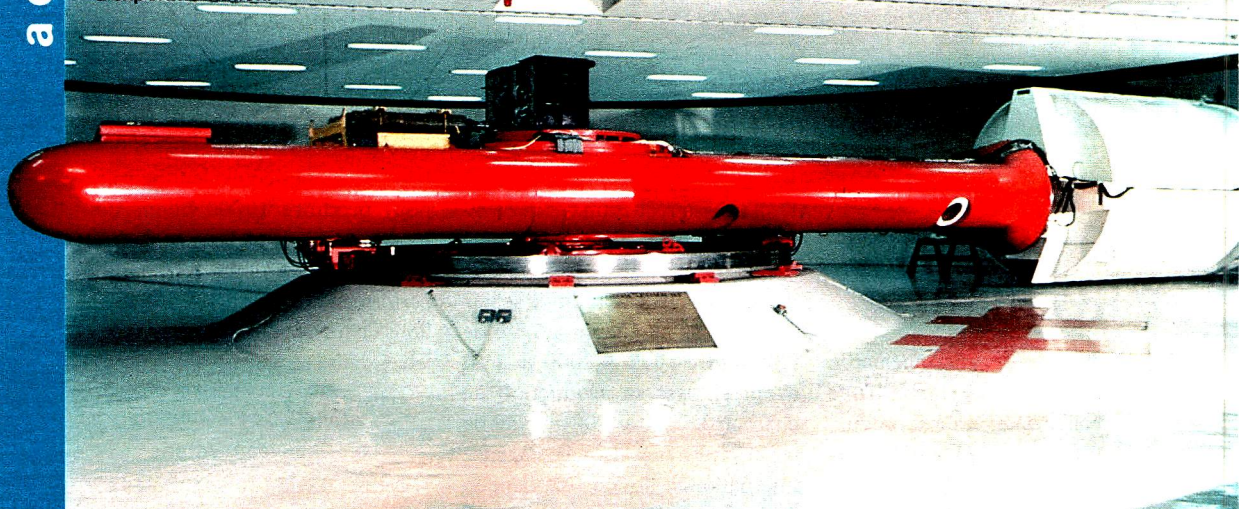
Du 19 janvier au 19 février,  
rencontrez les chercheurs dans les  
bibliothèques des Hauts-de-Seine :  
débats avec des scientifiques,  
expositions, ateliers et spectacles.

Renseignements : ADAC 92  
Tél. : 01 47 29 30 31  
e-mail : [adac92@cg92.fr](mailto:adac92@cg92.fr)  
[www.hauts-de-seine.net](http://www.hauts-de-seine.net)





Dotée d'un bras horizontal de 10 m, la centrifugeuse fait tourner à très grande vitesse une cabine d'expérimentation.



# Une machine à déjouer la pollution

**Grâce à une étonnante centrifugeuse, l'évolution de quatre siècles de produits toxiques infiltrés dans les sous-sols peut être simulée en une heure!**

**O**n le sait, les boues des stations d'épuration urbaines sont riches en métaux lourds. Mais que deviennent ceux-ci une fois que les boues sont épanchées sur les sols agricoles ou forestiers pour les fertiliser? Si nombre de modèles théoriques répondent déjà, de récents travaux menés au Centre scientifique et technique d'Aquitaine (CESTA), permettent d'y voir encore plus clair. Cela grâce à une centrifugeuse qui accélère artificiellement la dispersion dans le sol des métaux lourds entraînés par les eaux de pluie et simule leur infiltration dans les profondeurs. résultat : en une heure, ce ne sont pas moins

de 420 années de migration souterraine qui ont ainsi pu être reproduites! Il faut dire que la centrifugeuse du CESTA effectue des prouesses avec son bras horizontal de 10 mètres qui fait tourner à grande vitesse une cabine d'expérimentation. Laquelle peut atteindre une accélération de plusieurs dizaines de g (unité d'accélération de la pesanteur)! Encore en cours d'analyse, les résultats de cette simulation doivent permettre de déterminer si les métaux lourds sont susceptibles de s'enfoncer assez profondément dans le sol pour contaminer les nappes phréatiques et, si c'est le cas, en combien de temps. Des mesures évidemment très attendues.



## CONSTRUCTION

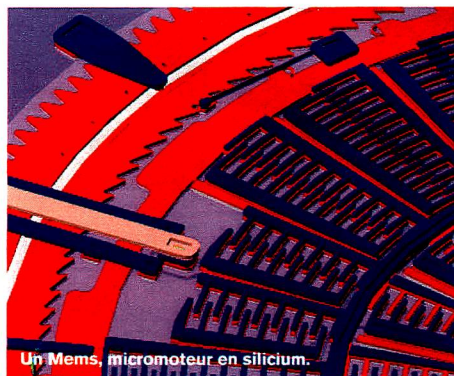
# Le béton mieux armé

L'effondrement d'un bâtiment en béton armé, à la suite d'une explosion ou d'un tremblement de terre, a toujours pour conséquence dramatique de "piéger" les occupants sous des tonnes de gravats et de ciment. Le béton armé se disloque en effet sous le choc, le ciment se détachant des barres d'acier qui le renforcent. C'est pour remédier à ce problème que le Pr Neven Krstulovic-Opara, de l'université d'Etat de Caroline du Nord, aux Etats-Unis, a eu l'idée d'améliorer une technique inventée par James Romuldi, de l'université Carnegie Mellon. Le principe ? Plutôt que de barres épaisses, le béton armé est constitué d'un réseau de fibres d'acier. Lesquelles sont fabriquées à partir d'acier recyclé et se présentent sous la forme de rouleaux qui peuvent prendre une forme voulue, en fonction de la structure à édifier. Du ciment liquide est alors coulé dans ces fibres, un peu à la manière dont on fabrique les composites. La technique peut également être utilisée pour rénover des éléments anciens de construction, les réseaux de fibres étant alors placés sur les éléments (piliers, murs, etc.), avant d'y injecter du ciment liquide.

## NANOTECHNOLOGIE

# Le virtuel avant le réel

Les micromachines sont partout. Que ce soit dans nos machines à laver, nos voitures ou les télécommunications, ces minuscules engins de silicium (ou MEMs, pour MicroElectrical Systems) demandent aux ingénieurs beaucoup d'astuce pour les fabriquer. Or, ils s'aperçoivent souvent, une fois le prototype réalisé, que leur invention ne fonctionne pas comme prévu. « Ce n'est pas du tout évident de créer des machines en 3D à partir de la superposition de couches minces appliquées successivement à l'aide de masques, selon la méthode du "pochoir" », explique Craig Jorgensen des Sandia National Laboratories, à Albuquerque (Etats-Unis). Il fallait donc aux ingénieurs un logiciel qui modélise leurs créations pour en détecter les défauts avant de passer à la fabrication. Il vient d'être mis au point.



En deux dimensions, il permet de voir si une pièce que l'on souhaite mobile sera libre de bouger ou non, par exemple. En trois dimensions, c'est toute la complexité géométrique de la structure qui deviendra visible sous tous les angles. L'équipe espère passer ensuite à l'animation : on verra alors fonctionner la micromachine avant même de l'avoir construite... Ph. C.

SANDIA NATIONAL LABORATORIES

## DÉTECTION

# LES MOBILES JOUENT LES RADARS

■ Les antennes-relais pour les réseaux de téléphones cellulaires constituent un moyen de détecter les avions dits furtifs qui échappent aux radars classiques. Conçus pour diffracter les ondes électromagnétiques des radars, ces avions provoquent en effet une brève interruption dans les transmissions lorsqu'ils passent à travers les ondes émises par les portables vers les antennes-relais. Ce qui peut permettre de les localiser. « Furtifs ou non, tous les avions ont le même effet perturbateur sur les transmissions téléphoniques, mais il est possible de distinguer les appareils furtifs

des autres, car eux n'apparaissent pas sur les radars », explique Hugh Brownstone, de l'Intergron Research Center de New York. Reste que cette comparaison des données radars avec des interruptions de communication suppose d'énormes puissances de calcul... qui ne sont pas à la portée de tous les pays. Les réseaux de téléphones cellulaires les plus denses, donc les plus susceptibles d'être utilisés pour la détection des avions furtifs, se trouvent prioritairement aux Etats-Unis, qui comptent quelque 100 000 antennes-relais, et en Europe, qui en totalise pour sa part 210 000.



# Le logiciel trieur de poulets



W. DALEY

**D**es chercheurs américains du Georgia Institute of Technology ont commencé d'expérimenter un système de contrôle des chaînes d'abattage et de conditionnement des poulets qui permet de repérer les carcasses présentant des défauts et de les éliminer dès que l'animal a été tué. L'expérimentation en vraie grandeur se déroule au sein d'une entreprise de conditionnement de volailles de la ville de Carrollton, en Géorgie. Des caméras filment en continu les poulets qui viennent d'être abattus. Un logiciel détecte sur les images

ainsi obtenues ceux qui n'ont pas été correctement saignés, ou qui portent des signes apparents de maladie comme une septicémie ou une toxémie (provoquée par l'accumulation de poisons dans l'organisme). Le système de surveillance commande alors un mécanisme de tri qui prélève les poulets défectueux et les écar-

## EMBALLAGES

### Alerte bleue

Le Centre national de recherches techniques finlandais a mis au point un emballage qui change de couleur s'il présente un défaut d'isolement. Destiné aux produits alimentaires périssables, cet emballage est doté d'un indicateur de couleur blanche, qui devient bleu sitôt que de l'oxygène pénètre dans l'emballage.

## CONSOMMATION

### Traçabilité à l'oreille

La société Charolais France a passé commande de boucles d'oreille qui permettront de suivre à la trace les veaux de race charolaise nés en 2001. Le principe de ce système de marquage est simple : lorsqu'on agrafe la boucle sur l'oreille d'un animal, une partie mobile cylindrique s'en détache, qui permet d'extraire un bout de cartilage (donc d'ADN) ; on obtient ainsi une identification de l'animal, "convertie" ensuite en un code à barres sur la boucle et sur le cylindre qui sert de repère. Une fois que la bête est abattue, ses quartiers de viande sont à leur tour marqués avec ce code à barres. Sa lecture jusque chez le boucher écarte dès lors tout risque de confusion entre différents animaux.

## AUTOMOBILE

### VOILÀ LES PNEUS EN PLASTIQUE !

■ Les deux équipementiers américains Goodyear et Amerityre viennent de signer un accord de coopération pour développer des pneus en mousse d'uréthane destinés aux véhicules automobiles. Amerityre, qui utilise déjà cette technologie pour fabriquer des pneus pour bicyclettes, brouettes et autres tondeuses à gazon, affirme l'avoir étendue à la réalisation de

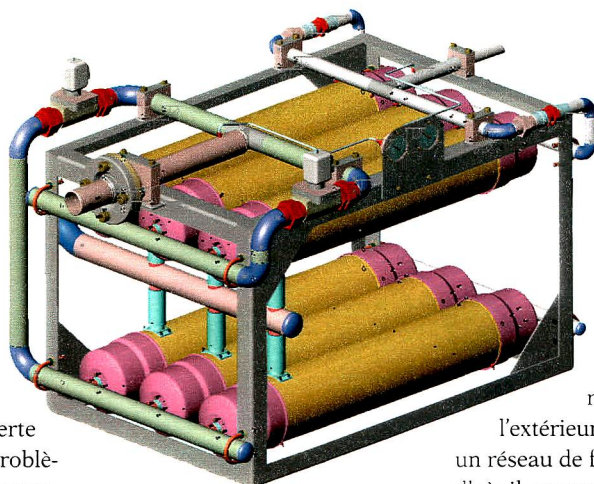
pneumatiques de beaucoup plus grandes dimensions, comme ceux des voitures. L'avantage de l'uréthane ? Non seulement il présente une excellente résistance, mais son processus de fabrication est très simple, souligne Amerityre. De plus, sa production n'est pas soumise aux incessantes variations de prix du caoutchouc habituellement utilisé...



## AÉRONAUTIQUE

# Sécurité écologique en soute

**P**our lutter contre les incendies qui pourraient se déclencher dans les soutes, les avions commerciaux sont équipés d'un système qui vaporise du halon, un gaz inerte qui inhibe la combustion. Problème : le halon est fortement soupçonné de détruire la couche d'ozone qui entoure la Terre. Et si son utilisation est encore autorisée à bord des avions, on sait qu'elle sera, à terme, interdite. Un groupe de sociétés européennes, sous l'égide de la société European Aeronautic Defence and Space (EADS), travaille donc à la mise au point d'un système anti-incendie "écologique".



Représentation en 3D du prototype de générateur d'azote. Ce gaz devrait remplacer le halon dans les systèmes anti-incendie des avions.

L'idée retenue est de combiner la vaporisation d'azote – un gaz neutre, bien moins efficace que le halon – avec celle d'un brouillard d'eau, qui améliore son pouvoir anticombustion. Cependant, l'export d'eau et d'azote représente un poids non négligeable. Du coup, les équipementiers européens testent un générateur d'azote, mis au point

par le groupe français Air Liquide. L'idée est simple : un compresseur dirige de l'air prélevé à l'extérieur de l'avion à travers un réseau de fibres de polymères, d'où il ressort enrichi en azote. Autre avantage : le système pourra fonctionner en continu, sans craindre l'épuisement d'un réservoir. Le générateur devrait être validé d'ici à la fin de l'année, après des essais sur des feux divers.

A collaboré à cette rubrique :  
**Philippe Chambon.**

## 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



12 mensuels + 4 hors série  
trimestriels de SCIENCE & VIE  
+ en cadeau le premier numéro  
de SCIENCE & VIE

**49,90 €**  
327,32 F  
seulement

**Oui** je m'abonne **1 an** à SCIENCE & VIE  
et à ses hors série, soit 12 mensuels + 4  
trimestriels thématiques.

Je recevrai en cadeau de bienvenue le premier numéro  
de SCIENCE & VIE \*.

● je règle la somme de **49,90 €** (327,32 F) seulement soit deux numéros gratuits

Nom \_\_\_\_\_  
Prénom \_\_\_\_\_  
Adresse \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Code postal \_\_\_\_\_  
Ville \_\_\_\_\_  
Tél. \_\_\_\_\_  
E-mail \_\_\_\_\_

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

\* délai de réception de 3 à 4 semaines à  
partir du règlement de votre abonnement et  
dans la limite des stocks disponibles.  
\*\* au lieu de 376 F prix de vente des  
magazines chez votre marchand de journaux.

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 2002 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE METROPOLITAINE.

**Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08**

Conformément à la loi informatique et Liberté du 6/12/78, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

SV 1012





Le Pr Capdevila, de l'hôpital Lapeyronie, à Montpellier, applique dans son service une méthode d'analgésie inédite en France.

# Un biberon contre la douleur

**Une nouvelle méthode d'anesthésie aide les enfants à mieux supporter les suites de la chirurgie orthopédique.**

**L**orsqu'un enfant subit une opération orthopédique sous anesthésie générale, le réveil est douloureux. On le soulage de plus en plus souvent à l'aide d'une pompe à morphine, mais ce produit peut entraîner des nausées et des vomissements. Pour la première fois en France, un nouveau matériel d'analgésie est utilisé de-

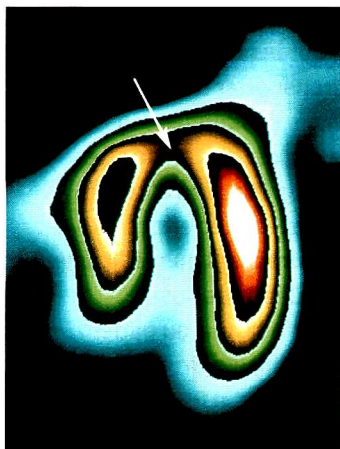
puis quelques mois dans le service d'anesthésie-réanimation du Pr Xavier Capdevila (hôpital Lapeyronie, Montpellier). L'enfant est endormi par une anesthésie loco-régionale, qui n'insensibilise que la partie du corps nécessitant l'intervention chirurgicale. Le cathéter qui a été utilisé est laissé en place et sert à injecter, après l'opération, le même anesthésique, mais à des doses bien plus faibles. L'effet recherché à ce moment-là est d'empêcher la sensation de douleur. Une pompe en silicone rétractable, appelée "biberon", est branchée au cathéter. Elle permet de diffuser en continu l'analgésique pendant 48 à 72 heures. Son débit est préréglé, elle ne nécessite aucune intervention du patient ou du personnel

soignant une fois installée. Ce "biberon" étant léger et maniable, l'enfant peut ainsi se déplacer avec sans difficulté. « Grâce à ce nouveau dispositif, les enfants peuvent aller en salle de jeu quelques heures après l'opération, souligne le Pr Capdevila. Retrouver rapidement une mobilité, sans souffrance, ce qui est très important, à la fois pour le moral de l'enfant et pour sa rééducation. » Reste que les médecins formés à l'anesthésie loco-régionale sont trop peu nombreux en France. « Nous avons besoin de moyens pour former les anesthésistes et pour acheter ces biberons », insiste le Pr Capdevila, qui a exposé, en novembre dernier, l'intérêt de ces techniques devant l'Assemblée nationale. **S. C.**



## L'hormone de l'infarctus

Dans les mois à venir, les personnes présentant des problèmes coronariens pourraient bénéficier d'un test prédictif de l'infarctus. Il consiste à mesurer dans le sang le taux de BNP (Brain Natriuretic Peptide), une hormone sécrétée au niveau du cœur et impliquée



CENTRE J. PERRIN, CLERMONT-FERRAND/CNFR

Doser le BNP dans le sang éviterait l'infarctus du myocarde (flèche).

dans l'élimination urinaire du sodium. Pour mettre au point le test, l'équipe du Dr James de Lemos, du Centre de recherche cardiovasculaire à l'université du Texas, à Dallas, a suivi, pendant un an, 2525 patients volontaires, dont une moitié a déjà fait un infarctus et dont l'autre souffre d'angine de poitrine. Les chercheurs ont constaté que plus leur taux de BNP est élevé, plus le risque d'attaque cardiaque est imminent. P. R.

## L'ACACIA PRÉVIENT LE CANCER

■ Extraites d'*Acacia victoriae*, un arbre du désert australien, des molécules appelées avicine auraient un effet inhibiteur sur le cancer de la peau... chez la souris. Des chercheurs des universités du Texas et d'Arizona ont découvert que moins d'un tiers des souris prétraitées avec de l'avicine ont développé un cancer lorsqu'elles ont été exposées à des composés cancérogènes. Et parmi les cancéreuses, le nombre de tumeurs

était réduit de 90 % par rapport aux souris non traitées à l'avicine. L'avicine inhibe un processus naturel qui protège les cellules contre leur mort programmée (l'apoptose) et les empêche de s'autodétruire quand un dysfonctionnement les rend cancéreuses. Grâce à l'avicine, les cellules peuvent mourir et le risque de cancer est alors plus facilement écarté. Reste à savoir quels seraient les effets sur l'homme. J. C.

## DERMATOLOGIE

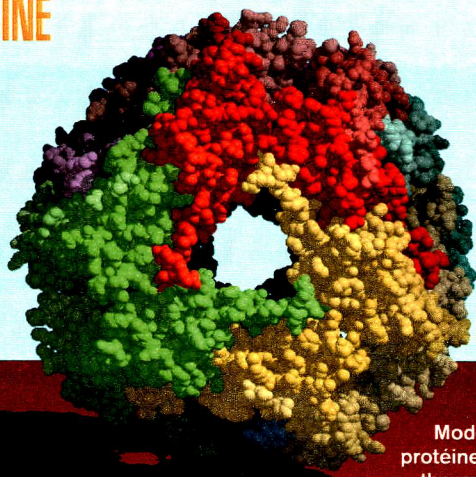
# Le Roaccutane sous haute surveillance

**L**e traitement de l'acné sévère par le Roaccutane (isotrétinoïne) est dangereux pour les femmes enceintes : il provoque des malformations fœtales dans un cas sur trois. Deux enquêtes (1995 et 1999) du centre de pharmacovigilance de Tours montrent que l'incidence des grossesses exposées au Roaccutane ne diminue pourtant pas (environ 0,6 pour 1 000 femmes en âge de procréer). L'Afssaps (Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé) a donc décidé de rendre plus strictes les conditions de prescription et de délivrance de ce médicament. Jusqu'ici, les femmes devaient s'engager à prendre une pilule contraceptive et présenter à leur médecin un test de grossesse négatif, réalisé au maximum trois jours avant la prescription. Désormais, le test doit être fait

le deuxième ou le troisième jour du cycle menstruel, afin d'éviter de prescrire du Roaccutane à une femme qui vient de tomber enceinte. Le traitement doit commencer au plus tard sept jours après le test. Au-delà, les pharmaciens doivent donc refuser de délivrer le médicament. Les femmes doivent retourner tous les mois voir leur médecin pour renouveler leur ordonnance, et non plus tous les deux mois. Ceci pour vérifier chaque mois le test de grossesse et éviter qu'une patiente ne donne ses comprimés "en trop" à une amie, sans consultation médicale. En effet, selon l'enquête de 1999, 16 % des grossesses sont survenues chez des femmes ayant pris du Roaccutane en automédication. Enfin, sur les notices explicatives, des schémas ont été ajoutés, montrant les malformations pouvant être causées par ce traitement. S. C.







Modélisation de protéines du stress thermique (HSP).

BIOREX

## CARDIOLOGIE

# Du nouveau pour la chirurgie cardiaque

**A**u cours d'une intervention chirurgicale sur le cœur, les tissus non irrigués par le sang se nécrosent. Cependant, des protéines naturelles, dites protéines du stress thermique (Heat-Shock-Proteins, ou HSP, en anglais), tentent de lutter contre ce phénomène. D'où l'idée de Kenneth Diller, de l'université du Texas, à Austin, d'augmenter la production de HSP. Grâce à elles, des cellules ayant résisté à un stress de moyenne intensité sont capables d'affronter ensuite une

agression plus forte. Aggression qui leur aurait été fatale si elles n'y avaient pas été préparées.

Les chercheurs ont déterminé, sur des tissus cardiaques bovins, la température à laquelle il faut porter les tissus et le temps de chauffage nécessaire pour favoriser la production de ces protéines protectrices. Appliquée aux patients avant l'opération, cette technique devrait accélérer leur récupération. Mais il faudra employer des méthodes de chauffages des tissus non invasives, telles que les ultrasons. **J. C.**

## PHARMACOLOGIE

# LA SUEUR, NOUVEL ANTIBIOTIQUE

■ Une équipe allemande de l'université de Tübingen, dirigée par le Dr Birgit Schitteck, a mis en évidence dans les glandes sudoripares et la sueur un peptide, la dermcidine, ayant une action antibactérienne et antifongique sur de nombreux agents pathogènes. En particulier la substance se montre très active contre *Escherichia coli*, responsable de troubles intesti-

naux, *Staphylococcus aureus* (doré), cause de furoncles et d'anthrax, *Candida albicans*, un champignon à l'origine d'affections cutanées (ou candidoses). La dermcidine, dont les chercheurs ont également identifié le gène qui la code, est constituée de 47 acides aminés. Produite par génie génétique, elle pourrait donner lieu à un nouvel antibiotique. **P. R.**

## PHARMACOLOGIE

# Le remède activé par le mal

Des chercheurs suisses ont mis au point un nouveau concept de prodrogue baptisé DAD (Disease Activated Drug). Très utilisées en cancérologie, les prodrogues combinent un principe actif et un groupement assurant une fonction annexe, telle que faciliter l'acheminement de la partie réactive au sein de la tumeur. Pour les DAD, pas question de transporter le principe actif mais de bloquer son activité s'il n'est pas sur le site à traiter. Ce type d'action limiterait les effets secondaires du médicament et réduirait les doses administrées au patient. L'équipe de Brigitte Charpiot, de Novartis Pharma Recherche, a synthétisé deux types de constructions. Les premières intègrent le principe actif lié à un groupement chimique qui le désactive. Les secondes sont constituées de deux principes actifs restant inertes tant que le lien chimique qui les unit n'est pas coupé. Le concept DAD est particulièrement adapté aux maladies inflammatoires chroniques comme l'asthme. Dans ce cadre, il a été testé *in vivo* sur des cochons de Guinée. Résultat probant, puisque la molécule active n'a été libérée que chez les rongeurs dont les poumons étaient enflammés. **S.R.-C.**



## NICOTINE ANTI-TICS

■ Faire une grimace ou une pirouette, aboyer ou proférer sans le vouloir des insanités... Voilà quelques-unes des manifestations du syndrome de Gilles de la Tourette qui affecte plusieurs milliers de personnes en France (20 000 selon l'association des malades). Ce trouble neurologique, qui se déclare dès l'enfance, est généralement traité par des tranquillisants du type Halopéridol. Malheureusement, ils ne font pas toujours disparaître la totalité des tics et rendent les patients léthargiques. D'après une étude menée en

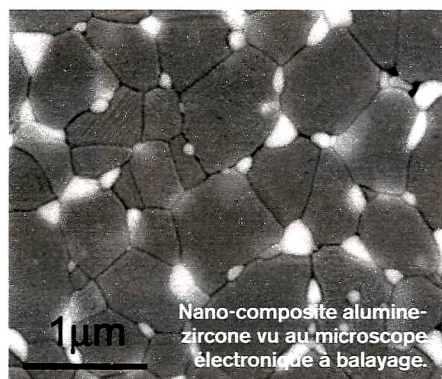
double aveugle par des chercheurs de l'université de Floride du Sud, associer des patchs à la nicotine à l'Halopéridol permettrait non seulement de diminuer les tics, mais aussi d'utiliser une dose moindre de tranquillisant. Les enfants et les adolescents sur lesquels a été menée l'étude n'ont pas montré d'accoutumance à la nicotine. Cependant, compte tenu des autres effets secondaires (nausées, vertiges), les patchs ne devraient être donnés qu'à titre occasionnel et être réservés aux personnes contrôlant le moins bien leurs symptômes. **S. R.-C.**

## Le cerveau protégé par le cannabis?

Les études menées sur la plante de cannabis avaient déjà permis de repérer les récepteurs des neurones sur lesquels cette drogue agit : elle intervient en se substituant à des molécules endogènes, les endocannabinoides. Une étude menée par des chercheurs israéliens vient de démontrer que l'une d'entre elles, le 2-arachidonyl-glycérol (2-AG), protégerait le cerveau après un traumatisme. L'équipe dirigée par Esther Shohami, du département de pharmacologie de l'université de Jérusalem, a constaté une élévation significative de la concentration en 2-AG dans le cerveau des souris présentant des lésions. Les chercheurs, après leur avoir administré du 2-AG synthétique, ont constaté une diminution considérable des œdèmes cérébraux et de la mortalité des cellules de la région de l'hippocampe, en comparaison avec les groupes de souris non traitées. **M. V.**

## ORTHOPÉDIE

# Hanche à toute épreuve



Nano-composite alumine-zircone vu au microscope électronique à balayage.

J. CHEVALIER/INSA LYON

frottement des matériaux durant la marche – qui engendrent des réactions inflammatoires chroniques et, à terme, la nécessité de remplacer la prothèse », souligne Jérôme Chevalier.

Autre point fort : une résistance deux fois plus élevée que celle des céramiques utilisées jusqu'ici... « Grâce à l'effet

**U**ne prothèse de hanche que l'on pourrait garder plus de trente ans, contre dix ans aujourd'hui. Voilà ce que nous promet l'équipe de Jérôme Chevalier (Insa, à Lyon), grâce à une nouvelle génération de céramique : un nano-composite alumine-zircone. Avantage : aucun débris d'usure détectable.

« Or ce sont ces débris – dus au

composite, note Jérôme Chevalier. Le mélange alumine-zircone permet d'obtenir une céramique insensible aux liquides physiologiques – alors que la zircone seule peut se fissurer plus facilement dans l'organisme – et beaucoup plus résistante que l'alumine ou la zircone seules. »

Reste à effectuer les tests sur des volontaires. **C. P.**

Ont collaboré à cette rubrique : Sandrine Chauvard, Julie Coquart, Catherine Pagan, Sylvie Redon-Clauzard, Pierre Rossion, Mathilde Vaudon.



# COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION

## DES HORS SÉRIE DE SCIENCE & VIE

### ET COMMANDEZ CEUX QUI VOUS MANQUENT

Tous les trois mois, les hors série de **Science & Vie** traitent de façon exhaustive un grand sujet de notre temps. Chaque hors série fait le tour complet d'une question d'actualité scientifique.



N° 193  
Attention Virus



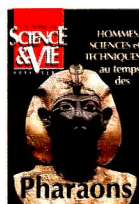
N° 194  
Où va la Défense Française



N° 195  
A quoi sert le cerveau ?



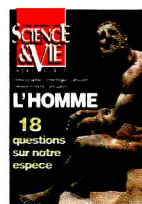
N° 196  
Les nouvelles planètes



N° 197  
Pharaons



N° 198  
Les grandes énigmes scientifiques



N° 200  
L'Homme



N° 201  
Les chefs-d'œuvre du génie humain



N° 202  
Les grandes expéditions scientifiques



N° 203  
Dossier France



N° 204  
Le cerveau et le mouvement



N° 206  
Dossier dopage



N° 208 **épuisé**  
Alimentation



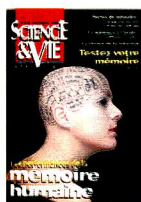
N° 209  
Thèbes : Pharaons dans la cité des dieux



N° 210  
L'embryon



N° 211  
Menaces sur l'eau



N° 212  
La mémoire humaine



N° 213  
Les mondes disparus



N° 214  
Énergie : les défis à venir



N° 215  
Aviation 2001



N° 216  
L'œil et la vision

## BON DE COMMANDE

à retourner sous pli affranchi avec votre règlement à SCIENCE & VIE - Service VPC - 1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris Cedex 15

**Oui**

je commande les numéros suivants de **SCIENCE & VIE HORS SÉRIE\***:

N° \_\_\_\_\_  
soit \_\_\_\_\_ numéros à 5,03 € (33 F) franco  
l'un (étranger : 6,10 € (40 F))

☒ **OUI**, je commande \_\_\_\_\_ reliures\*  
**Science & Vie** au prix de 14,08 € (95 F) (France),  
16,77 € (110 F) pour l'étranger

☒ Je joins mon règlement total de \_\_\_\_\_ €  
à l'ordre de SCIENCE & VIE par chèque bancaire ou postal

Pour protéger et consulter facilement vos numéros, rangez-les dans de superbes reliures. De couleur bordeaux, marquée SCIENCE & VIE, chaque reliure permet de classer 12 mensuels.

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

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

Ville \_\_\_\_\_

Si vous êtes abonné à **Science & Vie**,  
merci d'indiquer votre numéro \_\_\_\_\_

Etranger: mandat international ou chèque compensable à Paris  
\* Délai de livraison 4 à 6 semaines, et dans la limite des stocks disponibles.

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

Offres valables dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 31/03/2002.



# LE POUVOIR ABSOLU DES ARMES ÉLECTRONIQUES

Bombes GPS, drones armés,  
mini-bombes atomiques...



“Liberté immuable”,  
phase 1 \_\_\_\_\_ 42



Avions, drones, bombes...  
et technologies \_\_\_\_\_ 62



L'or noir  
au cœur de la guerre \_\_\_\_\_ 78



PAR MARTIN CRAG ET MATTHIEU CROCO  
DOSSIER COORDONNÉ PAR AKÉLA SARI

SPÉCIAL GUERRE

OPÉRATIONS

ARSENAL

ENJEU



# "LIBERTÉ IMMUABLE", PHASE 1

PAR MARTIN CRAG

Moins d'un mois après les attentats à New York du 11 septembre, la riposte américaine s'est abattue sur le sol afghan. L'opération "Liberté immuable" a déployé une armada impressionnante. Objectif : mettre à genoux le régime taliban. Récit d'une stratégie militaire.

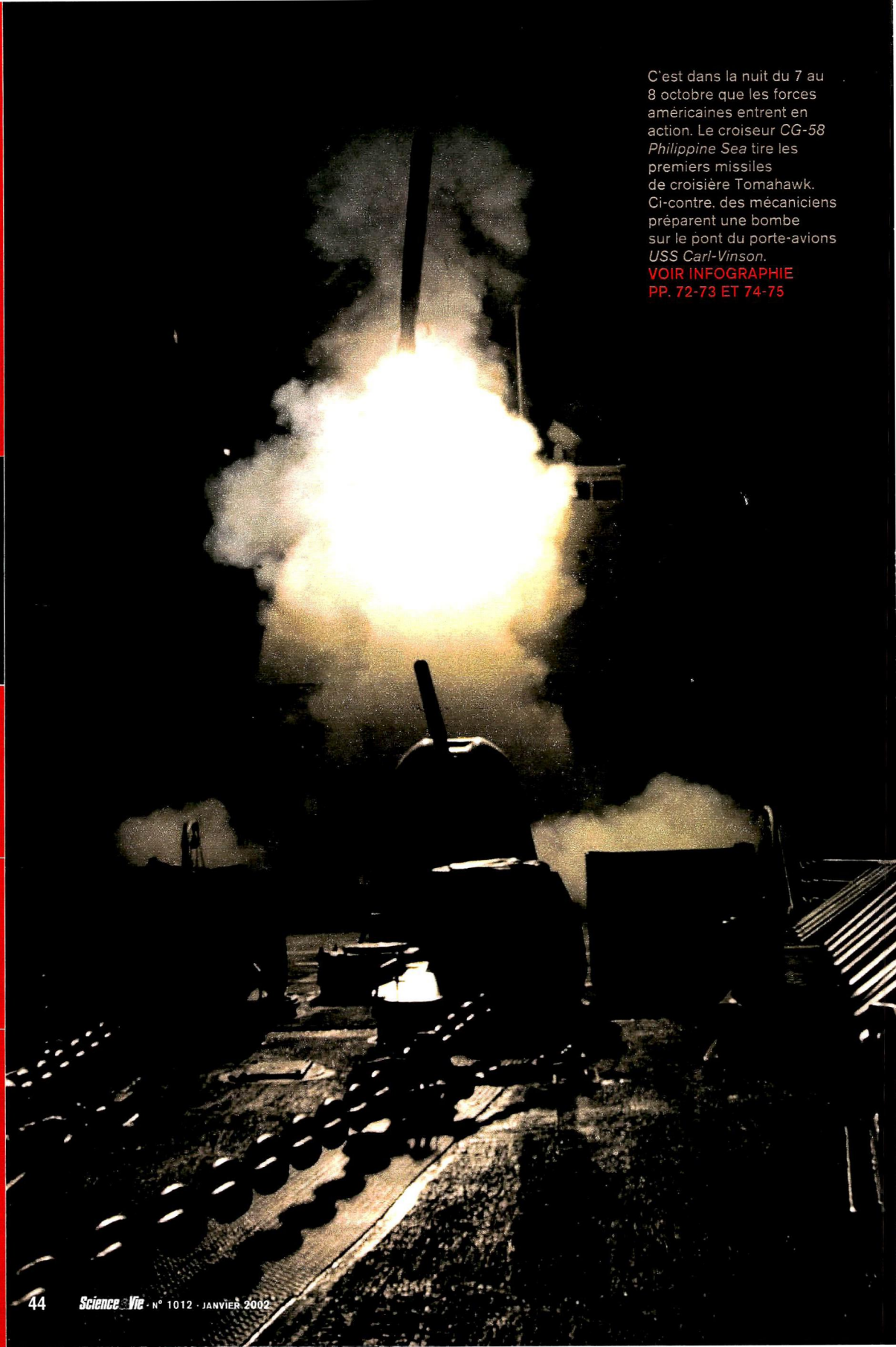
Dans la nuit du 11 octobre, un chasseur F/A-18C décolle pour une mission d'attaque du porte-avions *USS Enterprise*, en mer d'Arabie.





**L**a première guerre du **xxi<sup>e</sup> siècle** a commencé par surprise : le 11 septembre, lorsque quatre avions commerciaux, transformés en missiles pilotés par des pirates de l'air, ont frappé les Etats-Unis, ils lançaient ce que les stratèges appellent une "frappe préemptive". L'histoire de la guerre est pleine de ces attaques surprises, permettant à l'agresseur d'obtenir un succès rapide. Mais les résultats sont aléatoires, car la manœuvre ne peut fonctionner que si l'on est en mesure de conserver l'avantage acquis. Les attaques surprises appellent le retour de bâton, et nombre de chefs de guerre l'ont

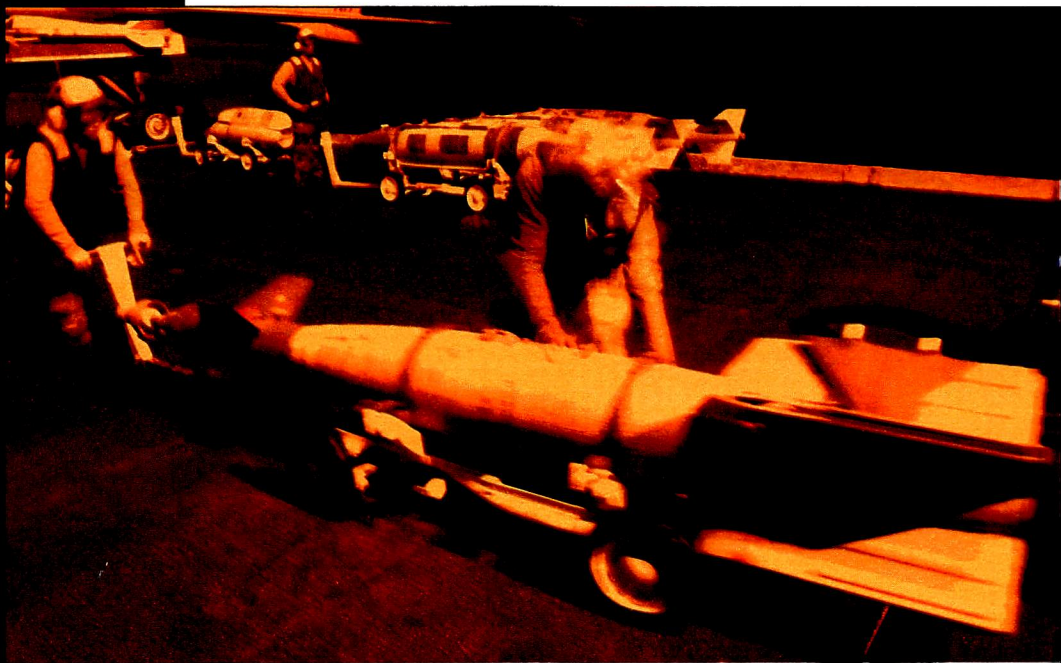




C'est dans la nuit du 7 au 8 octobre que les forces américaines entrent en action. Le croiseur CG-58 *Philippine Sea* tire les premiers missiles de croisière Tomahawk. Ci-contre, des mécaniciens préparent une bombe sur le pont du porte-avions *USS Carl-Vinson*.

**VOIR INFOGRAPHIE**  
**PP. 72-73 ET 74-75**





appris à leurs dépens : prudence, quand on s'en prend à plus fort que soi...

En fondant sur Pearl Harbor un matin de décembre 1941, les Japonais n'imaginaient pas qu'ils signaient du même coup la fin inéluctable de leur empire. Et si Saddam Hussein a pu, à deux reprises, s'en prendre sans préavis à ses voisins, en 1980 contre l'Iran, et en 1990 contre le Koweït, il doit aujourd'hui sa survie au seul fait que les Américains le préfèrent vivant que mort...

### **« NOUS ALLONS CONDUIRE LE MONDE À LA VICTOIRE! »**

Oussama ben Laden, le cerveau présumé des attaques contre les Etats-Unis, n'est pas un stratège comme les autres. Car il a choisi, dans un acte de guerre explicite qui dépasse très largement les formes classiques du terrorisme, de déclencher un conflit dont le but ne consiste pas à contrôler un espace géographique, mais bien à prendre des gages idéologiques; à imposer sa vision du monde à un adversaire "global" qu'il choisit de frapper dans des lieux symboliques : la ville la plus active du monde, le centre du pouvoir financier planétaire, les immeubles emblématiques de la puissance économique américaine, l'état-major de la

première armée du monde, sans parler de l'aspect spectaculaire de l'attaque, au pays d'Hollywood et de CNN, retransmise en direct par les télévisions du monde entier. C'est bien pour cette raison que Ben Laden n'agit plus cette fois comme un terroriste, mais comme un chef de guerre. D'ailleurs, les Etats-Unis ne s'y trompent pas : depuis des années qu'Oussama ben Laden attaquait leurs intérêts à coup de bombes, en ayant provoqué plusieurs centaines de morts (le World Trade Center, à New York, en 1993, la base de Khobar Towers, en Arabie Saoudite, en 1996, les ambassades américaines à Nairobi, au Kenya, et à Dar es-Salaam, en Tanzanie, en 1998, le destroyer *USS Cole* à Aden, au Yémen, en 2000), les Américains n'avaient jamais riposté. Sauf de manière homéopathique. Cette fois-ci, ils ont compris que la guerre était déclenchée, et ils ont entrepris de frapper. Et ça, ils savent faire... Dès le 13 septembre, deux jours après le choc des attentats, George W. Bush lançait à ses concitoyens : « Notre nation doit le comprendre : maintenant que l'on nous a déclaré la guerre, nous allons conduire le monde à la victoire. »

Il faudra tout de même attendre la nuit du 7 au 8 octobre, près d'un mois après

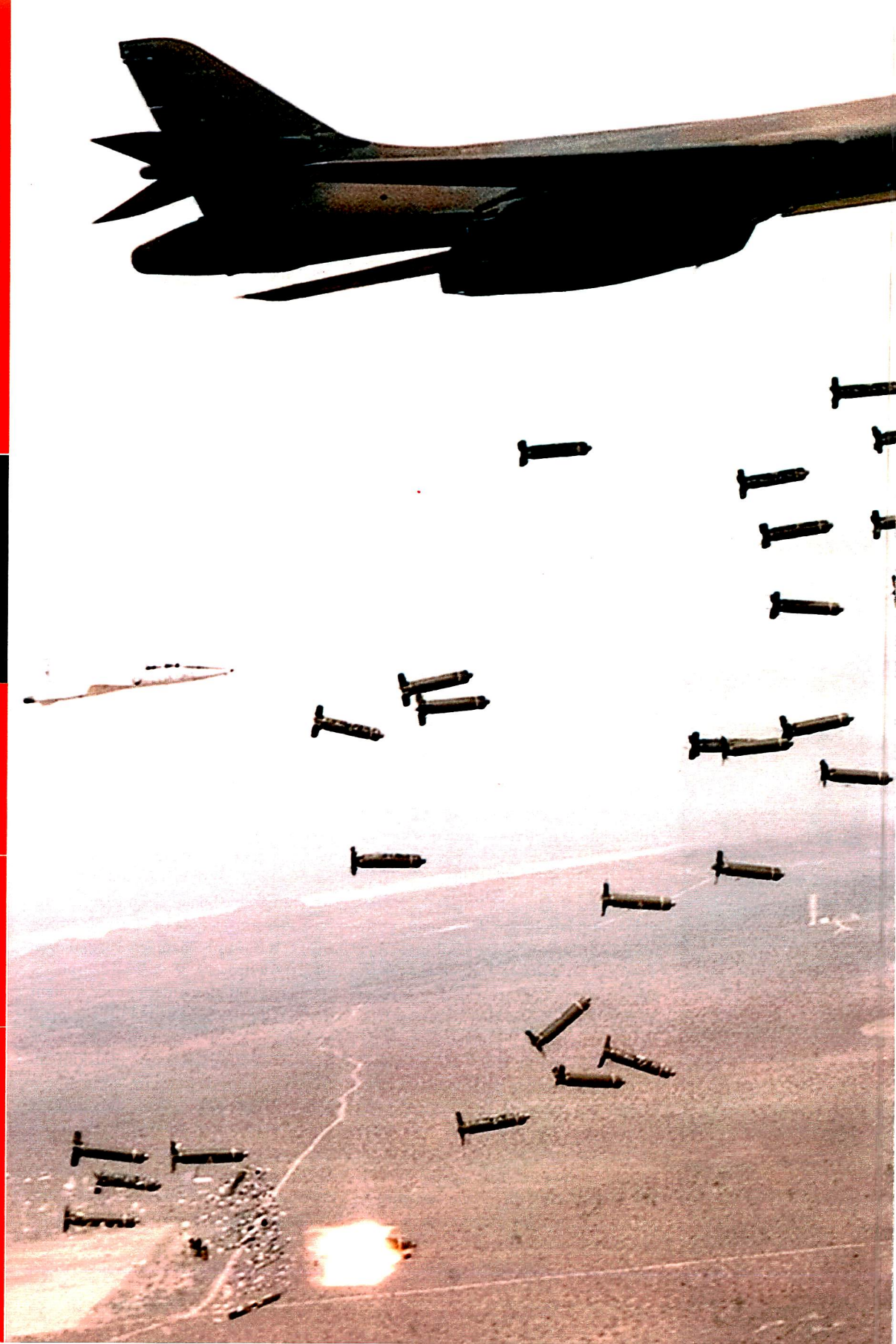


SPÉCIAL GUERRE

▼ OPÉRATIONS

▼ ARSENAL

▼ ENJEU







Redoutable force de frappe, les bombardiers B-1B Lancer vont larguer sur le sol afghan de véritables chapelets de bombes à dispersion.

**VOIR  
INFOGRAPHIE  
P. 74**

U.S. AIR FORCE

les attentats, pour que commencent les frappes contre l'Afghanistan. Si Ben Laden est parvenu à frapper les esprits et à envahir le territoire mental des Américains, ceux-ci décident de répondre classiquement en frappant le territoire de l'Afghanistan et en "prenant possession" du pays qui a donné refuge à Oussama ben Laden, non pas pour l'occuper eux-mêmes, mais pour permettre à une coalition opposée aux taliban au pouvoir de les renverser par les armes. Une guerre se doit d'avoir un but : pour Washington, ce sera avant toute autre considération de mettre Ben Laden hors d'état de nuire. Soit en l'arrêtant, soit en le tuant. Ce que le président américain va traduire par la vieille formule adressée aux chasseurs de prime du Far West : « Mort ou vif ». Et son secrétaire à la Défense Donald Rumsfeld n'hésitera pas à faire état de sa préférence pour la première solution... Toujours est-il qu'à partir du 7 octobre, les Etats-Unis vont mettre en place une stratégie militaire visant à atteindre cet objectif. Elle va s'appuyer sur les théories d'un colonel d'aviation, John Warden, qui avait conçu les frappes aériennes de la guerre du Golfe et celles qui ont été menées contre les forces serbes au Kosovo, en 1999.

### **UNE STRATÉGIE DICTÉE PAR LE PRINCIPE DU "ZÉRO MORT"**

Le premier principe des planificateurs du Pentagone, c'est qu'aucune vie américaine ne doit être perdue. Bien que le président Bush ait très vite averti ses concitoyens qu'ils devaient s'attendre à des pertes, la règle du "zéro mort" – côté ami, naturellement – va une fois encore s'appliquer. Pour aussi étonnant que cela paraisse, la guerre déclenchée le 7 octobre contre l'Afghanistan appartient donc à cette catégorie de conflits qu'il est convenu d'appeler "de faible intensité".

Cette stratégie impose le recours mesuré à des moyens dont les Américains disposent pourtant en abondance, et qui permettent des frappes "à distance de sécurité" : tout d'abord, les missiles de croisière. En déployant, à partir du 19 septembre, de nouveaux navires vers la mer d'Arabie, les groupes de combat accompagnant les



porte-avions *Carl-Vinson* et *Enterprise* – ce dernier remplacé par le *Theodore-Roosevelt* –, rejoints par le *Kitty-Hawk*, l'US Navy n'envoie pas seulement des centaines d'avions et d'hélicoptères : elle dispose de plusieurs centaines de missiles de croisière, tirés de navires de surface et de sous-marins nucléaires d'attaque. Renforcés par des moyens britanniques, ces missiles Tomahawk frapperont la première nuit des sites fortement protégés par de l'artillerie et des missiles anti-aériens dans les régions de Kaboul et de Kandahar.

### **POLÉMIQUE SUR L'EMPLOI DES BOMBES À DISPERSION**

Très vite, ils seront accompagnés par des moyens aériens employés dans des assauts de plusieurs dizaines d'appareils : à basse et moyenne altitude, des chasseurs bombardiers F/A-18 E/F Super Hornet, de l'US Navy, et F-15E, de l'US Air Force vont lar-

guer des missiles très précis AGM-130 et AGM-154, qui frappent leurs cibles avec une marge d'erreur de quelques mètres; de quoi, en principe, éviter les pertes civiles. En fait, celles-ci seront nombreuses... Les bombardiers B-1, B-2 et B-52 opérant à haute altitude utiliseront des armes elles aussi précises, généralement guidées par le système de positionnement par satellites GPS. Ce sont surtout des bombes classiques, à fragmentation ou à dispersion, dotées de petites ailes et d'ailerons leur permettant de franchir quelques kilomètres entre le largage et le point d'impact : les GBU-27/28 Bunker Buster surpuissantes, capables de pénétrer dans la roche ou le béton pour détruire des cibles "durcies". Des polémiques vont rapidement éclater sur l'emploi de bombes à dispersion, les CBU-87, qui larguent 202 petites sous-munitions qui explosent indépendamment, ou qui n'explosent pas,

**Larguées par un bombardier B-52 Stratofortress, les bombes sont guidées par le système JDAM pour que chacune frappe un point désigné par GPS.**  
**VOIR INFOGRAPHIE P. 74**

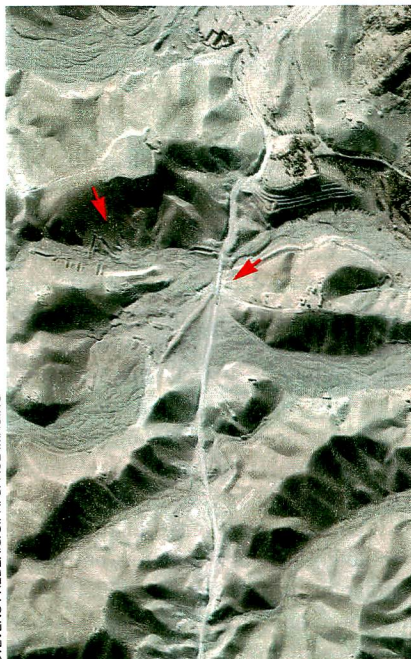




dans plus de 3 % des cas. La zone bombardée se trouve ainsi durablement touchée par une pollution aussi sérieuse que celle provoquée par les mines antipersonnel, avec une circonstance aggravante : les sous-munitions sont de couleur jaune vif, la même que celle des sacs de nourriture largués à titre "humanitaire" dans des zones proches par des avions cargo C-17...

## LA THÉORIE DES CINQ CERCLES

Revenons aux théories du colonel John Warden : il a convaincu l'US Air Force de la justesse de son point de vue, à savoir que l'ennemi est un "système". Doté de fonctions multiples, qui concourent toutes à asseoir le pouvoir que l'on entend combattre. Pour John Warden, tout pouvoir, y compris celui d'un non-Etat comme l'était l'Afghanistan des taliban, peut se décomposer en cinq "cercles" concentriques. A l'extérieur, le cinquième cercle



L'imagerie est devenue un enjeu stratégique primordial. A tel point que les militaires ne laissent rien filtrer sur les satellites d'observation qu'ils utilisent. Sur ces images prises par le satellite civil Ikonos en décembre 1999, près de Jalalabad, on voit un camp d'entraînement terroriste, des entrées de grottes et une colonne de marcheurs. La résolution est de 1 m, tandis que celle des satellites militaires tels que le KH-12 est de 10 cm.

**VOIR  
INFOGRAPHIE  
P. 69**





est composé des combattants défendant le régime. Le quatrième cercle est celui de la population, le troisième celui des infrastructures (routes, aérodromes, etc.), le deuxième celui des communications (radio) et de l'énergie (pétrole, électricité) et le premier celui du pouvoir. Warden explique donc qu'il faut combattre tous les cercles simultanément, pour contraindre le pouvoir central à capituler, privé des moyens d'exercer sa puissance. Et l'on a pu voir durant ce conflit que c'est exactement la stratégie qui a été appliquée, en usant quasi exclusivement de moyens aériens. Lorsque les bombardiers lourds et les chasseurs bombardiers ont effectué un premier "nettoyage" du terrain, lorsqu'ils ont détruit suffisamment de dépôts de nourriture pour achever de couper les maîtres du pays de la population, lorsque les relais de communication ont été anéantis, les "forces spéciales" sont intervenues pour finir le travail.

### TANT QU'OUSSAMA BEN LADEN N'AURA PAS ÉTÉ CAPTURÉ...

Au final, les attaques ont assez affaibli l'adversaire pour que l'Alliance du Nord, alliée conjoncturelle et divisée, le prenne d'assaut et emporte provinces et villes dans une cascade ininterrompue de victoires militaires. L'ennemi était tombé... laissant le champ ouvert pour d'autres affrontements, entre les vainqueurs cette fois. Il est vrai que ce pays ne connaît depuis plus de vingt ans que guerres, massacres, déchirements et combats fratricides. En d'autres temps, comme ce fut le cas, par exemple, durant la guerre du Golfe, les Américains se seraient contentés de ces succès. Mais là, la chute militaire du régime des taliban dont ils se

sont si bien accommodés pendant des années, n'est pas le but qu'ils se sont fixé. Sans doute entendent-ils retrouver, à terme, une influence dans la région. Mais ils veulent d'abord, obstinément et sans répit, la peau de Ben Laden. Près de deux mois après le début de la guerre, ils n'y étaient toujours pas parvenus. Mais c'est pour le traquer, rocher après rocher, grotte après grotte, qu'ils ont progressivement engagé sur le terrain leurs fameuses forces spéciales.

Le rôle des forces spéciales aura été, tout au long de ce conflit, primordial. On sait pourtant peu de choses à leur sujet, sinon qu'elles présentent l'avantage d'être légères, peu nombreuses, très bien entraînées et suréquipées. Certains éléments sont tout de même bien connus. En ce qui concerne les unités aériennes, par exemple, elles sont intervenues dès le début de la guerre, *via* leur cheval de bataille : le C-130 Hercules. La première version de ce monstrueux appareil à avoir été mise en ligne par le Special Operations Command de l'US Air Force est l'AC-130 Spooky. Soit une canonnière volante, plus lourdement équipée qu'un char d'assaut, avec un canon de 105 mm, un canon Gatling GAU-12 tirant 1 800 obus de 25 mm à la minute et un canon Bofors de 40 mm. C'est de cette machine de guerre autant dévastatrice que démoralisante pour l'adversaire que peut être larguée la bombe "daisy cutter" : six tonnes, dont plus de cinq d'explosifs. De fait, lorsqu'il s'est agi de "nettoyer le terrain", de telles bombes ont été lâchées sur les dernières forces de résistance talibanes.

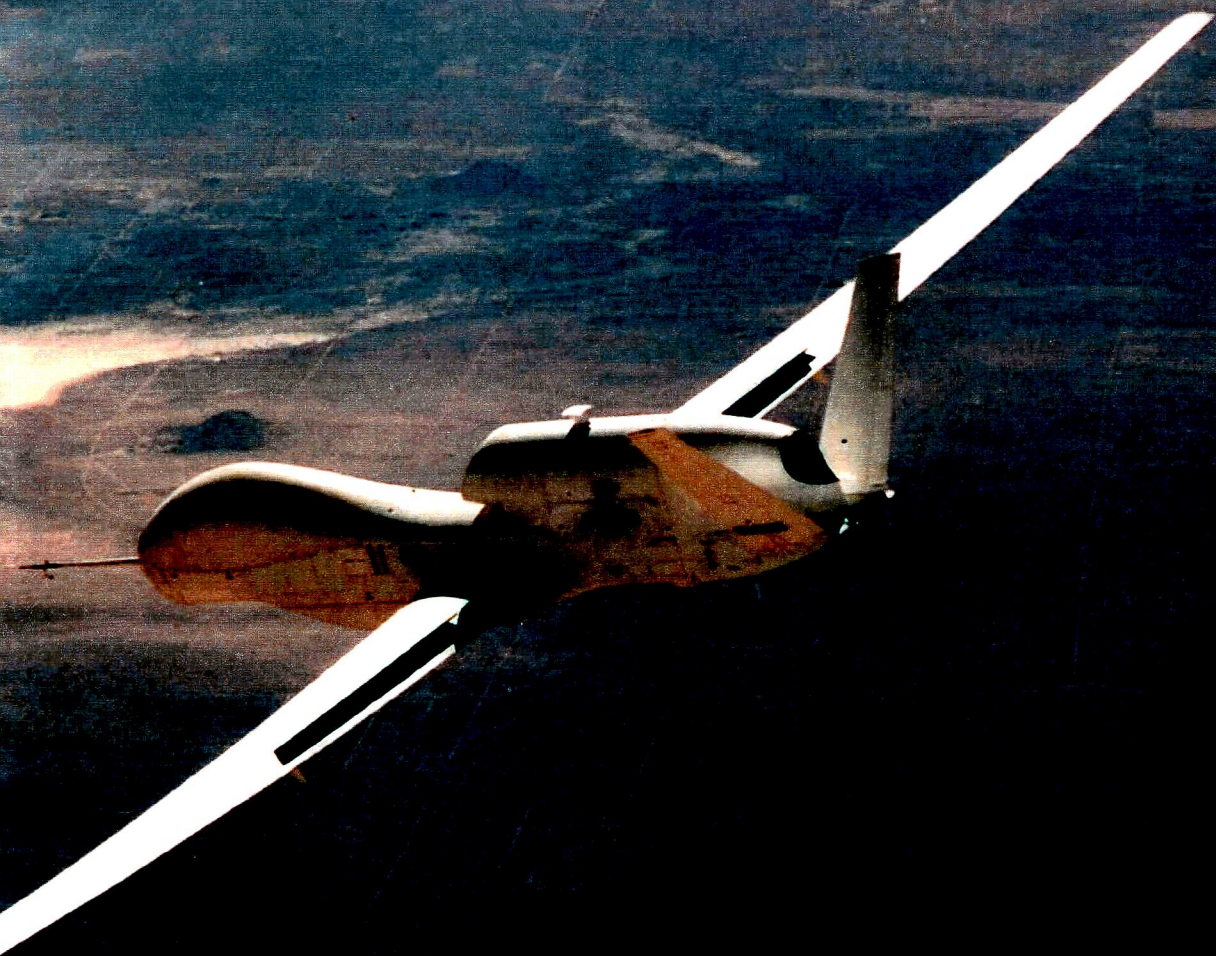
Ce n'est pas tout. Car au moins deux autres versions de l'Hercules ont été utilisées par les forces spéciales. L'EC-130E

Avion radar E8C Joint STARS : ce Boeing modifié repère les cibles afghanes au sol grâce à son radar à ouverture synthétique de 8 mètres, visible sous le flanc de l'appareil.  
**VOIR INFOGRAPHIE PP. 64-65**



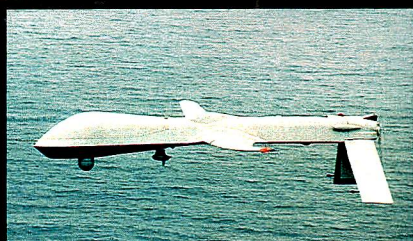
PHOTOS : U.S. AIR FORCE





Les drones (avions sans pilote) transmettent en direct les images vers un satellite de communication. Le Global Hawk (ci-dessus) navigue à 20 000 m, et envoie des images radar. Le Predator (à droite) envoie des images vidéo, et peut tirer des missiles antichars Hellfire.

VOIR  
INFOGRAPHIE  
PP. 70-71





Commando Solo est chargé des opérations "psychologiques" : il vole au-dessus de la zone dont le commandement veut "informer" la population ou les troupes, et il diffuse, dans toutes les bandes radio et télévision imaginables, des messages enregistrés.

### DEUX MILLE "MANGEURS DE SERPENTS" SUR LE TERRAIN

Quant à L'EC-130H Compass Call, il s'agit d'un pur avion de guerre électronique : au plus proche des lignes ennemies, mais à très haute altitude, il brouille les communications adverses.

Début décembre, il était toujours extrêmement difficile de se faire une idée du nombre exact des forces spéciales américaines engagées sur le terrain, qu'il s'agisse des Rangers, de la Delta Force ou des Green Berets du 5<sup>e</sup> groupe de forces spéciales, entraînés pour opérer dans cette partie du monde. Sans doute pas plus d'un ou deux mille de ces "mangeurs de serpents", comme on surnomme ces hommes entraînés à survivre dans des conditions extrêmes. Soit une infime fraction des 46 000 soldats que comptent les forces spéciales américaines, qui consomment un budget de 4 milliards de dollars

D. R. CORBIS

Une bombe "*daisy cutter*" ("tondeuse à pâquerettes") contenant près de 6 tonnes d'explosifs. Elle a été utilisée par les avions des forces spéciales américaines contre des concentrations de troupes talibanes.

VOIR  
INFOGRAPHIE  
P. 75





par an (2 % du budget de la Défense américaine). Ce qui est sûr, c'est que de quelques dizaines d'hommes au début – des Rangers auraient rejoint, peut-être dès le 27 septembre, l'Alliance du Nord –, ces troupes d'élite américaines, renforcées par des soldats britanniques, et peut-être français, étaient passées à quelques centaines au début du mois de décembre. Leur fonction étant initialement de guider les tirs des avions américains et d'assurer les liaisons avec les autorités américaines et l'état-major du Central Command, installé sur une base en Arabie Saoudite. Mais aussi d'aider discrètement les forces

de l'Alliance du Nord en leur assurant l'approvisionnement en armes, munitions et carburant – enfin, de participer à la traque contre Ben Laden.

Concrètement, ce sont des unités du 75<sup>e</sup> régiment de Rangers et de la Delta Force (l'unité antiterroriste des forces spéciales) qui ont été amenées sur la zone par des C-130, des C-17 ou des hélicoptères d'assaut MH-60 Pave Hawk (de l'US Air Force ou des forces spéciales de l'US Army). Plusieurs documents ont montré certains de ces hommes équipés de matériels de désignation d'objectif – des télémètres laser, notamment – et d'équipements radio



**Un avion AC-130U  
Spooky des forces  
spéciales, dont les  
canons sont visibles  
sur le flanc gauche.  
Les flashes lumineux  
autour de l'appareil  
sont ceux des leurres  
pyrotechniques de  
protection contre les  
missiles antiaériens.  
VOIR  
INFOGRAPHIE  
P. 66-67**



destinés à indiquer leurs cibles aux chasseurs bombardiers et aux bombardiers lourds. Au début du conflit, la presse les avait imaginés largués par parachute, isolés dans les montagnes, enterrés dans des trous, traquant Ben Laden au bout de leurs jumelles pour l'abattre avec des fusils – tels que le MacMillan – tirant des balles de mitrailleuse lourde de 12,7 mm, mortelles à plus de deux kilomètres. Quoi qu'il en soit, au cours d'une mission nocturne contre l'un des bunkers du mollah Mohamed Omar, le chef des taliban, plusieurs hommes auraient été blessés (le Pentagone a refusé de donner des détails). Un appareil MH-47 Chinook du 160<sup>e</sup> régiment d'aviation de l'US Army, les Night Stalkers, a été endommagé au cours de l'une de ces missions, laissant au sol son train d'atterrissage, dont les taliban firent un trophée...

### DES AVIONS SANS PILOTE LANCÉS À LA CONQUÊTE DU CIEL!

Dans cette guerre originale par bien des aspects – le fait que les journalistes n'aient pu accéder aux militaires n'en est pas le moindre –, une innovation majeure aura été introduite par les Américains : l'emploi, pour la première fois, d'avions sans pilote, les "pilotes" se trouvant en réalité au sol, recevant en direct les images transmises par les appareils automatiques qu'ils commandent. Ces appareils sont de deux types. Premier à rejoindre la zone des combats, le RQ-1B Predator avait déjà connu un usage régulier dans des conflits précédents, notamment dans les Balkans. Équipés de caméras de télévision fonctionnant en faible lumière, les Predator transmettent directement au sol ce qu'ils observent, en faisant appel à des technologies éprouvées, assez peu différentes, dans leur nature, de celles qui sont employées par les hélicoptères survolant, par exemple, le Tour de France cycliste. Mis à part une incrustation des coordonnées GPS du point survolé sur l'écran de contrôle, les principes sont donc similaires à ceux que connaît le monde civil. Mais la nouveauté qui permet de pronostiquer des changements profonds dans l'art de la guerre, c'est l'empont par cet en-

## Réseaux souterrains

# Le dernier atout

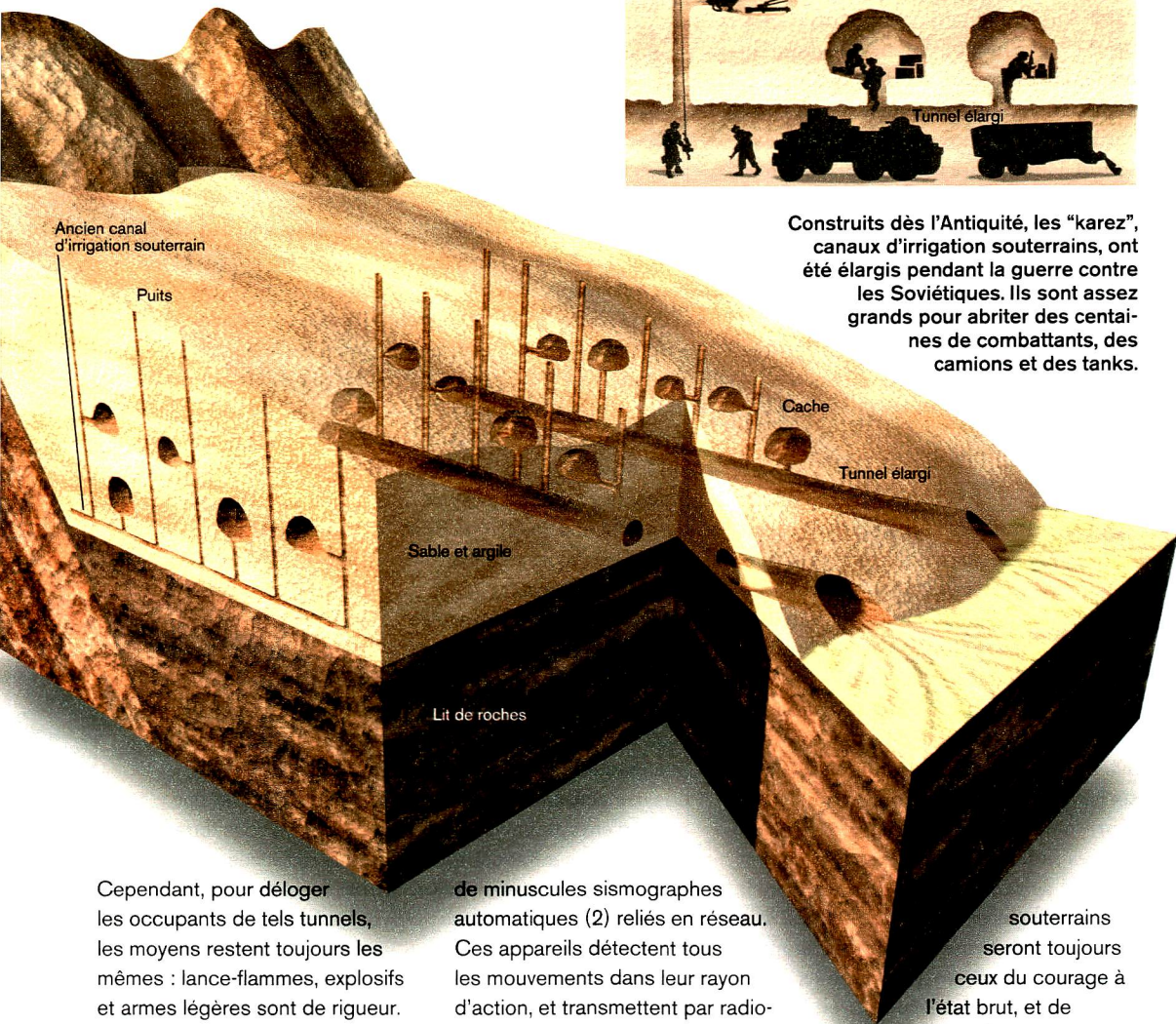
■ Écrasés, vaincus et humiliés, les taliban ne résistaient, début décembre, que dans quelques poches, traqués par l'Alliance du Nord, les forces spéciales et les Marines. Pour combien de temps, avant la chute finale ? Aussi longtemps qu'ils seront parvenus à se cacher de ceux qui les traquent. Dès le début de leur débâcle, nombre d'entre eux ont rejoint les montagnes, sièges de leurs fiefs les plus reculés. Là, ils trouvent leur salut dans de profondes grottes creusées à flanc de montagne, des galeries destinées à l'irrigation. Dans ce pays aride, dès l'Antiquité, les paysans afghans ont appris à construire des canaux d'irrigation souterrains, les karez, véritable réseau d'aqueducs et de rivières artificielles, comme on en rencontre dans presque toutes les zones montagneuses et arides d'Asie. Ils ont été creusés pour collecter l'eau qui ruisselle des montagnes et s'infiltre dans le sol. Percés au fil des siècles, ces boyaux, hauts de un mètre ou plus, peuvent être longs de plusieurs kilomètres et abriter des centaines de combattants. Ils sont "aérés" régulièrement par des puits communiquant avec la surface,

discrets mais observables par avion et hélicoptère. Ils donnent accès à des cavités plus importantes qui sont autant de refuges. Mais les combattants afghans ne se sont pas contentés de ces réseaux de conduites plus ou moins bien conservés. A Tora Bora (la "Veuve Noire", en pachtoun), à quelques kilomètres de Jalalabad, ils ont construit une véritable forteresse souterraine. Une installation qui pourrait abriter jusqu'à deux mille hommes et tenir un interminable siège. Ironie du sort, elle a été en partie construite grâce à des fonds fournis à l'époque par la... CIA. Dans les galeries de Tora Bora, les combattants ont à leur disposition des lieux de vie, des hôpitaux, des réserves de vivres, de carburant et de munitions. Durant la guerre des années 80, les armées soviétiques ont appris à leurs dépens l'efficacité de ces cachettes. Ils avaient développé contre les résistants qui les utilisaient des tactiques de commando très particulières, abondamment détaillées dans le rapport qu'en a donné au génie militaire américain le colonel Bek (1), l'un de leurs concepteurs.





# des taliban



Construits dès l'Antiquité, les "karez", canaux d'irrigation souterrains, ont été élargis pendant la guerre contre les Soviétiques. Ils sont assez grands pour abriter des centaines de combattants, des camions et des tanks.

Cependant, pour déloger les occupants de tels tunnels, les moyens restent toujours les mêmes : lance-flammes, explosifs et armes légères sont de rigueur. Les Soviétiques auraient aussi utilisé des armes chimiques. Mais avant de s'enfoncer dans le dédale des galeries, encore faut-il déceler la présence de l'ennemi et l'approcher d'assez près. Pour discerner les mouvements des soldats embusqués qui ne se déplacent à l'extérieur que la nuit, les soldats américains ont, semble-t-il, commencé de mettre en place

de minuscules sismographes automatiques (2) reliés en réseau. Ces appareils détectent tous les mouvements dans leur rayon d'action, et transmettent par radio-satellite les coordonnées du lieu détecté. Ils peuvent également envoyer des images, et sont éventuellement largables par avion. La technologie ne résout pas tout. Comme le souligne l'auteur d'un rapport du ministère de la Défense américain : « Des soldats déterminés devront toujours aller à la rencontre d'opposants tout aussi déterminés. Les combats

souterrains seront toujours ceux du courage à l'état brut, et de la ruse. » Saisissant

raccourci de l'histoire : les karez que les Américains combattent avec des moyens de science-fiction, existaient déjà du temps de l'invasion du pays par Alexandre le Grand.

.....  
(1) <http://www.globalsecurity.org/military/library/report/1998/981100-underground.htm>  
(2) <http://www.systems.textron.com/terrain.htm>



gin de missiles antichars AGM-130 Hellfire, utilisés jusque-là sur l'hélicoptère de combat AH-64 Apache. A la fin du mois de novembre, une quarantaine d'engins de ce type auraient été tirés contre des cibles sur le sol afghan, tant par l'US Air Force que par une nouvelle unité secrète de la CIA, la Special Activities Division; les Predator auraient notamment permis d'identifier précisément la cache à Kaboul du principal lieutenant de Ben Laden, Mohamed Atef, puis de le tuer dans un bombardement le 15 novembre. De même, au soir de la première attaque le 7 octobre, l'un de ces drones armé de missiles Hellfire a repéré le mollah Omar dans une colonne de véhicules, mais le conseiller juridique du général Tommy Franks, commandant de l'opération, n'a pas accepté que l'ordre de tirer soit donné. Quand cet ordre est arrivé, le chef des taliban était parti...

### UN NOUVEL OUTIL DE RENSEIGNEMENT EXCEPTIONNEL

Outre le Predator, les Américains ont utilisé pour la première fois dans des conditions réelles un second drone, le RQ-4A Global Hawk, d'une tout autre dimension. Avec son turboréacteur, son envergure de 35 mètres, sa charge utile de 1 tonne, son altitude de croisière de 20000 mètres (plus de deux fois celle des avions commerciaux), il peut tenir trente-six heures en vol, et fournir au sol, jour et nuit, par n'importe quel temps, des images radar de grande précision. C'est un outil de renseignement exceptionnel, relié au sol par des liaisons satellites. Mis au point par la firme Northrop Grumman, il ne se trouve encore qu'au premier stade de son développement industriel. Mais là encore, les Américains démontrent qu'ils savent s'adapter à des situations nouvelles, et ajouter à leur panoplie des moyens qui ne sont pas encore entrés en service dans leurs armées. Ce fut déjà le cas durant la guerre du Golfe avec un autre avion radar, piloté cette fois, le E8C Joint STARS, qui a également rejoint le théâtre des opérations afghan. Cet appareil est conçu pour repérer les mouvements de véhicules au sol, et peut servir

## minibombe B61-11

# L'arme nucléaire ultime des Américains

■ « Si l'Amérique utilisait des armes chimiques ou nucléaires contre nous, nous pourrions répliquer avec des armes chimiques ou nucléaires. » Oussama ben Laden n'a pas lancé une accusation en l'air, en faisant cette déclaration, début novembre, au quotidien pakistanais *Ausaf*. Après le 11 septembre, de nombreux sénateurs républicains ont en effet appelé George Bush à utiliser l'arme atomique contre Al-Qaeda.

Et le secrétaire à la Défense, Donald Rumsfeld, s'est toujours abstenu d'en écarter l'option, en stratège prudent qui n'ignore pas que la dissuasion repose sur la menace. Oh ! il ne s'agit pas d'envoyer un missile balistique sur Kaboul, non. Lorsqu'ils évoquent le feu nucléaire, les Américains pensent à la B61-11. Plus connue sous son surnom de "minibombe", elle a pourtant tout d'une grande : dans sa version la plus légère, la B61-11 équivaut à 0,3 kt (milliers de tonnes) de TNT. En version 340 kt, la puissance de son explosion est vingt-deux fois supérieure à celle d'Hiroshima. 5, 10, 80, 170 kt : toute une palette d'intermédiaires est disponible. Les militaires

n'ont que l'embaras du choix. Conçue dans les années 90 pour détruire un bunker souterrain, la B61-11 a été développée par l'armée américaine en dépit des moratoires sur l'arme nucléaire et du traité de non-prolifération. Elle est donc présentée comme une simple adaptation d'une bombe thermonucléaire classique, bénéficiant d'un nouveau pénétrateur en uranium appauvri. Résultat : les militaires présentent leur "minibombe" comme un engin inoffensif pour les populations civiles, censé n'exploser que 30 mètres sous terre. « Les radiations dégagées par l'explosion d'une B61-11 sont largement confinées dans le sol », affirme Roger Hagengruber, vice-président des Sandia National Laboratories, où a été conçue cette arme. Difficile à croire : le 17 mars 1998, un bombardier américain lançait deux B61-11 (non armées) au-dessus de l'Alaska. Résultat ? Aucune n'a réussi à pénétrer entièrement le sol gelé : 2 mètres de profondeur pour l'une,





La minibombe atomique a été testée en mars 1998, larguée depuis un bombardier B-2 au-dessus de l'Alaska.

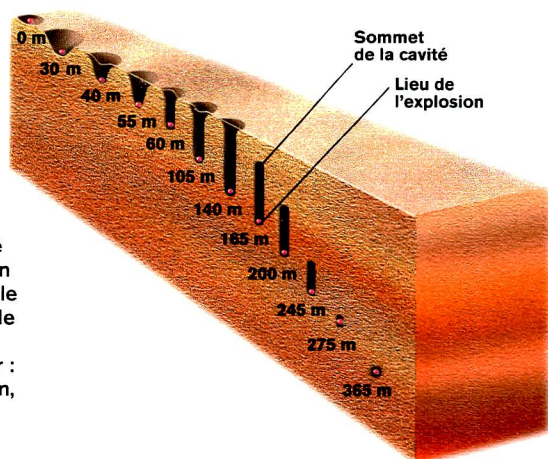
**VOIR  
INFOGRAPHIE  
P. 68**

U. S. AIR FORCE. ILLUSTR. A. MEYER

3 mètres pour l'autre... Lancée au-dessus d'un sol meuble, la bombe (qui mesure 3,60 m!) pourrait s'enterrer plus profondément. Mais selon les calculs de la Fédération des scientifiques américains, la B61-11 en version 0,3 kt devrait pénétrer à 96 mètres sous terre pour ne pas dégager de retombées atmosphériques. En version 340 kt, une profondeur de 762 mètres serait nécessaire.

**MATTHIEU CROCCQ**

Simulation du cratère provoqué par une explosion atomique de faible puissance (1 kt de TNT) en fonction de sa profondeur : à moins de 150 m, la contamination de l'atmosphère est inévitable.





# Vingt années de déboires des forces spéciales

**S**ur le terrain afghan, les forces spéciales américaines ont écrit une page d'histoire apparemment plus glorieuse que celles qui l'avaient précédée. Car, pour des raisons qui tiennent plus à l'organisation des armées américaines qu'aux qualités propres des forces spéciales ces dernières ont accumulé, depuis vingt ans, quantité de déboires qu'il était devenu on ne peut plus urgent d'oublier...

En 1980, l'opération Eagle Claw, qui vise à récupérer quarante otages américains détenus à Téhéran, se termine en un fiasco d'anthologie. Les commandos Delta

laissent huit morts au milieu du désert, tués dans une collision entre un avion et un hélicoptère. Trois ans plus tard, en 1983, l'assaut contre l'île de la Grenade, dans les Caraïbes (opération Urgent Fury) laisse transparaître de nouvelles failles – béantes – dans l'organisation des forces spéciales, qui ne savent pas travailler entre elles, ni avec les autres armées. En décembre 1989, c'est l'opération Just Cause à Panama : les forces spéciales participent à la première grande opération aéroportée destinée à arrêter le dictateur Manuel Noriega. Mais rien ne se passe comme prévu,

et l'ancien ami de la CIA se réfugie chez le nonce apostolique, d'où les unités de guerre psychologique le délogent à coup de haut-parleurs diffusant à tue-tête du rock and roll... Mais le pire cauchemar des forces spéciales est encore à venir : Restore Hope, en Somalie. Au cours d'une opération visant à arrêter l'entourage du chef de guerre Aïdid, les commandos Delta et les Rangers se font prendre dans un piège : ils laissent 19 morts et 84 blessés sur le terrain. Quelques jours plus tard, le corps expéditionnaire américain rentre chez lui...

En Afghanistan, selon toute vraisemblance, les forces spéciales ont redoré leur blason. Ce sont elles qui auront permis que les frappes aériennes soient aussi précises et emportent une première décision. Ce sont encore elles qui ont pavé la route qui a permis aux Marines (qui ne font pas partie des forces spéciales) de débarquer à Kandahar le 25 novembre dans la nuit. Premières arrivées, sans doute dernières parties : cette fois, les forces spéciales de l'oncle Sam n'ont pas manqué leur rendez-vous...



**Somalie**  
Un soldat du Marine Corps, en patrouille, à Mogadiscio, lors de l'opération Restore Hope en Somalie, en 1993.



PHOTOS : CORBIS

## La Grenade

Un parachutiste de la 82<sup>e</sup> Airborne Division s'entretient avec des hommes des forces locales, lors de l'opération Urgent Fury, à la Grenade (1983).



## Iran

Un hélicoptère détruit au sol lors d'un accident survenu en Iran, en 1980, au cours de l'opération Eagle Claw.





Un soldat des forces spéciales en faction devant un hélicoptère MH-47 Chinook, parmi des civils afghans, à Kwaja Bahuddine, le 15 novembre.

**VOIR  
INFOGRAPHIE  
P. 76-77**

de poste de commandement volant pour diriger les avions en vol vers leurs cibles. Cette panoplie du renseignement militaire est complétée par l'antique avion de reconnaissance photographique U-2 (plus de quarante ans de service), auquel un autre vieux de la vieille, le Mirage IV-P français est venu prêter main-forte. Ils viennent détailler, mais aussi fournir à la demande les informations que les trois satellites d'observation américains *Key Hole* et le satellite radar *Lacrosse* ne peuvent pas obtenir vingt-quatre heures sur vingt-quatre. Il s'agit en effet de satellites à défilement et non géostationnaires. Pour survoler l'ensemble du territoire afghan, il leur faut environ une semaine.

### **LES TERRORISTES CONTRAINTS DE SE DÉPLACER À DOS DE MULET**

Ces moyens d'observation interdisent à Ben Laden et à ses proches de se mouvoir librement en Afghanistan, au point de les contraindre, pour échapper aux troupes qui les traquent, de recourir à un moyen de transport tout aussi rustique qu'inconfortable : la mule. Ben Laden ne peut pas davantage faire appel aux moyens de communication modernes : les téléphones par satellites et autres talkies-walkies sont écoutés en permanence par les avions

d'interception, singulièrement le RC-35 Rivet Joint, capable de tout intercepter et de localiser l'émission par radiogoniométrie. Ben Laden peut tenir un moment avec ses mules, mais il ne peut plus communiquer. A l'heure où nous mettons sous presse, il avait pu encore échapper à la meute de ses poursuivants. Mais pour combien de temps ? ■

## **ET LA FRANCE ?**

■ Dès le mois de septembre, Jacques Chirac et Lionel Jospin ont annoncé à George Bush qu'ils ne mèneraient pas n'importe quelle mission, sur n'importe quel objectif, si les Etats-Unis choisissaient de faire appel au soutien des armées françaises. On sait ce qu'il en est advenu : mis à part deux avions-espions (un C-160 Transall Gabriel et un Mirage IV-P) et deux bateaux (la frégate *Courbet* et le pétrolier-ravitailleur *Var*), les Américains n'ont pas sollicité davantage la France. Près de deux mois après le début de la guerre, Paris a envoyé cinquante-huit soldats... qui sont restés coincés sur une base ouzbek, tandis que le porte-avions *Charles-de-Gaulle* ne s'est préparé à partir pour arriver sur zone qu'après le ramadan, soit le 15 décembre. En fin de compte, la France s'est trouvée à la traîne de Britanniques très alignés sur Washington. Les Français et leur Commandement des opérations spéciales (COS) sont néanmoins considérés par leurs homologues étrangers comme bien entraînés, bien équipés et très motivés. La compétence de ces troupes n'est donc pas en cause si Washington n'a pas fait appel à elles.



# L'Europe encore en quête de défense...

**Si l'Union européenne a bien exprimé sa solidarité envers les Etats-Unis, elle n'a pourtant pas participé à la guerre. De fait, elle n'en avait, concrètement, pas les moyens. Une vieille contradiction.**



**Par Pascal Boniface**

Directeur de l'Institut de relations internationales et stratégiques (Iris) et enseignant à l'IEP de Lille.

Vient de publier *Les Guerres de demain* (Seuil) et *Les Leçons du 11 septembre* (PUF).

Et sous sa direction : *L'Année stratégique 2002* (IRIS/L'Etudiant/Radio France).

**P**ourquoi l'Union européenne, pourtant plus riche globalement et plus peuplée que les Etats-Unis, ne dispose-t-elle pas de moyens militaires comparables ? Comment expliquer que les Etats-Unis dépensent, à eux seuls, 120 milliards de dollars de plus que les pays européens de l'OTAN réunis (300 milliards de dollars contre 180) ? Pourquoi, au plan stratégique, l'Europe est-elle encore mineure ? Ici comme ailleurs, les racines sont historiques. Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les Européens, vainqueurs et vaincus, étaient unis dans la ruine et la destruction. Ils n'étaient pas en mesure de se défendre contre la menace soviétique apparue après la mise en coupe réglée des pays libérés par l'Armée rouge. Il fallait donc disposer d'une garantie extérieure. Grâce à l'aide économique américaine, l'Europe occidentale a rapidement rebâti son économie et est entrée dans une période de croissance ininterrompue, les "Trente Glorieuses". Dès les années 60,

l'Europe aurait donc été en mesure de mieux assurer sa propre défense. C'était d'ailleurs le rêve du général de Gaulle, de doter l'Europe d'une autonomie par rapport aux Américains. Ce rêve a été considéré par les autres pays européens, non sans raison, comme une volonté non pas de bâtir une défense européenne, mais de remplacer une domination américaine par un "leadership français" ; quitte à avoir un protecteur extérieur, se disaient les Européens, autant qu'il soit réellement puissant. Cela permettait également aux Européens, collectivement, de consacrer moins d'argent à la défense. Et chaque pays y trouvait des avantages. Pour l'Allemagne, c'était une façon d'éviter la nationalisation de sa défense et de retomber dans les travers du militarisme. Pour la Grande-Bretagne, qui se vit comme le pays le plus influent auprès des Etats-Unis, l'OTAN est un multiplicateur de sa propre puissance. Pour les petits pays européens, l'OTAN offre l'avantage de les

protéger, grâce aux Etats-Unis, des habitudes de domination britanniques, allemandes ou françaises. Dans les années 80, le président Mitterrand a voulu également prôner l'autonomie européenne, avec un succès limité. On aurait pu penser que l'OTAN ne survivrait pas à la chute de l'Union soviétique : une alliance défensive n'a pas vocation à survivre à la menace contre laquelle elle a été créée. Mais les pays européens, France incluse, ont voulu maintenir l'OTAN. Pour les pays membres, c'était le principal facteur de stabilité sur un continent dans lequel l'incertitude avait remplacé la menace soviétique. Pour les non-membres, elle représentait le rêve d'une intégration européenne et d'une garantie américaine. L'OTAN servait à la fois de garant à la sécurité européenne et de frein à une réelle mise en œuvre. Les Quinze auraient-ils créé l'euro s'ils avaient eu le dollar comme monnaie commune ? Au début des années 90, juste après la signature du traité de Maastricht, la guerre civile a éclaté



en Yougoslavie. Jacques Poos, alors président du Conseil européen, déclarait imprudemment : «Voici venue l'heure de l'Europe.» Hélas ! les performances de l'Union dans l'affaire bosniaque ont été particulièrement réduites. Mais, depuis trois ans, la situation a évolué plus vite que ces cinquante dernières années. Pourquoi ? D'abord, parce que la défense est désormais le dernier grand chantier européen. Il est illogique d'être une puissance économique, technologique, commerciale, culturelle et même monétaire, avec l'euro, et de rester une puissance stratégique mineure. Par ailleurs, les trois principaux pays européens ont eu des attitudes convergentes. Cinquante ans après la création de la République fédérale d'Allemagne et dix ans après la chute du Mur de Berlin, une génération de nouveaux leaders, incarnée par Gerard Schröder, a pris le pouvoir en Allemagne. Ils n'ont pas connu la Seconde Guerre mondiale et sont moins effrayés de mettre en avant leurs ambitions nationales, encadrées dans un

projet européen. Les Britanniques ont compris que la défense était l'un des rares sujets européens sur lequel ils pouvaient jouer un rôle de leaders. Quant aux Français, ils sont devenus plus pragmatiques et ont compris qu'une "Europe Puissance" ne pouvait se résumer à une France aux frontières élargies avec une Allemagne faible et une Grande-Bretagne hors

traduction concrète ? C'est pourquoi ils ont convoqué la conférence de Rambouillet, en février 1999, afin de mettre au point un règlement. Pour l'obtenir ils ont menacé Milosevic de recourir à des bombardements. Devant son refus d'accepter les conditions qui lui étaient imposées, la guerre devenait inévitable. La guerre du Kosovo fut donc avant tout un conflit

européens ont décidé d'être en mesure, d'ici à 2003, de déployer sur un délai bref une force de 60 000 hommes, équipée des moyens nécessaires de commandement, de contrôle et de renseignement. Il s'agit d'être capable de mener une guerre de type Kosovo avec les seuls moyens européens, de pouvoir agir avec les Etats-Unis, ou sans eux. A terme, cela entraînera un rééquilibrage des relations euro-américaines. Washington pourrait prendre ombrage de voir des Européens moins dépendants, mais pourrait se féliciter de compter sur un puissant deuxième pôle démocratique pour lutter contre l'instabilité mondiale. L'Europe n'aura jamais les moyens militaires des Américains, mais en a-t-elle besoin ? Les Etats-Unis, qui représentent à eux seuls 40 % des dépenses militaires mondiales, ont-ils raison de s'appuyer plus sur le militaire que sur le politique ? A l'horizon 2003, l'Europe n'aura pas les moyens d'une super-puissance militaire, mais elle aura ceux d'une certaine autonomie.



**Guerre du Kosovo**  
Soldats français chargés du maintien de la paix, à Mitrovica, en février 2000.

KRAGOVIC/GAMMA

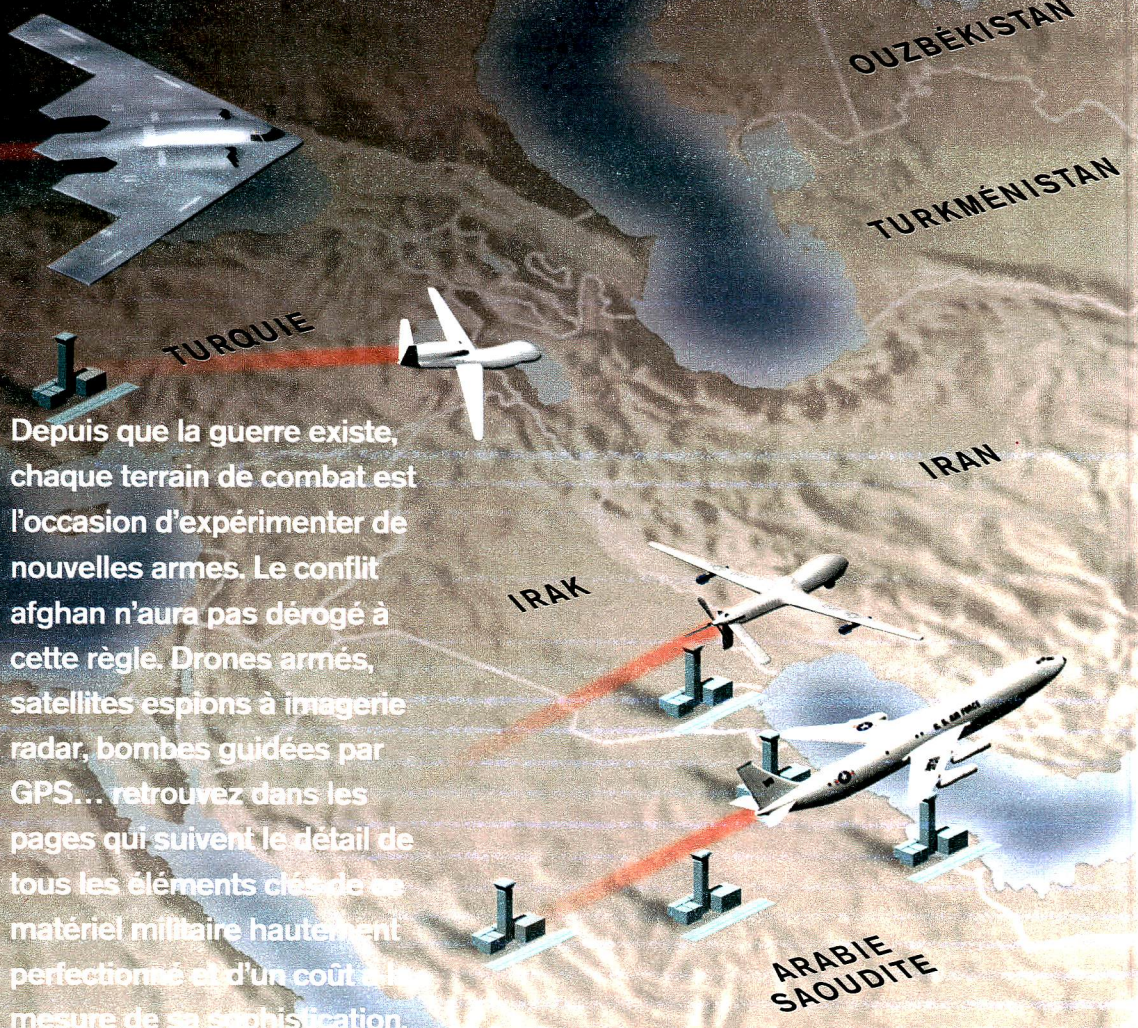
jeu. En décembre 1998, le sommet franco-anglais de Saint-Malo fut le premier pas vers le nouveau projet européen pour la défense. Mais les suites des affrontements au Kosovo allaient poser à Paris et à Londres un problème immédiat de crédibilité. Les Européens ne faisaient-ils pas, une fois encore, des déclarations qui n'auraient aucune

pour la crédibilité européenne tout autant que pour la défense de principes moraux. Au sommet de Cologne de juin 1999, il fut décidé de doter l'Europe d'une capacité de gestion de crise, notamment pour ce qui concerne les opérations humanitaires, de sauvetage, de maintien ou de rétablissement de la paix. A Helsinki, six mois plus tard, les pays



# AVIONS, DRONES, BOMBES... ET TECHNOLOGIES

PAR MATTHIEU CROCO



Depuis que la guerre existe, chaque terrain de combat est l'occasion d'expérimenter de nouvelles armes. Le conflit afghan n'aura pas dérogé à cette règle. Drones armés, satellites espions à imagerie radar, bombes guidées par GPS... retrouvez dans les pages qui suivent le détail de tous les éléments clés de ce matériel militaire hautement perfectionné et d'un coût à la mesure de sa sophistication.





A partir du 8 octobre et dans les semaines qui ont suivi, l'Afghanistan a vu fondre sur lui les forces armées américaines. Les bombardiers B-52 H et B-2A venaient de la base anglo-américaine de Diego Garcia, un atoll de l'Océan Indien ; la tour de contrôle volante E-8CJ STARS et les avions de surveillance Awacs déboulaient du Golfe Persique ; les chasseurs F16 comme les redoutables canonnières AC-130U probablement d'Ouzbékistan ; tandis que les gros cargos C160 Transall Gabriel surgissaient des Emirats Arabes Unis et que les missiles Tomahawk étaient lancés depuis les navires et sous-marins stationnés dans l'Océan Indien ou la mer d'Arabie. Enfin, les fameux drones (avions sans pilote) semblent avoir décollé du Pakistan, d'Azerbaïdjan, et peut-être même du sol afghan.

Bases anglo-américaines

CHINE

AFGHANISTAN

INDIE

PAKISTAN

OMAN

OCÉAN INDIEN

DIEGO GARCIA

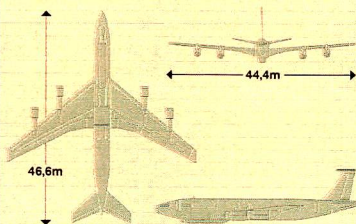


# Avions

Les Américains ont engagé en Afghanistan des avions sortis tout droit de la guerre froide, mais améliorés depuis la guerre du Golfe et les opérations au Kosovo : des bombardiers invisibles B-2 effectuant des missions sans escale entre le Missouri et l'Afghanistan; des B-1 et des B-52 conçus pour gagner la guerre atomique; les canonnières volantes AC-130 créées pour le Vietnam; sans oublier, pour coordonner l'ensemble du dispositif, le Boeing modifié E8C-JSTARS doté d'un appareillage électronique hors norme.

## E8C-JSTARS

### Avion de coordination



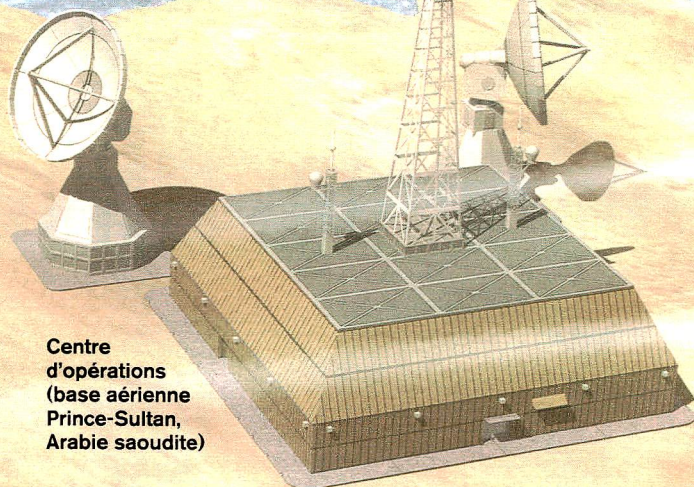
Constructeurs : Boeing et Northrop Grumman  
 Vitesse : 1 000 km/h  
 Altitude maximale : 12 800 m  
 Masse au décollage : 152 t  
 Autonomie : onze heures  
 Équipage : 21 personnes  
 Coût unitaire : 250 millions d'euros  
 Date d'entrée en service : 1996

■ Au cœur du dispositif tactique Joint Surveillance and Target Attack Radar System, l'E8C-JSTARS est une vraie tour de contrôle volante : truffé d'informatique, ce Boeing 707-300 modifié coordonne l'ensemble des forces aériennes, navales et terrestres, leur désignant les cibles que son antenne radar de 8 m lui permet de repérer dans un rayon de 250 km.

Porte-avions  
USS Kitty-Hawk

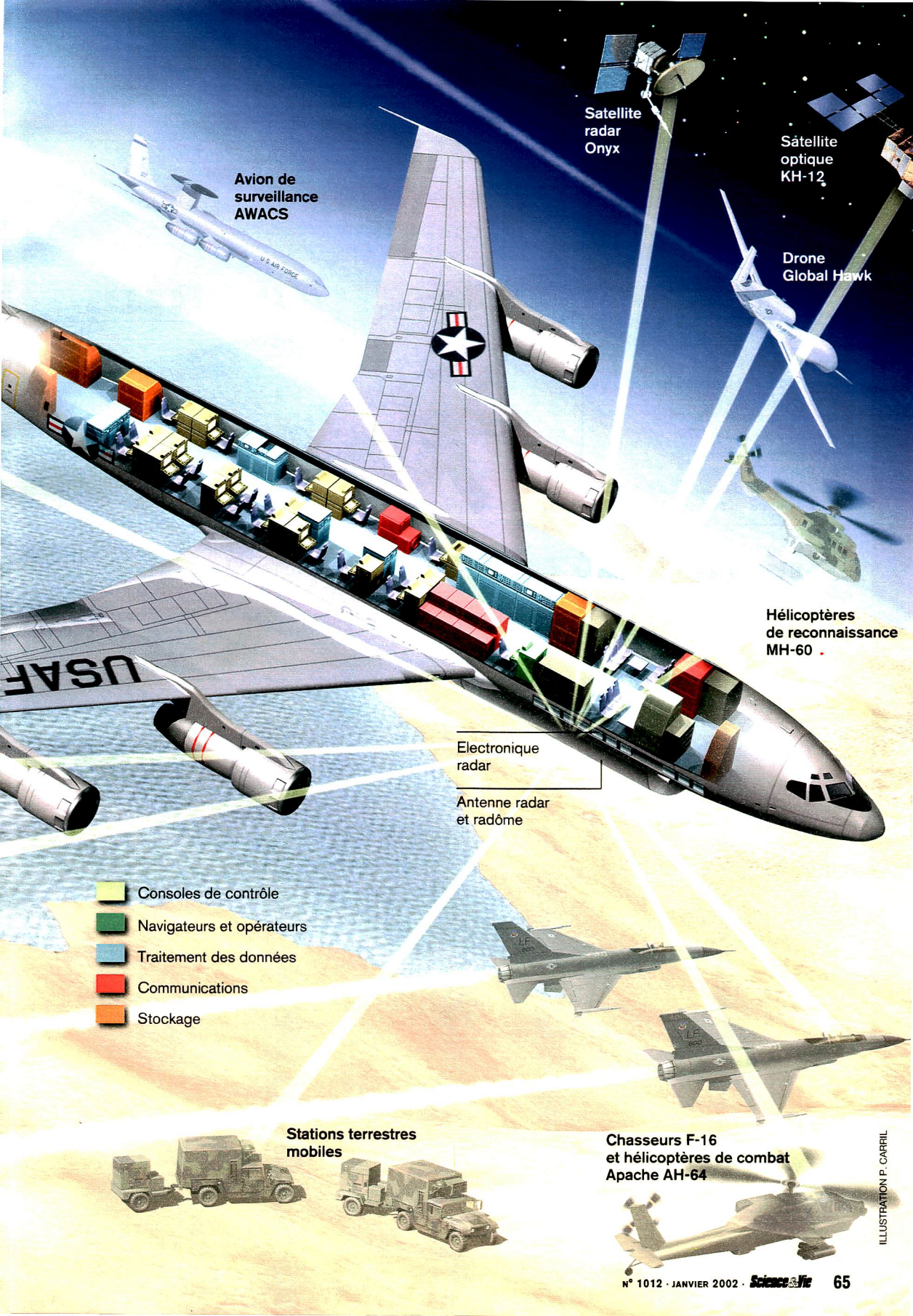


Avion de guet  
E2C Hawkeye



Centre d'opérations  
(base aérienne  
Prince-Sultan,  
Arabie saoudite)





Avion de surveillance  
AWACS

Satellite radar  
Onyx

Satellite optique  
KH-12

Drone  
Global Hawk

Hélicoptères  
de reconnaissance  
MH-60

Electronique  
radar

Antenne radar  
et radôme

- Consoles de contrôle
- Navigateurs et opérateurs
- Traitement des données
- Communications
- Stockage

Stations terrestres  
mobiles

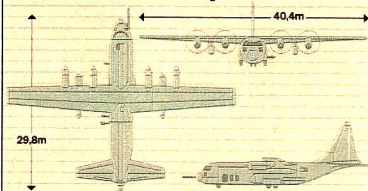
Chasseurs F-16  
et hélicoptères de combat  
Apache AH-64



# Avions

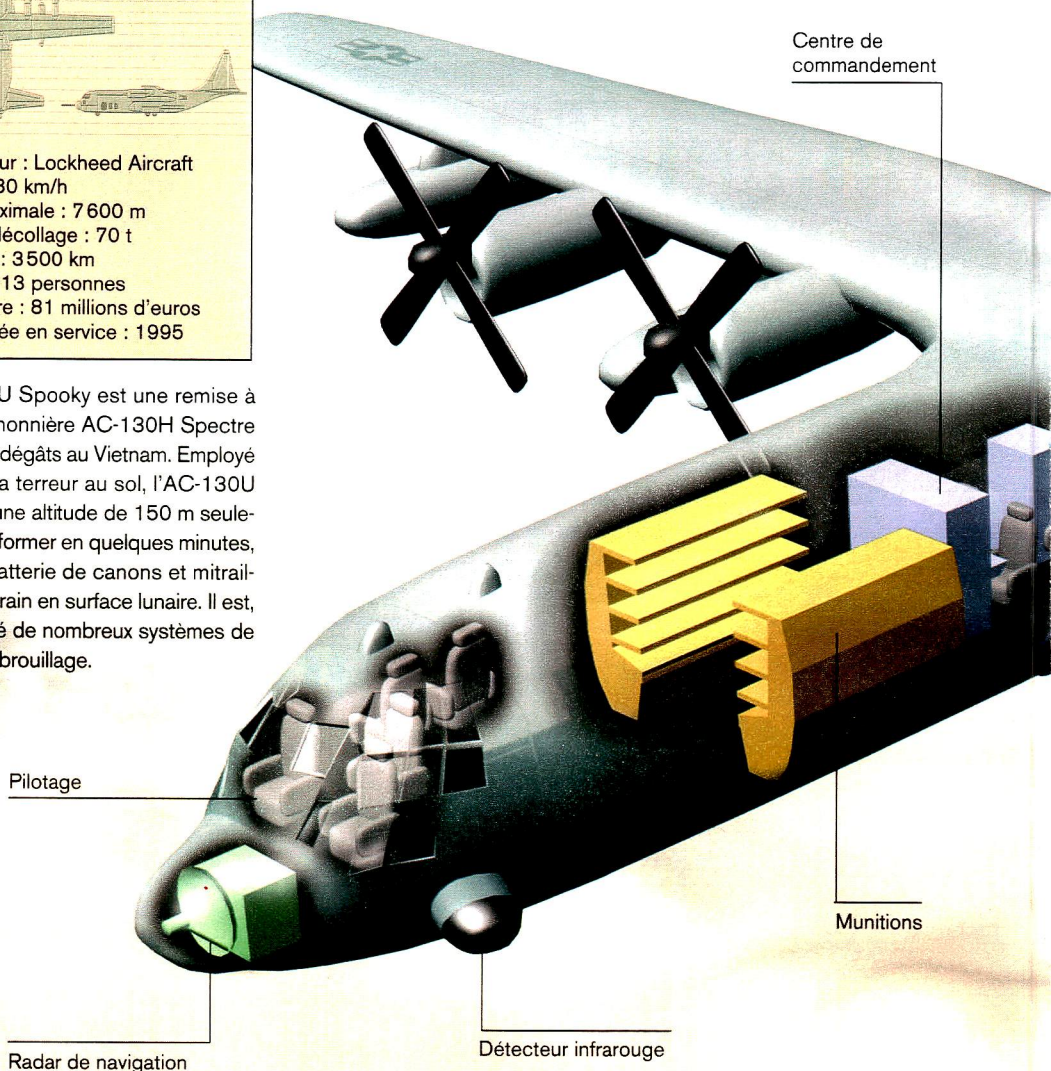
## AC-130U Spooky

### Avion d'attaque au sol

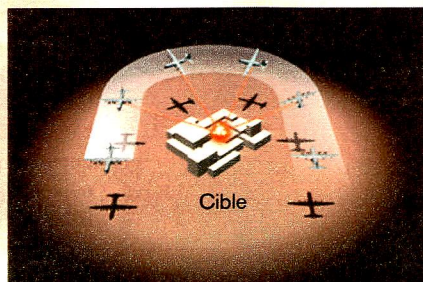
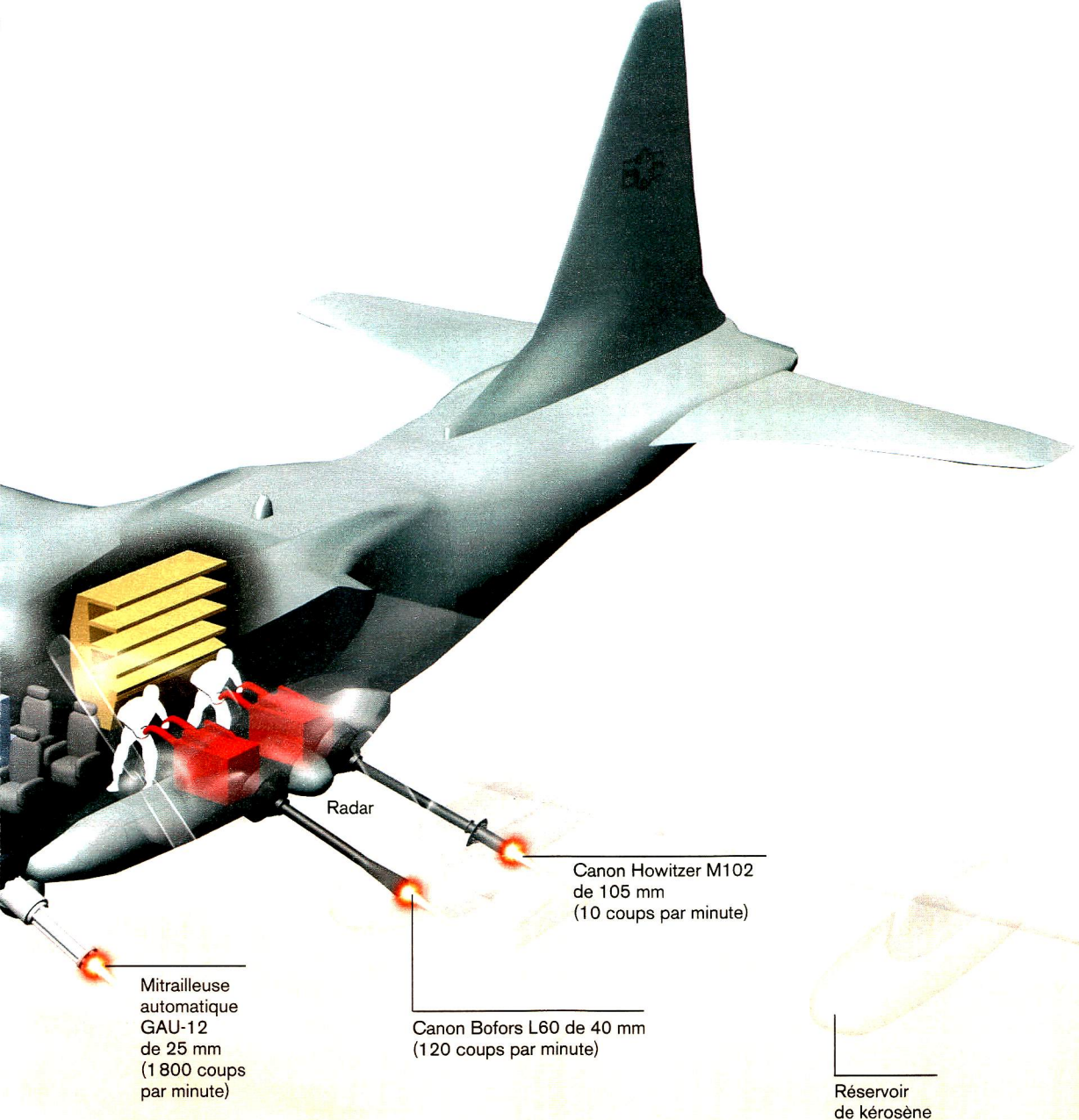


Constructeur : Lockheed Aircraft  
Vitesse : 480 km/h  
Altitude maximale : 7 600 m  
Masse au décollage : 70 t  
Autonomie : 3 500 km  
Équipage : 13 personnes  
Coût unitaire : 81 millions d'euros  
Date d'entrée en service : 1995

■ L'AC-130U Spooky est une remise à jour de la canonnière AC-130H Spectre qui fit tant de dégâts au Vietnam. Employé pour semer la terreur au sol, l'AC-130U peut voler à une altitude de 150 m seulement et transformer en quelques minutes, grâce à sa batterie de canons et mitrailleuses, un terrain en surface lunaire. Il est, en outre, doté de nombreux systèmes de leurres et de brouillage.







L'AC-130U Spooky est considéré comme le système d'armement aérien le plus complexe au monde : ses canons disposent de capteurs infrarouges et vidéo qui permettent à l'équipage d'affiner le tir en pleine nuit, tandis que son radar peut suivre et viser automatiquement deux cibles mobiles en même temps. L'avion peut ainsi tourner autour de son objectif sans jamais cesser le tir.

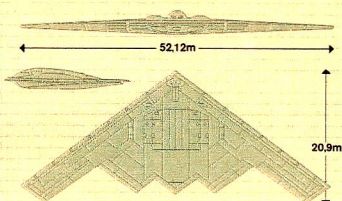
ILLUSTRATION JSI



# Avions

## B-2A Spirit

### Bombardier furtif



Constructeurs : Northrop Grumman et Boeing

Vitesse : 1 015 km/h

Altitude maximale : 15 200 m

Masse au décollage : 153 t

Autonomie : 12 200 km

Équipage : 2 personnes

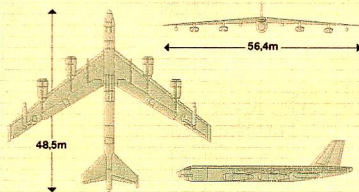
Coût unitaire : 2,3 milliards d'euros

Date d'entrée en service : 1993

■ 45,7 milliards d'euros le coût total du programme : cet appareil est le plus cher jamais produit en série ! Une seule base aérienne, située dans le Missouri, peut entretenir son revêtement antiradar extrêmement fragile. Décollant de cette base, le B-2A Spirit traverse l'Océan, largue sa quinzaine de bombes et repart vers sa base.

## B-52 H

### Bombardier lourd



Constructeur : Boeing

Vitesse : 1 045 km/h

Altitude maximale : 15 200 m

Masse au décollage : 219 t

Autonomie : 14 000 km

Équipage : 5 personnes

Coût unitaire : 34 millions d'euros

Date d'entrée en service : 1955

■ Le premier bombardier nucléaire américain a encore de beaux jours devant lui. Capable d'emporter la plupart des pièces de l'arsenal américain – bombes conventionnelles ou guidées, missiles nucléaires ou classiques, mines... –, le B-52 H est l'outil à tout faire. Ravitaillé en vol, il n'a pour limites que l'endurance de son équipage.



# Satellites

Indispensables au renseignement militaire, les satellites espions cartographient le sol avec une précision de plus en plus pointue. Ils possèdent de nombreuses caractéristiques qui les rendent impossibles à détecter. Le savoir à leur sujet est plus : leurs secrets sont jalousement gardés...

## Onyx

### Satellite espion radar

Constructeur : Lockheed Martin  
Altitude : 680 km  
Masse : 15 t  
Résolution au sol : 1 m  
Date de lancement : 1997

■ Il n'existe aucune photo authentifiable, aucun schéma public du satellite Onyx, aussi appelé "Lacrosse". Contrairement au KH-12, ce satellite radar peut voir de nuit ou par temps couvert. En contrepartie, sa résolution est moindre.

## KH-12

### Satellite espion optique

Constructeurs : Lockheed Martin et TRW  
Altitude : de 280 à 1 000 km  
Masse : 18 t  
Résolution au sol : 10 cm  
Date de lancement : 1992

■ Également appelé "Improve 2.0", le KH-12 (de "key hole", trou de serrure) est très semblable à son aîné, le satellite astronomique Hubble. Seules différences connues : il est pointé vers la Terre, tandis qu'un propulseur lui permet de changer à volonté d'altitude, et même de plan orbital !

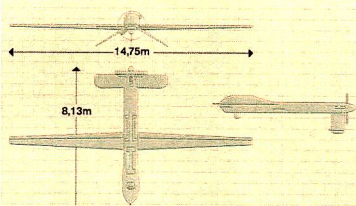


# Drones

*A mi-chemin entre l'avion télécommandé et l'appareil en pilotage automatique, les drones, ou UAV ("Unmanned Aerial Vehicles", véhicules aériens sans pilote), ont largement fait leurs preuves en Afghanistan.*

*L'US Air Force a profité du conflit pour tester deux nouveautés : le Global Hawk, présent pour la première fois sur un champ de bataille, et le Predator armé, qui a détruit ses premières cibles.*

## Predator Drone armé



Constructeur : General Atomics  
Aeronautical Systems  
Vitesse : 130 km/h  
Altitude maximale : 7600 m  
Masse au décollage : 1 t  
Autonomie : 840 km  
Coût unitaire : 28 millions d'euros  
Date d'entrée en service : 1996

■ Déjà présent au-dessus du Kosovo, le drone espion Predator est désormais armé. Après avoir expérimenté ses premiers missiles en février 2001, l'Afghanistan a logiquement permis de le tester en situation. Doté de deux missiles guidés par laser AGM-130, le Predator s'est attaqué à des chars d'assaut. Avec succès, selon l'US Air Force.

Radar à synthèse  
d'ouverture

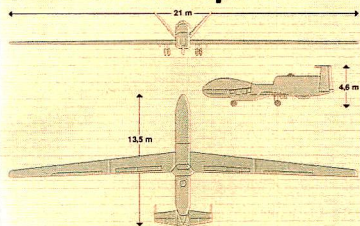
Missile AGM-130  
Hellfire

Moteur à hélice



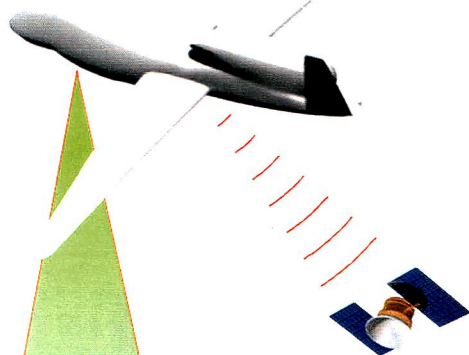
## Global Hawk RQ-4A

### Drone espion



Constructeur : Northrop Grumman  
Vitesse : 630 km/h  
Altitude maximale : 20 000 m  
Masse au décollage : 12 t  
Autonomie : 5 600 km  
Coût unitaire : 62 millions d'euros  
Date d'entrée en service : 1998

■ Doté de capteurs optiques, infrarouges et radar, ce drone espion est capable de cartographier une surface grande comme la France en quatre jours, avec une précision de l'ordre du mètre. Évoluant à très haute altitude, hors de portée des missiles afghans, le Global Hawk peut être reprogrammé en cours de vol en cas de changement de mission.



Satellite de transmission des images

Cible

Zone cartographiée

Caméra vidéo et radar

Laser désignant la cible, émis par un avion ou par un commando terrestre allié ("désignateur laser")



# Missiles et bombes

*Le conflit afghan a vu apparaître un nouveau type de bombe : les GBU-32 JDAM, guidées par satellite. Le célèbre missile de croisière Tomahawk, amélioré depuis la guerre du Golfe, a, pour sa part, repris du service ; de même que l'effrayante BLU-82B, surnommée "daisy cutter" (la "tondeuse à pâquerettes"), déjà employée au Vietnam, ainsi que les bombes à dispersion, réputées pour faire de nombreuses victimes civiles lorsqu'elles n'explosent pas au moment voulu.*

## Tomahawk

### Missile de croisière

Constructeur : Raytheon Systems  
Guidage : inertiel, GPS, radar et optique  
Masse : 1,3 t  
Taille : 5,56 m  
Diamètre : 52 cm  
Explosif : charge conventionnelle de 450 kg ou 166 "bombinettes" incendiaires à fragmentation  
Coût unitaire : 675 000 €

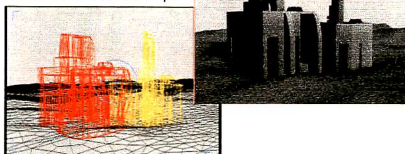
■ D'une envergure de 2,67 m une fois ses ailes dépliées, le Tomahawk peut parcourir 1 100 km à la vitesse de 880 km/h, à quelques dizaines de mètres du sol. Il retransmet en direct, par satellite, les images vidéo et les données de vol. Une prochaine version devrait être capable de tourner plusieurs heures au-dessus de sa cible afin d'en fournir des images détaillées, avant d'être éventuellement reprogrammé vers un autre objectif.

Imageur et capteur infrarouge

Système vidéo de guidage optique

Image vidéo

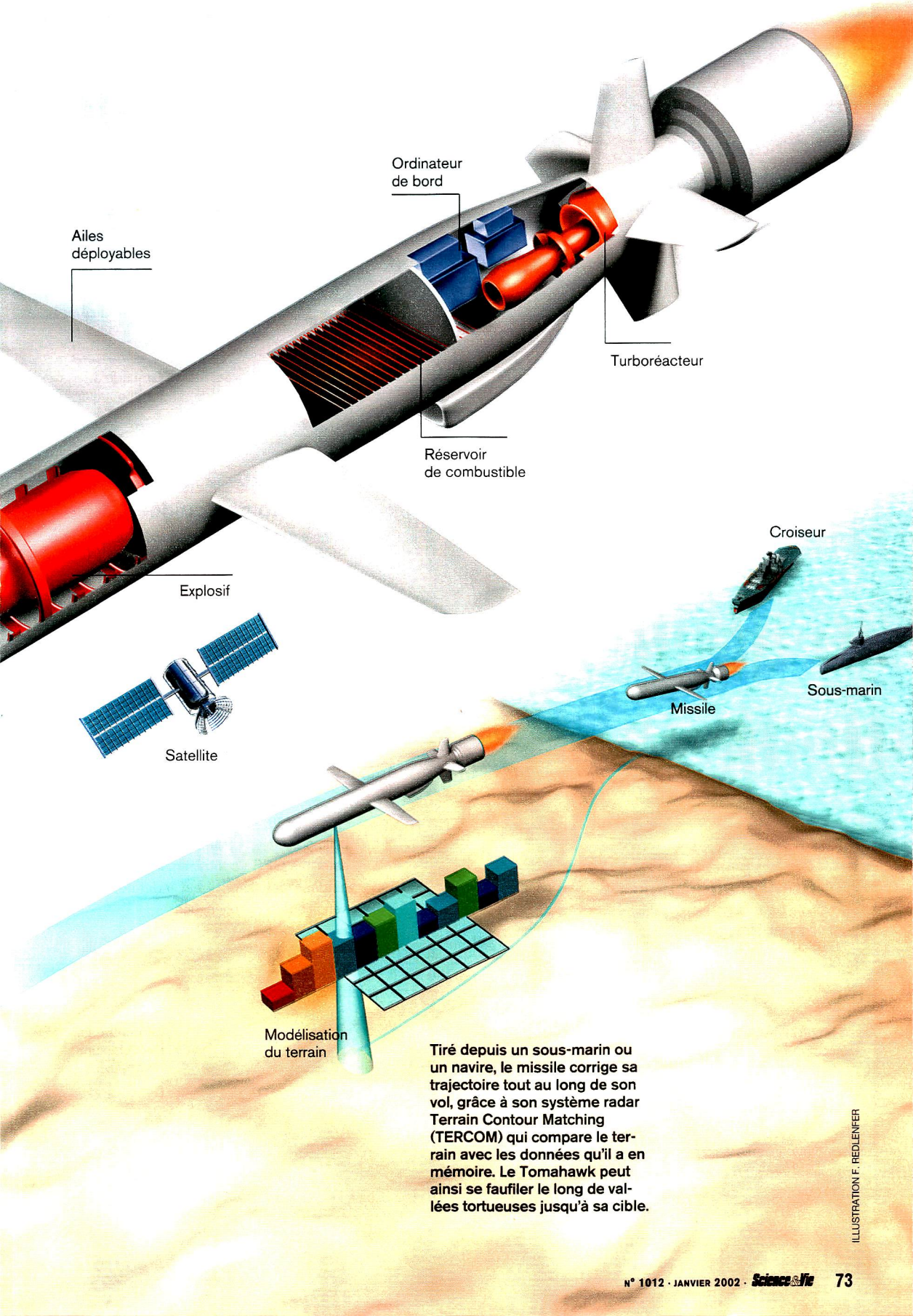
Modèle informatique



A l'approche de sa cible, le système vidéo (Digital Scene Matching Area) du missile en recueille des images et les compare avec les données mémorisées afin d'optimiser son impact. Mais ce système est loin d'être au point.

Cible





Ailes  
déployables

Ordinateur  
de bord

Turboréacteur

Réservoir  
de combustible

Explosif

Satellite

Croiseur

Sous-marin

Missile

Modélisation  
du terrain

Tiré depuis un sous-marin ou un navire, le missile corrige sa trajectoire tout au long de son vol, grâce à son système radar Terrain Contour Matching (TERCOM) qui compare le terrain avec les données qu'il a en mémoire. Le Tomahawk peut ainsi se faufiler le long de vallées tortueuses jusqu'à sa cible.

ILLUSTRATION F. REDLENER



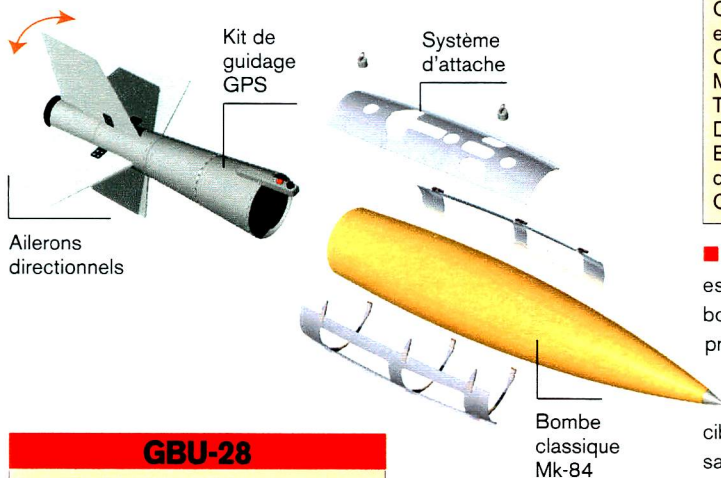
# Missiles et bombes

## CBU-87B

### Bombe à dispersion

Constructeurs : Aerojet et Honeywell  
 Guidage : aucun  
 Masse : 430 kg  
 Taille : 2,33 m  
 Diamètre : 40 cm  
 Coût unitaire : 15 500 €

■ Une fois larguée, cette bombe massivement employée pendant la guerre du Golfe disperse sur des centaines de mètres 202 "bombinettes" jaune fluo de la taille d'une boîte de conserve. Ces grenades projettent des fragments d'acier capables de percer 10 mm de blindage. Celles qui n'ont pas explosé en touchant le sol demeurent très dangereuses pendant des années.



## GBU-28

### Bombe anti-bunker

Constructeurs : Lockheed et National Forge  
 Guidage : par illuminateur laser  
 Masse : 2 t  
 Taille : 3,88 m  
 Diamètre : 37 cm  
 Explosif : charge conventionnelle de 285 kg (tritonale)  
 Coût unitaire : 112 000 €

■ Développée en urgence pendant la guerre du Golfe pour détruire les bunkers irakiens, la GBU-28 est dotée d'un "pénétrateur" en uranium appauvri particulièrement résistant. Cette bombe guidée par laser est capable de traverser 6 m de béton armé ou 30 m de terre.



Ralentisseur

Ailettes à angulation réglable

Grenade à fragmentation

## GBU-32 JDAM

### Bombe guidée

Constructeurs : Lockheed Martin et Boeing  
 Guidage : inertiel et par GPS  
 Masse : 950 kg  
 Taille : 3 m  
 Diamètre : 48 cm  
 Explosif : charge conventionnelle de 430 kg (tritonale)  
 Coût unitaire : 24 000 €

■ Le Joint Direct Attack Munition (JDAM) est un "kit" qui s'adapte sur différentes bombes classiques (ici, la Mk-84). Il comprend une centrale de guidage et des ailerons directionnels. Opérationnel depuis 1998, le JDAM se dirige vers sa cible grâce à un système de navigation par satellites GPS : contrairement aux armes guidées par laser, il est indifférent aux conditions atmosphériques.

Bunker



Avion gros-porteur  
MC-130

## BLU-82B

### Bombe gravitationnelle

Constructeur : classé "confidentiel Défense"  
Guidage : aucun  
Masse : 6,8 t  
Taille : 3,60 m  
Diamètre : 1,37 m  
Explosif : 5,7 t de nitrate d'ammonium et de poudre d'aluminium  
Coût unitaire : 30 000 €

■ La BLU-82B est réputée être la plus grosse bombe conventionnelle au monde. Trop grosse pour entrer dans un bombardier classique, elle est larguée par un avion gros-porteur. Initialement conçue pour créer en pleine jungle un terrain d'atterrissage pour les hélicoptères, cette "daisy cutter" (tondeuse à pâquerettes) explose lorsque son déclencheur touche le sol. Elle provoque ainsi un effet de souffle (68 fois la pression atmosphérique!) sans creuser de cratère. Elle produit une boule de feu semblable à un mini-champignon nucléaire.

Séparation  
du chariot et  
de la bombe

Parachute  
de la bombe

Bombe

Parachute  
du chariot

Chariot

Déclencheur

Bombe

Chariot

Destruction  
de la cible



# Forces spéciales

Le commandement des forces spéciales américaines disposait de quelques centaines d'hommes sur le sol afghan (sur un effectif total de 46 000 hommes), en relation avec quelques dizaines de SAS britanniques. Hautement spécialisées, ces unités opèrent en petits commandos de quatre à douze hommes, disposant de plusieurs jours de ravitaillement et complètement autonomes sur le terrain.

## ASSAUT LÉGER

Equipées légèrement, sans matériel blindé, à pied, voire à cheval, les forces spéciales d'assaut peuvent lancer des attaques contre des cibles de haute valeur militaire, dans la plus grande discrétion, de jour comme de nuit.

## TIR D'ÉLITE

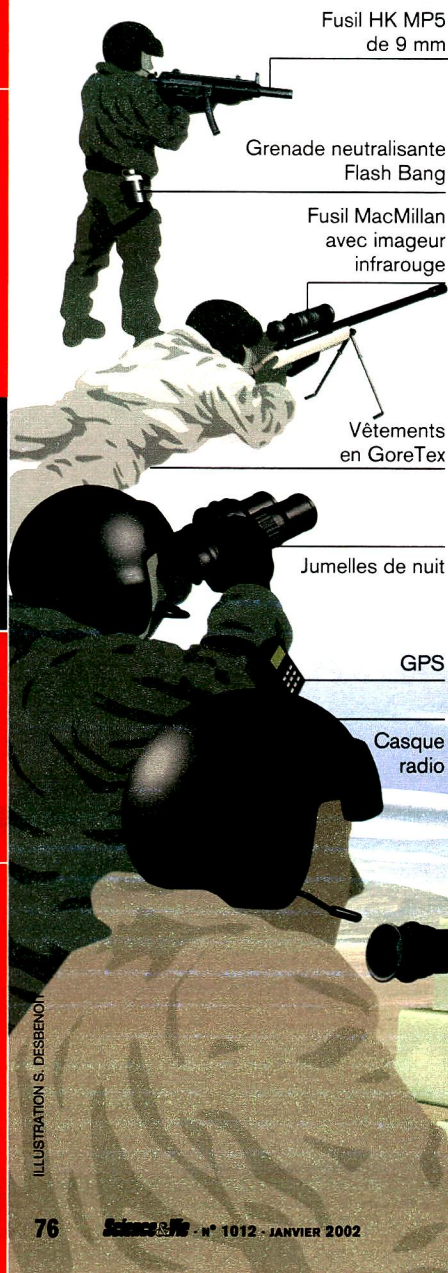
Avec des fusils de calibre 12,7 mm comme le MacMillan, les tireurs d'élite des forces spéciales peuvent atteindre une cible à deux kilomètres. En tenue de camouflage, les snipers visent les officiers pour déstabiliser les troupes adverses.

## RENSEIGNEMENT

C'est la mission prioritaire des forces spéciales. Elles sont entraînées à se terrer dans des trous et à observer leur environnement à l'aide de moyens techniques spécialisés : systèmes de vision nocturne, télémètres lasers, etc. Les équipes transmettent leurs observations par des moyens radio cryptés.

## DÉSIGNATION

Le "désignateur laser" permet aux hommes des forces spéciales de projeter un faisceau laser infrarouge sur la cible que doit atteindre un avion. Lequel lance alors sa bombe ou son missile, qui se dirigera sur l'objectif de manière automatique, avec une précision proche du mètre.



Fusil HK MP5  
de 9 mm

Grenade neutralisante  
Flash Bang

Fusil MacMillan  
avec imageur  
infrarouge

Vêtements  
en GoreTex

Jumelles de nuit

GPS

Casque  
radio

Désignateur  
laser longue  
portée



# LES UNITÉS ENGAGÉES SUR LE SOL AFGHAN

## NOM

## SPECIALITÉ

75th Ranger Regiment

Parachutage

160th Special Operations  
Aviation Regiment  
"Night Stalkers"

Infiltration,  
exfiltration (1)

Delta Force

Antiterrorisme

5th Special Operations  
Group

Actions en Asie,  
Afrique, Moyen-Orient

US Air Force Special  
Operations Command

Opérations aériennes,  
action psychologique (2)

Special Air Service  
(SAS)

Parachutage,  
antiterrorisme

Special Boat Squadron  
(SBS)

Action depuis  
la mer

AMÉRICAINS

BRITANNIQUES

(1) Passage des lignes ennemies pour faire entrer  
ou sortir des alliés.

(2) Messages radio, tracts, propagande...

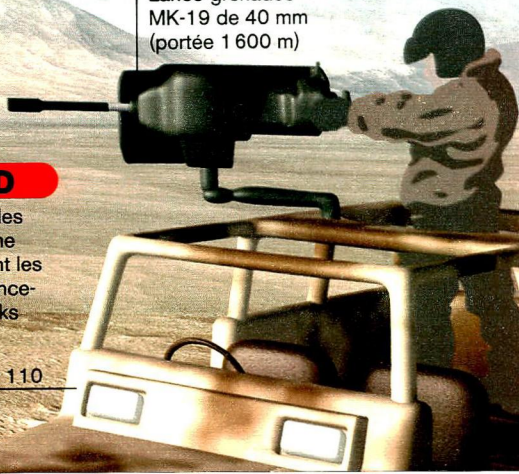


## PARACHUTAGE

L'une des spécialités de ces troupes d'élite : la "pénétration oblique". Lâchés à très haute altitude (8000 m), les parachutistes peuvent parcourir jusqu'à 40 km sous des parapentes.



Lance-grenades  
MK-19 de 40 mm  
(portée 1600 m)



## ASSAUT LOURD

Dotées de véhicules rapides, les forces spéciales (ici, un homme du SAS britannique) détruisent les blindés ennemis à l'aide de lance-grenades, de missiles anti-tanks et de mortiers.

Land-Rover 110





# L'OR NOIR AU CŒUR DE LA GUERRE

PAR AKÉLA SARI

Un nouvel eldorado ? La région de la mer Caspienne, riche en gisements, attise toutes les convoitises. L'Afghanistan y occupe une position clé. Pendant des années, sous l'influence du lobby pétrolier américain, Washington a mené des tractations secrètes avec les taliban... jusqu'en août 2001. Pour les Etats-Unis, l'enjeu de la guerre c'est aussi de réduire leur dépendance énergétique à l'égard de l'Arabie Saoudite.

ITAR-TASS



# 1 Afghanistan, le passage obligé

Route des oléoducs, gisements de gaz et de pétrole : l'Afghanistan est le nouveau carrefour pour l'énergie.



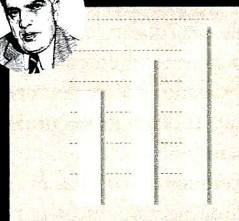
## 2 Un partenariat qui tourne mal

De Clinton à Bush, les Américains ont longtemps négocié avec les taliban. Retour sur leurs liaisons dangereuses.



## 3 “Le Moyen-Orient est devenu trop instable”

Depuis la guerre du Golfe, les Etats-Unis ont tout à craindre d'une région en crise et dont ils dépendent.





# 1 Afghanistan, le

**Comment accéder aux richesses de la Caspienne ? L'Afghanistan est la pièce maîtresse des Etats-Unis dans la "guerre des pipelines" qui les oppose aux grandes puissances de la région depuis l'effondrement de l'empire soviétique.**

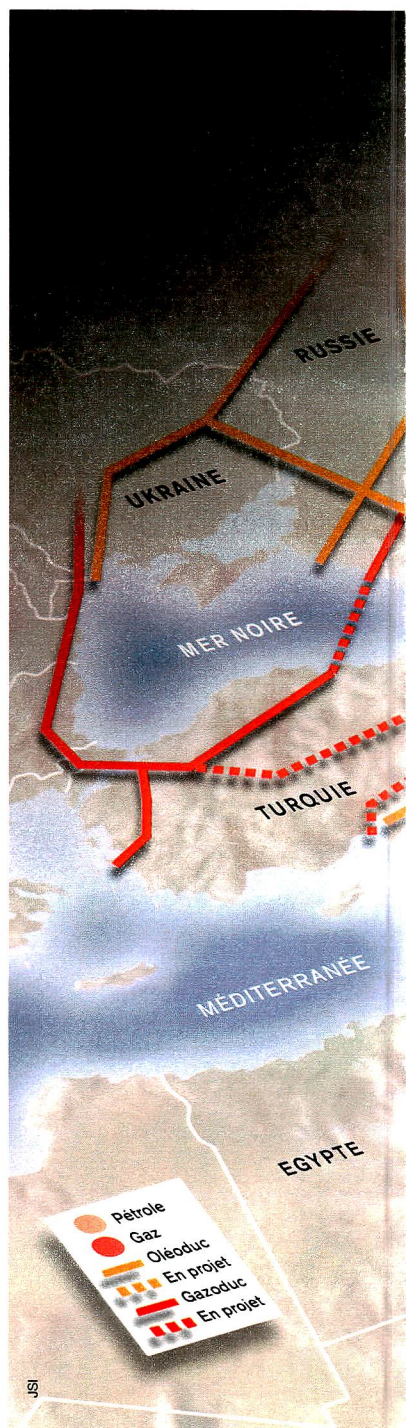
« J amais de mémoire d'homme, une région n'est de manière si soudaine devenue d'une importance aussi stratégique que la région Caspienne », déclarait en 1998 le vice-président Dick Cheney, alors p.-d. g. de Halliburton, fournisseur mondial de services pétroliers (voir article "Bush et son lobby pétrolier"). Loin de refléter le potentiel des richesses de cette zone, le modeste niveau de production actuel (1000 barils par jour, soit 1,5 % de la production mondiale) devrait connaître ces dix prochaines années une montée en puissance qui pourrait permettre aux Etats-Unis de réduire leur dépendance vis-à-vis des monarchies pétrolières du Golfe (voir interview p. 87).

L'Afghanistan occupe à cet égard une position géographique clé dans le nouveau "Grand Jeu" qui oppose les Etats-Unis à l'Iran et à la Russie. L'enjeu : contrôler les nouvelles routes qui achemineront les gisements inexploités de la mer Caspienne et des nouvelles républiques voisines de l'Afghanistan, vers les marchés européens et asiatiques.

Depuis l'effondrement de l'URSS, en 1991, une "guerre des pipelines" fait rage et de multiples projets s'affrontent (voir carte ci-contre). Les ex-républiques soviétiques souhaitent se dégager du réseau qui traverse la Russie, avec le soutien de Wa-

shington qui, par ailleurs, veut éviter l'Iran, en raison des sanctions imposées par le Congrès contre ce pays en 1980. Les Américains sont donc partisans de la route de la Turquie, *via* la Géorgie, pour acheminer le pétrole azerbaïdjanais vers les grands terminaux de la Méditerranée. Mais la seule production de l'Azerbaïdjan ne suffit pas à assurer sa rentabilité. D'où l'idée d'une route qui traverserait l'Afghanistan et le Pakistan pour déboucher en mer d'Oman et éviter le détroit d'Ormuz, entre l'Iran et la péninsule Arabique. Le projet de la firme californienne Unocal misait sur cette voie pour transporter le gaz turkmène vers les marchés émergents du sud (Pakistan, Inde, Thaïlande, etc.). Les négociations menées avec les taliban ont été gelées en 1998 (voir article "Un partenariat qui tourne mal"). La paix en Afghanistan raviverait les promesses de cette voie.

Les Etats-Unis pourraient alors reprendre, là où ils se sont arrêtés avec l'invasion soviétique en 1979, les efforts de prospection de compagnies occidentales, parmi lesquelles Total, ayant conduit à découvrir dans le nord de l'Afghanistan de petites quantités de gaz qui ont donné lieu dans les années 70 à des exploitations destinées à la consommation locale. Quant au pétrole, des indices géologiques ont été découverts dans le sud du pays.





# passage obligé



Les seuls oléoducs et gazoducs en fonction dans le bassin caspien et l'ex-URSS datent de l'époque soviétique. Mais ils sont saturés et ne pourront absorber les futures productions de la région. Un immense chantier se prépare donc. Or, des intérêts contradictoires s'affrontent autour du tracé des nouvelles voies d'évacuation. Acteurs majeurs, les États-Unis veulent exclure la Russie et l'Iran du "Grand Jeu" caspien en soutenant la route du sud vers les très prometteurs marchés émergents du sud-est asiatique et de l'Extrême-Orient.



# 2 Un partenariat

Dans *L'ombre des taliban*, le journaliste pakistanais Ahmed Rashid livre une analyse unique de l'imbroglio afghan. Il y raconte notamment les édifiantes tractations menées de 1994 à 1998 entre la diplomatie américaine et les fanatiques de Kaboul pour la construction d'un gazoduc. Extraits.

## Les taliban découvrent le "Grand Jeu" du pétrole...

C'est par l'intermédiaire de Carlos Bulgheroni que les taliban découvrirent le monde de la haute finance, la politique pétrolière et le "nouveau Grand Jeu". Cet Argentin, président de [la compagnie pétrolière] Bidas, voulait relier les gisements turkmènes de sa compagnie avec le Pakistan et l'Inde, créant ainsi un réseau d'infrastructures qui rendrait la paix possible en Afghanistan et, peut-être, entre l'Inde et le Pakistan. Bulgheroni ressemble aux magnats du pétrole américains et britanniques du début du xx<sup>e</sup> siècle, qui considéraient leurs affaires comme un prolongement de la politique mondiale et réclamaient donc le droit d'influer sur la politique étrangère. Entre 1995 et 1996, il



quitta l'Amérique du Sud et passa neuf mois dans son jet de fonction, allant d'une faction à l'autre en Afghanistan et à Islamabad, à Achgabat, à Moscou et à Washington, pour convaincre les divers dirigeants que son pipeline était une possibilité réaliste. (...)

Bidas proposait de construire un gazoduc de 1 400 kilomètres, qui, partant de son gisement de Yashlar [au Turkménistan], traverserait le sud de l'Afghanistan jusqu'à Sui, dans le Baloutchistan pakistanais, où se trouvent les ré-

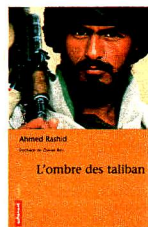
serves de gaz du Pakistan et d'où rayonne son réseau de pipelines. (...) Bidas proposait un pipeline d'accès libre, de sorte que d'autres compagnies et d'autres pays puissent un jour y convoyer leur propre gaz. Cela plut particulièrement aux chefs de faction afghans, du fait de l'existence de gisements de gaz dans le nord du pays (...). « J'ai rencontré tous les leaders, Ismaël Khan à Hérat, Burhanuddin Rabbani et Massoud à Kaboul, Dostom à Mazar, et les taliban à Kandahar. J'ai été très



# qui tourne mal



En mars 2001, Kofi Annan, secrétaire général des Nations unies (deuxième à dr.) rencontrait Wakil Ahmad Mutawakil, ministre taliban des Affaires étrangères (deuxième à g.). La rencontre se tient alors que les Etats-Unis relancent les négociations avec les taliban. Route du pétrole, droits de l'homme, extradition de Ben Laden... les débats sont houleux.



**Correspondant de prestigieux journaux et télévisions anglophones, Ahmed Rashid fut le seul journaliste à couvrir l'Afghanistan**

**depuis l'invasion soviétique en 1979. *L'ombre des taliban* (éd. Autrement, 2001) est une référence pour qui veut comprendre ce mouvement politico-religieux et les enjeux géostratégiques qui déchirent la région.**

consultant pour Unocal. Alors que Kissinger étudiait un parcours possible à travers l'Afghanistan, il remarqua que l'accord ressemblait au « triomphe de l'espoir sur l'expérience ». Pourtant, Bidas n'était pas prête à renoncer, et la première bataille du « nouveau Grand Jeu » commença. « Nous sommes simplement une compagnie pétrolière qui essaie de développer les ressources d'un pays, mais nous nous sommes retrouvés mêlés à un "Grand Jeu" qui n'est pas le nôtre, dans lequel les grandes puissances s'affrontent », déclara plus tard Mario Lopez Olaciregul, directeur de Bidas. (...)

Bidas était une petite entreprise familiale dont les cadres, formés dans la tradition européenne, s'intéressaient à la politique, à la culture, à l'histoire de ceux avec qui ils traitaient. Ils connaissaient les détours complexes du « Grand Jeu » et avaient pris la peine d'étudier les liens ethniques, tribaux et familiaux des dirigeants qu'ils rencontraient. Unocal était une énorme société qui engageait des directeurs pour gérer ses affaires à l'échelle

bien reçu partout, parce que les Afghans comprenaient qu'il leur fallait reconstruire l'économie et qu'ils avaient besoin des investissements étrangers. » (...)

Mais Bidas devait à présent affronter un problème majeur au Turkménistan. [Le chef de l'Etat turkmène] Nyazov avait été convaincu par ses conseillers que Bidas exploitait le Turkménistan (...) Comme [la compagnie pétrolière américaine] Unocal exprimait le désir de construire son propre pipeline, [ce qui] lui don-

nait l'occasion d'impliquer une importante entreprise américaine et l'administration Clinton dans le développement du Turkménistan, [Nyazov] convoqua Bidas et Unocal à New York. Là, le 21 octobre 1995, devant les cadres de Bidas et à leur grand dam, Nyazov signa un accord avec Unocal et son partenaire, la Delta Oil Company saoudienne, pour construire un gazoduc à travers l'Afghanistan. (...) Parmi les témoins de cette signature figurait Henry Kissinger, ex-secrétaire d'Etat et alors

B.K.BANGASH/AP



# Bush et son lobby pétrolier

Le récit d'Ahmed Rashid s'arrête fin 1999. *Ben Laden, la vérité interdite*, de Jean-Charles Brisard et Guillaume Dasquié, nous éclaire sur la suite de l'histoire. Selon leur thèse, l'administration Bush, guidée par ses intérêts pétroliers (voir les édifiantes "bio" ci-contre), a relancé les négociations avec les taliban, notamment via l'ONU. Quitte à brider l'enquête du FBI sur les commanditaires d'attentats anti-américains, à commencer par Oussama Ben Laden. Les attentats spectaculaires du 11 septembre ont signé l'échec définitif de ces liaisons dangereuses.

R. D. WARD/AFP

**Zalmay Khalizad**  
Membre du Conseil national de sécurité

Cet Américain d'origine afghane a travaillé au Département d'Etat sous Reagan et au Pentagone sous Bush père. Il fut expert d'Unocal, qui négocia le tracé du projet de gazoduc avec les taliban.

© L. DOWNING/REUTERS

**Spencer Abraham**  
Secrétaire à l'Energie

L'un des plus ardents opposants aux mesures d'économie d'énergie. Parmi les principaux bénéficiaires de donations de l'industrie énergétique et automobile durant sa campagne ratée de réélection au Sénat en 2000.

D.R.

**Kathleen Cooper**  
Sous-secrétaire au Commerce

Ancienne chef économiste du géant mondial Exxon, devenu Exxon-Mobil. Elle y était responsable du suivi des marchés de l'énergie et chargée du développement international.

M. THEILER/REUTERS

**Donald Evans**  
Secrétaire au Commerce

Il a accompli l'essentiel de sa carrière dans le secteur pétrolier en tant que président de Tom Brown, une compagnie pétrolière et gazière.



planétaire. (...) Alors que les ingénieurs de Bridas passaient des heures à prendre le thé avec les tribus afghanes lorsqu'ils étudiaient les itinéraires dans le désert, Unocal allait à l'essentiel et ne remettait pas en question ce que lui disaient les chefs de faction afghans, pourtant peu fiables. (...) Unocal était également désavantagée parce que son attitude envers les taliban était dictée par la ligne politique américaine, et elle n'hésitait pas à donner des leçons aux taliban. (...)

## L'administration Clinton intervient...

L'administration Clinton intervint alors en faveur d'Unocal. (...) Au cours de deux voyages au Pakis-

tan et en Afghanistan, en avril et août 1996, l'assistante du secrétaire d'Etat [américain] pour l'Asie du Sud, Robin Raphel, prit également la défense du projet Unocal. Le 21 avril, lors d'une conférence de presse à Islamabad, elle déclara : « Nous avons une compagnie américaine qui souhaite construire un pipeline allant du Turkménistan au Pakistan. Ce projet est bon pour le Turkménistan, pour le Pakistan et pour l'Afghanistan, car il apportera des emplois et aussi de l'énergie à l'Afghanistan. » (...)

En décembre 1996, un haut diplomate iranien me dit à mots couverts que les Saoudiens et la CIA avaient remis 2 millions de dollars aux taliban, même si au-

cune preuve n'étayait ces soupçons. Mais les accusations se multiplièrent de tous côtés après les diverses bêtises commises par les Etats-Unis et par Unocal.

Quand les taliban s'emparèrent de Kaboul en septembre 1996, un cadre d'Unocal, Chris Taggart, déclara aux agences de presse que le projet de pipeline serait dès lors plus facile à réaliser, déclaration qui fut aussitôt démentie parce qu'elle impliquait qu'Unocal était favorable à la conquête du pays par les taliban. Quelques semaines auparavant, Unocal avait annoncé son intention d'offrir une aide humanitaire en guise de "bonus" aux chefs de faction afghans lorsqu'ils auraient accepté de former un





E. GAY/AP

© W. MCNAMEE/REUTERS

**Condoleezza Rice**  
Directrice du Conseil  
national de sécurité

Directrice de  
Chevron de 1991  
à 2000, elle  
intervenant sur  
les dossiers  
concernant l'Asie  
centrale. Son nom  
a même été donné  
à un pétrolier de  
Chevron, qui a  
été débaptisé au  
printemps dernier !

**Dick Cheney**  
Vice-président

Il a longtemps  
dirigé  
Halliburton,  
numéro un  
mondial des  
prestataires  
de service de  
l'industrie  
pétrolière, qu'il a  
quitté lors de  
la campagne  
présidentielle  
de George W.  
Bush.

© W. MCNAMEE/REUTERS



**Ben Laden,  
la vérité  
interdite**  
(éd. Denoël,  
2001)  
retrace

l'histoire des  
négociations secrètes  
entre l'administration  
Bush et les taliban.  
Ses auteurs connaissent  
bien le milieu  
de l'espionnage.  
Jean-Charles Brisard  
et Guillaume Dasquié  
ont puisé à des sources  
confidentielles  
ou inédites, comme  
ce témoignage de John  
O'Neill, ancien numéro  
deux du FBI, qui en  
démissionna en juillet  
2001, parce qu'il se  
sentait bridé dans son  
action antiterroriste.

conseil commun pour superviser le projet de pipeline. (...) Puis, à quelques heures de la prise de Kaboul, le ministère américain des Affaires étrangères annonça qu'il établirait des relations diplomatiques avec les taliban en envoyant un représentant officiel à Kaboul – déclaration sur laquelle il fallut aussitôt revenir. Le porte-parole du ministère, Glyn Davies, affirma que les Etats-Unis n'avaient « aucune objection » vis-à-vis des mesures prises par les taliban pour imposer la loi islamique. (...) Certains membres du gouvernement pakistanais, désireux de montrer que les Etats-Unis soutenaient les taliban, et donc la position du Pakistan, ré-

vélèrent aux journalistes que Washington [leur] était favorable.

### **L'idylle est de courte durée et mal venue...**

Lorsque j'ai parlé pour la première fois aux diplomates de l'ambassade américaine à Islamabad après l'émergence des taliban, en 1994, ils étaient enthousiastes. Les taliban leur avaient dit, à Kandahar, qu'ils détestaient l'Iran, qu'ils mettraient un frein à la culture du pavot et à la production d'héroïne, qu'ils s'opposeraient à la présence en Afghanistan d'intrus comme les Arabo-Afghans et qu'ils n'avaient aucun désir de prendre le pouvoir. Certains diplomates virent en eux des bienfaiteurs, un

genre de chrétiens régénérés à l'américaine. Ils pensaient que les taliban atteindraient les objectifs américains en Afghanistan. C'était évidemment un espoir bien naïf, au regard de la base sociale des taliban, qui ignoraient eux-mêmes ce qu'ils représentaient et qui ne savaient pas encore s'ils voulaient diriger le pays. Les Etats-Unis n'émergent pas de reproche quand les taliban prirent Hérat, en 1995, et chassèrent des écoles des milliers de jeunes filles. En fait, avec l'ISI pakistanais, les Etats-Unis considéraient la chute de Hérat comme une aubaine pour Unocal et comme une défaite pour l'Iran. Washington espérait utiliser les taliban pour paralyser l'Iran, mais



c'était une vision à court terme : cela revenait à opposer l'Iran au Pakistan, les sunnites aux chiites, les Pachtounes aux non-Pachtounes. (...) En novembre 1996, Bidas déclara avoir signé un accord avec les taliban et le général Dostom pour construire le pipeline, et que Burhanuddin Rabbani l'avait déjà accepté. Ce fut la panique pour Unocal et le Pakistan. Le 9 décembre 1996, le ministre des Affaires étrangères pakistanais, Naj-muddin Sheikh, rendit visite au mollah Omar à Kandahar pour le persuader d'accepter la proposition d'Unocal, mais Omar refusa de s'engager.

En privé, plusieurs leaders taliban déclaraient préférer Bidas, qui n'exigeait rien d'eux alors qu'Unocal leur demandait d'améliorer leur bilan en matière de droits de l'homme et d'ouvrir des pourparlers avec l'alliance anti-taliban, noyau de la politique américaine.

### Soudain, Washington durcit le ton...

Clinton prit seulement conscience du problème afghan quand les

Américaines vinrent frapper à sa porte. Le couple Clinton avait beaucoup compté sur le vote féminin, lors des élections de 1996, et sur le soutien des femmes, lors de l'affaire Lewinsky. Il ne pouvait se mettre à dos les électrices libérales. En outre, dès lors que Hollywood s'intéressa à la question (les stars libérales ayant financé et soutenu la campagne de Clinton, le vice-président Al Gore souhaitait conserver leur appui lorsqu'il serait lui-même candidat à la présidence), les Etats-Unis ne pouvaient plus se permettre aucune faiblesse vis-à-vis des taliban. En 1998 et 1999, le soutien des taliban à Ben Laden, leur refus du projet Unocal et de tout compromis avec leurs opposants comme avec le nouveau gouvernement modéré iranien furent autant de raisons pour que les Etats-Unis se montrent plus durs. En 1999, "avoir Ben Laden" devint l'objectif primordial de Washington (...)

Après avoir soutenu les taliban, les Etats-Unis les rejetaient désormais complètement. Ce rejet des taliban tenait en grande partie à la

pression des féministes américaines. Les militantes afghanes telles que Zieba Shorish-Shamley avaient persuadé le groupe Feminist Majority de lancer une pétition de soutien aux femmes afghanes, pour obliger Clinton à durcir sa position contre les taliban. La pétition fut signée par trois cents groupes féminins, syndicats et organismes de défense des droits de l'homme. (...) « La guerre que les taliban ont déclarée aux femmes est devenue la dernière cause célèbre à Hollywood. Le Tibet est passé de mode, maintenant c'est l'Afghanistan qu'il faut soutenir », pouvait-on lire dans le *Washington Post*. [En 1999] Hillary Clinton, désireuse de s'assurer le soutien des féministes pour sa carrière politique à venir, accumula les déclarations contre les taliban. (...). La politique américaine avait parcouru tout le spectre, de l'acceptation inconditionnelle des taliban à leur rejet inconditionnel.

© Editions Autrement.

**Malgré ce revirement de l'équipe Clinton à l'encontre des infréquentables taliban, l'administration Bush semble avoir repris d'intenses négociations avec eux dès son arrivée au pouvoir, au début de l'année 2001. Des négociations compliquées par la nécessité politique de capturer Oussama ben Laden, poursuivi pour ses attentats de 1998 contre des ambassades américaines en Afrique. Un terroriste protégé par son ami, parent, et maître de l'Afghanistan, le mollah Omar. Si Ben Laden est bien le commanditaire des attentats du 11 septembre, alors, comme l'écrit dans sa postface Olivier Roy, directeur de recherche au CNRS, les taliban ont fait un choix unique dans l'histoire moderne : ignorer leurs intérêts nationaux au profit d'une logique religieuse et supranationale. [NDLR].**

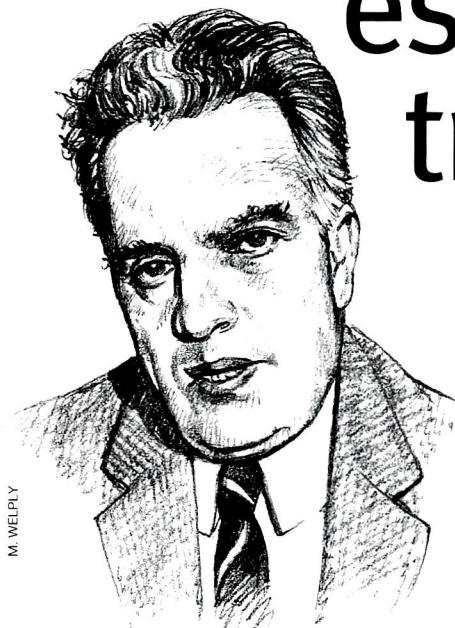


Wakil Ahmad Mutawakil, ministre taliban des Affaires étrangères, et Martin Miller, vice-président de la compagnie pétrolière américaine Unocal.

B.K. BANGASH/AP



# 3 “Le Moyen-Orient est devenu trop instable”



M. WELPLY

**Nicolas Sarkis**

Directeur du Centre arabe d'études pétrolières, à Paris. Consultant auprès des pays producteurs du Moyen Orient et d'Asie centrale, cet économiste libanais dirige également *Le Pétrole et le gaz*, la seule publication spécialisée, en français, qui couvre tous les aspects de l'industrie pétrolière et gazière dans ces régions

PROPOS RECUEILLIS  
PAR AKÉLA SARI

**Q**uelques années avant l'invasion soviétique, vous étiez conseiller du gouvernement afghan lors de ses négociations avec des sociétés pétrolières occidentales sur les conditions de prospection du territoire. Selon vous, quel rôle joue le pétrole dans les opérations américaines menées en Afghanistan ?

Un rôle indirect, mais qui a son importance. Pour comprendre, il faut savoir que les relations entre les États-Unis et leur principal allié politique, militaire et pétrolier au Moyen-Orient, l'Arabie Saoudite, se sont nettement dégradées au cours de ces dernières années. Et depuis que le président Bush est arrivé au pouvoir aux États-Unis, on peut même parler de crise sans précédent entre les deux pays. En ef-

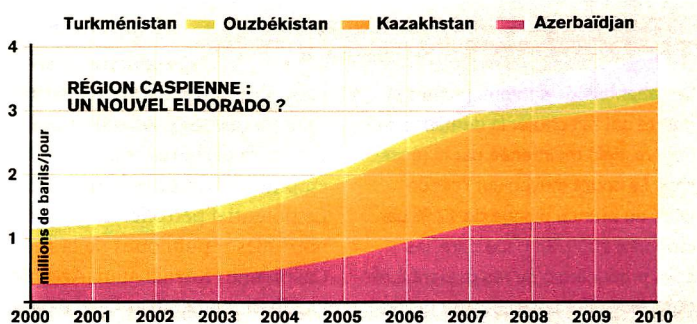
fet, l'administration Bush juge nettement insuffisantes les mesures prises jusqu'ici par Ryadh pour lutter contre le terrorisme international et les réseaux soupçonnés de financer al Qaida de Ben Laden. Mais c'est que, depuis la guerre du Golfe, en août 1990, le royaume wahhabite a plongé dans une très grave tourmente, se trou-

vant pris entre les exigences de Washington et une opinion publique saoudienne, arabe et islamique en proie à un virulent courant d'anti-américanisme. Cette crise intérieure risque de fragiliser le régime saoudien et de déstabiliser l'ensemble des monarchies pétrolières du Golfe.

Aujourd'hui, ce risque d'instabilité semble encore amplifié par le rapprochement entre les États-Unis et l'Iran, qui est le principal rival de l'Arabie Saoudite dans la région. Or, l'Iran est appelé à jouer un rôle clé dans le règlement de l'imbroglio afghan...

**Pourtant, les États-Unis ont énormément investi en Arabie Saoudite.**

Justement. Au cours de l'année 2000, les investissements américains en Arabie Saoudite ont atteint 4,8 milliards de dollars, c'est-



Dans les dix prochaines années, la production de pétrole dans la région Caspienne devrait quadrupler. De quoi exciter les convoitises...

D. GALLAND



# “ Une vraie menace pèse sur les investissements américains dans le Golfe. ”

à-dire plus que le total des investissements américains dans l'ensemble des autres pays du Golfe ! Depuis 1981, les ventes américaines d'armes et d'équipements industriels à l'Arabie Saoudite ont dépassé 50 milliards de dollars et près de 31 000 Américains sont actuellement employés dans des sociétés saoudiennes ou des joint-ventures américano-saoudiennes, pétrolières pour la plupart. On peut aussi évoquer le géant américain Exxon Mobil, qui a été sélectionné pour diriger deux des trois consortiums chargés de réaliser

des projets gaziers nécessitant des investissements de 20 à 26 milliards de dollars. Reste que les conditions de mise en œuvre de ces projets sont encore en discussion, tandis que les menaces d'attentats terroristes sont prises très au sérieux par les consortiums concernés. Depuis le 11 septembre et les attentats à New York, les sites stratégiques dans le pays, y compris, bien sûr, les installations pétrolières, font d'ailleurs l'objet de très sévères mesures de sécurité. Bref, le débat récurrent sur les prix du pétrole, le plafond de production ou encore les quotas Opep paraît bien dérisoire face à la menace qui pèse sur les investissements pétroliers américains en Arabie Saoudite.

## De quoi remettre en question l'équilibre existant entre pays importateurs et pays exportateurs de pétrole ?

En fait, les événements de ces derniers mois ont mis en évidence la vulnérabilité des pays consommateurs de pétrole

vis-à-vis des pays exportateurs, en particulier ceux du Moyen-Orient, où les risques d'instabilité sont devenus, comme je viens de le dire, de plus en plus réels. Car cela remet en cause rien moins que la question de la sécurité des ap-

## Vous semblez en douter...

provisionnement. La conséquence, c'est que les pays qui importent des hydrocarbures songent de plus en plus à diversifier leurs sources. Le potentiel pétrolier et gazier des nouvelles républiques de la région Caspienne (Kazakhstan, Azerbaïdjan, Turkménistan et Ouzbékistan) suscite ainsi depuis plusieurs années l'intérêt des industriels du sec-

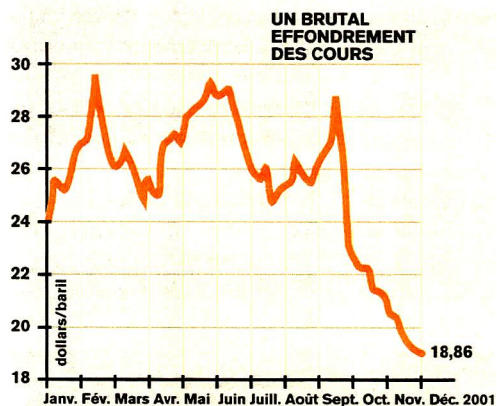
## Pour les pays consommateurs, de pétrole, il s'agirait donc d'un calcul à long terme.

teur, qui considèrent cette région comme une nouvelle province pétrolière.

Je crois qu'on a eu tendance à exagérer le potentiel de ces nouveaux gisements de gaz et de pétrole. Certains sont allés jusqu'à comparer la Caspienne à la mer du Nord, et toute la région au Moyen-Orient ! Cela n'est fondé sur aucune donnée fiable. L'exploitation des gisements de ces pays est très récente et il reste beaucoup d'investissements à faire pour déterminer avec exactitude les capacités dont ils pourront profiter dans l'avenir.

Effectivement. Et cela d'autant plus que les pays producteurs de pétrole qui ne font pas partie de l'Opep sont appelés à voir leur production stagner, puis décliner à partir de 2010, en raison de l'épuisement de leurs réserves. Cela signifie que pour couvrir l'accroissement de la demande globale, l'Arabie Saoudite, l'Iran, l'Irak, les Emirats Arabes Unis et le Koweït devront presque tripler leur production d'ici 2020 ! C'est un pari énorme, qui va demander de colossaux investissements. Or, les conséquences des attentats contre le World Trade Center font peser de nouvelles incertitudes au sujet de ces investissements. Un seul chiffre : les sociétés énergétiques, au Moyen-Orient et ailleurs, consacrent désormais des dizaines de milliards de dollars, dont près de 20 milliards de dollars seulement aux Etats-Unis, pour protéger les installations pétrolières, gazières et nucléaires contre d'éventuels attentats terroristes...

## Une stabilisation politique de l'Asie centrale aurait donc l'intérêt de réduire la dépendance des pays industrialisés à l'égard du pétrole du Moyen-Orient ?



Les attentats de septembre, puis la guerre ont fait chuter la demande pétrolière, déjà malmenée par la récession. Le cours moyen sur l'année 2001 du Brent a plongé de 17 % par rapport à 2000. En décembre, les pays producteurs se résignaient à réduire leur offre pour éponger les surplus et tenter de stabiliser le baril entre 20 et 22 dollars.

provisionnement. La conséquence, c'est que les pays qui importent des hydrocarbures songent de plus en plus à diversifier leurs sources. Le potentiel pétrolier et gazier des nouvelles républiques de la région Caspienne (Kazakhstan, Azerbaïdjan, Turkménistan et Ouzbékistan) suscite ainsi depuis plusieurs années l'intérêt des industriels du sec-



Ce n'est pas aussi simple. Pour augmenter les capacités de production du Moyen-Orient, il faudrait investir dans ces pays plus de 300 milliards de dollars d'ici à 20 ans. Mais pour développer l'exploration et la production d'hydrocarbures dans les pays non OPEP, il faudrait quelque 1000 milliards

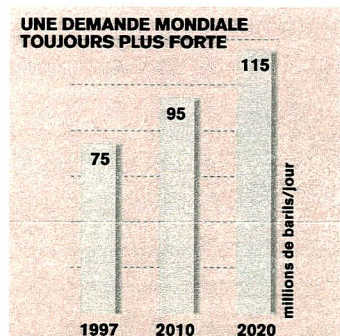
**“ Pour développer les gisements de gaz et de pétrole en Caspienne, 40 milliards de dollars suffiraient ! ”**

de dollars ! Et dans ce calcul, la région Caspienne compte pour seulement 40 milliards ! Ceci dit, il est vrai qu'au niveau géopolitique, il est très probable que l'intervention militaire américaine en Afghanistan créera une nouvelle donne de nature à renforcer la position des Etats-Unis et des sociétés améri-

caines face à leurs concurrents européens et asiatiques. Mais la partie d'échec qui se joue à propos du contrôle de l'acheminement des hydrocarbures de la région vers les grands marchés asiatique et européen est loin d'être jouée. L'incertitude planera tant qu'on ignorera si la guerre menée par les Etats-Unis contre les taliban et le terrorisme a porté ses fruits. Une bonne partie de l'entourage du président Bush [notamment James Woolsey, ancien directeur de la CIA, Paul Wolfowitz, sous-secrétaire à la Défense, et Richard Perle, conseiller du Pentagone, *Ndlr*] considère, en effet, qu'il faut aller au-delà de l'Afghanistan pour éradiquer non seulement les responsables des mouvements terroristes, mais aussi toutes les sources de menaces contre les intérêts américains dans le monde.

#### **Vous songez ici à l'Irak ?**

A Washington, il y a des responsables qui, à tort ou à raison, accusent l'Irak de détenir des armes de destruction massive, biologiques et chimiques. Or, si les Etats-Unis devaient, après l'Afghanistan, diriger leurs frappes contre l'Irak, cela provoquerait un redoutable séisme politique dans l'ensemble du Moyen-Orient.



**Dans 20 ans, la demande mondiale en hydrocarbures sera telle que les pays consommateurs devront diversifier leurs sources d'approvisionnement pour ne pas dépendre uniquement d'un Moyen-Orient qui, de son côté devra suivre la cadence.**

#### **En cas d'attaque américaine sur l'Irak, quel serait cette fois le poids de l'arme pétrolière ?**

Il est toujours difficile de brandir une arme dont on ne maîtrise pas complètement les effets et qui requiert un minimum de consensus. Cela dit, les grands producteurs du Golfe n'ont pas la même position à l'égard du régime irakien : le Qatar et les Emirats Arabes Unis ne sont pas hostiles à Saddam Hussein, mais l'Arabie Saoudite et le Koweït ne seraient évidemment pas fâchés de le voir évincé du paysage... ■

## **GLOSSAIRE**

**Baril** : unité de mesure de volume utilisée par l'industrie pétrolière. Un baril correspond, approximativement, à 159 litres. Une production d'un millier de barils par jour équivaut à 58 millions de litres (soit environ 50 000 tonnes) par an. Actuellement, l'Arabie Saoudite est le premier producteur de pétrole.

**Brent** : appellation qui caractérise le mélange-type de différents pétroles de la mer du Nord. Utilisée comme valeur de référence par les marchés boursiers. **Brut** : pétrole extrait des gisements qui doit être raffiné. Chaque gisement possède ses caractéristiques, la densité et la teneur en soufre étant les plus importantes.

**Gaz** : hydrocarbure composé à plus de 90 % de méthane, le gaz naturel est un combustible incolore et inodore.

**Opep** : Organisation des pays exportateurs de pétrole. Fondée en 1960 à Bagdad (Irak), elle regroupe aujourd'hui onze membres : Algérie, Arabie Saoudite, Émirats Arabes Unis,

Indonésie, Irak, Iran, Koweït, Libye, Nigéria, Qatar et Vénézuéla. Le siège de l'Opep est à Vienne (Autriche).

**Pétrole** : du latin *petra oleum* (huile de pierre), liquide inflammable présent dans les couches sédimentaires de l'écorce terrestre. Il est composé d'hydrocarbures plus ou moins soufrés, de couleur jaune à noire.



# L'ancêtre des galaxies a été

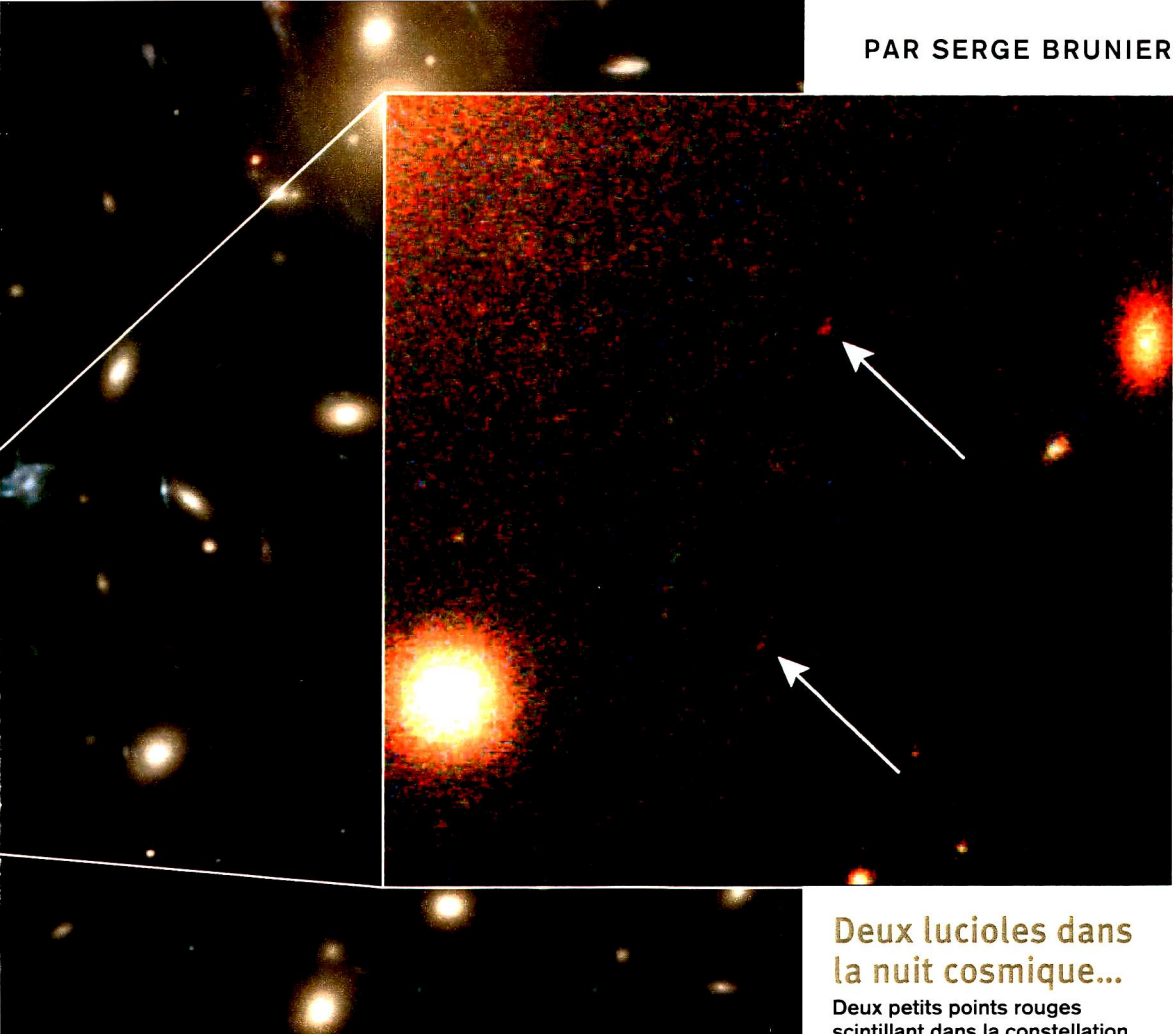
**C**e ne sont que deux minuscules taches rouges. Deux lucioles qui scintillent faiblement dans la constellation du Dragon, où le télescope spatial *Hubble* les a dénichées alors qu'il braquait son grand miroir dans le grand nord de la nuit sidérale. Et pourtant, la découverte de ces deux infimes traces célestes marque d'ores et déjà une date dans l'histoire de l'astronomie. Tous les spécialistes en sont d'ailleurs bouleversés. Car la preu-

**La théorie du big bang en rêvait : *Hubble* vient de révéler un astre désigné comme le tout premier de l'Univers! Baptisé objet A, il constitue, avec dix ans d'avance, un événement majeur dans l'histoire de l'astronomie.**

ve est là, enregistrée sur la photo numérique qu'*Hubble* a rapportée de l'espace : ces deux minuscules petits points ne désignent rien de moins que l'ancêtre des galaxies! Le plus ancien astre jamais aperçu entre tous les astres!

Annoncée le 17 septembre dernier, cette découverte a fait l'effet d'une bombe. Sur la photo, le fameux astre, qui apparaît dédoublé par un effet de "mirage" cosmique, ne paie pourtant pas de mine, simple petit nuage de gaz et





# identifié!

## Deux lucioles dans la nuit cosmique...

Deux petits points rouges scintillant dans la constellation du Dragon : c'est sous cette forme qu'est apparu, sur un cliché du puissant télescope spatial *Hubble*, l'astre le plus ancien jamais observé, lointain témoin de la jeunesse de l'Univers.

d'étoiles. Oui, mais il a été formé seulement un milliard d'années après le big bang, c'est-à-dire il y a environ 14 milliards d'années, si l'Univers est bien "né" voilà 15 milliards d'années. Fusionnant avec des milliers d'autres astres identiques, il a jadis donné naissance à une galaxie semblable à la nôtre. Pour les astronomes, cela signifie que le bestiaire céleste vient de s'enrichir d'un tout nouvel objet. Et surtout qu'un seuil a été franchi : jamais on n'était remonté aussi loin dans le temps,

puisque regarder loin dans l'espace, c'est aussi regarder tôt dans l'histoire de l'Univers. De fait, si de jeunes amas d'étoiles isolés dans l'espace peuplaient en nombre quasi infini l'Univers à l'origine, il n'en existe à l'heure actuelle plus aucun représentant...

### LE SEUIL DES 14 MILLIARDS D'ANNÉES FRANCHI

Pour comprendre, il suffit de plonger dans le ciel : l'Univers nous apparaît aujourd'hui rempli de galaxies. En forme de disques

spiralés ou de grosses boules de neige, elles sont partout, flottant dans l'espace, parfois isolées, parfois regroupées en gigantesques amas. Gigantesques si l'on songe que les plus grandes galaxies peuvent compter jusqu'à dix mille milliards d'étoiles, tandis que les plus petites en amassent tout de même un milliard. C'est autour de ces étoiles que s'organisent les systèmes planétaires, tels que le nôtre autour du Soleil.

Jusqu'à présent, les plus puissants télescopes du monde ne



## La naissance des galaxies

### BIG BANG

Juste après le big bang, il y a probablement 15 milliards d'années, l'hydrogène et l'hélium emplissent tout l'espace de façon homogène.

### 100 MILLIONS D'ANNÉES

Puis l'hydrogène se fragmente et se condense en nuages.

Ces nuages donnent alors naissance à des étoiles (l'"objet A" observé par *Hubble* est l'un de ces amas de jeunes étoiles et d'hydrogène).

pouvaient observer ces galaxies plus loin que 14 milliards d'années dans le passé. Or, selon la théorie du big bang, c'est autour de 15 milliards d'années que l'Univers a jailli d'un point singulier de l'espace et du temps – et, depuis lors, il est en expansion. D'abord brûlant, le cosmos, dense et homogène, se serait ensuite rapidement refroidi. Puis la matière (de l'hydrogène et de l'hélium) qui emplissait tout l'espace de façon uniforme aurait commencé à se fragmenter pour, finalement, se condenser en nuages, précurseurs des galaxies. C'est ce que dit la théorie. Car, techniquement, les

sion de petites entités, des amas d'étoiles de cent à cent mille fois plus petits et moins lumineux qu'elles. Des "briques" prégalactiques qui, selon eux, auraient constitué les toutes premières structures cosmiques, à partir desquelles se seraient allumées les premières étoiles de l'Univers.

### UNE MÉTHODE INGÉNIEUSE

Et voilà bien l'extraordinaire découverte des Américains Richard Ellis et Mike Santos, du Hollandais Konrad Kuijken et du Français Jean-Paul Kneib : ils ont mis en évidence l'un de ces "bébés galaxies", alors que ceux-ci sem-

plement servis d'un phénomène bien connu des astronomes : celui qui voit les amas géants de galaxies amplifier la lumière. Forts de ces "lentilles gravitationnelles" (voir l'encadré page suivante), ils ont alors patiemment entrepris de percer plus avant l'insondable de la nuit céleste.

Concrètement, les quatre astrophysiciens ont commencé, voilà une dizaine d'années, par effectuer une recherche systématique d'objets lointains à travers les plus puissantes lentilles gravitationnelles connues (Abell 370, Cl2244-02, AC 114, etc.). Et, pour mettre toutes les chances de leur côté, ils prennent soin d'orienter conjointement vers ces "téléscopes cosmiques" toute la puissance optique dont l'homme peut actuellement disposer : *Hubble*, dans l'espace, et le télescope Keck, installé à Hawaï.

La quête durera jusqu'au début de l'année 2001, où le rendez-vous tant espéré arrive enfin : un astre inédit apparaît sur les photographies d'*Hubble* et dans les enregistrements spectrographiques du télescope Keck. Aussi sobrement que leur découverte est d'importance, les quatre astronomes bap-

## Début 2001, c'est enfin le rendez-vous tant espéré : "l'objet A" surgit de la nuit

astronomes n'avaient à leur disposition aucun moyen d'aller observer la naissance des premières étoiles et des premières galaxies, quelque part dans le premier milliard d'années de l'histoire cosmique. Depuis quelques années, les cosmologistes soupçonnent que les toutes premières galaxies se sont formées à partir de la fu-

blaient totalement hors de portée des plus puissants télescopes du monde. Même la fameuse photographie Hubble Deep Field, prise avec un temps de pose d'une centaine d'heures pour scruter le plus ancien passé de l'Univers, n'en avait montré nulle trace. Comment ont donc fait Ellis, Santos, Kuijken et Kneib ? Ils se sont tout





**1 MILLIARD  
D'ANNÉES**  
Sous l'effet  
de la gravitation,  
les amas d'étoiles  
se rapprochent.

De petites galaxies  
irrégulières  
se forment alors  
et se regroupent.

**AUJOURD'HUI**  
Leur fusion  
donne naissance  
aux galaxies  
que l'on observe  
aujourd'hui.

## Pouponnière d'étoiles

La nébuleuse du Cocon (NGC 604) est un vaste nuage de gaz peuplé de très jeunes étoiles, situé au sein de la galaxie spirale M33. C'est un tel "bébé galaxie" que les astronomes viennent de découvrir au fin fond de l'univers, venant d'un temps que l'on pensait hors de portée des plus puissants télescopes...



tisent cette étonnante figure céleste "objet A".

Visuellement, l'objet A apparaît sous la forme de deux images identiques, un dédoublement imputable à la grosse lentille gravitationnelle que constitue l'amas géant Abell 2218, une agglomération de quelque dix mille galaxies référencée comme le 2218<sup>e</sup> amas du catalogue établi en 1966 par

## D'autres "bébés galaxies" d'ores et déjà repérés ?

George Abell. De couleur très rouge – car l'expansion de l'Univers tend à augmenter la longueur d'onde des objets lointains –, l'astre est à la fois très petit et très peu lumineux. « Son diamètre, précise Jean-Paul Kneib, avoisine 500 années-lumière, et sa masse totale ne dépasse probablement pas un million de masses solaires; cela ressemble à une grosse nébuleuse, riche en étoiles. » A l'échelle du cosmos, un tel astre apparaît infime : la Voie lactée, notre propre galaxie, est deux cents fois plus grande et plus de cent mille fois plus massive que l'objet A. « En fait, sans le relais de l'amas Abell 2218, nous ne l'aurions pas vu... », sourit l'astronome de l'observatoire Midi-Pyrénées.

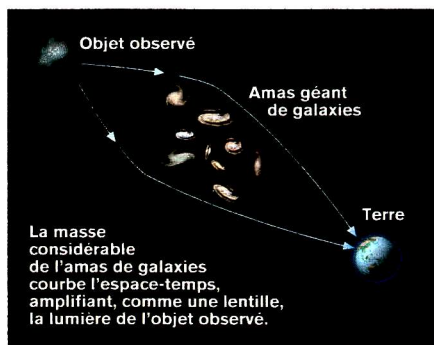
### PREMIER D'UNE LONGUE SÉRIE

Côté chimique, l'astre est principalement composé d'hydrogène, dans lequel sont plongées quelques centaines de milliers d'étoiles très brillantes et très jeunes. « Nous estimons, commente Jean-Paul Kneib, qu'il n'est pas âgé de plus de deux millions d'années. » Autrement dit, l'objet A est le plus jeune des astres les plus anciens jamais observés. Une trace de l'en-

## VOIR PLUS LOIN AVEC LES LENTILLES GRAVITATIONNELLES

■ D'après la théorie de la relativité générale d'Einstein, l'espace-temps se courbe au voisinage des masses contenues dans l'Univers : planètes, étoiles, galaxies. Le Grand Albert avait ainsi prédit que la position des étoiles dans le ciel est légèrement déviée par la masse du Soleil passant en avant-plan. Voir les étoiles en plein jour ? Lors de l'éclipse totale de 1919, l'astronome anglais Arthur Eddington tenta l'expérience... et découvrit qu'Einstein avait raison : la trajectoire des rayons lumineux en provenance des

étoiles est effectivement déviée par la courbure de l'espace-temps au voisinage du Soleil. Mieux, plus la masse de l'astre est grande, plus cette courbure est importante. Ainsi, dans le cas d'amas géants de galaxies, la masse totale dépasse  $10^{15}$  fois la masse du Soleil, et les effets de la courbure de l'espace-temps deviennent alors spectaculaires, ce qui produit une amplification lumineuse : dans l'exemple de l'amas Abell 2218, l'une des plus puissantes lentilles gravitationnelles connues actuellement, la luminosité est multipliée par 50 !



Résultat : scruter, avec *Hubble* et son miroir de 2,4 m de diamètre, une région de l'Univers située dans la ligne de mire de cette lentille, cela revient à observer avec un télescope spatial virtuel de 10 m de diamètre !

fance de l'Univers qui fait de lui le prétendant idéal au titre d'ancêtre des galaxies.

Le premier prétendant, en fait. Car, voilà 14 milliards d'années, de tels astres pullulaient, et nos astronomes en tiennent déjà d'autres en réserve, dénichés eux aussi grâce aux lentilles gravitationnelles et datant tous de la même époque. Encore confidentielles, leurs observations devraient donner lieu à des publications dans les mois qui viennent, renforçant d'autant l'intérêt pour l'objet A.

Mais d'ores et déjà la prouesse

fait date. En découvrant son bébé galaxie, l'équipe internationale a en effet devancé d'une bonne dizaine d'années les prévisions astrophysiques les plus optimistes : c'est seulement en 2009 que le successeur de *Hubble*, le *Next Generation Space Telescope*, avec son miroir de 6 m et sa puissante caméra infrarouge, sera installé dans l'espace. Or, c'est à ce télescope à 1 milliard d'euros qu'était promise la découverte de l'ancêtre des galaxies. De quoi rêver, alors, que ce futur monstre permette de remonter encore plus loin vers l'origine de l'Univers ? ■



29 KG  
SEULEMENT !

En vacances dans le  
Luberon. Été 2001.



www.trekking.fr

"Clic-clac", la tente se déploie en quelques secondes. Vous disposez d'une surface habitable de 240x130 cm. A vous les raids en Afrique et autres escapades dans le Luberon. L'AUTOCAMP est réalisé en aluminium inoxydable. L'échelle télescopique (haut maxi 240 cm/mini 140 cm) est robuste et facile à utiliser. Poids total : 29 kg. Dimension plié : 140 x 120 x 20 cm. Prix : € 1100 (7214,90F)

TREKKING S.A. BP 41  
13410 LAMBESC FRANCE  
TEL : 04 42 57 05 90  
FAX : 04 42 92 77 54  
trekking.lambesc@wanadoo.fr

TREKKING®

"LA GRIFFE DES GRANDS  
MIGRATEURS"

LE SAC À DOS EXTENSIBLE\*

€ 20  
(à partir de)

€ 145



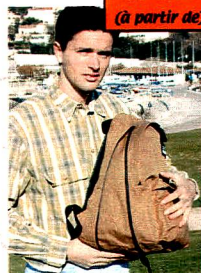
LA MONTRE BOUSSOLE \*

Dissimulée sous une superbe montre chronomètre, vous découvrirez une boussole indispensable en randonnée ! La couronne fuseaux-horaires, vous permettra de connaître l'heure précise dans les grandes capitales du monde... Etanche à 10 ATM.

\*Modèles déposés



Volume extensible



Voici un sac à dos malin : il dispose d'un soufflet qui permet d'augmenter son volume de 30 %.

LA CEINTURE MULTIPOCHES \*

€ 30  
(à partir de)



Taille unique réglable pour tous les gabarits (75 à 135 cm).

Indispensable pour les Globe Trotters : la meilleure protection contre la perte et le vol.



Les produits TREKKING sont disponibles en maroquineries, grands magasins et boutiques de sport.



TREKKING - BP41 - 13410 Lambesc  
Tel 04 42 57 05 90 - Fax 04 42 92 77 54  
trekking.lambesc@wanadoo.fr

Bon à découper pour recevoir le CATALOGUE DU GLOBE-TROTTER

- ☐ Catalogue Général + Liste des dépositaires
- ☐ Catalogue Revendeur (joindre carte commerciale)

NOM.....

PRENOM.....

ADRESSE.....

LOCALITE.....

Adresser à : TREKKING-BP 41-13410 LAMBESC  
(joindre 3 timbres à € 0,46 pour frais d'envoi)





# De quoi souffrent vraiment nos





# abeilles?



Malades, désorientées, butinant chichement... les abeilles sont mal en point en France. Les apiculteurs accusent depuis longtemps le Gaucho, un pesticide de Bayer. Une explication un peu courte... Etat des lieux d'une catastrophe annoncée.

« **S**i l'abeille disparaissait de la surface de la Terre, l'homme n'aurait plus que quatre années à vivre. » Albert Einstein imaginait-il que son pronostic, même exagéré, ferait un jour écho à la réalité? Car c'est un fait, l'état de santé des butineuses inquiète sérieusement aujourd'hui. Et pas seulement les apiculteurs, qui se plaignent depuis des années de crises sanitaires dans les ruchers. Les pouvoirs publics eux-mêmes viennent d'en prendre la mesure : en septembre, ils ont lancé une « grande enquête épidémiologique multifactorielle ». Prévue sur deux ans, elle doit dresser la situation sanitaire exacte de



la population apicole sur tout le territoire et analyser les maux dont souffrent les abeilles. Une nécessité puisque, au-delà de l'espèce, ce sont ses nombreux prédateurs, et toute la chaîne trophique, qui sont menacés. Ainsi que la reproduction de la plupart des plantes à fleurs (voir l'encadré en dernière page). Une réaction en chaîne catastrophique.

Il était temps. Car, en l'absence

té, déplorable cette année ? Les syndicats apicoles y songent à peine. Pour eux, le coupable n'a qu'un nom : le Gaucho. Depuis cinq ans, ce pesticide du groupe pharmaceutique allemand Bayer, utilisé sur le tournesol, serait le grand responsable de la décrépitude des hyménoptères. Aux manifestations des apiculteurs et autres dénonciations dans les médias, Bayer a déjà répondu que son produit ne pouvait

cides et parasites, des virus, voire les pratiques apicoles elles-mêmes, ou encore l'impact des monocultures, accablent également les malheureuses abeilles. Et tel est bien le problème du dépeuplement des ruchers : les suspects sont légions.

Des exemples ? Parmi les parasites, le plus redoutable est effectivement le *Varroa jacobsoni*, un acarien qui se goinfre des larves d'abeilles (le couvain) en les vidant de leur sang (l'hémolymphe). Outre l'hécatombe qu'il occasionne dans les rangs des larves, ses ponctions répétées entraînent chez les survivantes l'atrophie des glandes sécrétrices de gelée royale... Plus subtils sont les virus – une bonne quinzaine –, en particulier celui de la paralysie chronique (CPV), en recrudescence ces dernières an-

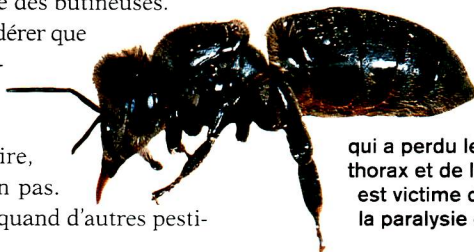
## Tremblantes, décrépites, les abeilles sont chassées par leurs propres sœurs

de tout bilan national précis, impossible de se faire aujourd'hui une idée précise du mal des abeilles. On sait seulement qu'il empire. « Cette année, dans le Centre et l'Ouest de la France, on a produit entre 7 et 10 kg de miel par ruche sur tournesol, contre 25 kg en prairie de montagne ou sur châtaigniers », tempête Maurice Mary, de l'Union nationale de l'apiculture française (UNAF). La faute à la mé-

être incriminé, vantant même ses vertus "écologiques" (voir l'encadré ci-dessous)... Selon lui, le vrai coupable serait le varroa, un redoutable parasite des butineuses.

De là à considérer que chacun se dédouane en désignant un bouc émissaire, il n'y a qu'un pas.

Vite franchi quand d'autres pesti-



Cette abeille noire et luisante, qui a perdu les poils du thorax et de l'abdomen, est victime du virus de la paralysie chronique.

J.-P. FAUCON

## La polémique sur le Gaucho



Abeille butinant une fleur de tournesol.

■ C'est en 1994 que l'allemand Bayer lance le Gaucho, un insecticide qui enrobe la semence de tournesol pour protéger la plante des pucerons et autres taupins du sol. Trois ans plus tard, les apiculteurs donnent l'alerte : selon les départements, la production de miel chute de 50 à 70 %. Début 1998, les pouvoirs publics suspendent l'utilisation du Gaucho dans les Deux-Sèvres, l'Indre et la Vendée, puis lancent plusieurs études, conduites par des instituts publics et par Bayer. Problème : les analyses

divergent sur le rôle de la matière active du Gaucho, l'imidaclopride. Une chose est sûre : l'imidaclopride est très toxique à haute dose pour les oiseaux et les insectes. Une toxicité qui permet justement d'enrober les semences plutôt que de pulvériser la plante. Un avantage "écologique", selon Bayer, puisque dix fois moins de pesticide est ainsi épanché dans les champs. En outre, le produit n'est pas censé agir sur les fleurs, le nectar et le pollen ; il ne devrait donc pas menacer les abeilles. C'est

oublier que des études ont révélé des traces d'imidaclopride dans les parties florales du tournesol. « Oui, reconnaît Bayer, mais à des doses dérisoires : moins de 2 ppb (1). Or, au-dessous de 20 ppb, l'imidaclopride n'a pas d'effet sur l'abeille. » Voilà bien la polémique : à partir de quelle concentration affecte-t-il l'animal ? Pour W. Kirchner, de l'université de Konstanz, l'orientation des abeilles est perturbée dès 10 ppb. Des résultats en accord avec les seuils de 6 et 12 ppb constatés

J. M. ARMANI/RAPHO



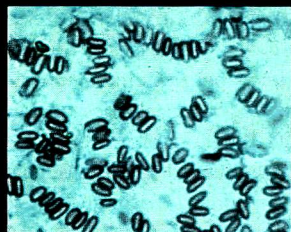
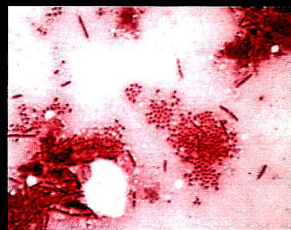
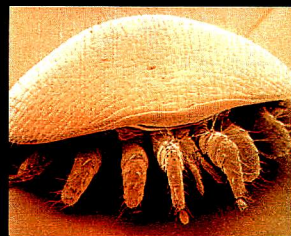
nées. Ses victimes tremblent, perdent les poils du thorax, deviennent noires et luisantes. Les abeilles infectées deviennent finalement si méconnaissables que leurs propres sœurs les chassent alors comme de vulgaires intruses. Dans un style plus classique, les bactéries détruisent les larves dans le couvain, à l'instar des *Bacillus larvae*, responsables de la "loque américaine", et des *B. alvei* et *Streptococcus pluton*, à l'origine de la "loque européenne". Une poignée de protozoaires s'en donne aussi à cœur joie, tel que celui qui provoque la nosémose (diarrhées) chez l'abeille adulte et perturbe sa sécrétion de gelée royale. Ajoutons divers champignons... Le compte est bon !

### UNE TOXICITÉ À RETARDEMENT

Durant les hivers 1999 et 2000, l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) organisait une vaste étude portant sur 41 élevages répartis sur 19 départements français. Résultat : il fut constaté des cas de varroa dans 40 % des ruchers, de loque euro-

péenne (33 %), de nosémose (31 %) et de loque américaine (30 %) ! Sans compter les cumulés...

Et s'il n'y avait que cela ! Car, depuis les années cinquante, les abeilles doivent encore s'accommoder des tonnes de pesticides déversés dans les campagnes par les agriculteurs. L'enquête épidémiologique que mena en 1988 le CNEVA (l'ancêtre de l'AFSSA) dans 17 ruchers français est, à cet égard, édifiante : avant même l'apparition du Gaucho, plus de 50 % des pollens et abeilles analysés recelaient des traces de pesticides divers et variés (Lindane, Deltaméthrine, Cyperméthrine, Fenvalerate, Folpel, etc.) ! Pas de quoi provoquer la mort brutale de colonies entières, certes ; mais ces toxiques agiraient de manière perfide, en servant de cheval de Troie aux microbes. « On sait qu'à doses sublétales [non mortelles, N. D. L. R.] les pesticides perturbent le système nerveux central de l'abeille, ainsi que la synthèse de plusieurs protéines et cellules du système immunitaire », indique Jean-Paul Faucon, chef de l'unité



De nombreux agents pathogènes menacent les abeilles. En haut, le parasite *Varroa jacobsoni*. Au centre, la bactérie *Streptococcus pluton*, principal agent de la loque européenne. En bas, des spores (forme de résistance des bactéries) de loque européenne.

J.-P. FAUCON - A. SYRED/SPL/COSMOS

par Minh-Hà Pham-Delègue, de l'INRA-Bures-sur-Yvette, et ceux de 3 ppb que Marc-Edouard Colin a détectés à l'INRA d'Avignon. Malgré les écarts, on est ici loin des 20 ppb avancés par Bayer... Ce n'est pas tout. De l'imidaclopride a été retrouvé dans des proportions susceptibles de nuire à l'abeille dans le pollen et le nectar de tournesols : de 13 à 3 ppb en moyenne (2 ppb pour Bayer), selon des études menées à l'INRA de Toulouse et au CNRS d'Orléans – les variétés de tournesol et de leurs

cultures expliquant en partie les différences de chiffres. Or, selon que l'on situe le seuil de perturbation de l'imidaclopride sur l'abeille à 3 ou à 20 ppb, les effets ne sont plus les mêmes pour l'espèce... La controverse rebondit en juin 2000. Jean-Marc Bonmatin, du CNRS d'Orléans, découvre que l'imidaclopride persiste dans le sol bien au-delà de la durée annoncée par l'industriel : disparition de 50 % après quatre-vingt-dix jours. D'infimes traces sont trouvées dans les capitules des fleurs de tournesol planté sur des

sols non traités au Gaucho depuis deux ans. Des résultats contestés par Bayer : s'appuyant sur des travaux du CETIOM, un centre technique officiel des oléagineux, il maintient qu'il n'y a pas de résidu dans les plantes de sols non traités (à la limite de détection de 0,5 ppb). A défaut d'accorder tout le monde, les travaux de Luc Belzunce, à l'INRA d'Avignon, expliquent certains paradoxes. Selon les concentrations, l'imidaclopride et deux de ses métabolites (l'oléfine et le 5-OH-imidaclopride)

agiraient de façon contradictoire sur un même récepteur cellulaire de l'abeille : dans un cas, la mortalité serait due à la suractivation de ce récepteur, dans l'autre, à son inhibition. De plus, un "effet retard" serait constaté. Ce qui ne trouble guère Bayer, qui dit ne pas retrouver de métabolites dans le nectar ou le pollen des tournesols traités au Gaucho ni remarquer d'effet de l'oléfine à moins de 100 ppb. La bataille du Gaucho n'est pas terminée !

(1) Une partie par billion égale un milliardième de gramme.



Abeille de l'AFSSA, à Sofia Antipolis. Il en résulte un affaiblissement général de l'organisme et une plus grande sensibilité à certaines maladies. Ces intoxications ont aussi un impact à l'échelle de la colonie tout entière, car les butineuses étant les premières touchées, l'ensemble de la population d'une ruche, ses activités et son développement s'en trouve affectés.

Certains cocktails chimiques deviendraient même de vraies bombes biologiques à retardement ! « L'accumulation des différents composés pulvérisés par les agriculteurs peut atteindre une dose critique pour les abeilles », prévient Mark Winston, professeur à l'université Simon Fraser de Burnaby, au Canada. Et d'expliquer en substance que, si le Gaucho ne peut, à lui seul, être jugé responsable de la faillite des abeilles, son association avec deux ou trois autres pesticides serait, en revanche, fatale. Il en irait notamment ainsi du couple Gaucho et Régent TS, un produit d'Aventis CropScience destiné aux semences de tournesol et de maïs.

Et que dire de certains produits chimiques (acaricides, fongicides, antibiotiques...) qu'utilisent les apiculteurs eux-mêmes dans les ruches ! Ils finiraient par éreinter

les abeilles. Un comble... De fait, une étude préliminaire de l'INRA de Lusignan, conduite entre juillet 2000 et mars 2001 sur deux colonies d'abeilles, a montré un taux de mortalité supérieur chez celle qui "profitait" du seul produit antivarroa officiel encore actif dans la plupart des ruchers : l'Apivar. Pire : les traitements des apiculteurs français seraient inappropriés dans 78 % des sites visités en 1999 et 2000 par les agents de l'AFSSA.

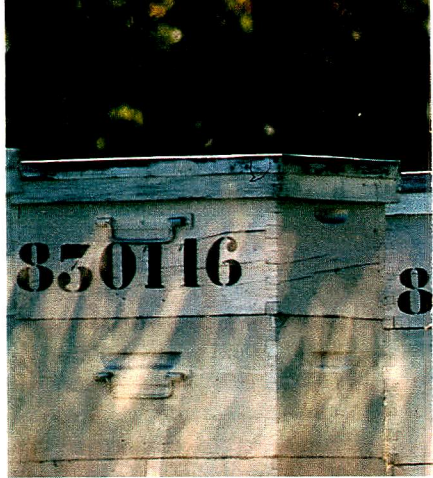
### DES PRODUITS POUR CHIENS !

« Il y a trop de "bricolage" ! » assure un technicien apicole. « Pour des raisons de coût des traitements homologués, beaucoup d'apiculteurs appliquent des doses inférieures à celles recommandées, ce qui favorise la résistance des acariens. D'autres emploient des produits plus ou moins naturels, non autorisés sur l'abeille, sans dosage ni protocole contrôlés. » On a ainsi découvert dans des cires de bourdon du Coumaphos, un produit destiné à traiter les acariens... des chiens et des chats. Et cela, à une dose bien plus impor-

La France compte autant de colonies d'abeilles que toute l'Amérique du Nord ! Une concentration qui accentue encore l'ampleur des dégâts...

tante que les résidus de Gaucho trouvés dans les pollens ou le nectar : 9 parties par million (ppm), contre de 1,5 à 13 parties par billion (ppb) pour le si décrié pesticide commercialisé par Bayer. Soit environ mille fois plus ! Et pour un produit dont l'étude d'impact sur l'abeille n'a jamais été faite...

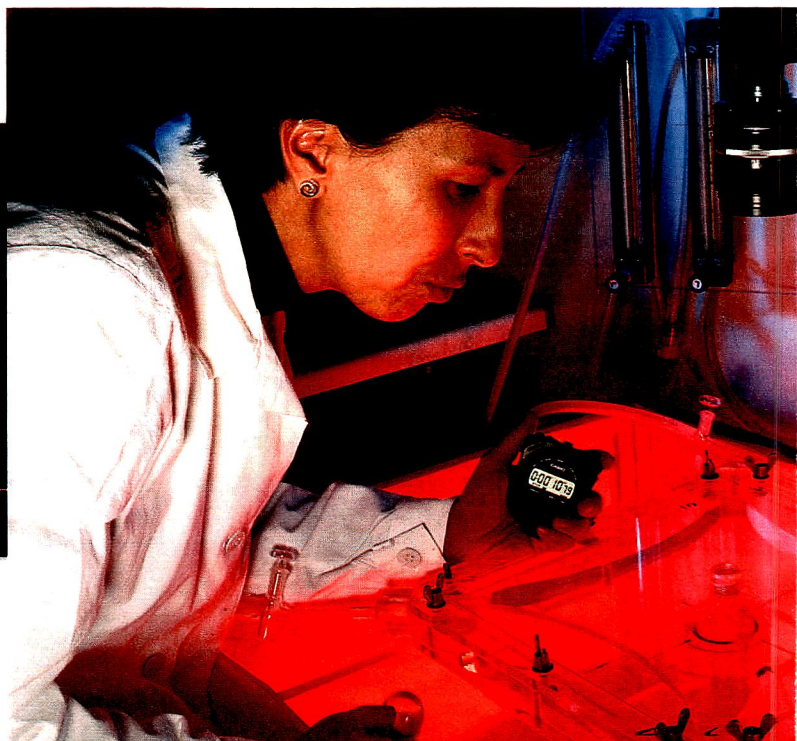
Reste un dernier souci : un problème de concentration menacerait les abeilles, qui n'avaient pas besoin de ça... « En France, on



“ Même à faible dose, le Gaucho perturbe le sens de l'orientation des abeilles. ”

Minh-Hà Pham-Delègue,  
de l'INRA (Bures-sur-Yvette).

La chercheuse mesure le temps de réaction d'une abeille dans un olfactomètre.







compte 3,4 millions de colonies, autant que dans toute l'Amérique du Nord», remarque Mark Winston. Qui parle ici d'un «véritable syndrome agricole» : en concentrant trop de ruches sur des monocultures à la fois pauvrement nutritives et inondées de produits chimiques, les apiculteurs français scieraient la branche sur laquelle ils sont assis.

A ce stade de l'enquête, une évidence s'impose : la thèse si comode d'un seul et redoutable tueur décimant les abeilles ne tient pas quand elles semblent bel et bien la proie d'une véritable association de malfaiteurs. Des malfaiteurs agis-

sant souvent masqués et de concert. «A eux seuls, le Gaucho ou le Régent TS, le varroa ou le virus de la paralysie chronique ne peuvent expliquer l'ampleur et la répétition des dégâts observés dans les ruches françaises. C'est leur conjugaison

dée par les pouvoirs publics exaspère le monde apicole. D'ailleurs, une majorité d'organisations syndicales refusent catégoriquement de participer à ce que Maurice Mary qualifie d'«opération pour ménager Bayer». Un professionnel du

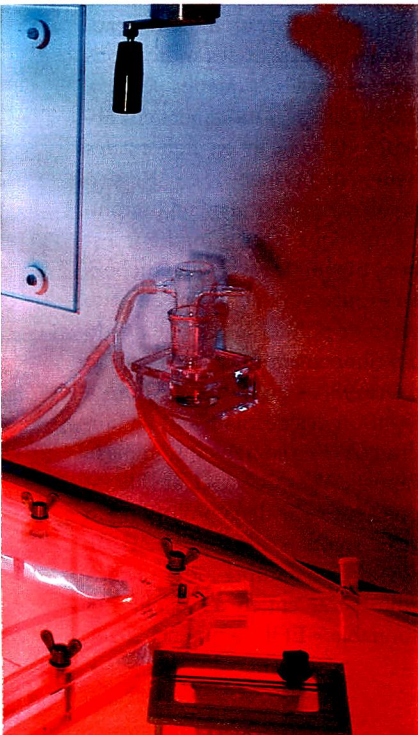
## Face à tant de menaces, c'est la thèse d'un tueur unique qui ne tient plus...

et leur accumulation qui pourraient en être la cause», avance Jean-Paul Faucon. Synergie ? C'est le cas, bien connu des apiculteurs, du varroa, qui achève des colonies entières en y répandant virus et bactéries. Ou encore la mortelle alliance d'un pesticide et d'un virus : «Des tests préliminaires ont mis en évidence une action conjuguée entre des doses sublétales de Lindane et le virus de la paralysie chronique», expose Jean-Paul Faucon. «Si bien qu'au lieu d'apparaître essentiellement au printemps cette maladie s'étale à présent de février à novembre.»

Pour les scientifiques, la question est maintenant de savoir qui fait quoi dans ces associations de malfaiteurs ligués contre l'abeille. Lesquels sont les exécuteurs ? Les stratèges ? Les espions ? C'est justement tout l'intérêt d'un suivi épidémiologique de grande ampleur dans les ruchers. Mais, pour l'heure, la super-enquête multifactorielle déci-

Sud de la France analyse même que, «parce qu'ils ont trop souffert, beaucoup d'apiculteurs sont devenus des "antiGaucho" fanatiques, à qui on ne peut plus parler d'autres causes possibles. Surtout si cela conduit à remettre en question leurs pratiques apicoles...»

Sans la collaboration étroite des premiers intéressés, voilà qui pourrait bien faire capoter le projet de dresser le tableau exhaustif des maux qui frappent les abeilles en France. Surtout que d'autres questions se posent : «Vu le nombre de paramètres à prendre en compte, l'enquête du ministère de l'Agriculture risque de se noyer. Sans compter que les chercheurs des instituts publics n'ont ni l'habitude de mener des études transversales ni celle de se placer à l'échelle d'une colonie», remarque Yves Goïc, apiculteur dans le Queyras et président du Centre national du développement apicole (CNDA). Face à tant d'incertitudes, ce responsable



P. GOETHELICK - G. SIOENRAPHO



a donc décidé de prendre les devants. Avec d'autres techniciens et apiculteurs, il a mis en place un réseau d'alerte et de surveillance dans trois régions clés pour le cheptel apicole (Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon). Objectif ? « Nous souhaitons faire une autopsie systématique des crises sanitaires qui surviendront dans nos ruchers, évaluer de façon fine les risques liés aux toxiques, en mettant au point une méthodologie d'analyse commune à tous les acteurs du réseau », explique-t-il. Un véritable branle-bas de combat. En accord avec les syndicats, il demande aussi la révision des conditions d'homologation des produits chimiques. Vaste chantier, dont la première pierre serait la prise en compte des effets sublétaux des produits sur l'abeille et non plus seulement leur impact sur la mortalité. « C'est vrai qu'il n'y a rien d'obligatoire à ce niveau », reconnaît Jean-Noël Tasé, de l'INRA, qui préside l'unité Abeille de la Commission des toxiques. « Nous tentons actuellement de remédier à cette situation en transférant sur le terrain deux tests d'impact, réalisés en laboratoire à Bures-sur-

des variétés de cultures, des différences de sols et de climats, ou encore des niveaux d'exposition de l'abeille. Mais, au bout du compte, voilà qui permettrait d'appliquer systématiquement un facteur de sécurité à toutes les substances phytosanitaires lors de la définition des doses d'application réglementaires.

### SAUVÉES PAR CONTRAT ?

De l'autisme du monde agricole ou de l'inertie des autorités, on ne sait ce qui, aujourd'hui, frappe le plus dans la catastrophe qui ravage les abeilles. Car cela fait plus de dix ans que la sonnette d'alarme a été tirée par les apiculteurs. Soit bien avant la mise en cause du Gauchon... Le faible poids économique de cette filière agricole, éparpillée dans moult organisations et dominée à 98 % par des « non-professionnels » retraités, instituteurs, libéraux... (1) –, explique en partie cette situation. L'inconscience des cultivateurs et de leurs principaux représentants a fait le reste.

Heureusement, de nouveaux comportements voient le jour, tels que ces « contrats de pollinisation » qui se développent entre apiculteurs et cultivateurs : pour l'entre-

## Une chaîne écologique

■ Si la reproduction d'environ 20 000 plantes dépend d'un transfert de pollen des anthères d'une fleur sur le stigmate d'une autre fleur, l'action des abeilles varie selon les espèces. Elle est indispensable pour la tomate, le melon, la fraise ou le kiwi, qui ont besoin de beaucoup de graines pour atteindre leur taille commerciale. Pour des variétés auto-incompatibles (malgré la présence d'organes mâles et femelles sur le même arbre) d'amandier ou d'abricotier, elle contribue à la formation de 85 % des fruits. En revanche, le pêcher, parfaitement auto-compatible, aura moins besoin d'elle : le vent fera l'affaire, du moins, en partie.



C. CHOUFROT

code de bonne conduite à propos de l'utilisation de pesticides : « respect d'un délai d'au moins quinze jours avant la floraison pour réaliser un traitement autorisé », « respect des indications portées sur les étiquettes des produits utilisés », « traitement en l'absence de vent et en dehors des heures de butinage », etc. Reste à savoir si ces contrats s'imposeront.

A quelque chose malheur est bon, dit-on. La crise des ruchers en France aura au moins eu cette vertu de pointer les errements du développement rural en France et les carences du système d'homologation des pesticides. Il ne faudrait pas s'en contenter. Comme le rappelle Yves Goïc : « L'abeille est une sentinelle de la pollution, un vrai signal d'alerte. Mieux la prendre en compte aidera l'agriculture tout entière à être plus raisonnée. » Et il y a urgence ! ■

## Dix ans que cela dure, et les abeilles sont encore loin d'être tirées d'affaire !

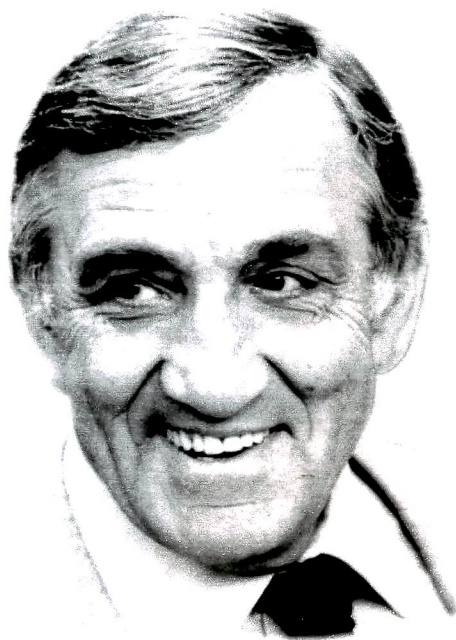
Yvette et à Avignon, sur l'apprentissage du butiner par les abeilles. » Vu les difficultés d'un tel transfert, il ne faut toutefois rien espérer avant un an ou deux. Autre piste : Minh-Hà Pham-Delègue, de l'INRA de Bures-sur-Yvette, travaille sur un test de toxicité sublétaux sur les larves du couvain, une population évidemment clé pour l'avenir des colonies. Un travail de titan puisqu'il s'agit, en plus, de mesurer l'effet de multiples toxines en fonction

pôt de ses ruches en période de floraison, l'éleveur d'abeilles perçoit de l'agriculteur environ 140 F par ruche, ce qui lui permet d'améliorer les fins de mois. Mais des apiculteurs du Languedoc et leur association technique (ADAPRO) veulent aller plus loin. Depuis janvier dernier, ils proposent par contrat aux cultivateurs de semences de tournesol une sorte de

.....

(1) Enquête du bureau GEM (1993-1994).





*Leur bonheur est notre récompense*  
*Lino Ventura*

Plus que jamais, le message de Lino Ventura est d'actualité. En soutenant PERCE-NEIGE, vous permettez à la personne handicapée mentale de réussir sa vie, toute sa vie.

PERCE-NEIGE, c'est 35 ans d'action pour :

- Offrir aux personnes handicapées la possibilité de s'épanouir grâce à un accompagnement personnalisé dans des lieux de vie agréables,
- Faire reconnaître les droits et être à l'écoute des personnes handicapées,
- Rechercher de nouvelles solutions d'accueil, fonction de nouveaux besoins.

☐ **OUI, avec PERCE-NEIGE, je soutiens la personne handicapée mentale.**

Je fais un don de : ☐ ..... € ☒ **30 €** soit 196,78 Fr ☐ 50 € soit 327,97 Fr ☐ 100 € soit 655,96 Fr ☐ Autre : ..... €

- ☐ Je désire recevoir gratuitement le dernier numéro de *La Lettre PERCE-NEIGE*  
☐ Je désire plus de renseignements sur l'association PERCE-NEIGE

Merci d'indiquer ci-dessous :

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code Postal [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] Ville : .....

Association loi 1901, reconnue d'utilité publique (décret du 25.11.76)

Président : Christophe LASSERRE-VENTURA

**Merci de renvoyer ce coupon**

**avec votre règlement à l'ordre de :**

**PERCE-NEIGE, 237 Grande Rue 92380 GARCHES**

**Tel : 01 47 10 93 00 • [www.perce-neige.org](http://www.perce-neige.org)**







S. COLOMYES

# La science au service des divas

**Quel est le secret des voix d'or ?  
Pour le découvrir, une scientifique  
a créé l'odologie, une discipline  
qui passe au crible les mécanismes  
secrets de la voix chantée.  
Entre cordes vocales, palais et  
pharynx, la science vibre lorsqu'elle  
se penche sur l'art. Reportage.**

**L'**une chante, l'autre pas. La première illumine de sa voix l'opéra; la seconde éclaire la réalité avec les instruments du savoir. Et si Marie Devellereau, étoile montante du chant lyrique, se produit sur scène pour exalter l'indiscutable des émotions, c'est dans l'intimité de son laboratoire qu'elle officie sereinement Nicole Scotto di Carlo, directeur de recherche au CNRS. Autant dire que rien ne destinait ces deux femmes à se rencontrer. Sauf qu'entre la jeune soprano colorature (1) et la scientifique confirmée du laboratoire Parole et langage de l'université de Provence, la voix communique.

Depuis maintenant trente ans, Nicole Scotto di Carlo travaille en effet sur la "science du chant". Une discipline qu'elle-même a créée, la baptisant du nom d'odologie (du grec *ôdê*, chant, et *logos*, science).

.....

(1) Voix de femme la plus aiguë.





Anatomie, physiologie, acoustique, linguistique, phonétique, sémiologie... toutes les connaissances sont réquisitionnées pour cette science qui se veut résolument au service des chanteurs. Et c'est bien cette approche qui a séduit Marie Develereau, à l'instar de beaucoup d'autres artistes, qui n'hésitent pas à faire un crochet par Aix-en-Provence. « Les chanteurs professionnels disposent d'un instrument magnifique, qu'ils connaissent finalement très mal. Dans cette expérience, je n'avais rien à perdre et tout à gagner. » Marie Develereau aime jouer. Mais pas n'importe comment : « On ne joue pas d'un organe vocal interne comme d'un quelconque instrument ! Les chanteurs sont contraints de se fier à leurs seules sensations, guidés par les indications imaginées de leur professeur. » Par exemple, elle doit chercher à exprimer le « sentiment de bâillement » ou celui de « respirer une fleur »... Des métaphores

qui l'aident à placer sa voix, la guident pour trouver la bonne ouverture de bouche, etc.

Reste que le chant est avant tout une affaire de corps. Pour en expliquer les mécanismes, il faut partir de la réalité physiologique. La preuve : telle chanteuse peut s'entendre dire que son timbre est « vulgaire » ; telle autre qu'elle ne peut tenir un rôle trop long... Appréciations dénuées de fondement ? Pas du tout. L'odologie permet justement de comprendre que la « vulgarité » de la voix peut renvoyer à l'absence de vibrato, que des crispations parasites sont responsables de la fatigue de l'appareil vocal... « Plus l'art est contrôlé et travaillé, plus il est libre », disait Stravinsky.

« Lorsque j'ai débuté, se souvient Nicole Scotto di Carlo, tout était à construire. » C'était en 1970. Depuis, elle n'a eu de cesse de mettre à nu les contraintes qu'impose le chant classique, bien différentes de celles de la voix parlée. Une re-

## L'acoustique en coulisses

Lorsqu'elle est en scène, le chant de Marie Develereau coule de source. Pourtant, c'est par un long travail qu'elle a développé les qualités acoustiques de sa voix. Ci-dessous, le spectrogramme permet de mettre en évidence, notamment, le vibrato ainsi que les variations d'intensité et de fréquence.



L. GIRAUDOU



cherche impossible à mener sans le soutien de chanteurs professionnels comme Marie Devellereau. Ni le miracle des rencontres. Celle avec la grande Mady Mesplé, notamment, qui, dix-huit ans durant, prêta sa voix à Nicole Scotto di Carlo pour ses travaux. Un passionnant duo, où chacune s'est enrichie de l'autre. « Tout ce que je ressentais, je ne pouvais ni le toucher ni le voir. Elle me l'a rendu palpable », témoigne aujourd'hui celle qui reste l'une des plus belles voix du *xx<sup>e</sup>* siècle. Quant à la scientifique, pouvait-elle rêver meilleure complice pour pénétrer les arcanes du chant et disséquer les secrets du larynx, de la langue, des cordes vocales...

### « MON CONTRE-UT RÉSONNE AU NIVEAU DU FRONT »

Pour autant, Nicole Scotto di Carlo ne ménage pas ses divas. Pour observer ce qui se passe entre la langue et le palais, elle a pu, à ses débuts, leur enduire la langue d'un mélange de noir végétal, de cacao et de glycérine. Un procédé, baptisé palatographie, qui permet de visualiser chaque son émis. Bientôt, elle fait aussi appel à la téléxéroradiographie, une technique particulière de radiographie qui fournit des images des structures osseuses comme des tissus mous de l'organe. Enfin, elle recourt à l'endoscopie pour percer les secrets du larynx et du pharynx. « Ces expériences n'étaient pas rébarbatives, sourit Mady Mesplé, parce qu'elles m'ouvraient des portes. La technique impose de pouvoir com-

mander son corps. Confronter mes intuitions aux réalités scientifiques m'a fait gagner du temps. »

Le rôle des commandes neuromusculaires de la voix chantée est un autre grand chantier de l'odologie. En particulier, comment le chanteur contrôle-t-il l'émission du son ? L'explication d'un *feed-back* auditif ne suffit pas ici. En effet, l'acoustique de la salle modifie le son émis, tandis que le jeu de conductions osseuses qui transmet directement l'onde sonore à l'oreille restitue surtout les basses fréquences. L'autoperception de la voix n'est donc pas fidèle. Heureusement, le chanteur dispose d'un « clavier » de sensibilités internes. Dans le registre aigu, il chante en « voix de tête », alors que les sons graves sont émis en « voix de poitrine » ; il croit alors percevoir des résonances. En fait, la vibration des cordes vocales imprime des secousses aux cartilages du larynx, secousses qui sont transmises aux os de la tête ou du

thorax *via* les muscles suspenseurs et abaisseurs du larynx. Autrement dit, c'est à force de pratique que le chanteur parvient peu à peu à associer une sensation précise à chaque note : « Mon contre-ut « résonne » au niveau du front », dira par exemple une soprano. Et la mémorisation de ces sensations (mémoire pallesthésique) facilite *in fine* le placement de la voix dans des conditions acoustiques difficiles.

### UNE ANALYSE TRÈS FINE DES STRATÉGIES VOCALES

L'acoustique justement : elle apporte un indispensable complément aux études physiologiques. En particulier, les variations de fréquence et d'intensité vocale sont enregistrées sur des spectrogrammes. Impitoyables, ceux-ci révèlent le timbre de la voix (sa richesse en harmoniques), l'ampleur du vibrato (faible pour les voix « blanches », excessif pour les voix chevrotantes) ou la qualité du legato (la prise de souffle intempestive ou la sur-articulation des consonnes peuvent « casser » la ligne mélodique). Les spectrogrammes servent de clé de voûte au test élaboré par Nicole Scotto di Carlo. Par ailleurs, dans une chambre sourde (totalement dépourvue d'écho), un sonamètre mesure l'intensité de la voix dans différents registres, avant qu'une évaluation de la coordination pneumophonique, réalisée en chronométrant la durée de l'expiration ou de séquences sonores, ne complète ce tableau qualitatif. « Le bilan vocal effectué par un phoniatre permet de détecter les pathologies de la phonation, alors que l'odologie propose aux chanteurs une analyse très fine de leurs stratégies articulatoire, vocale, et même posturale », insiste Nicole Scotto di Carlo.

La femme de science tient aussi à se ranger résolument du côté des gens de l'art. Par exemple, on re-proche aux chanteurs une diction



### Les contraintes de l'aigu

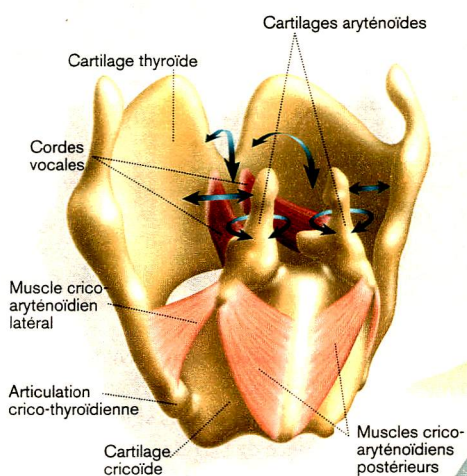
Chanter un « a » dans l'aigu (en bas) impose une ouverture buccale beaucoup plus importante que dans le grave (en haut). Les positions de la langue, du voile du palais, du larynx et du rachis sont fortement modifiées...



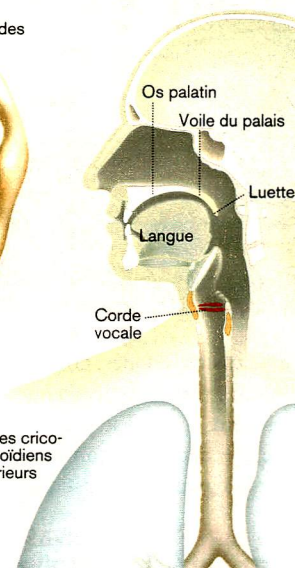
# La voix, un instrument complexe

■ L'appareil vocal peut s'assimiler à un instrument à vent. Le larynx en est la pièce maîtresse. En forme de tube évasé, il est constitué par une série de cartilages maintenus par des muscles. Au cours de la respiration, les cordes vocales, insérées dans deux replis muqueux horizontaux délimitant la glotte (étage moyen du larynx), forment un V ouvert vers l'arrière qui laisse passer l'air expiré sans émission de son. Mais durant la phonation, les cordes vocales se rapprochent et vibrent. La fréquence des vibrations – donc la hauteur du son – dépend de leur tension. Au carrefour des voies respiratoires et digestives, la cavité pharyngée joue le rôle d'une première "caisse de résonance". Le son est ensuite modulé dans les cavités buccales, et accessoirement nasale et labiale.

La pratique du chant professionnel mobilise de façon particulièrement exigeante les différents "étages" de l'appareil vocal. La prise d'air peut atteindre 1 500 ml à chaque inspiration, contre 500 ml en moyenne dans l'acte respiratoire. La pression expiratoire est augmentée de façon volontaire pour amplifier le volume sonore. La fréquence des vibrations des cordes vocales, qui se situe en



moyenne entre 125 et 300 Hz dans la voix parlée, atteindra par exemple plus de 1 400 hertz pour l'émission d'un contre-fa. La richesse du timbre résulte des harmoniques, ces sons secondaires dont la fréquence est un multiple de celle du son fondamental et qui prennent naissance dans les résonateurs. En "plaçant" sa voix, le chanteur d'opéra accorde ses cavités de résonance sur le son émis au niveau du larynx, ce qui entraîne un renforcement des harmoniques vers 3 000 Hz, et permet d'augmenter la portée de la voix. Au total, ce sont 196 muscles qu'il doit apprendre à maîtriser : muscles intercostaux et abdominaux pour le contrôle de la respiration, muscles



**En fonction des mouvements de rotation, de translation ou de bascule des cartilages, les cordes vocales se tendent ou se relâchent, s'écartent ou se rapprochent. Le son se modifie.**

permettant de modifier la position du larynx et d'agir sur la tension des cordes vocales, muscles responsables des variations de forme et de dimensions des cavités oro-pharyngées... C'est un véritable athlète, entraîné à la performance – chanter souvent, longtemps, dans toutes les positions – et doté d'une forme de souplesse peu commune : les déplacements d'avant en arrière de son rachis cervical peuvent atteindre 6 centimètres au niveau de la septième vertèbre !

S. DESSERT

qui dénature le livret ? Elle multiplie aussitôt les études sur l'intelligibilité de la voix chantée et met en évidence les distorsions des phonèmes dues à la fréquence et à l'intensité de l'émission, montre que le vibrato rend plus difficile l'identification des voyelles et des

consonnes, révèle que la sous-articulation est parfois nécessaire à la musicalité.

L'odologie rend aussi justice aux grimaces et gesticulations des chanteurs : elles font partie intégrante du chant. Ainsi, pour émettre un aigu parfait, une soprano colorature doit

étirer transversalement son voile du palais ; la scène aura beau être dramatique, elle paraîtra alors sourire... Une expressivité en contradiction avec la représentation visuelle des émotions qui explique la difficulté, sinon l'incongruité, qu'il y a parfois de faire jouer la comédie





aux artistes lyriques, notamment à l'écran... Bref, la voix chantée doit aussi être appréhendée sous son aspect perceptif, et non seulement physiologique ou acoustique.

## LES CAPRICES DES DIVAS N'EN SONT PAS TOUJOURS

Quant aux caprices des divas, ils auraient aussi leur raison d'être. Car l'odologie révèle que ce n'est pas pour le plaisir de gagner un demi-ton que la Callas ou Montserrat Caballé ont pu se plaindre de la montée du diapason (2) de l'orchestre. Dans l'air de *la Reine de la nuit*, sommet s'il en est de l'euphorie lyrique, il faut savoir que lorsque Mozart écrit *la Flûte enchantée*, le diapason de l'orchestre s'établissait à 404 hertz. Or, celui-

indéniable, démontrent les tests.

Cette science que Nicole Scotto di Carlo met depuis si longtemps au service de l'art lui vaut aujourd'hui l'estime de nombreux chanteurs, qui la consultent pour résoudre une difficulté technique ou un problème passager. Et certains professeurs de chant et d'art dramatique s'initient à l'odologie. Toutefois, les applications ne se limitent pas à la pédagogie. « En apportant les bases théoriques à la compréhension du fonctionnement normal de la voix chantée, explique l'orthophoniste Arlette Osta, de l'hôpital Pasteur de Nice, l'odologie donne à ma pratique professionnelle un nouvel éclairage qui détermine le choix des procédures rééducatives, y compris dans la prise en charge de patholo-

## Décalage

**C'est parce que le chant impose des mouvements du visage, que Nicole Scotto di Carlo (à gauche) a étudiés grâce à des capteurs, qu'un décalage se produit parfois avec le jeu de scène (ici, le sourire contraint de Marie Devellereau).**

France, déplore André-François Arcier, président de l'Association européenne de médecine des arts. Heureusement, les mentalités évoluent. Les sportifs bénéficient des apports de la science, pourquoi pas les artistes ? »

Aujourd'hui, Nicole Scotto di Carlo a accès aux innovations technologiques élaborées au CNRS, comme le matériel d'investigation EVA. Mis au point par Bernard Teston, responsable du laboratoire Parole et langage, c'est un outil informatique d'évaluation de la voix basé sur des capteurs et un logiciel. « Mais l'odologie reste un parent pauvre de la recherche », soupire-t-elle. Pourtant, la discipline est riche de promesses : analyser les phénomènes de compensation posturale ; découvrir les secrets de l'oreille absolue chez les chanteurs ; étudier le rôle de l'imagerie mentale dans l'apprentissage du chant... « Mon emploi du temps est complet jusqu'à la retraite », sourit l'infatigable chercheur. Ce qui ne l'empêchera pas d'aller écouter une Marie Devellereau au sommet de son art. ■

L. GIRAUDOU-BERNARD

# « Les sportifs profitent des apports de la science, pourquoi pas les artistes ? »

ci, évolution du goût et des techniques oblige, est aujourd'hui de 445 hertz ; que la soprano tienne pendant dix secondes le redoutable contre-fa que tout amateur attend, ses cordes vocales subissent alors 1 300 vibrations de plus qu'en 1791. La fatigue vocale qui en résulte est

gies graves chez des patients non chanteurs. » Les phoniâtres et les orthophonistes de l'hôpital niçois travaillent d'ailleurs à la mise au point d'un bilan clinique de la voix intégrant la démarche multidisciplinaire de l'odologie. Il n'empêche ! Force est de constater que l'odologie reste peu diffusée. « La recherche fondamentale dans le domaine des arts est très peu développée en

.....

(2) Note dont la fréquence sert de référence pour l'accord des instruments.



# SCIENCE & VIE

HORS SÉRIE

**La drogue  
et le cerveau**



**En vente  
dans tous les kiosques**

■ Les dernières découvertes sur les mécanismes de l'addiction

■ Les modifications morphologiques des neurones

■ Sevrage : les différentes trajectoires de sortie de drogue

N° 217 DÉCEMBRE 2001

## SCIENCE & VIE

HORS SÉRIE

**Dépendance**  
Les voies cérébrales

**Ecstasy**  
Les vrais effets sur les neurones

**Alerte**  
La polytoxicomanie devient la règle

# LA DROGUE ET LE CERVEAU

**Tout savoir  
sur les effets réels**

FRANCE METRO 35 ff 3,81 - DOM 30 ff 4,57 - BEL 180 FB 4,86 - CN 7,50 FF - FIN 37 FIM 6,22 - AND 25 ff 3,81 - CAN 5,50 \$ CAN - ESP 950 Ptas 5,71 - GR 1500 GRD 4,40 - ITA 7000 ITL 3,67 - LUX 175 LUX 4,38 - MAR 35 DH - MAY 42,5 ff 4,48 - POKI CNT 720 ESC 4,54 - JPN 30 ff 4,57 - TUR 3,500 LTL - UK 1370 SP





# Des arbres contre l'effet



K. KURT/AGAMMA



Signé en 1997, le protocole de Kyoto engage à la réduction des gaz à effet de serre.

**Mesurant le carbone comme de véritables "puits de carbone", les forêts sont une arme contre le réchauffement climatique. Explications.**

**P**our croître et respirer, les arbres absorbent du carbone atmosphérique. Ces "puits de carbone" produits par la photosynthèse des plantes ont modelé notre atmosphère. Au moment où disparaissaient les dinosaures, à la fin de l'ère secondaire, il y avait deux fois plus de  $\text{CO}_2$  dans l'air qu'en 1800 après J.-C. L'arrivée

# de serre

des plantes, au Tertiaire, a fait diminuer la teneur en  $\text{CO}_2$  et augmenter la part d'oxygène. Mais, vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, avec l'ère industrielle et le déstockage massif des énergies fossiles – charbon et fuel – contenant du carbone piégé depuis des millions d'années, la tendance s'inverse. Les molécules de  $\text{CO}_2$ , plus nombreuses, bloquent la réverbération du rayonnement solaire dans l'atmosphère : le climat mondial se réchauffe.

Pour contrer la fonte des glaces des pôles, l'élévation du niveau des mers et l'accroissement de la force des tempêtes, il faut, certes, principalement réduire, ou mieux contrôler, la combustion de pétrole et de charbon. Mais la communauté internationale cherche aussi à accroître l'absorption du carbone au moyen de la végétation. En juillet dernier, la conférence de Bonn sur le changement climatique s'est soldée par un accord, qui a été formalisé en novembre à

Y. ARTHUS-BERTRAND/COREIS

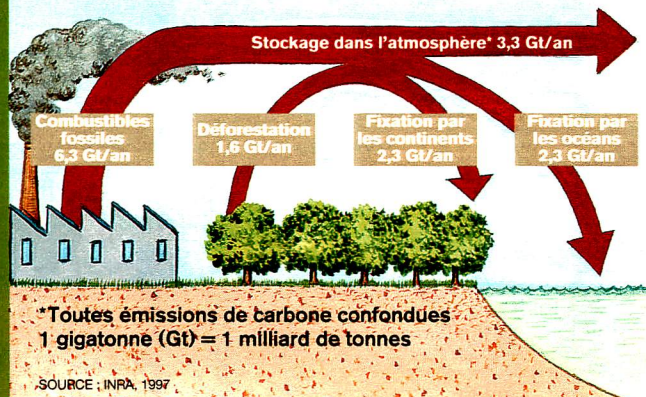


Marrakech : les pays développés engagés dans la réduction de leurs gaz à effet de serre (à l'exception des Etats-Unis, qui se sont mis hors-jeu) se sont prononcés pour la comptabilisation des forêts dans les bilans nationaux d'émission de  $\text{CO}_2$ . Désormais, les pays qui replanteront des forêts verront leurs efforts financièrement récompensés. Chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), Arthur Riedecker est aussi le représentant français attiré pour ces questions hautement sensibles, au nom de la Mission interministérielle de l'effet de serre (Mies).

### DÉFINIR UNE TERMINOLOGIE

Il évoque, amusé, les nuits de négociations passées à définir ce qu'est une forêt, un déboisement, un enrichissement : « Les flux de carbone entre l'atmosphère et la Terre sont très faibles vis-à-vis des stocks de carbone enfouis depuis des milliers d'années dans les sols, les plantes et les océans, explique-t-il. Ces flux ne résoudront donc pas le problème de l'augmentation de la teneur de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, mais ils contribueront pour de 10 à 15 % à leur stabilisation. La tonne de carbone émise par l'industrie ou les transports aura bientôt un coût facturé en dollar. Les hectares de forêt plantés seront comptés comme des tonnes de carbone absorbées, et donc retirées du bilan national. Ce sera autant d'économisé. »

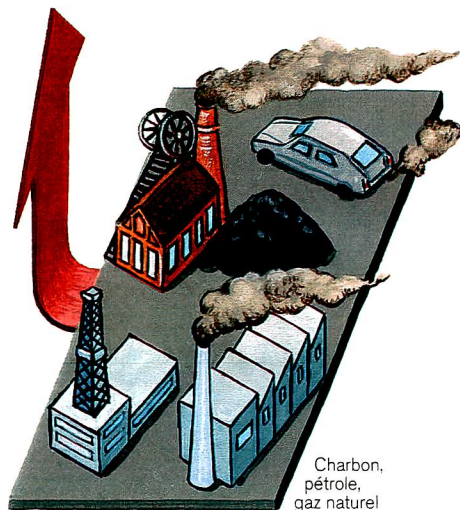
## Un bilan fortement déséquilibré



## Pour le carbone fossile, un

**La totalité des ÉNERGIES FOSSILES provient d'un carbone ancien, fixé dans le sol : pétrole, charbon, gaz naturel, tous ces combustibles renvoient dans l'atmosphère bien plus de carbone que ne peut en absorber la biosphère.**

### Emissions de $\text{CO}_2$

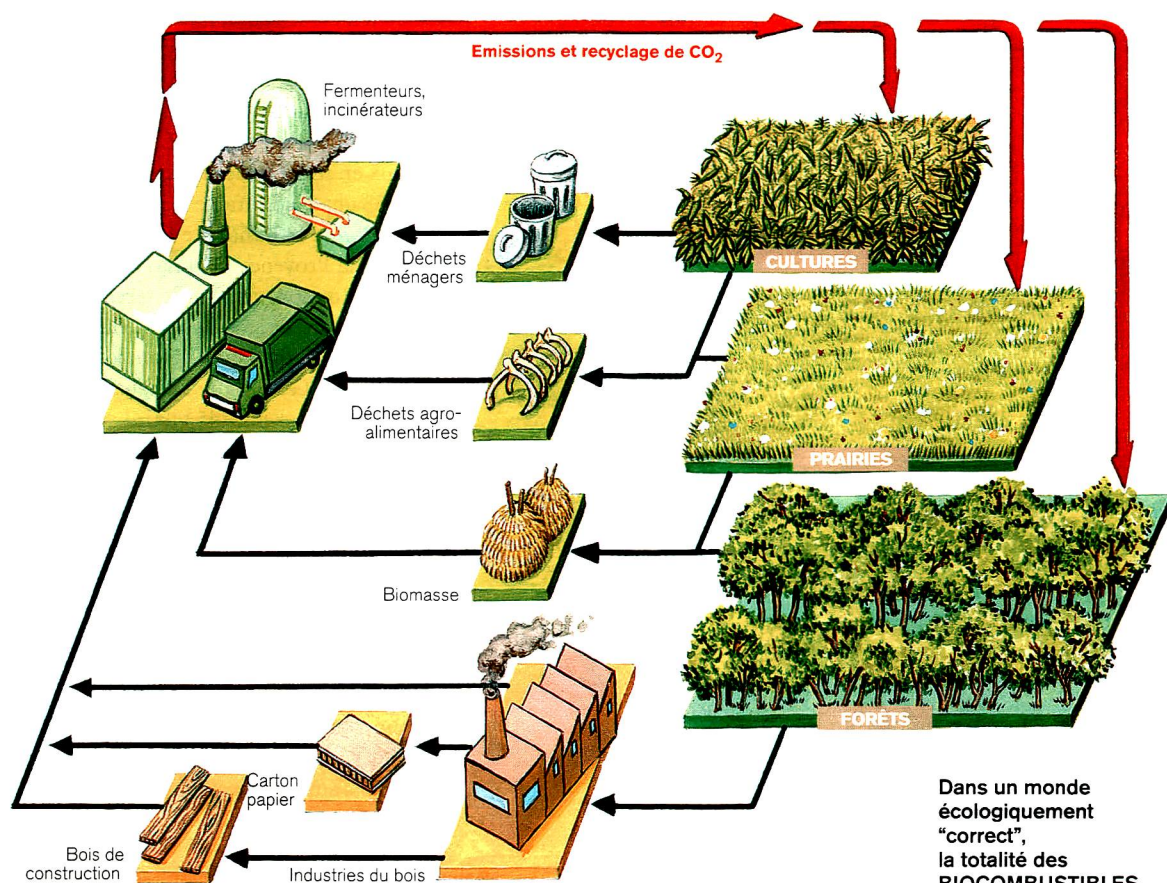


L'arrêt de la déforestation et la replantation d'arbres ne sont donc pas l'unique voie de salut, mais ils constituent une partie non négligeable de la solution. Reste que si, depuis la signature du protocole de Kyoto, en 1997, les négociateurs internationaux ont âprement débattu sur les puits de carbone, c'est d'abord parce qu'il a fallu s'entendre sur les définitions.

Les forêts occupent 29 % de la surface des terres émergées, mais représentent 36 % du stock de carbone accumulé dans les troncs et les sols. Les fibres celluloseuses sont, en effet, composées à 50 % de carbone, et la durée de vie des arbres en fait des réservoirs dépassant le siècle. Mais qu'entend-on par forêt ? A partir de quelle surface, de quelle grosseur de tronc, de quelle densité d'arbres à l'hectare peut-on parler de forêt ? Et qu'est-ce qu'un reboisement ? Si pour les forestiers, c'est la replantation sur un espace où l'on vient de couper les arbres, au sens des bioclimaticiens, c'est la reconquête par la forêt de terrains agricoles déboisés des années auparavant.



# recyclage quasiment impossible



Dans un monde écologiquement "correct", la totalité des BIOCOMBUSTIBLES pourrait être recyclée, mais la biomasse (forêts, prairies) n'est pas suffisante pour absorber le surplus des combustibles fossiles, sauf si on en augmente la surface. Mais les puits de carbone ne sont pas sans fond...

En termes de stockage de carbone, c'est évidemment cette dernière définition qui a été adoptée. En effet, quand les forestiers coupent des arbres, ils entament une exploitation de carbone. S'il s'agit de faire des meubles ou des charpentes, le carbone reste piégé. Pour le papier ou le bois de chauffe, au contraire, le carbone est relâché dans l'atmosphère. Les forestiers libèrent donc du carbone stocké depuis des décennies tandis que les jeunes pousses qu'ils replantent ne font que commencer leur photosynthèse. Le bilan est alors tellement négatif que des pays très forestiers comme la Scandinavie, les Etats-Unis, le Canada ou la France, se retrouvent dans le rouge ! A Bonn, on a donc élaboré une méthode de calcul qui pondère ce phénomène. La seconde difficulté, c'est que les connaissances sont très parcellaires. Les

marges d'erreur se chiffrent ainsi en centaines de millions de tonnes ! Au retour de Kyoto, les négociateurs ont dû se tourner vers les rares spécialistes du cycle du carbone, leur demandant de dresser un bilan national en vue des réunions internationales suivantes.

## UNE ESTIMATION NON CONTESTÉE

En France, le travail est échu à l'équipe de phytoécologie forestière de l'Inra, à Nancy : « Ce fut un travail essentiellement de bibliographie et de collecte de données existantes, assure Jean-Luc Dupouey, qui dirige cette unité. Nous nous sommes appuyés sur l'Inventaire forestier national (IFN), qui mesure un réseau de 100 000 placettes sur tout le territoire et donne une idée assez exacte des surfaces forestières et de l'accroissement annuel des



arbres. Mais, il faut aussi ajouter les branches et les racines que l'IFN ne prend pas en compte, la végétation du sous-bois et la litière. Là, nous avons peu de données, et il faut parler d'évaluation. Ainsi, on estime que les racines représentent 30 % de la masse d'un arbre.» Le résultat est donc en-

taché d'une profonde incertitude. Cependant, les chiffres de Jean-Luc Dupouey n'ont pas été contestés – tout simplement parce qu'il a été le seul à faire ce travail. Le stock moyen de la forêt française est estimé à 59 tonnes de carbone par hectare, soit, pour un total de 14,5 millions d'hectares, 860 millions de tonnes. Les records nationaux en matière de stockage vont à l'Alsace (88 t/ha), la Lorraine (85 t/ha) et la Franche-Comté (83 t/ha). Le Languedoc (38 t/ha) et la Provence (30 t/ha) ferment la marche. En moyenne, sur le territoire français, le record de stockage est tenu par les sapinières (87 t/ha), juste devant les hêtraies (84 t/ha). Les pins de Douglas sont les plus faibles stockeurs (45 t/ha).

Arthur Riedecker s'est appuyé sur ces chiffres bancals pour donner une première estimation de l'effort français dans le piégeage du  $\text{CO}_2$  : « Mais tous les pays arrivent à la table avec des résultats à la louche, se rassure-t-il. Aussi l'accord trouvé à Bonn ne vivra-t-il pas plus de dix ans, le temps pour la science de mieux connaître le cycle du carbone, ses interactions avec le climat ainsi que l'influence du changement climatique sur la végétation. » Depuis cinq ans, les laboratoires travaillant sur le carbone et la forêt n'ont d'ailleurs plus besoin

## La forêt tropicale est-elle le plus efficace des puits ?

### Forêts tropicales

1 250 t/km<sup>2</sup>/an

C'est la forêt la plus étendue (17,5 millions de km<sup>2</sup>), et celle qui offre la production primaire nette de carbone la plus élevée.

Mais les mesures, étant entendues hors respiration des animaux et des micro-organismes du sol, restent théoriques, et donc à relativiser.

### Forêts tempérées

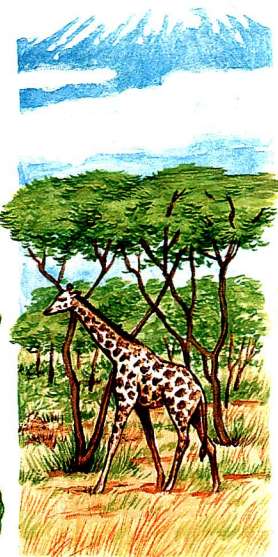
770 t/km<sup>2</sup>/an

### Savane, prairies tropicales

540 t/km<sup>2</sup>/an

### Forêt méditerranéenne

500 t/km<sup>2</sup>/an



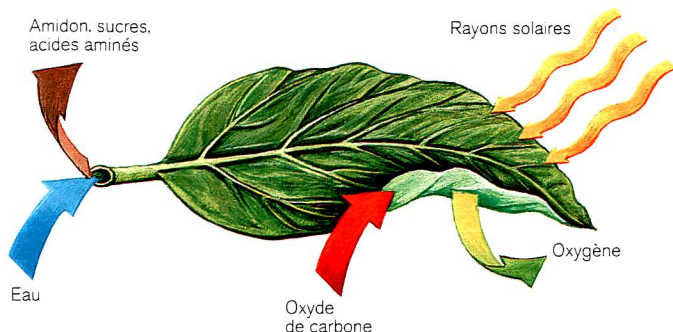


de chercher de l'argent. Les subsides arrivent tout seuls. C'est ainsi que le programme européen Euroflux finance depuis 1996 un réseau de mesures en continu concernant une trentaine de forêts européennes.

## SOUS HAUTE SURVEILLANCE

En France, l'unité d'écophysiologie forestière de l'Inra, à Nancy, surveille ainsi la respiration chimique de la forêt de Hesse, près de Sarrebourg. En haut d'un pylône surplombant une hêtraie haute de 15 m, un anémomètre mesure la vitesse et la direction du vent, tandis qu'un analyseur donne la teneur de l'air en  $\text{CO}_2$  et vapeur d'eau vingt fois par seconde : « Nous savons par la mesure des cernes de l'arbre – et également par la recherche d'un isotope du carbone, le carbone 13 – que la sécheresse est le facteur limitant de la croissance des arbres, explique André Granier, qui dirige l'expérience. Mais nous n'avions aucune idée des variations de flux. Nous savons désormais qu'en moyenne, tous les ans, notre hêtraie assimile par photosynthèse 14 tonnes de carbone par hectare et qu'il en sort par sa respiration 11 tonnes. » Bilan : un stockage de 3 tonnes par hectare. Comparer les années est plus intéressant encore : de 1996 à 2000, le stockage de carbone varie de 1 à 5 tonnes ! « En 1998, nous avons eu une sécheresse de début d'été qui a ralenti la photosynthèse, explique André Granier. La plante doit en effet choisir entre capter le carbone de l'air ou se refer-

# Photosynthèse : la machine à absorber le carbone



mer pour garder son eau. » Les plantes vivent et prospèrent grâce à un délicat phénomène physique : l'ouverture et la fermeture de cellules à la surface des feuilles, les stomates, qui captent le  $\text{CO}_2$ , mais doivent se refermer pour ne pas laisser s'échapper la vapeur d'eau, résume Bernard Saugier, directeur du laboratoire d'écologie végétale à l'université Paris-Sud XI (Orsay).

## À ÉTÉS SECS, CROISSANCE FAIBLE...

En période de sécheresse, les stomates restent fermés plus longtemps pour garder l'eau. Inévitablement, la photosynthèse se ralentit. » A l'inverse, 1999 a été humide, et les gestionnaires de la forêt ont procédé sur la parcelle à une éclaircie, technique forestière qui consiste à favoriser la

A la suite d'une cascade extrêmement complexe de réactions, la photosynthèse transforme des molécules simples en corps organiques complexes (glucose, acides aminés), tout en rejetant de l'oxygène.

**Prairies tempérées**  
370 t/km<sup>2</sup>/an



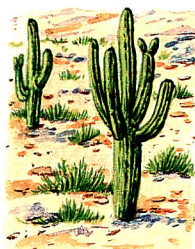
**Cultures**  
300 t/km<sup>2</sup>/an



**Forêts boréales**  
180 t/km<sup>2</sup>/an



**Déserts**  
120 t/km<sup>2</sup>/an



**Toundra arctique**  
80 t/km<sup>2</sup>/an



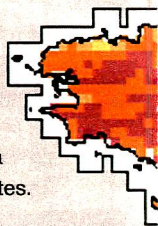


# Trois milliards de tonnes dans

■ Le sol stocke deux fois plus de carbone que les forêts. Mais l'estimation de ce réservoir est extrêmement délicate à faire. Il faut en effet croiser la composition du sol sur toute sa profondeur avec son utilisation. Ce travail accompli par Jérôme Baledent et Dominique Arrouays (Inra Orléans) est une vraie première, malgré toutes les précautions d'usage sur la valeur des données disponibles. Il permet surtout de mettre sur pied un modèle qui appréhende l'évolution du stock de carbone et les variations de ses flux. Le sol est un univers mal connu. La décomposition des fibres et des tissus y est accomplie par toute une faune de micro-organismes qui n'a pas été décrite. La transformation de la matière organique au sein des agrégats minéraux n'est pas non plus totalement maîtrisée. La rétention du carbone dans le sol, qui varie de plusieurs milliers d'années à quelques heures, reste donc un mystère : « On y constate des

phénomènes chimiques, comme l'existence de macromolécules qui retiennent le carbone, mais aussi physiques, explique Dominique Arrouays. Plus le terrain est argileux, plus le carbone est retenu dans les agrégats. » L'utilisation des sols provoque également de très forts phénomènes de déstockage : « Sur une parcelle du piémont pyrénéen qui, de pinède, est devenue champ de maïs, nous avons mesuré que, en trente-cinq ans, on était passé de 170 t/ha de carbone à 60 », poursuit Dominique Arrouays. Pour prévoir les flux de carbone, il faut donc caractériser les sols, calculer le stock initial de carbone, intégrer le climat (plus il fait froid, moins il y a de micro-organismes dans le sol, et plus lente est la dégradation de la matière) et connaître le type de culture pratiqué. La carte ci-contre est issue du croisement de ces données. On y voit les fortes capacités d'absorption du Marais poitevin ou de la Camargue, des terrains

volcaniques du Massif central et des zones de montagne plus froides. En revanche, les régions de grandes cultures et les vignobles sont de très médiocres puits. Ces résultats ont été vérifiés sur le terrain grâce à un réseau de 20 000 placettes. Le stock total de carbone dans les trente premiers centimètres du sol français est estimé à trois milliards de tonnes. Cette banque de données constitue la base du modèle informatique "Morgane" (pour : Matière ORGANique). Tous les résultats et mesures effectués sur le terrain devraient enrichir le modèle pour constituer un outil de validation et de prévision d'évolution du stock en regard des transformations de l'occupation de l'espace rural. Dans quelques années, les vérifications internationales du respect des engagements du protocole de Kyoto passeront essentiellement par ce genre d'outil.



pousse des arbres les plus vigoureux en coupant quelques individus plus faibles qui leur font concurrence : « Le stockage est passé de 1 à 3 tonnes, s'enthousiasme André Granier. L'éclaircie est un élément de gestion sylvicole qui pourrait améliorer le stockage de carbone des forêts. »

Il y a donc des années où le puits de carbone marche moins bien. Or, les climatologues annoncent des étés plus secs. Les sécheresses annoncées pourraient contrarier un autre effet avéré de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> : l'accroissement de la vitesse de croissance des arbres. Dans une atmosphère où le carbone est plus abon-

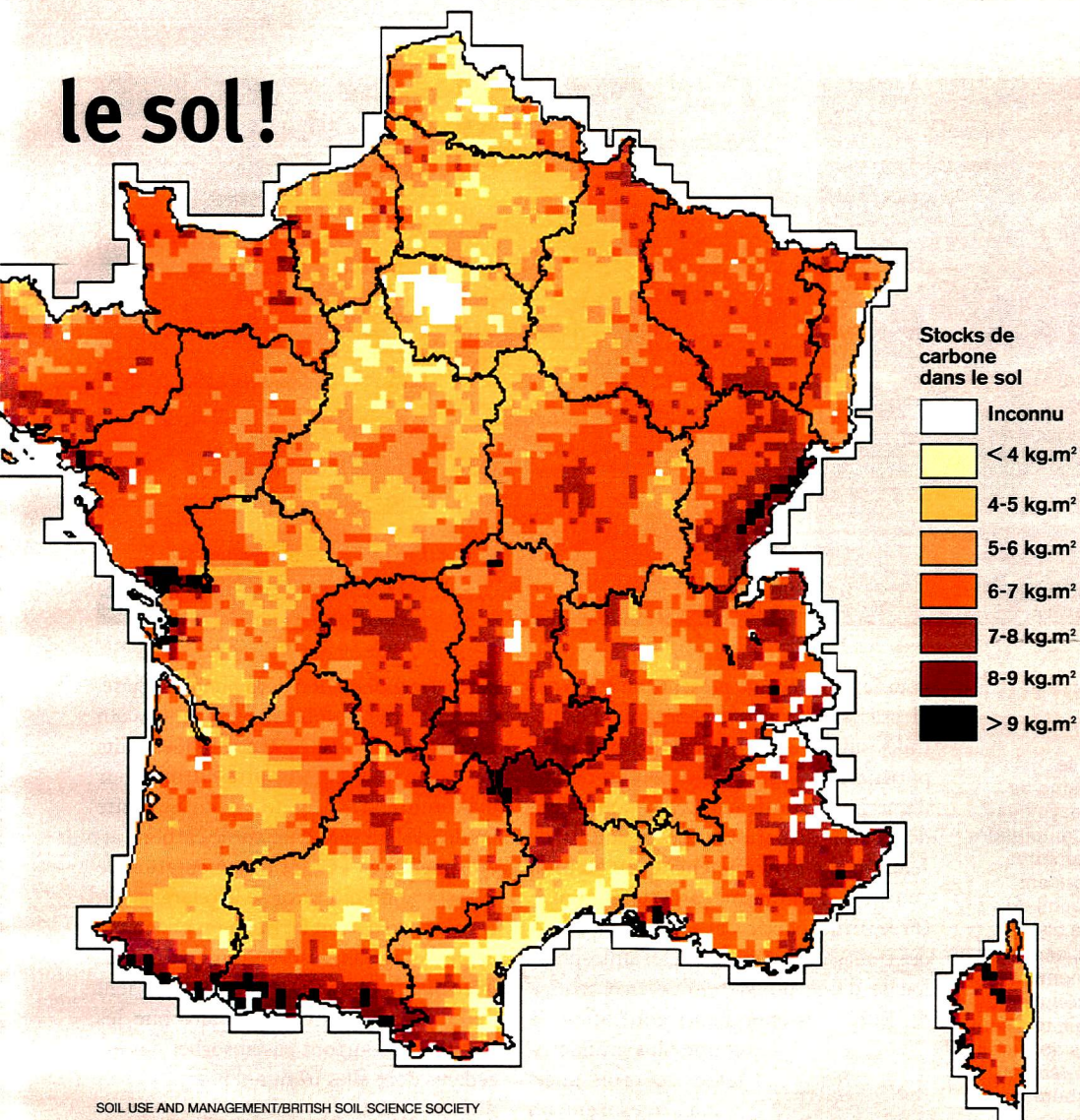
dant, la photosynthèse est facilitée. La plante a moins d'efforts à faire pour chercher ce carbone qu'elle va synthétiser en sucres comme la cellulose.

## ALERTE AU STRESS HYDRIQUE !

De plus les oxydes d'azote produits par la combustion des carbones fossiles fertilisent les forêts. L'Inra a ainsi déterminé qu'une forêt test des Ardennes avait reçu, en un an, par la voie des airs, 40 tonnes d'azote par hectare, soit presque le tiers d'un apport d'engrais sur un champ de blé. Enfin, la période de croissance s'allonge d'une quinzaine de jours. Le prin-



# le sol!



SOIL USE AND MANAGEMENT/BRITISH SOIL SCIENCE SOCIETY

temps démarre plus tôt, l'été s'achève plus tard : « La machine tourne plus vite », confirme Jean-Marc Guehl, chercheur à l'Inra. Pour étudier ces effets, Jean-Marc Guehl expose de jeunes chênes sessiles à une atmosphère à 500 parties par million (500 ppm) confinée dans une serre. Manipulation intéressante : ce sont les jeunes chênes d'aujourd'hui qui respireront cette atmosphère aux alentours de 2050. « Depuis leur arrivée sur la Terre, à l'ère tertiaire, les plantes n'ont jamais connu un tel bouleversement climatique, explique-t-il. Comment va s'adapter leur système de fermeture stomatique d'une

extrême finesse ? Aujourd'hui, on confirme l'augmentation de la vitesse de croissance, mais la résistance des plantes à la sécheresse. » Ainsi, la carte génétique des "enfants" de deux chênes sessiles dressées par l'Inra de Bordeaux a démontré une extrême diversité de réactions au stress hydrique : « La durée d'ouverture des stomates diffère totalement d'un individu à l'autre, s'étonne Jean-Marc Guehl. Ceux qui ferment plus longtemps leurs stomates survivront à la sécheresse. Ceux qui les ferment moins devraient souffrir. » Cette grande variabilité devrait donc préserver l'espèce. Jean-Marc Guehl est plus inquiet





## Mesurer, surveiller

Etudier le mécanisme de la photosynthèse, mieux comprendre les paramètres qui favorisent l'absorption du carbone par les plantes, envisager le doublement des teneurs en  $\text{CO}_2$  dans l'air, tels sont les axes de travail de Jean-Marie Guehl et du laboratoire d'écophysiologie végétale.

pour le hêtre, qui ne présente aucune sou-  
plesse dans l'héritage génétique. Les hê-  
traies situées en limite sud de l'aire de ré-  
partition de l'espèce, un peu au-dessus  
d'une ligne Bordeaux-Lyon, pourraient  
donc bien disparaître. Les résultats de  
Jean-Marc Guehl rejoignent peu ou prou  
ceux du programme américain FACE  
(Free Atmospheric Carbon Enrichment),  
qui consiste à saturer de  $\text{CO}_2$  l'atmosphère  
locale d'une pinède située en Caroline  
du Nord. Les chercheurs constatent, là

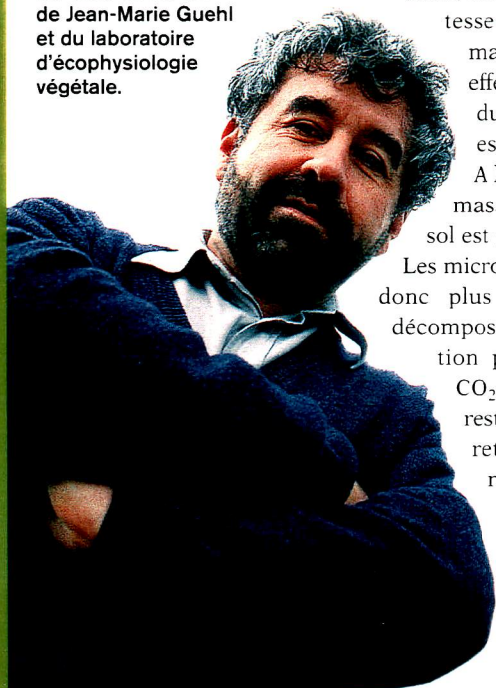
aussi, une plus grande vi-  
tesse de croissance,  
mais mesurent un  
effet pervers : la pro-  
duction de feuilles  
est plus grande.  
A l'automne, la bio-  
masse qui tombe au  
sol est plus importante.

Les micro-organismes ont  
donc plus de matière à  
décomposer. Leur respi-  
ration produit plus de  
 $\text{CO}_2$ , que les sols fo-  
restiers très pauvres  
retiennent mal. Le  
relarguage de car-  
bone dû à la dé-  
composition est  
plus important  
et compense en

partie l'augmentation de la photosynthèse.  
Cette expérience confirme les modèles qui  
prédisent qu'entre 2050 et 2100 les puits  
de carbone végétaux atteindront leur  
maximum d'efficacité, pour ensuite  
perdre de leur influence sur le carbone at-  
mosphérique : « Outre l'augmentation de  
la respiration qui favorise le relargage du  
carbone, on devrait arriver à un phéno-  
mène de saturation, assure Bernard Saugier.  
Avec 500 ppm de  $\text{CO}_2$  il y aura tellement  
de carbone dans l'atmosphère que les  
plantes ne pourront pas absorber des ex-  
cédents dont elles n'ont nul besoin. »

## QUAND LA FORÊT SERT DE MACHINE

Petit à petit, les connaissances s'affinent.  
Les réactions biologiques des arbres au  
changement climatique, la caractérisation  
des flux de carbone, les facteurs améliorant  
la photosynthèse des arbres vont modifier  
à la fois la vie des négociateurs internatio-  
naux et celle des forestiers. Arthur Riedacker  
aura bientôt des bilans précis à mon-  
trer, des cartes de reboisement, des taux  
de fixation de carbone et des résultats de  
stocks. Les forestiers, eux, travailleront sur  
le terrain pour améliorer les rendements  
de leurs arbres, instruits par les constats  
et les mesures effectuées par les scienti-  
fiques. Pour faire des forêts de perfor-  
mantes machines à absorber une petite  
partie de la fumée des usines.





**PRÉSERVER L'EAU, c'est protéger notre  
planète et transmettre la vie.**

**C'est pourquoi la Fondation Nicolas Hulot,  
associée à l'eau minérale naturelle de  
Thonon et Science & Vie Découvertes, lance  
le concours**

# **"SOS Planète Eau"**

Ce concours est ouvert aux classes de CE2, CM1, CM2 et 6<sup>e</sup>.

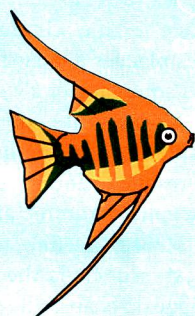
Les élèves doivent réaliser un reportage sur leur environnement  
aquatique local dans une démarche citoyenne, active et ludique.

Guidés par leur professeur ils choisissent un sujet d'études, un  
milieu, un site, ou un métier lié à l'eau, le décrivent, identifient les  
menaces éventuelles, les solutions existantes pour y remédier, voire  
proposent des actions concrètes.

Chaque dossier (article avec photos et dessins...) sera envoyé -  
avant le 30 avril - à Science & Vie Découvertes, qui publiera les  
résultats dans son numéro de juin.

Si vous désirez participer à ce concours, nous nous ferons un plaisir  
de vous envoyer une documentation avec bulletin d'inscription sur  
simple demande écrite à l'adresse suivante :

Concours SOS Planète Eau/FNH - Science & Vie Découvertes  
1 rue du Colonel-Pierre-Avia - 75503 Paris Cedex 15



**Trois partenaires s'unissent pour  
apprendre aux enfants à défendre  
l'environnement.**





# Prévoir les crises

Jusqu'ici, la survenue d'une crise d'épilepsie restait imprévisible. Les quelque 500 000 Français qui sont atteints par cette affection neurologique devaient se

contenter d'un traitement espaçant et atténuant les crises – qui les surprennent à chaque fois.

Une découverte des chercheurs en neurodynamique du Laboratoire de neurosciences cognitives et imageries cérébrales (LENA), à l'hôpital parisien de la Pitié-Salpêtrière, pourrait changer cet état de faits : ils ont mis en évidence l'existence d'une phase de "précrise" annonciatrice.

## LE CERVEAU TROP EN ORDRE

La crise d'épilepsie correspond à une "hypersynchronisation" de certains neurones du cerveau. En temps normal, la fluidité des échanges de signaux entre neurones est assurée par un certain désordre. L'apparition soudaine d'un ordre (synchronisation) bloque ces échanges, ce qui entraîne un dysfonctionnement neurologique. C'est comme si une foule dé-

**Des neurologues ont mis au point une méthode pour prévoir la survenue des crises d'épilepsie – et donc mieux les traiter.**

ambulant dans un réseau de couloirs décidait subitement de n'en emprunter qu'un seul : la circulation serait plus ordonnée, mais le passage se ferait plus difficilement, mettant un terme à la fluidité.

Jusqu'ici, on estimait que l'activité cérébrale d'un patient épileptique se divisait en deux périodes : la crise, qui trouble le fonctionnement normal du cerveau pendant quelques instants, et l'intercrise, longue période pendant laquelle le patient mène une vie parfaitement normale. Or, en analysant l'activité électrique des cerveaux d'épileptiques, l'équipe de Michel Le Van Quyen et Jacques Martinerie (LENA) a observé une précrise précédant d'environ sept minutes les premiers symptômes de la crise proprement dite. « Certains patients ressentent des signes "avant-coureurs", des fourmillements, par exemple. Mais

ceux-ci signifient que la crise est déjà installée. La précrise, sans manifestations cliniques, se situe en amont de ces signes », explique Michel Le Van Quyen.

Cette découverte est le résultat de l'observation de vingt-trois patients souffrant d'épilepsie du lobe temporal. Les chercheurs ont enregistré l'activité électrique des neurones à l'origine des crises, grâce à une vingtaine d'électrodes placées à la surface du scalp. Jusque-là, rien de très nouveau. L'originalité de ce travail réside dans la méthode d'analyse presque instantanée de l'électroencéphalogramme ainsi obtenu. Cette méthode, dite "non-linéaire", est issue de la théorie mathématique du chaos. Elle permet de mettre en évidence des phénomènes noyés dans un système complexe où un grand nombre d'éléments interagissent.

Ces résultats font naître l'espoir de contrer l'un des aspects les plus invalidants des crises d'épilepsie : leur caractère imprévisible. L'idée est d'implanter des électrodes dans la zone épileptogène du cerveau. Les données recueillies seraient analysées en continu par un micro-ordinateur inséré dans la poitrine du patient. L'imminence d'une crise pourrait ainsi être détectée.

Différents scénarios sont envisageables. Certains malades sont capables d'empêcher le dévelop-

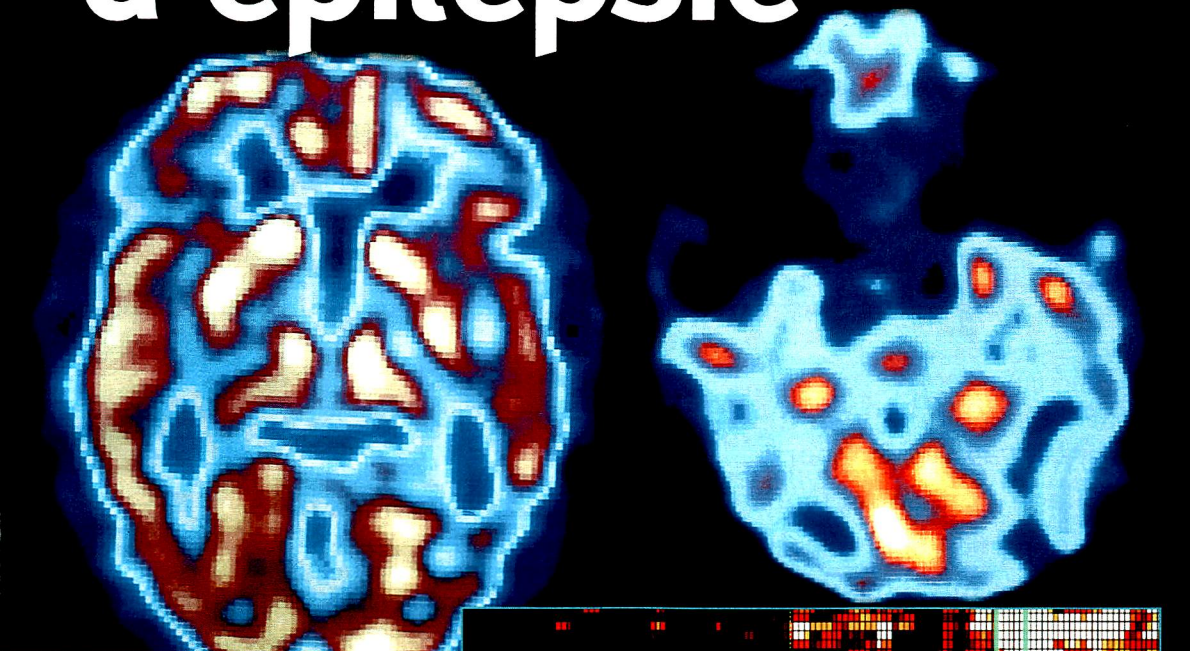
## DES SYMPTÔMES VARIABLES

■ L'épilepsie se manifeste par des épisodes de dysfonctionnement neurologique plus ou moins fréquents et invalidants. Les crises généralisées, qui concernent les deux hémisphères du cerveau, se traduisent par des absences ou une perte de conscience, accompagnées de mouvements convulsifs.

Les crises partielles affectent une aire limitée du cortex. Selon la région concernée, les signes cliniques diffèrent ; il n'y a pas forcément de perte de conscience. Si l'aire auditive est touchée, le patient peut percevoir des bourdonnements. L'atteinte de l'aire sensitive provoque une sensation de "déjà vu".

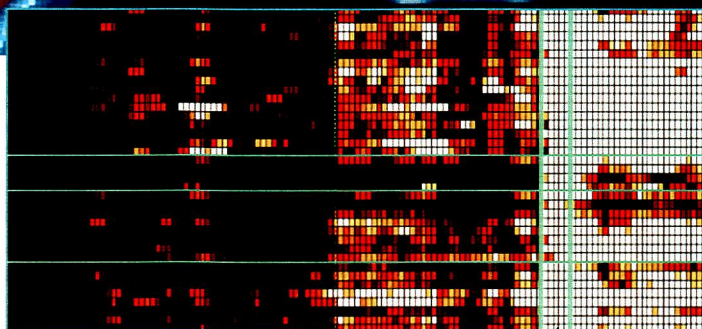


# d'épilepsie



## Signal d'alarme

L'hypersynchronisation de certains neurones, qui provoque la crise, est mise en évidence par l'imagerie médicale (à gauche, IRM d'un cerveau hors crise; à droite, cerveau en crise). La "carte" ci-contre permet de visualiser un troisième type d'activité neuronale, qui précède la crise de quelques minutes.



Précise Crise

pement d'une crise par des techniques de respiration et de relaxation. Prévenus de l'arrivée des crises, ils pourraient ainsi parvenir à les enrayer.

La détection de la période pré-critique par des électrodes permettrait aussi de déclencher une stimulation électrique ponctuelle destinée à empêcher les neurones de se synchroniser. « Mais toutes les formes d'épilepsie ne sont pas concernées par cette technique », confie Michel Le Van Quyen. « Dans les cas d'épilepsie généralisée, cette stimulation locale

unique serait inefficace. Il faudrait avoir recours à des stimulations plus périphériques du cerveau, comme celle du nerf vague. » Le nerf vague est le seul nerf crânien qui s'étende au-delà de la tête et du cou, jusque dans le thorax. Il est donc facilement accessible. Il est constitué de fibres dites "afférentes", qui font remonter les informations du bas vers le haut. En le stimulant, on agit sur des zones épileptogènes comme l'hippocampe, le cortex insulaire, l'amygdale... La stimulation électrique du nerf vague est déjà

pratiquée chez les épileptiques réfractaires aux traitements médicamenteux et inopérables. Des électrodes sont implantées sur le nerf et reliées à un générateur, inséré dans la poitrine. Le nerf est stimulé toutes les cinq minutes... pendant des années.

On peut aussi envisager que, une fois la précrise détectée, une minipompe placée dans le cerveau délivre un antiépileptique à action rapide dans la zone concernée. Mais il faudra encore attendre quelques années avant que de tels appareils soient au point. ■



# La télévision numérique en questions

**D'ici un an, votre bon vieux téléviseur va vous étonner!**

**Davantage de chaînes, une image et un son numériques, des programmes locaux, de nouveaux services interactifs... La télévision numérique terrestre cherche à s'imposer.**

**T**out est techniquement prêt. Depuis cinq ans, on nous annonce son arrivée. Mais le numérique hertzien se fait attendre... Il faut dire que les exemples européens ne sont pas des plus incitatifs. La Grande-Bretagne, la Suède et l'Espagne, pionnières de la télévision numérique terrestre, connaissent actuellement de vrais revers commerciaux, faute d'avoir proposé une offre suffisamment alléchante. Pour des chaînes commerciales comme TF1 et M6, le nouvel espace télévisuel ouvert par le numérique hertzien n'a rien d'un Eldorado; mais tout d'un piège où attendent de nouveaux concurrents. Dans ce contexte, les chaînes françaises se montrent frileuses, même si la plupart s'accordent à dire que le passage au numérique est désormais incontournable.

La télévision numérique terrestre (TVNT ou TNT), encore appelée "numérique

hertzien", va donc remplacer progressivement la diffusion analogique par la diffusion numérique – tout comme l'industrie du disque est passée du vinyle au laser. Mais, cette fois, nul besoin de changer d'appareil pour profiter de la qualité numérique : la vieille antenne râteau et le téléviseur ordinaire feront l'affaire, à condition de leur ajouter un décodeur. Pour assurer la transition, les diffusions analogique et numérique devraient cohabiter pendant une dizaine d'années ("simulcast"), le temps que le numérique terrestre prenne définitivement sa place.

Prochaine échéance du projet : fin janvier 2002, la date limite de dépôt des dossiers pour les chaînes de télévision candidates au numérique hertzien.

## 1 QU'EST-CE QUE LA TÉLÉVISION NUMÉRIQUE HERTZIENNE ?

■ Le son et les images numérisés sont diffusés par voie hertzienne, réceptionnés grâce à une antenne râteau classique, puis convertis par un décodeur individuel en signaux analogiques compatibles avec un téléviseur ordinaire.

Le passage de l'analogique au numérique va permettre d'améliorer la qualité des si-

## Gardez l'antenne!

Nul besoin de parabole pour recevoir la télévision numérique hertzienne. Une antenne râteau classique suffira – à condition qu'elle soit "à large bande" et dépourvue de filtre égaliseur.







gnaux. Si, en analogique, les images présentent parfois des dégradations ("neige", images dédoublées ou déformées...), en numérique, c'est la loi du "tout ou rien" : soit le signal reçu est correct, l'image et le son, impeccables; soit on ne reçoit rien du tout. Dans des conditions de transmission difficiles, la diffusion numérique est plus fiable que le mode analogique.

Le numérique délivrera un son stéréo de grande qualité et offrira de nouvelles possibilités. Un film pourra être diffusé en plusieurs langues et différents sous-titres au choix du téléspectateur.

Des données (guide des programmes, commentaires, critiques, etc.) pourront être associées au signal vidéo, offrant une version améliorée du télétexte (qui permet déjà d'obtenir à l'écran certaines informations sur les émissions).

## 2 POURQUOI ABANDONNER L'ANALOGIQUE ?

■ Ce projet de télévision hertziennne répond à des enjeux économiques et techniques. Le numérique devrait offrir une meilleure gestion du spectre audiovisuel, aujourd'hui saturé. Il permet en effet de faire passer plusieurs programmes sur un même canal. Une fois l'analogique complètement abandonné, les fréquences libérées pourront être réutilisées par de nouveaux services audiovisuels (réception des programmes en voiture, services interactifs) et par des secteurs très demandeurs de fréquences comme les télécommunications.

Pour les chaînes, cette technologie offre la possibilité de créer de nouveaux



programmes (thématiques, locaux, etc.), ce qu'interdit aujourd'hui la saturation des fréquences. Le tout, pour un coût de diffusion de six à dix fois moindre qu'en télévision analogique.

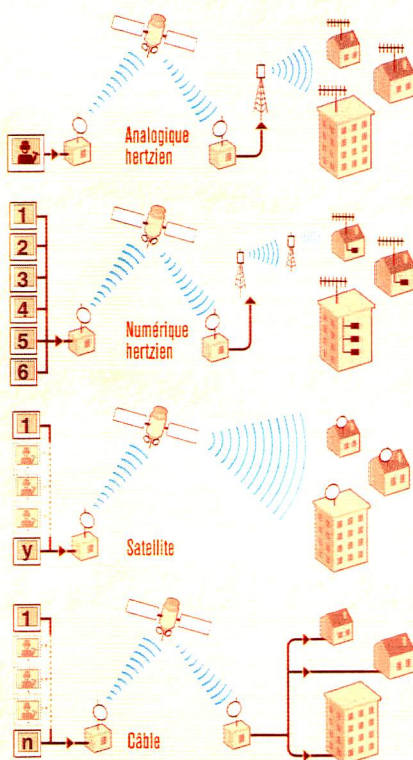
En outre, l'industrie électronique verra s'ouvrir un nouveau marché de décodeurs et de téléviseurs numériques (à décodeur intégré). Elle espère une accélération du renouvellement du parc des récepteurs. Actuellement, 22 millions de foyers possèdent au moins un téléviseur.

## 3 QUI EST À L'ORIGINE DE CE PROJET ?

■ En 1993, un groupement européen réunissant les principaux acteurs de l'audiovisuel, baptisé Digital Video Broadcasting (DVB), a défini les spécifications techniques de la télévision numérique. Deux ans plus tard, il a édicté une norme de diffusion pour le numérique hertzien : le DVB-T.

Depuis, ministère de la Culture et de la Communication en tête, le gouvernement français prépare le cadre législatif et juridique de la télévision numérique. Le Conseil supérieur de l'audiovisuel (CSA) attribue et répartit les fréquences, choisit les chaînes qui seront diffusées et réunit sous sa coupe un comité d'experts chargé des problèmes techniques. Pour développer et gérer le réseau d'émetteurs sur tout le territoire, Télédiffusion de France (TDF), le seul opérateur de diffusion en analogique, se retrouve confronté à des concurrents potentiels (Towercast, 3 Wave...) et étudie l'aménagement des pylônes d'émission.

## Tous les chemins des ondes



Les programmes sont retransmis par satellite à un réseau d'émetteurs terrestres, qui diffusent l'émission vers les antennes râteau. Une seule chaîne par canal.

Le mode de diffusion est identique à l'analogique, mais les signaux sont numériques. Cinq ou six chaînes par canal.

Un satellite retransmet jusqu'à 192 chaînes numériques. Pour les recevoir, il faut une antenne parabolique individuelle.

Les programmes numériques sont retransmis par satellite puis captés par une parabole collective. Ils sont acheminés par câble aux abonnés. Cinq chaînes par canal.

Quant aux chaînes, elles peaufinent leur dossier de candidature. Certains groupes de télévision mettent déjà en place les infrastructures (équipe, studio...) nécessaires pour créer de nouvelles chaînes. D'ores et déjà, le CSA a annoncé que plusieurs programmes du service public seront considérés comme prioritaires : France 2, France 3, La Cinquième, Arte, la Chaîne parlementaire, ainsi que trois nouvelles chaînes produites par France Télévision. TF1, M6 et Canal+ figurent également au tableau en tant qu'anciens acteurs de l'analogique, tandis

## L'ODYSSÉE DU PETIT ÉCRAN

**1873**

Avec du sélénium et de la lumière, deux ingénieurs britanniques, May et Smith, transforment des images en signaux électriques.

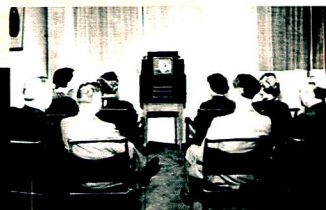


**1897**

L'Allemand Ferdinand Braun invente l'ancêtre du tube à faisceau cathodique.

**1900**

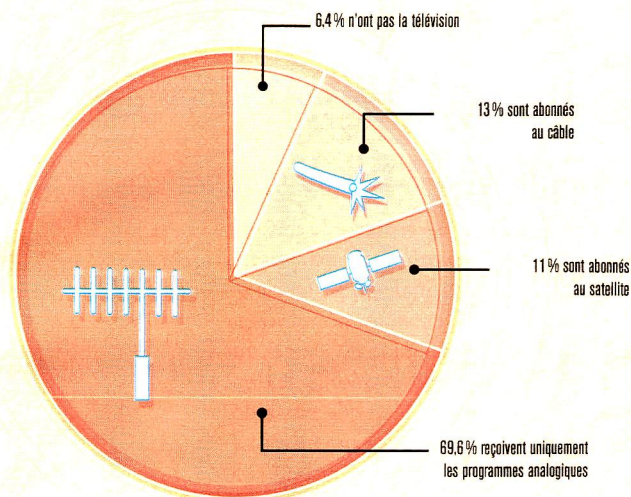
Le mot "télévision" est employé pour la première fois lors du Congrès international d'électricité, à Paris.



**1935**

Première diffusion d'émissions en noir et blanc depuis la tour Eiffel.





## Les Français et la télévision

93,6 % des foyers français ont au moins une télévision, et 32 % d'entre eux possèdent plusieurs postes. La majorité (69,6 %) des téléspectateurs se contentent du réseau hertzien actuel et ne sont abonnés ni au câble ni au satellite. C'est avant tout ce public que la télévision numérique terrestre va chercher à séduire.

que des groupes comme Pathé, Lagardère ou AB vont postuler pour essayer d'entrer dans le paysage audiovisuel français.

Enfin, du côté des constructeurs, Thomson, Nokia, Philips, Sony et Grundig travaillent en partenariat avec le Syndicat des industriels de matériels audiovisuels et électroniques (SIMAVELEC) pour définir des standards d'équipement (décodeurs et téléviseurs).

## 4 QUELS SONT LES AVANTAGES SUR LE CÂBLE ET LE SATELLITE ?

■ L'argument économique en faveur de la télévision numérique hertzienne est imparable : c'est gratuit. Enfin, presque... Car, pour visionner les programmes

payants, il faudra bien s'abonner, tout comme pour le câble et le satellite.

L'argument technique est également évident : la réception du numérique hertzien est simple. Pas d'autorisation à demander pour fixer une parabole ni de contrainte d'orientation directe vers un satellite (entre 30 et 40° au-dessus de l'horizon sud); et nul besoin d'être câblé – une possibilité qui ne concerne encore que 1639 communes sur 36851.

Le numérique hertzien cherche d'abord à séduire les foyers français qui n'ont ni câble ni parabole. Yvon Le Bars, membre du CSA, l'énonce clairement : « La vocation de la TVNT n'est pas de concurrencer le satellite ou le câble mais d'en être un complément. » Les trois technologies devraient donc continuer à coexister sans se faire d'ombre, puisqu'elles ne répondent pas aux mêmes attentes : une pléiade de programmes moyennant un abonnement mensuel pour le satellite et le câble; moins de chaînes, mais certaines gratuites, pour la télévision numérique terrestre.

## 5 QUEL SERA L'ÉQUIPEMENT NÉCESSAIRE ?

■ La bonne vieille antenne râteau suffira pour recevoir le numérique terrestre. Les sites d'émission (pylônes) seront les mêmes que pour la télévision analogique. Il n'est donc pas nécessaire de changer l'orientation de l'antenne.

En réalité, l'affaire n'est pas si simple : d'après des estimations du SIMAVELEC, 30 % des antennes individuelles et la moitié des antennes collectives devront



1962

Première retransmission télévisée par satellite.



1967

Premier programme en couleurs, sur la deuxième chaîne.



1996

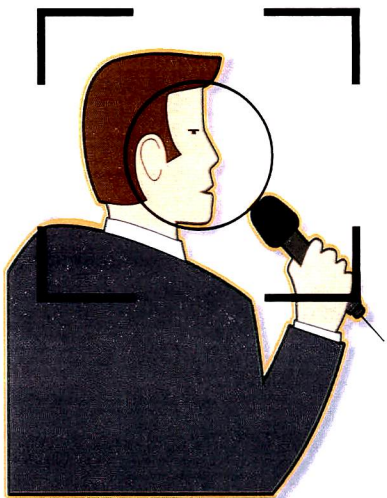
Lancement du premier bouquet numérique (CanalSatellite); premier rapport sur les perspectives du numérique terrestre en France.



subir des adaptations nécessitant l'intervention d'un spécialiste (un coût estimé à 23 € en moyenne par foyer pour l'habitat collectif). Ces travaux consisteront à modifier la partie supérieure de l'antenne afin qu'elle puisse recevoir la bande de fréquences des programmes numériques.

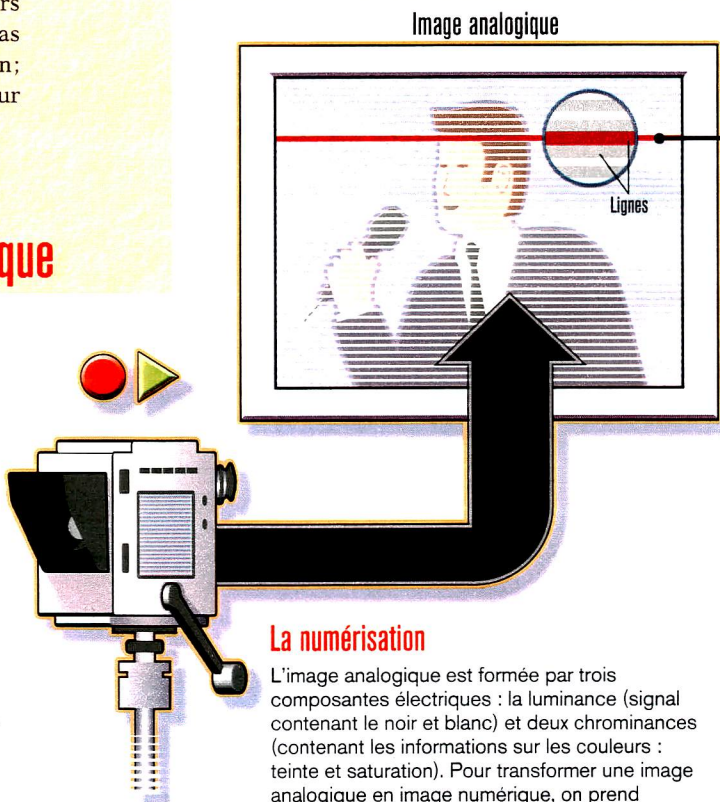
Le récepteur ne devra pas être changé, à condition qu'il soit équipé d'une prise péritel. Ceux qui souhaitent renouveler leur équipement ont cependant tout intérêt à attendre l'arrivée sur le marché des téléviseurs numériques à décodeur intégré (de 1 070 à 1 370 €, suivant les modèles), fin 2002. Sinon, un décodeur externe (également appelé "*set top box*"), indispensable pour convertir le signal numérique en signal analogique, se branchera sur la prise péritel. Les constructeurs s'affairent pour être prêts à mettre sur le marché toute une gamme d'appareils à partir de 150 €, de la simple boîte à zapper au boîtier équipé d'options interactives. Attention, les décodeurs pour le câble ou le satellite ne sont pas compatibles avec le numérique hertzien ; le type de modulation est différent pour les trois supports de diffusion.

## Les secrets de la télévision numérique



## 6 COMBIEN DE CHÂÎNES SERONT-ELLES DISPONIBLES ?

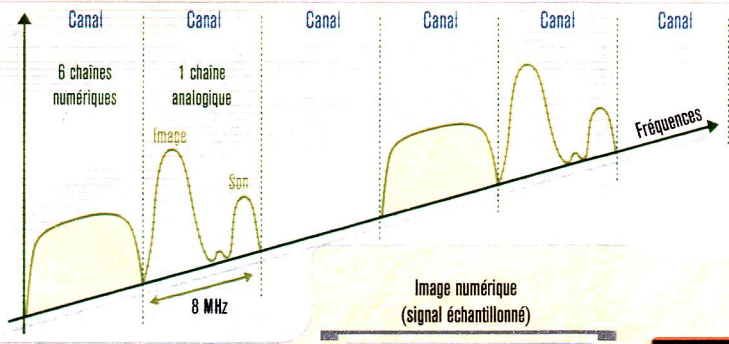
■ 33 en tout. Le CSA a prévu de diffuser cinq ou six programmes par canal – contre un seul en analogique. La clé de cette performance est la numérisation et la compression des signaux (vidéo et audio) : un codeur réduit le volume de données à transporter, si bien que plusieurs chaînes peuvent transiter *via* un même canal. Un multiplexeur analyse en continu le contenu des programmes et délivre à chacun le débit dont il a besoin. Ainsi, une chaîne de télévision sportive, dont les images sont rapides et riches en détails (soit un débit de plusieurs mégabits par seconde), occupera plus d'un sixième de canal, tandis qu'une chaîne diffusant un



### La numérisation

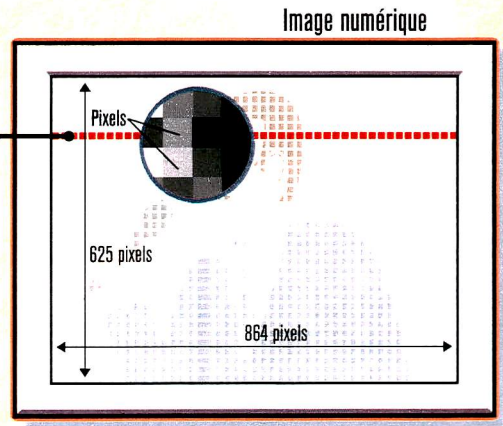
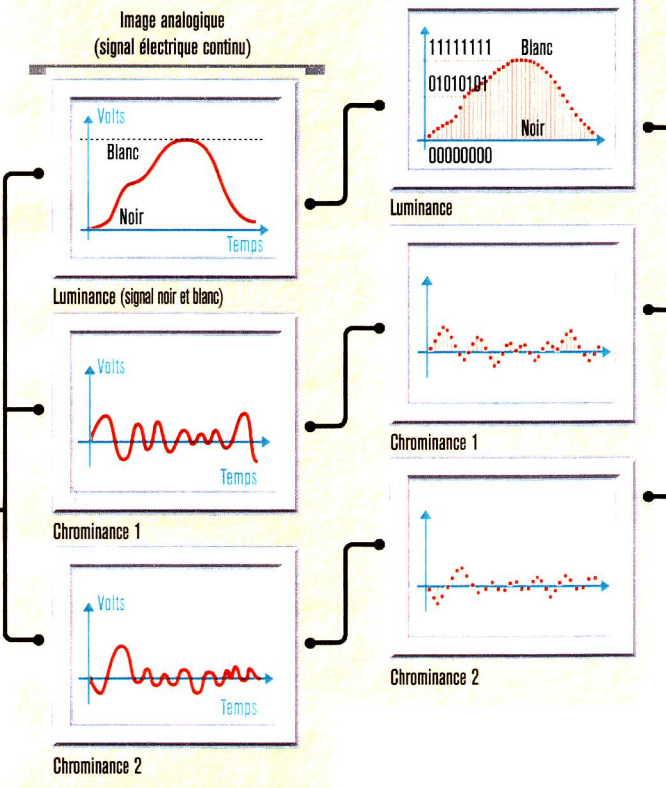
L'image analogique est formée par trois composantes électriques : la luminance (signal contenant le noir et blanc) et deux chrominances (contenant les informations sur les couleurs : teinte et saturation). Pour transformer une image analogique en image numérique, on prend des échantillons de ces trois signaux continus, et on les code : la valeur de chaque point pris est transformée en une suite de huit bits (des 0 et des 1). C'est la numérisation.



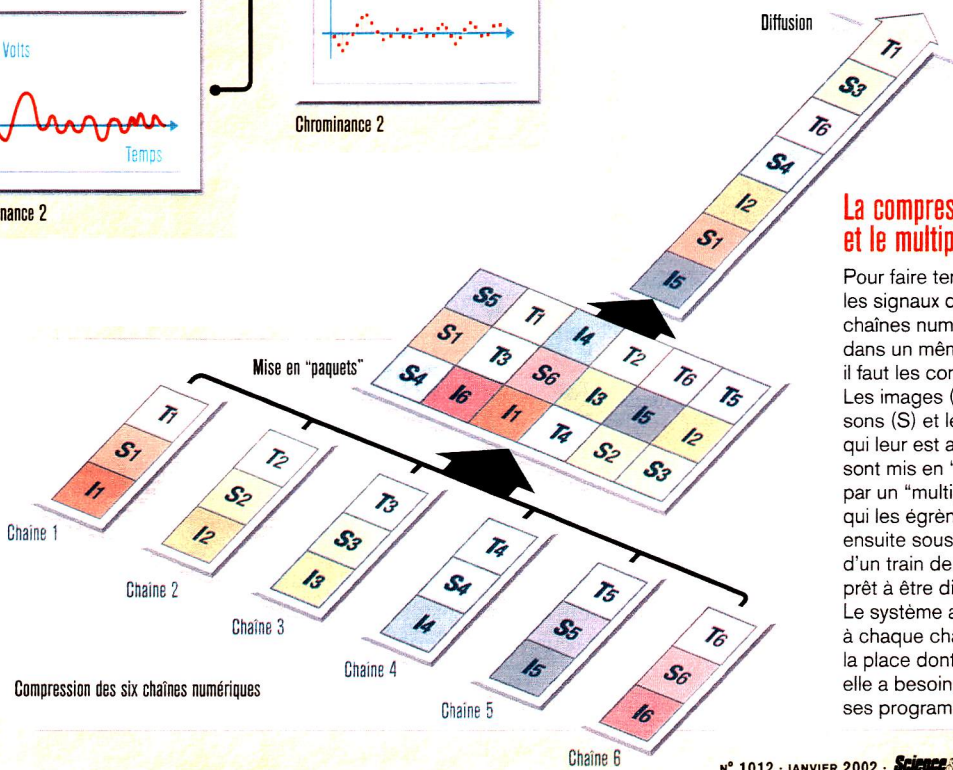


## La modulation

La télévision numérique utilisera les bandes de fréquences qui ont été laissées libres pour éviter les interférences entre chaînes analogiques. Dans un canal (bande de fréquences de 8 MHz), on logera six chaînes numériques au lieu d'une seule en analogique.



L'image numérique ne se compose plus de lignes mais de pixels : des points formés par la superposition des trois composantes.



## La compression et le multiplexage

Pour faire tenir les signaux des six chaînes numériques dans un même canal, il faut les compresser. Les images (I), les sons (S) et le texte (T) qui leur est associé sont mis en "paquets" par un "multiplexeur", qui les égrène ensuite sous la forme d'un train de données prêt à être diffusé. Le système attribue à chaque chaîne la place dont elle a besoin pour ses programmes.



dessin animé (moins de 1 Mbit/s) aura besoin de moins de ressources. Ce principe d'allocation variable s'appelle le "multiplexage statistique". Il demande un réel effort de cohabitation entre les chaînes : elles doivent s'accorder pour céder de la place ou en obtenir selon la nature plus ou moins compressible des émissions qu'elles diffusent.

Reste à savoir quels programmes partageront un même canal. Aucune information ne circule encore à ce sujet, puisque les candidats ne sont pas encore sélectionnés. Le CSA a cependant annoncé que l'on s'achemine vers un équilibre entre chaînes payantes et chaînes gratuites (ces dernières seront une quinzaine, contre cinq actuellement).

## 7 QUI Y AURA ACCÈS ?

■ Le numérique terrestre ne concernera pas toute la population, loin s'en faut. Il devrait pour cela déployer un nombre d'émetteurs au moins équivalent au parc analogique existant, ce qui, d'après le CSA, semble économiquement impossible aujourd'hui. En phase de lancement, l'objectif est de toucher un foyer sur deux, grâce à l'implantation des 29 premiers sites d'émission. D'ici à 2005, 110 sites au total seront mis en fonction, ce qui couvrira, à terme, environ 80 % des foyers. Un bien maigre résultat, quand on sait que cette technologie est censée remplacer l'analogique, capable de toucher 99 % de la population pour la diffusion de TF1, France 2 et France 3, et 85 % pour les cinquième et sixième chaînes. Heureusement, le satellite devrait couvrir les 20 % laissés pour compte, situés dans des zones trop éloignées de l'émetteur numérique.

Les possesseurs de téléviseurs portatifs seront les moins bien lotis. Non reliés à une antenne râteau, ces récepteurs ne fonctionneront que dans 40 % de la zone de couverture, au voisinage de l'émetteur et à condition d'être bien situés : placé près de la source mais au rez-de-chaussée d'un immeuble encaissé, un portatif aura peu de chances de marcher...



D.R.

## Avant-goût

Ce téléviseur analogique interactif (Thomson multimédia) permet déjà l'accès à l'internet, l'achat en ligne, l'envoi d'e-mails, etc., grâce à un modem intégré et à une télécommande-clavier. Un avant-goût des futures applications de la télévision numérique terrestre.

## 8 FAVORISERA-T-ELLE LES PROGRAMMES LOCAUX ?

■ Au contraire du satellite, qui "arrose" tout un pays, le numérique terrestre, diffusé par des émetteurs implantés sur des pylônes, couvre un espace bien délimité. On peut donc cibler avec précision la zone de couverture et offrir aux téléspectateurs concernés des programmes locaux. Il sera possible de diffuser une émission à l'échelle régionale, départementale, voire municipale. Le CSA a prévu de la place pour trois programmes locaux par zone régionale de diffusion.



NOKIA

## 9 QUEL EST LE COÛT DE CE PROJET ?

■ Impossible de donner une valeur précise, mais on estime d'ores et déjà que le budget global dépassera plusieurs milliards d'euros. Une donnée essentielle manque pour affiner les comptes : le nombre de téléspectateurs qui choisiront cette technologie dès le début... Fervent défenseur du projet, le gouvernement a néanmoins annoncé le

## Passeport pour le numérique

Déjà en vente en Finlande, où la télévision numérique terrestre existe depuis août 2001, ce décodeur permet de convertir les programmes numériques en signaux analogiques sur un téléviseur actuel.



## TROIS QUESTIONS À ALAIN PUISSOCHET



Directeur d'études à l'Institut de l'audiovisuel des télécommunications en Europe (IDATE), auteur de l'étude *Téléviseurs et Terminaux vidéo numériques*.

### L'IDATE semble réservé sur le numérique terrestre, pourquoi ?

Il suffit d'observer son développement dans les pays qui en sont déjà dotés pour tempérer son enthousiasme...

En Angleterre, par exemple, 1,1 million de foyers seulement, soit à peine plus de 4 % des téléspectateurs, se sont laissés séduire par ces nouveaux bouquets numériques. Aux Etats-Unis, il a fallu plus de deux ans et demi pour franchir le million d'abonnés. La situation en Suède et en Espagne n'est guère meilleure. Tout porte à penser que, en France, le phénomène sera comparable et qu'il ne faut pas s'attendre à un succès à court terme – d'autant que les délais prévus pour la mise en place risquent d'être allongés.

### Comment expliquez-vous cette situation ?

Lorsqu'on annonce à un téléspectateur qu'il va pouvoir recevoir une trentaine de chaînes sans changer d'antenne, il est enthousiaste. En revanche, dès qu'on lui précise qu'il devra changer de téléviseur ou investir dans un décodeur et souscrire à un abonnement, son engouement s'émousse... Quant aux clients des bouquets satellites et à ceux du câble, ils ne sont pas prêts pour un nouvel investissement qui, souvent, n'offrira pas un choix de programmes aussi vaste.

### Et à plus long terme ?

Dans dix ans, la télévision analogique n'existera plus, c'est certain. Tout le monde devra changer son téléviseur, comme ce fut le cas dans les années soixante, après l'abandon du 819 lignes. Le passage au numérique est dicté par la nécessité de libérer des fréquences pour d'autres applications, ce que permet le numérique terrestre grâce à l'économie de fréquences de transmission qu'il offre.

versement de 150 millions d'euros au groupe France Télévision pour financer son engagement dans le numérique hertzien. Du côté des infrastructures, les opérateurs de diffusion (TDF, Towercast...) auront à développer un réseau d'émetteurs sur 110 sites, ce qui devrait coûter environ 460 millions d'euros, d'après la Direction du développement des médias (DDM), organisme de tutelle de l'audiovisuel public. Les chaînes de télévision, elles, paieront aux opérateurs un coût de diffusion d'environ 6 millions d'euros par an.

Quant aux nouvelles chaînes qui devront se créer de toutes pièces, il leur en coûtera quelque 15 millions d'euros par an les premières années. De quoi s'offrir les équipes, les studios et les équipements nécessaires à la production d'une grille de programmes. Le budget des chaînes sera couvert à la fois par la publicité (financement des programmes gratuits) et par les abonnements (programmes payants). Le téléspectateur, lui, ne devrait pas non plus être épargné : la redevance financera toujours les chaînes publiques. Reste à savoir si, pour la circonstance, cette taxe ne sera pas augmentée...

## 10 AURA-T-ELLE D'AUTRES APPLICATIONS ?

■ Le projet de télévision numérique permet d'envisager de développer des possibilités déjà en service sur le câble ou le satellite et qui nécessitent d'intégrer un modem au téléviseur : services de téléachat en ligne, votes et sondages en direct, accès à l'internet, etc.

A terme, d'autres applications de la télévision numérique hertzienne sont envisageables, à condition que les choix technologiques suivent. Les programmes pourraient ainsi être filmés et diffusés sous différents angles, ce qui permettrait au téléspectateur de suivre un match sportif ou un concert du point de vue de son choix. La généralisation des magnétoscopes numériques permettra le "direct-différé" : un programme pourra être enregistré, puis regardé avec un léger dé-

calage par rapport au direct – idéal pour voir la fin d'un film quand on a été dérangé par le téléphone.

A plus longue échéance, la meilleure couverture du territoire par le réseau d'émetteurs laisse entrevoir le jour où la réception des programmes dans une voiture en mouvement sera enfin de bonne qualité. ■



# Le pneu qui ne

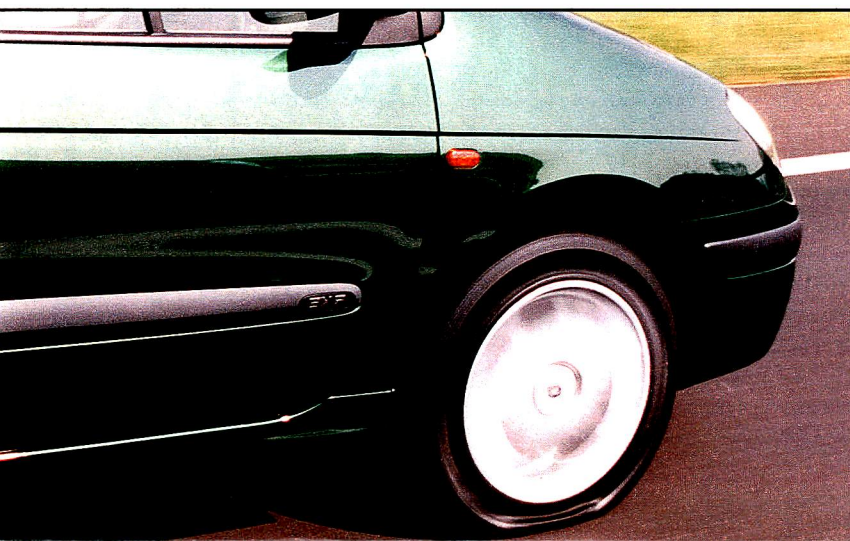
**Michelin vient peut-être d'approcher le rêve de tout automobiliste : équipé de son système Pax, un pneu à plat peut continuer de rouler à 80 km/h pendant 200 kilomètres! Nous l'avons testé sur l'autoroute. Voici notre expertise.**

**Même en cas d'éclatement ou de perte rapide de pression, le pneu du Pax System ne peut déjanter. Il contribue donc activement à améliorer la sécurité.**

**F**inie la roue de secours, adieu le cric qu'il faut manœuvrer sous la pluie, exit les mains dans le cambouis. Et, surtout, écartée la menace d'une crevaison survenant à grande vitesse! Le rêve? Non, mais le Pax System, un dispositif que Michelin vient de finaliser. Grâce à lui, un pneu totalement dégonflé peut désormais continuer de rouler à 80 km/h, et cela pendant 200 kilomètres.

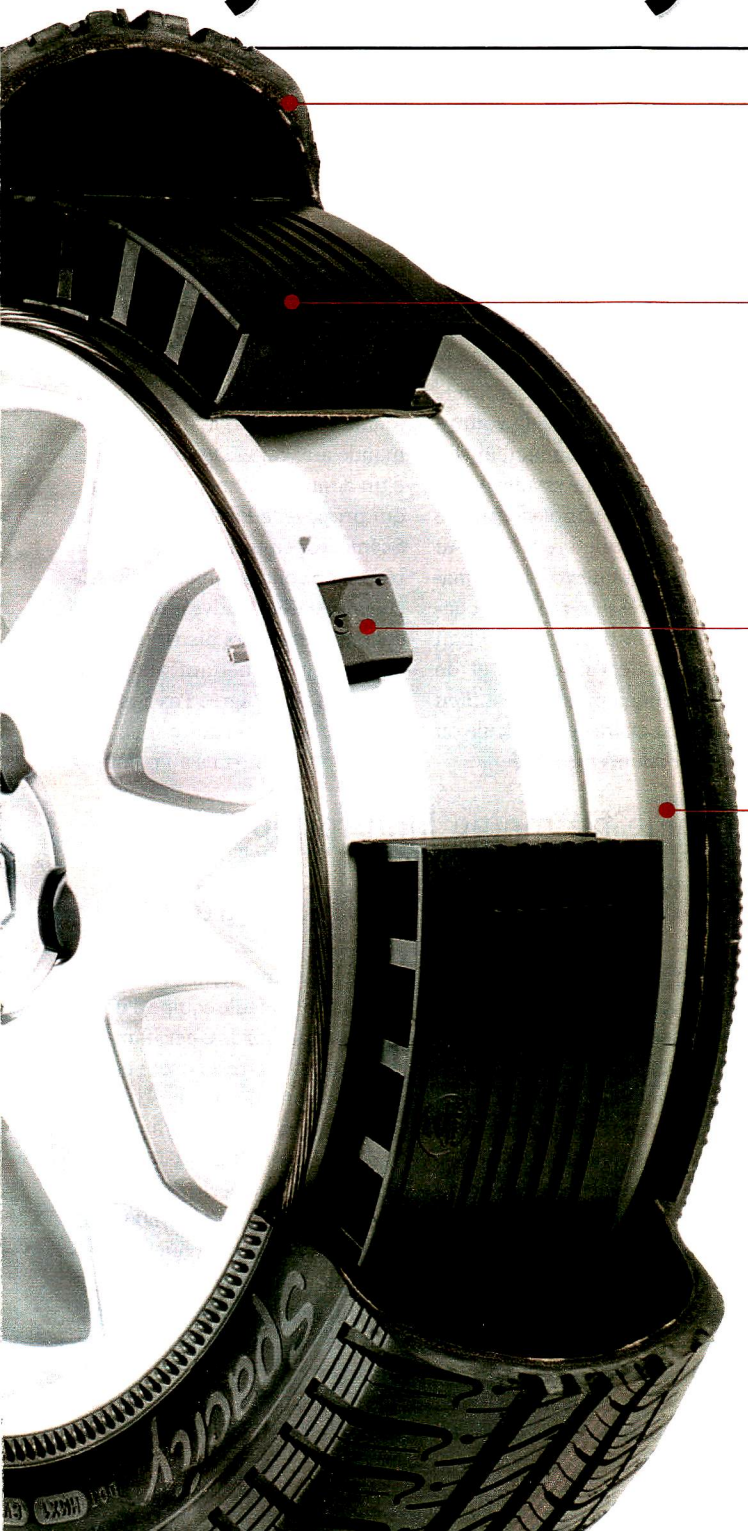
Pour parvenir à ce beau résultat, le groupe français s'est mis en trois. A savoir : une jante spéciale, un pneu aux flancs étroits ("taille basse") et un système de surveillance électronique. D'ores et déjà, le brevet a séduit Pirelli, Goodyear et Dunlop. Autrement dit, le Pax System n'est plus un prototype de laboratoire et il pourrait bientôt remplacer les pneus traditionnels sur tous les véhicules, en commençant par le haut de gamme.

Tout conducteur ne le sait que trop : le problème n'est pas tant la crevaison du pneu, mais le fait qu'il déjante sous l'effet de la vitesse. C'est pour remédier à cette





# déjante jamais

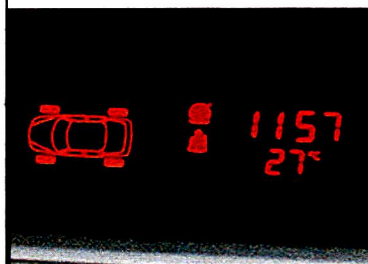


Le pneu se dote de flancs étroits, ce qui réduit de 3 % la consommation d'essence de la voiture, tout en simplifiant la tâche de "l'appui" en cas de perte totale de pression.

L'appui remplace l'air en cas de crevaison (il s'agit d'une couronne de gomme fixée sur la jante). Evidé, il comporte une succession d'entretoises, dont le but est d'induire volontairement des vibrations, qui seront ressenties par le chauffeur en cas d'anomalie.

La valve se dote d'un système de mesure. Ce micro-boîtier électronique transmet, par liaison radio, à l'ordinateur de bord la pression et la température du pneu. Une pile intégrée assure son alimentation électrique.

La forme de la jante, bien que visuellement comparable à celle d'une jante "sport", a été repensée. Elle assure le maintien du pneu en le prenant en étau.



Les tests ont montré que la crevaison pouvait parfois passer inaperçue, surtout sur un revêtement dégradé, d'où l'utilité de la liaison radio. Toute perte de pression suspecte, ou toute surchauffe, provoque l'apparition d'un message d'alerte sur le tableau de bord (ci-dessus).

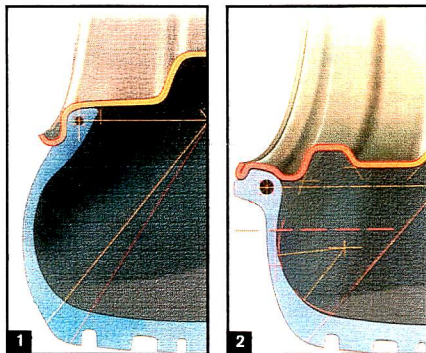
PHOTOS MICHELIN



menace que Michelin a imaginé un pneu non plus plaqué par la pression de l'air, mais fermement maintenu par la jante, qui le prend en étau. De plus, un "appui" s'incruste entre la jante et la gomme du pneu (voir photo page précédente), ce qui évite l'affaissement total du pneu lors d'une perte de pression importante.

Nous avons testé le Pax System sur l'autoroute. Première surprise: même à 130 km/h (alors que Michelin préconise de ne pas dépasser les 80 km/h), rouler à plat s'est révélé presque indécélable en ligne droite ou dans une courbe large. Tout au plus ressent-on d'inhabituelles petites vibrations dans le volant... Mais c'est qu'il s'agit d'une sécurité voulue par Michelin pour prévenir le conducteur qu'il vient de crever! En effet, l'appui se compose d'une succession d'"entretoises" qui, lorsque le pneu se dégonfle, provoquent aussitôt des vibrations qui remontent jusqu'au volant *via* la colonne de direction. De quoi avertir l'automobiliste de la crevaison, laquelle lui demeurerait sinon inaperçue... jusqu'à ce qu'il s'engage sur une route sinueuse ou effectue un freinage appuyé, peut-être trop tard; car le système de Michelin n'empêche toutefois pas la crevaison d'amoindrir l'adhérence du véhicule au sol. En plus de cette alerte mécanique, le Pax prévoit donc une alarme électronique.

De fait, chaque roue intègre un détecteur placé à l'intérieur de la jante. Son rôle? Mesurer la température du pneu et sa pression *via* un thermomètre et un manomètre électroniques miniaturisés. Les données sont transmises par liaison radio numérique à courte portée sur la fréquence de 433 MHz, tandis qu'une petite pile au lithium alimente les capteurs. Pour limiter l'usure de la pile (censée durer dix ans...), l'émetteur ne fonctionne qu'un bref instant toutes les heures



Sur un pneu conventionnel (1) seule la pression de l'air maintient le pneu sur la jante. Sur le Pax System (2), le "profil" de la jante est tel qu'il prend le pneu en étau. Il ne peut donc pas déjanter, mais son remplacement nécessite un adaptateur spécial que les garagistes doivent acquérir...

à l'arrêt, et toutes les minutes lorsque la roue tourne. Mais lors d'une élévation intempestive de température ou d'une baisse de pression, le système se déclenche à chaque seconde. Si l'anomalie se confirme, l'ordinateur de bord de la voiture avertit aussitôt le conducteur, lui précisant quelle roue est affectée et s'il s'agit d'une simple perte de pression ou d'une crevaison. Au besoin, on peut interroger l'ordinateur sur la pression réelle de chaque pneu afin de vérifier le bon équilibrage de l'ensemble et de s'assurer que la pression est bien adaptée à la charge du véhicule ou au type de route empruntée.

me d'alerte électronique autonome qui fonctionne sur des pneus standards. Pour sa part, le Pax System semble promis à un autre avenir. A condition que les dépanneurs soient capables d'assurer sa maintenance. En effet, le montage demande aux garagistes de s'équiper d'un adaptateur spécial. Renault, qui propose le Pax System sur sa Scénic, est en train d'en doter son réseau de concessionnaires. Et Michelin, Pirelli, Goodyear et Dunlop encouragent leurs distributeurs à s'équiper, promettant aux bons élèves un label "Agréé Pax System".

En attendant, un autre souci plane sur le système mis au point par

## A plus ou moins long terme, la roue de secours est vouée à disparaître

La sécurité n'est pas le seul atout du Pax System. En effet, Michelin a aussi pensé à la consommation d'essence en dessinant ses pneus avec des flancs étroits. Ainsi profilés en "taille basse", ils se déforment moins que les modèles classiques, d'où une résistance au roulement moindre, ce qui aboutit à des économies à la pompe d'environ 3 %.

Reste que cette nouvelle génération de pneumatiques doit encore s'imposer. Or, les autres dispositifs anti-crevaison n'ont, jusqu'ici, connu qu'une diffusion confidentielle, à l'instar du SmartTire, un systè-

Michelin: il ne peut fonctionner que sur un véhicule équipé d'un ordinateur de bord. C'est la raison pour laquelle il n'est encore proposé en option que sur des berlines haut de gamme (Renault Scénic, Cadillac Luxury Roadster ou l'Edonis de B. Enginneering), à un prix compris entre 2000 et 6000 F selon l'équipement déjà retenu. Mais à terme, Michelin estime que le surcoût induit par les jantes spéciales et l'électronique de surveillance sera compensé par l'économie de la roue de secours et de son compartiment.



# Les enfants ont eux aussi leur Science & Vie pour apprendre en s'amusant.

Dès 8 ans



**En  
cadeau  
des cartes  
de vœux  
à envoyer**

Chez votre marchand de journaux le 5 janvier 2002



**Retirage  
exceptionnel**

**Science & Vie 1913 - 2000**

**Prix  
lecteurs  
37,96€**



**Le regard de Science & Vie sur  
le XX<sup>ème</sup> siècle.**

Pour célébrer son 1000<sup>ème</sup> numéro, paru aux premiers jours du XXI<sup>ème</sup> siècle, l'équipe de Science & Vie s'est plongée au cœur des quelques 150.000 pages

publiées depuis 1913 pour réaliser un ouvrage retraçant les grands événements scientifiques et techniques du siècle, et surtout pour relater comment, à l'époque, ils ont été perçus. Un siècle d'essor sans précédent de la science et de ses applications à la vie quotidienne se déroule sous nos yeux.

480 pages – Coffret 2 volumes Edition Luxe – 700 photos et illustrations

Prix lecteurs : 37,96 euros (249 F)

**Aviation 1913 – 2001**

**Prix  
lecteurs  
33,24€**



**Toute l'histoire de l'aviation de 1913 à nos jours.**

Une chronique complète de l'aéronautique civile et militaire, notamment de ses révolutions techniques et de ses grands hommes, qui permet de comprendre en quoi l'aérien a véritablement transformé notre planète. Une sélection d'articles, repris in extenso, avec leurs illustrations de l'époque et des

synthèses en forme de revues de presse. Un travail effectué sur 90 années d'archives.

312 pages - 300 photos et illustrations - Coffret 1 volume

Prix lecteurs : 33.24 euros (218,05 F) au lieu de 34,99 euros (229,52 F)

**Edition  
limitée**

**Science & Vie, le livre 2001**

**Prix  
lecteurs  
27,08€**



**2001 vu par Science & Vie.**

Pour éclaircir les points marquants de l'année, dans les disciplines les plus diverses, de l'archéologie à l'astronautique, de l'étude des peintures rupestres de la grotte de Lascaux à celle d'éventuelles traces d'eau sur la planète Mars, Science & Vie a choisi plus de 30 articles phares de l'année 2001. Un ouvrage à conserver.

Prix lecteurs : 27,08 euros (177,63 F) au lieu de 28,5 euros (189,95 F)



## Science & Vie témoin de son temps.

Depuis 1913, chaque mois, Science & Vie rend compte des avancées de la connaissance dans tous les domaines du savoir. Sans complaisance et sans parti pris, avec un constant souci de clarté, Science & Vie s'attache depuis près de 90 ans à explorer et comprendre le monde et à scruter l'avenir. De l'infiniment grand à l'infiniment petit, de l'intemporel au quotidien, de la plus grande découverte scientifique à la plus petite innovation technologique, rien n'échappe à son investigation, tout est analysé et questionné, afin que la science, dans ses victoires comme dans ses doutes, puisse être lisible par nous tous. Les ouvrages qui vous sont proposés ici témoignent de ce travail et de cette exigence.

A compléter et à retourner, accompagné de votre règlement à l'adresse suivante : Science & Vie – BP 1588  
77838 OZOIR LA FERRIERE

☐ Mme ☐ Mlle ☐ Mr

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Code Postal \_\_\_\_\_

Ville \_\_\_\_\_

Pays \_\_\_\_\_

**Je commande les ouvrages suivants :**

	Nombre d'exemplaires		Prix en €	Total
<b>Science &amp; Vie 1913 - 2000</b>	<input type="text"/>	x	<b>37,96 €</b> (249 F)	_____ €
<b>Aviation 1913 - 2001</b>	<input type="text"/>	x	<b>33,24 €</b> (218,05 F)	_____ €
<b>Science &amp; Vie, le livre 2001</b>	<input type="text"/>	x	<b>27,08 €</b> (177,63 F)	_____ €
<b>+ Frais de port</b>				
France métropolitaine			<b>5,50 €</b> (36,08 F)	_____ €
ou				
Frais de port étranger			<b>7,62 €</b> (50 F)	_____ €
			<b>TOTAL :</b>	_____ €

**Je joins à ma commande le chèque du montant ci-dessus**

Attention : la présente offre est limitée au stock existant des ouvrages concernés. Délai d'acheminement de 4 à 5 semaines. Conformément à la Loi Informatique et Libertés de 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données personnelles vous concernant. Les renseignements que nous vous demandons sont nécessaires au traitement de votre commande. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amenés à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous le signaler en nous indiquant vos nom, prénom, adresse. RCS Paris B576134773 S&V 1012





66 DCEMBRE 2001 FRANCE METRO 55.11 2.05  
 67 NOV 16 - THU 94.0 18.95 - CAN 6.14 SCAN GR 4.70  
 68 CH 11.5 - AND 55.11 5.03 - ITA 9.00 IT 4.00 - THX 250 THE 4.50 - MAR 0007 CONZ 4.00 - 71N 4.00 DTU

# 1596-1650

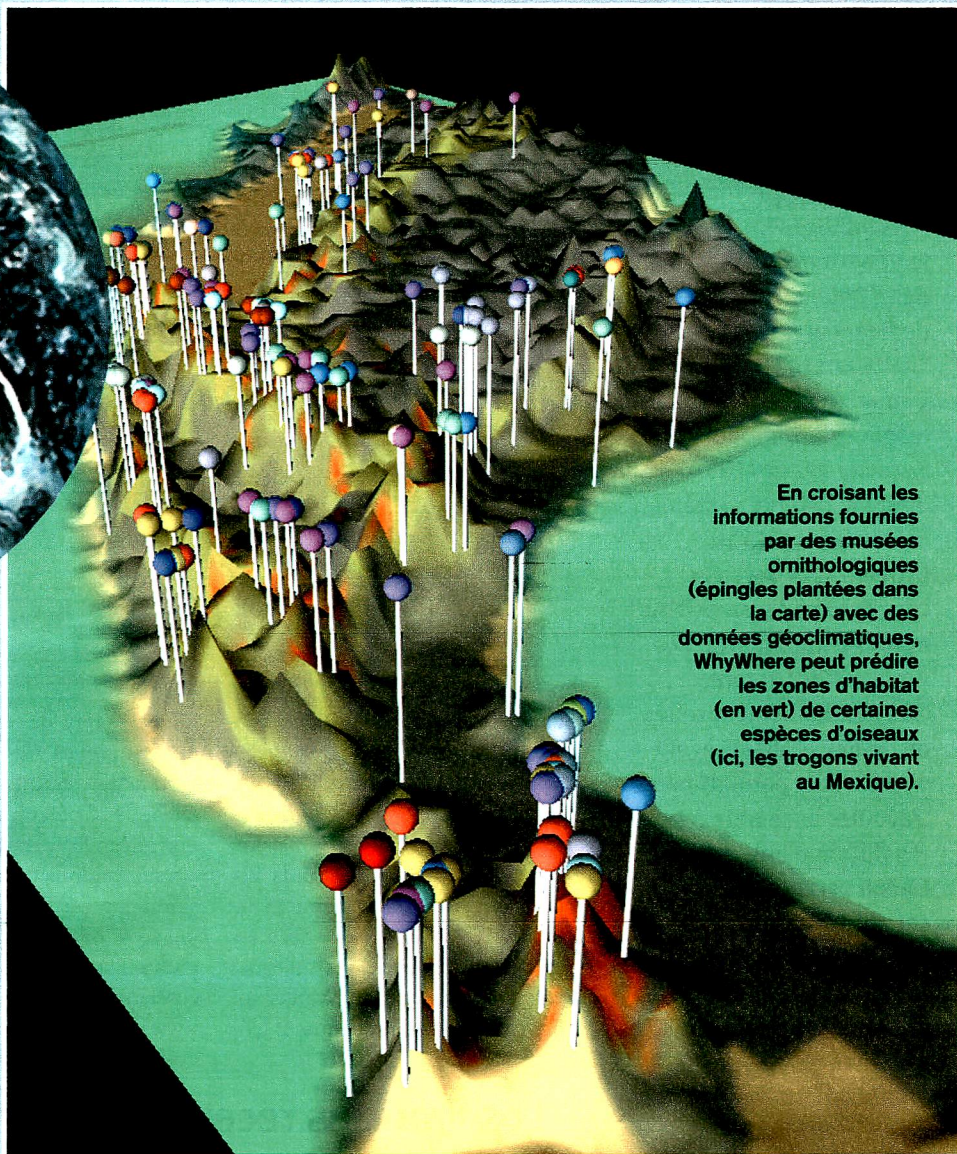
# Les découvertes scientifiques d'un génie français

**EN VENTE CHEZ VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX**



DIRIGÉ PAR SERGE COURRIER

Science



En croisant les informations fournies par des musées ornithologiques (épingles plantées dans la carte) avec des données géoclimatiques, WhyWhere peut prédire les zones d'habitat (en vert) de certaines espèces d'oiseaux (ici, les trogons vivant au Mexique).

## La biodiversité à portée de souris



Issu d'un projet de recherche sur la biodiversité, le serveur WhyWhere (littéralement "Pourquoi-Où") permet d'étudier la répartition des espèces animales sur la planète en la corrélant avec de nombreuses données environnementales (température, pluviométrie, nature géo-

logique des sols, etc.). Mis en place par l'université de San Diego, en Californie, il devrait aider à comprendre, par exemple, pourquoi telle espèce est implantée à tel endroit... et lui trouver un habitat de remplacement en cas de risque pour sa survie.

[http://biodi.sdsc.edu/www\\_home.html](http://biodi.sdsc.edu/www_home.html)

**ACTUALITÉ** p.138

Les dernières nouvelles des réseaux

**INTERNET** p.142

Conversions en tous genres

CREDIT : SDSC





## Un cran au-dessus d'Echelon

Pour gérer des "crises internationales complexes",

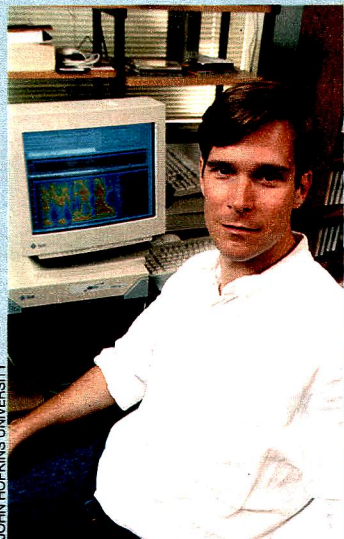
le département américain de la Défense a décidé de financer un projet "collaboratif" baptisé Genoa. Neuf services, parmi lesquels la National Security Agency (NSA) – qui dirige le célèbre système d'écoute planétaire Echelon –, la Defense Intelligence Agency (DIA) et la Central Intelligence Agency (CIA) seront très prochainement reliés en réseau et disposeront d'outils leur permettant de travailler ensemble à la résolution d'une crise. Genoa serait notamment capable de "aspirer" et d'analyser les informations produites par des sources classifiées ou "ouvertes" (organes de presse, organisations non gouvernementales, etc.). En outre, Genoa pourrait retranscrire sous forme de textes, par un système de reconnaissance vocale, les échanges téléphoniques des agents fédéraux, modéliser et comparer les arguments de chaque acteur et garder des traces de chaque crise afin d'en tirer des leçons pour l'avenir.

[www.darpa.mil/ato/programs/genoa.htm](http://www.darpa.mil/ato/programs/genoa.htm)

## La mémoire vivante de l'Holocauste



Des ingénieurs de l'université Johns Hopkins (Baltimore), de l'université de Maryland et d'IBM travaillent à un système de reconnaissance de la parole capable d'indexer automatiquement toutes les interviews vidéo enregistrées par la Fondation pour la Shoah (fondée en 1994 par Steven Spielberg après la sortie de son film *la Liste de Schindler*). Ce travail portera sur 51 000 cassettes, qui totalisent 116 000 heures de témoignages sur l'Holocauste. Le résultat permettra aux historiens et enseignants de rechercher sur un site web des séquences audiovisuelles. « Quelques-unes des technologies nécessaires pour mener à bien cette tâche existent déjà, explique Bill Byrne, professeur à l'université John Hopkins et coresponsable du projet. Notre but est de développer de nouvelles techniques pour automatiser le processus... et diminuer les coûts, notamment en ce qui concerne les interviews qui n'ont pas été effectuées en anglais. » Byrne et ses collègues vont commencer par travailler sur des interviews en tchèque. Il leur



Bill Byrne, de l'université John Hopkins, coresponsable du projet.

faudra définir des empreintes audiographiques de cette langue. Pour autant les ingénieurs ne cherchent pas à obtenir une transcription intégrale, ce qui serait illusoire. « Nous voulons un système suffisamment performant pour qu'il puisse reconnaître des mots clés significatifs pour un historien ou un enseignant », précise Byrne.

[www.vhf.org](http://www.vhf.org)

## Les Français recensés en ligne



Faisant écho au site proposé depuis 1996 par le bureau du recensement américain, l'Insee a mis en ligne les résultats du recensement

français de 1999 en notant les évolutions des données de la population depuis 1990. Logement, ménages, formation, activité... les données sont accessibles gratuitement. On peut limiter sa recherche à une région, un département, une commune, voire un arrondissement.

[www.census.gov](http://www.census.gov)  
[www.recensementinsee.fr](http://www.recensementinsee.fr)

**Evolution de la population de Juvisy-sur-Orge (Essonne) entre 1990 et 1999.**





## La neurobiologie avance en groupe



Sous l'égide de l'Institut américain de la Santé (NIH), un réseau d'échanges entre neurobiologistes vient d'être créé : le Biomedical Informatics Research Network (BIRN). L'idée est de donner la possibilité à des chercheurs travaillant sur l'homme ou sur l'animal, au niveau moléculaire ou

macroscopique, de mettre en commun leurs travaux afin de mieux comprendre des pathologies telles que la maladie d'Alzheimer, la sclérose en plaques ou la maladie de Parkinson. Ce réseau permettra, notamment, à plusieurs équipes de travailler simultanément sur des modèles tridimensionnels du cerveau.  
<http://birn.ncrr.nih.gov>

## Un réseau qui s'inspire des bactéries



Transposer à l'univers des réseaux des comportements observés de longue date au sein des colonies bactériennes : c'est le pari tenté par Ian Marshall, ingénieur au laboratoire de recherche de British Telecom. Un des moyens utilisés par une colonie de bactéries pour s'adapter aux modifications de son environnement consiste à suivre les principes darwiniens de la sélection naturelle. Des êtres mutants, plus adaptés aux conditions ambiantes survivront aux dépens des autres. Les membres porteurs de cette caractéristique mutante s'imposeront donc progressivement. Mais l'adaptation d'une colonie passe également par l'échange d'une partie du patrimoine génétique d'une bactérie à une autre, ce qui permet une adaptation beaucoup plus rapide.

Ian Marshall tente donc d'appliquer ces principes à un réseau comme l'internet pour le rendre plus efficace en cas de variation rapide du trafic. On peut se représenter le Web comme un filet recouvrant la Terre. L'information transite dans les fils et passe par des nœuds qui servent à orienter l'information vers



BRITISH TELECOM

**Ian Marshall développe une théorie du management des réseaux informatiques basé sur le comportement des bactéries.**

tel ou tel fil. Dans l'idée de Marshall, chaque "nœud" devient une bactérie autonome, responsable de son propre comportement. Il accepte, refuse ou met en attente le paquet d'informations que les fils souhaitent lui voir transmettre. Ce comportement est réglé par un petit programme implanté dans chaque nœud. Programme dont les réglages peuvent évoluer soit spontanément (mutation) soit en fonction du comportement des nœuds voisins (transfert génomique).

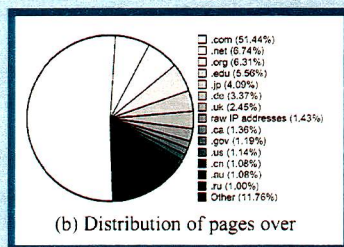
[www.btexact.com/people/marshaiw/](http://www.btexact.com/people/marshaiw/)

## Les grandes puissances du Web

Chaque créateur d'un site peut le rattacher à son pays d'origine en s'enregistrant auprès d'un organisme (l'Afnic pour la France) qui lui attribue une extension de deux lettres : ".fr" pour la France, ".it" pour l'Italie, ".de" pour l'Allemagne, ".jp" pour le Japon, etc. Deux chercheurs de Compaq ont analysé 891 millions de pages web choisies aléatoirement. Résultat : c'est l'Allemagne qui compte le plus de sites enregistrés sous son drapeau (7,93 %). Si l'on prend en compte les pages de ces sites, l'Allemagne passe derrière le Japon : 3,37 % contre 4,09 %. Mais ce sont les sites qui ne se rapportent pas à un pays donné que l'on trouve en tête.

Ainsi 51,44 % des pages appartiennent à des sites finissant par l'extension ".com", 6,74 % par ".net" et 6,31 % par ".org".

<http://gatekeeper.research.com/paq.com/pub/DEC/SRC/research-reports/abstracts/src-rr-173.html>  
[www.nic.fr](http://www.nic.fr)  
[www.iana.org/cctld/cctld.htm](http://www.iana.org/cctld/cctld.htm)



(b) Distribution of pages over

Hormis les pages appartenant à des sites dont l'extension est ".com", ".net" ou ".org", l'Allemagne et le Japon dominent le Web.



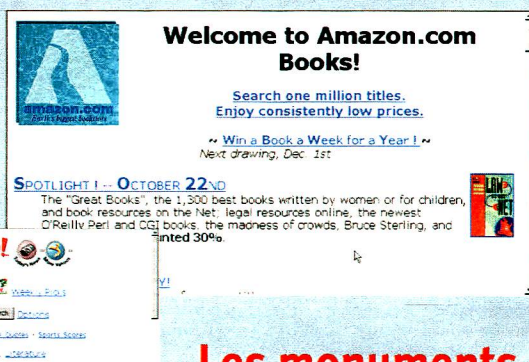
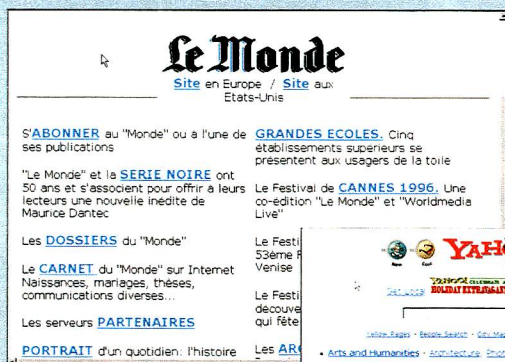


# La machine à remonter le temps

Depuis 1996, l'organisation américaine Internet Archive constitue jour après jour l'un des plus gros entrepôts de pages web existant au monde. Ses ordinateurs ont engrangé plus de 100 Téra-oc-

tets (milliards de méga-octets) de données auxquels s'ajoutent chaque mois environ 12 To de pages. Les sites qui ont fait l'histoire du Web sont accessibles via The Wayback Machine, une sorte de machine à remonter le temps. Gérée par l'uni-

versité de Berkeley, elle permet de retrouver aussi bien les unes du journal *le Monde* que les premières tentatives du libraire Amazon ou encore l'apparence très dépouillée de l'annuaire Yahoo! à ses débuts. <http://web.archive.org>



Sur Internet Archive, on trouve le *Monde* et les sites qui ont fait l'histoire du Web.



## Les monuments dialoguent avec les PDA

Un passant pointe son assistant numérique personnel (PDA) vers la Tour Eiffel et voit la page d'accueil du monument s'afficher à l'écran. C'est sur ce type d'applications appelées *websigns* que planchent les chercheurs d'Hewlett-Packard. Elles reposent sur la présence de petites balises fixées sur des supports physiques (édifices, ouvrages d'art, etc.), qui émettent de brefs messages radioélectriques. Ces messages contiennent l'adresse d'une page web qui sera prise en compte par le navigateur de l'assistant.

[www.hpl.hp.com/news/2001/jul-sept/websign.html](http://www.hpl.hp.com/news/2001/jul-sept/websign.html)

## Un observatoire partagé pour explorer l'espace



Dix-sept instituts de recherche astronomique américains ont décidé de mettre

en commun leurs données pour construire le Laboratoire virtuel national (National Virtual Observatory, ou NVO). Les données proviendront à la fois de stations terrestres et de satellites d'observation. Le télescope spatial *Hubble* apportera son approche optique traditionnelle; l'observatoire Chandra de Harvard, son satellite détecteur de rayons X; un engin de la Nasa, ses capteurs infrarouges, etc. Les chercheurs pourront donc lancer une observation sur un point précis de l'espace, mettant à contribution les ressources du NVO. La demande s'effectuera



Alex Szalay, astronome à l'université Johns Hopkins, responsable du projet.

via un simple site web sécurisé. Les résultats seront ensuite envoyés au scientifique qui pourra disposer d'une large gamme d'analyses. Les données viendront par ailleurs alimenter la base de données du NVO. Sa réalisation devrait prendre cinq ans et coûter 10 millions de dollars (environ 11 millions d'euros).

<http://us-vo.org/>



**6 jours/6 nuits**  
hôtel 3\* en demi-pension  
forfait forme et santé inclus

à partir de  
**4506<sup>F(1)</sup>**  
soit 686,92€

# Thalasso

*à Atlantal*

## Travelprice<sup>.fr</sup>

*Votre agence de voyages*

**0825 026 028<sup>(2)</sup>**

**www.travelprice.fr**

En rendez-vous sur place tous les jours du 25 novembre au 16 décembre 2001. 6 Jours / 6 nuits à Anglet-Biarritz à l'Hôtel Atlantal ... en demi-pension (hors boissons), incluant une cure de 6 jours (24 soins) et l'accès à petit de l'espace Thalasso en location en chambre double de catégorie "Club". Prix par personne à partir de 4506FF (Prix public : 6476 FF). Transport et transferts non inclus. Taxe de séjour et visite médicale obligatoire non comprises et à régler directement sur place. (2) V. Indigo 0825 026 028. 0825 026 028. Adhèrent SNAV. Valable selon disponibilité.





internet

# Conversions en tout genre

**A l'heure du passage à l'euro, voici un panorama des sites permettant de convertir monnaies et mesures physiques.**



Le temps est à la conversion. Euros en francs? Francs en euros? Euros en dollars?

Pour ceux qui auraient encore quelques hésitations sur les taux en vigueur dans la zone euro, le ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie a mis en place un site dédié qui regorge de moyens mnémotechniques pour se sortir de la division (ou la multiplication) par 6,55957 ([www.euro.gouv.fr](http://www.euro.gouv.fr)). Tout cela sous l'œil attentif de la Banque de France ([www.banque-france.fr](http://www.banque-france.fr)) et de la Banque centrale européenne ([www.euro.ecb.int/fr.html](http://www.euro.ecb.int/fr.html)). Pour ne pas en rester à la seule zone euro, quelques sites permettent d'assurer facilement une conversion entre devises du monde entier ([www.xe.com/ucc/fr/](http://www.xe.com/ucc/fr/), [www.oanda.com/convert/classic?lang=fr](http://www.oanda.com/convert/classic?lang=fr), <http://fxtop.com/fr/cnvlook.php3>). Dans tous les cas, les taux de change sont mis à jour quotidiennement.

En ce qui concerne la conversion des unités de mesure physique, la majorité des connaissances utiles se trouve concentrée sur le site du Bureau international des poids et mesures (BIPM) ([www.bipm.fr](http://www.bipm.fr)), qui présente, notamment, le système international d'unités (mètre, kilogramme, seconde, ampère,

EUR Zone euro	18.9	1 EUR=1 EUR
USD Etats-Unis	17.12	1 EUR=0.9056 USD
FRF France	124	1 EUR=6.55957 FRF
AUD Australie	33.76	1 EUR=1.7864 AUD
BEF Belgique	763	1 EUR=40.3399 BEF
CAD Canada	27.34	1 EUR=1.4464 CAD
CHF Suisse	27.86	1 EUR=1.4741 CHF
DEM Allemagne	36.97	1 EUR=1.95583 DEM
GBP Grande-Bretagne	11.69	1 EUR=0.6183 GBP
ITL Italie	36 603	1 EUR=1 936.27 ITL
JPY Japon	2 080	1 EUR=110.05 JPY
LUF Luxembourg	763	1 EUR=40.3399 LUF
NLG Pays Bas	41.66	1 EUR=2.20371 NLG
NZD Nouvelle-Zélande	41.32	1 EUR=2.20371 NZD
Plus ZAR Afrique du Sud	164.28	
Tout HKD Hong-Kong	133.5	
Tout NTD Taiwan	589.35	

**Sur FX Top, un tableau de change unique rassemble les devises les plus courantes.**

**Le site du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie propose une petite calculatrice de conversion à l'euro.**

**Convertisseur**  
Valeur de l'euro: 6.55957 F

Montant en francs 1557  
Calculer Effacer  
Montant en euros 237.36

Montant en euros 32  
Calculer Effacer  
Montant en francs 209.91

Télécharger le convertisseur

**Sur Online Conversion, on choisit les unités à convertir dans des menus déroulants.**

Home Search Forum License Tell a Friend

**Pressure Conversion**

Convert what? 1000

From: To:

dyne/square cm gram force/sq cm  
Pascal (newton/sq m) torr (l/c)

pound/sq foot inch H2O (60 F)  
kg/square meter cm mercury (l/c)

lb/square foot foot H2O (39.2 F)

Convert

1000 Pascal (newton/sq m) = 0.750064 cm me

kelvin, mole, candela). Pour connaître les taux de conversions officiels, le BIPM renvoie sur une page du National Institute of Standards and Technology (NIST) (<http://physics.nist.gov/cuu/Correlations/index.html>). Mais pour des unités plus exotiques, on préférera la rubrique "Conversions"

du site Info Science ([www.info-science.fr/pratique/convert/mesure\\_som.html](http://www.info-science.fr/pratique/convert/mesure_som.html)). Ceux qui sont familiarisés avec l'anglais pourront surfer sur Online Conversion ([www.onlineconversion.com](http://www.onlineconversion.com)), Convert It ([www.convertit.com](http://www.convertit.com)) ou sur le très didactique Convert Me ([www.convert-me.com](http://www.convert-me.com)).





# Clément Ader ne l'a pas volé !

et vous ? ...

Réalisez vos rêves avec l'AJD

Si vous souhaitez démarrer dans le monde des affaires, si vous avez moins de 30 ans, un projet d'entreprise dans le domaine de la communication (presse, vidéo, informatique, internet, diffusion de produits et de service...) demandez votre dossier d'inscription au concours de l'Association Jacques DOUCE au 01 45 03 10 77

---

**ASSOCIATION JACQUES DOUCE**

Tél : 01 45 03 10 77 (lignes groupées) - Fax : 01 40 72 80 09  
e-mail : [jdouce@club-internet.fr](mailto:jdouce@club-internet.fr) - site internet : [www.associationjadouce.com](http://www.associationjadouce.com)



# Le CinémaScope dans le salon

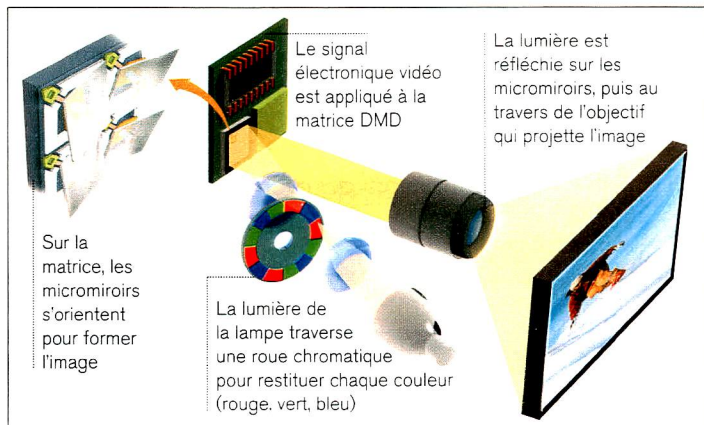
**Le premier vidéoprojecteur au format CinémaScope arrive sur le marché. Il bénéficie d'une technologie de pointe, utilisée dans le cinéma numérique professionnel.**

**L**es passionnés de *home cinema* ("cinéma à la maison") ont des raisons de se réjouir. Un nouveau vidéoprojecteur, mis au point par la société japonaise Toshiba, vient d'être commercialisé. Ses atouts ? Une image en CinémaScope (format 16/9) lumineuse, fine et aux contrastes remarquables. Le secret de cet appareil, baptisé TDP MT5, repose sur un nouveau système de restitution de l'image plus performant que celui des cristaux liquides.

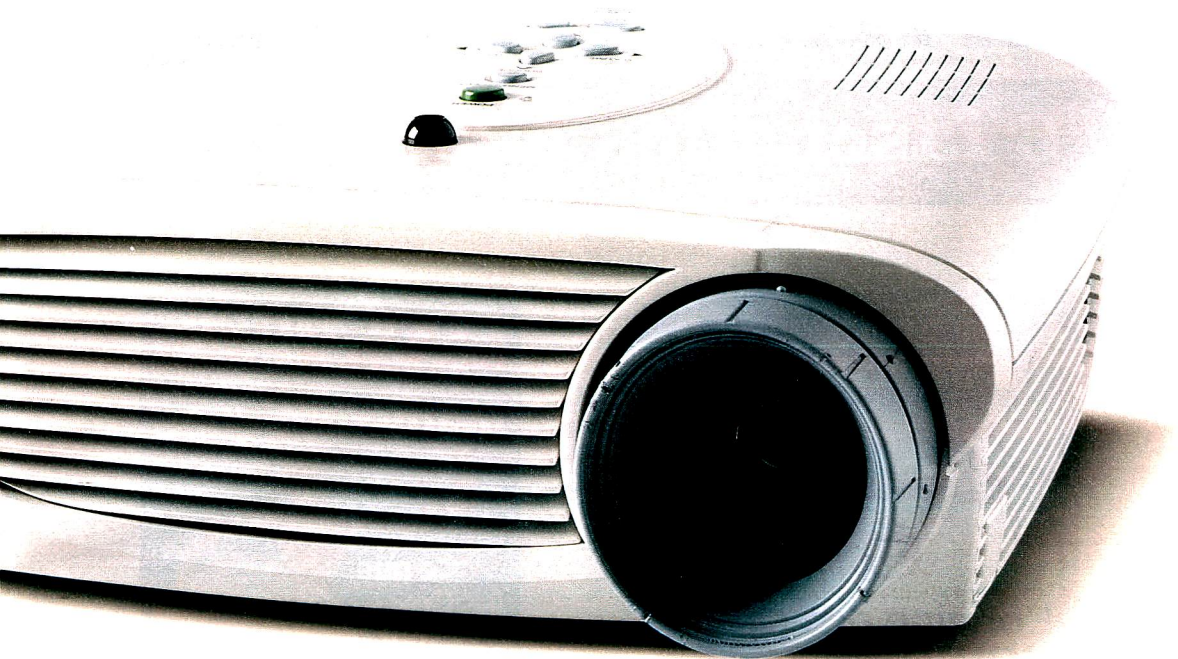
A l'instar d'un projecteur de diapositives, les vidéoprojecteurs affichent leurs images (animées) sur un mur ou sur un écran. Ils utilisent des matrices à cristaux liquides (LCD, Liquid Crystals Display) dont le point faible, outre la limitation au format 4/3, est la mauvaise restitution des noirs et des couleurs sombres : l'image semble "bouchée". Par exemple, les détails du costume noir d'un personnage (poches, revers, reflets, etc.) sont difficilement perceptibles. Les noirs d'une scène de

nuit prennent une apparence "laiteuse". Ce phénomène est lié au principe de fonctionnement des matrices à cristaux liquides rétroéclairées. Dans ce système, deux verres polarisants encadrent la matrice et les variations de luminosité de chaque pixel de l'image, commandées par l'électronique de l'appareil, s'obtiennent par rotation du plan de polarisation des cristaux liquides. Or ce "sandwich" n'est jamais totalement transparent ni jamais totalement opaque. D'où une médiocre qualité de contraste.

Le procédé mis en œuvre par Toshiba était jusqu'ici réservé aux installations professionnelles. Il est basé sur des matrices dites DMD (Deformable Mirror Device), qui ne travaillent plus par transparence mais par réflexion. Leur surface se compose d'un damier de miroirs microscopiques orientables indépendamment les uns des autres (voir dessin ci-dessous). Chacun constitue un pixel de l'image. Suivant son orientation, il formera, ou non, un point lumineux sur l'écran en réfléchissant,







ou non, la lumière issue de la lampe du projecteur. Ce système possède deux avantages par rapport aux LCD. En premier lieu, il n'y a plus de perte de luminosité car la lumière ne traverse aucun obstacle. A puissance de lampe identique, une matrice DMD présente donc une image plus lumineuse que son homologue LCD.

### DES POINTS FAIBLES

En outre, les noirs s'en trouvent améliorés. Lorsque les micromiroirs sont orientés de manière à ne plus réfléchir la lumière vers l'objectif mais vers une surface absorbante (noire), l'écran devient parfaitement obscur. Le taux de contraste, c'est-à-dire le rapport de luminosité entre un point blanc et un point noir est de 500/1 contre généralement moins de 400/1 pour le LCD. Des chiffres qui expliquent le meilleur contraste de l'image, surtout dans les teintes sombres.

Pour assurer une restitution de l'image optimale, les projecteurs professionnels sont équipés de

trois matrices DMD, chargées respectivement de chaque couleur fondamentale (voir *Science & Vie* n° 991, p. 125). Une technologie trop coûteuse pour un usage domestique. Les ingénieurs de Toshiba ont donc eu recours à une "roue chromatique" intercalée entre la lampe et la matrice DMD. Il s'agit d'un disque divisé en secteurs colorés (rouge, vert et bleu) dont la rotation provoque une alternance de la couleur de la lumière projetée sur la matrice. Dans le même temps, un circuit électronique "aiguille" successivement vers la matrice le signal vidéo correspondant au rouge, au vert, puis au bleu. L'alternance a lieu au rythme de 240 fois par seconde : c'est ce qui explique pourquoi la rétine perçoit une image en couleurs et non une succession d'images rouges, vertes et bleues. C'est l'ensemble DMD, la roue chromatique et l'électronique associée que l'on baptise DLP (Digital Light Processor).

Grâce à leurs grands écrans, les vidéoprojecteurs peuvent séduire

les amateurs, de plus en plus nombreux, de *home cinema*. Ces appareils ont cependant des points faibles. Ils sont chers : entre 15 000 et 60 000 F (le MT5 est proposé à moins de 45 000 F). En outre, le remplacement de la lampe de projection coûte entre 2 000 et 4 000 F. Et il faut savoir que sa durée de vie n'excède pas deux mille heures... ■

### HOME CINEMA

## PANOPLIE COMPLÈTE

■ Un vidéoprojecteur et un écran ne suffisent pas pour faire son cinéma à la maison. Il faut une source vidéo (DVD, magnétoscope, ou tuner pour recevoir les émissions de télévision). Pour que le son soit à la hauteur, prévoir une chaîne stéréo ou, mieux, une chaîne dite 5.1, constituée d'un caisson de basses et de cinq enceintes satellites.



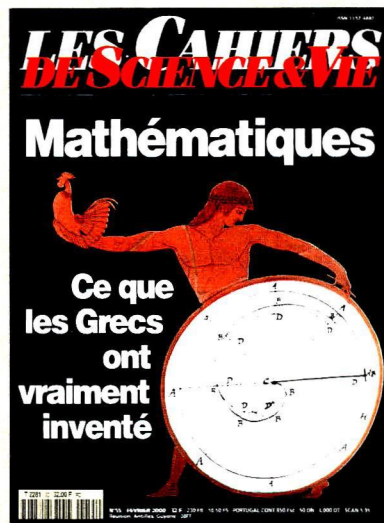
# L'HISTOIRE DES

## 6 fascicules exceptionnels



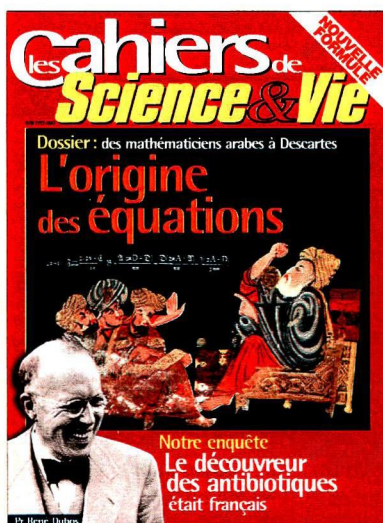
**N° 57**

L'origines des nombres



**N° 55**

Les mathématiques :  
"Ce que les Grecs ont vraiment inventé"



**N°56**

Des mathématiques arabes à Descartes.  
L'origine des équations



**N°38**

La révolution mathématique  
du XVIII<sup>ème</sup> siècle



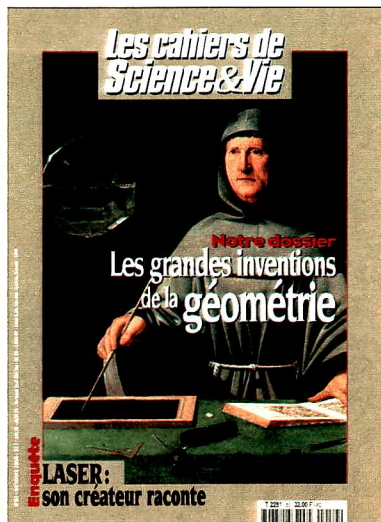
# MATHÉMATIQUES

**pour 129 F seulement !**



**N°48**

VI - XIX<sup>ème</sup> siècle : la folie de la mesure



**N°59**

Les grandes inventions de la géométrie

## BON DE COMMANDE DE LA COLLECTION

### “L'HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES”

A compléter et à retourner avec votre règlement à : VPC Cahiers de Science & Vie - 1, rue du colonel Pierre Avia - 75503 Paris cedex 15

**OUI**, je commande la collection des Cahiers de Science & Vie consacrée à “L'HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES”, soit 6 fascicules, au prix exceptionnel de **129 F (19,67 €) seulement**, au lieu de 198 F, prix de vente normal de la collection + 30 F de frais de port soit un total de 159 F.

**Soit 63 F d'économie**

**Je règle 159 F par :**

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

☐ Carte bancaire N°         Expire à fin : mois  année

☐ Mme ☐ Mlle ☐ M.

Nom         Prénom

Adresse

Code postal       Ville

Je réserve à la France Métropolitaine uniquement et dans la limite des stocks disponibles.

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 06/01/78, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Vous avez un droit d'accès, de rectification et vous pouvez vous opposer à la communication ultérieure de celles-ci auprès d'Excelsior.



# Le ciel du mois

PAR PHILIPPE HENAREJOS



- Jupiter
- Ganymède
- Io
- Europe

## Jupiter flirte avec la Lune

- Callisto

En janvier, Jupiter "frôle" la Lune. La plus grosse planète de notre système solaire est accompagnée de ses quatre satellites galiléens.

**A**près Saturne, le 3 novembre et le 1<sup>er</sup> décembre, c'est au tour de Jupiter de rendre visite à la Lune. Mais alors que la planète aux anneaux fut totalement occultée par l'astre des nuits, la géante du système solaire passera juste à côté. Le spectacle n'en sera pas moins beau. A 19 h (18 h TU), Jupiter s'approchera à environ 4' du pôle sud de la Lune pour tout observateur situé à Paris. Cette distance angulaire sera double pour les Toulousains. En revanche, dans le Nord de la France, le disque jovien frôlera les cimes lunaires à seulement 2'. Il faudrait se trouver à la latitude de l'Ecosse pour constater la disparition de Jupiter derrière notre satellite naturel.

Cet événement astronomique peut être suivi à l'œil nu car Jupiter (qui brille d'une

belle magnitude  $-2,5$ ) ne pâlera guère de l'éclat envahissant de la Lune. Mais une petite lunette de 50 ou 60 mm, dotée d'un grossissement de 80 x, est indispensable pour assister confortablement à ce chassé-croisé céleste. La plus grosse planète du système solaire, distante de 643,5 millions de kilomètres, est accompagnée (d'ouest en est) de ses quatre satellites galiléens : Ganymède, Io, Europe et Callisto. Tous sont plus gros que la Lune (qui n'est qu'à 366 880 km), mais ils n'apparaissent que sous la forme de points brillants.

Ceux qui possèdent des télescopes de 100 à 200 mm de diamètre verront à la fois les petits cratères de la surface sélène et de fins détails dans les nuages de Jupiter. La conjonction sera intéressante à suivre de 18 h 30 à 19 h 30. Mais si vous la manquez



# ASTRES ET LUNE EN JANVIER

Le 15 à minuit



pour cause de météo défavorable, n'abandonnez pas l'idée d'observer Jupiter. Actuellement au beau milieu de la constellation des Gémeaux, la planète passera à l'opposition le 1<sup>er</sup> janvier. Cela signifie qu'elle se trouve au plus près de la Terre. En milieu de nuit, elle culmine à 65° de hauteur, c'est-à-dire très haut sur la voûte céleste. La planète se trouve alors loin des turbulences atmosphériques qui se créent souvent près de l'horizon. Les soirs où l'air est calme, c'est même l'assurance d'obtenir des images très nettes. Dès lors, n'hésitez pas à utiliser des grossissements de l'ordre de 1,5 fois le diamètre de votre instrument exprimé en millimètres (300 x pour un télescope de 200 mm).

Compte tenu de cette position favorable de Jupiter, les plus modestes instruments peuvent permettre des observations étonnantes. Par exemple, une lunette de 60 mm suffit pour déceler, dans l'hémisphère sud, la Grande Tache Rouge, vaste cyclone d'une taille égale à deux fois celle de la Terre. Si vous guettez attentivement le "contact" d'un des satellites avec Jupiter, peut-être parviendrez-vous même à le distinguer une fois qu'il sera devant le disque planétaire... Enfin, pour les utilisateurs d'instruments de 150 mm et plus, les couleurs des nuages de Jupiter sont éclatantes et tous ces rendez-vous très faciles à suivre. ■

## LES PLANÈTES

### Mercur

Mercur est très difficile à voir, au couchant, en milieu de mois.

### Vénus

Vénus est invisible.

### Mars

Mars est observable dans le Verseau, puis les Poissons en début de nuit, mais reste

encore trop loin pour présenter un véritable intérêt.

### Jupiter et Saturne

Jupiter et Saturne sont bien visibles toute la nuit dans les Gémeaux et le Taureau.

### Uranus, Neptune et Pluton

Les trois planètes demeurent inobservables.

## WISEZ LES OMBRES !

Quand un satellite galiléen passe devant Jupiter, il y projette son ombre, visible sous la forme d'un point noir très contrasté. Voici la liste des jours et des heures où le phénomène se produira pendant le mois. Le 2, à 17 h 30 (Europe). Le 4, à 5 h 45 (Io). Le 6, à 0 h 15 (Io). Le 7, à 18 h 30 (Io). Le 9, à 20 h (Europe). Le 13, à 2 h 30 (Io). Le 14, à 20 h 30 (Io). Le 15, à 19 h 30 (Ganymède). Le 16, à 22 h 45 (Europe). Le 20, à 4 h (Io). Le 21, à 22 h 30 (Io). Le 22, à 23 h 30 (Ganymède). Le 24, à 1 h 15 (Europe). Le 29, à 0 h 30 (Io). Le 30, à 3 h 15 (Ganymède) et à 18 h 45 (Io). Le 31, à 3 h 45 (Europe).

## LES GRANDS RENDEZ-VOUS

### Jeudi 3

Maximum de l'essaim d'étoiles filantes des Quadrantides.

### Mardi 15

Mercur est en conjonction avec la Lune (à 3° 55').

### Jeudi 17

Maximum de l'essaim d'étoiles filantes des Delta Cancrides.

### Vendredi 18

Mars est en conjonction

avec la Lune (5°) et avec l'étoile SAO 147023 (magnitude 7,3), qui se trouve à seulement 1' (vers 20 heures TU).

### Jeudi 24

Saturne est en conjonction avec la Lune.

### Lundi 28

La Lune (pleine) est en conjonction avec M 44 à 18h30 TU (1°).





## Stratégie au fond des mers

### SUB COMMAND

**L**es CD-Rom de simulation ont un grand attrait : ils permettent de comprendre la logique de fonctionnement de systèmes complexes, sans s'encombrer de tous les inconvénients de leur réalité. Vu leur succès commercial, les éditeurs ont proposé jusqu'à présent une pléthore de simulations du même type, essentiellement cantonnées dans le domaine du pilotage et de la conduite. Certes, il existe des simulations de surf, de ski, de voile, de golf, de boursicotage ou de trains... mais elles se comptent sur les doigts de la main. On peut donc se féliciter de la sortie de ce CD-Rom qui, en proposant une simulation à bord de sous-marins modernes, renouvelle et complète le genre. Dans *Sub Command*, vous choisissez parmi trois types de sous-marins contemporains, le Seawolf britannique, l'Akula russe et le 688(I) américain, pour mener tous les types de missions dévolues à ces redoutables requins des mers. Votre

**Un graphisme soigné et la participation de spécialistes de la guerre sous-marine procurent un grand réalisme à ce CD-Rom.**

### Poste de pilotage

Sur le tableau de bord du sous-marin américain 688(I), divers indicateurs et commandes de pilotage s'affichent à l'écran : niveau de réserve d'air, vitesse, profondeur, cap, etc.



objectif est d'en maîtriser le pilotage en intégrant la logique tactique de ces systèmes, le silence et la furtivité. Pour accomplir les missions proposées, vous devrez avoir assimilé le fonctionnement des différents types de sonars (qui renseignent le sous-marin sur son environnement sonore), de radars, de désignation d'objets et de systèmes d'armes. C'est là tout l'intérêt du jeu, car un soin particulier a été apporté au réalisme par un studio constitué, notamment, de spécialistes de la guerre sous-marine. Les vues en 3D, les sons, la logique de fonctionnement et le graphisme très soigné de *Sub Command* en font la simulation de sous-marins la plus réaliste disponible actuellement.

Electronic Arts, 53,20 € (env. 349 F), deux CD-Rom pour PC.



[illegible]



PAR ARIANE POULANTZAS

## Le grand show de l'Univers

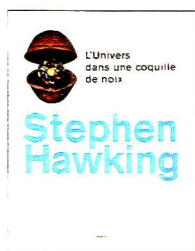


Bien que l'auteur insiste, en préambule, sur son souci de livrer au lecteur des informations

### L'UNIVERS DANS UNE COQUILLE DE NOIX

**Stephen Hawking**

**D**epuis la sortie, en 1988, du best-seller de Stephen Hawking *Une brève histoire du temps* (le livre s'est vendu à plus de neuf millions d'exemplaires dans le monde), des découvertes fondamentales sur la géométrie et l'avenir de l'Univers sont venues secouer le monde de la cosmologie. Il était temps que le célèbre astrophysicien britannique – qui occupe la chaire détenue voilà plus de trois cents ans par Isaac Newton à l'université de Cambridge – fasse le point sur ces résultats fondamentaux ainsi que sur les nouvelles pistes théoriques sur lesquelles s'engouffrent aujourd'hui les physiciens. C'est chose faite grâce à ce beau livre, à conserver dans sa bibliothèque.



### Voir et savoir

**Les somptueuses illustrations qui parsèment l'ouvrage constituent une aide précieuse pour aborder les notions les plus ardues.**

plus accessibles que dans *Une brève histoire du temps*, le niveau général reste élevé, et les explications sont loin d'être toujours limpides. Heureusement, les somptueuses illustrations qui parsèment l'ouvrage aident à la compréhension des notions les plus ardues et créent une ambiance assez particulière, à mi-chemin entre le cours magistral de physique et le monde de la science-fiction.

A travers les différents chapitres, dont le titre est déjà une invitation au voyage cosmologique ("La forme du temps", "Prédire l'avenir", "Protéger le passé"), on retrouve également tous les thèmes incontournables qui ont fait le succès des précédents ouvrages de Hawking : les trous noirs, les trous de ver, la relativité générale, sans oublier les voyages dans le temps. Quant au titre du livre, qui va sans



doute faire une brillante carrière médiatique, l'astrophysicien l'a emprunté à un illustre dramaturge, lui aussi britannique : « Je pourrais être enfermé dans une coquille de noix et me regarder comme le roi d'un espace infini... » (Shakespeare, *Hamlet*, acte II, scène II).

Valérie Greffoz

Odile Jacob, 211 p., 32 € (209,90 F).

# Passionnante diversité

## LA MATIÈRE DANS TOUS SES ÉTATS

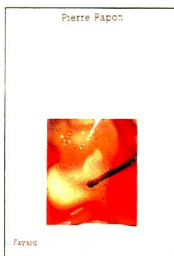
**Pierre Papon**

**S**olide, liquide, gazeux, les états de la matière ne seraient-ils donc que trois ? Ce serait oublier les plasmas, l'état isolant, l'état conducteur, l'état superfluide, l'état surfondu ou l'état granulaire... Certains sont stables, d'autres dits "métastables" (ils se maintiennent au-delà des conditions d'équilibre normales : par exemple, un liquide en surchauffe qui reste liquide dans certaines conditions où il devrait être gazeux). Il y a aussi des états indécis, comme les colloïdes.

Cette passionnante diversité, Pierre Papon la raconte dans un langage imagé. Au-delà des explications théoriques, il montre que la physique des états de la matière n'est pas qu'une science de laboratoire. Elle trouve des applications dans la vie quotidienne : affichages à cristaux liquides, écrans à plasma, composants semi-conducteurs des ordinateurs... On apprend pourquoi les skis glissent sur la neige, la différence entre gélatine alimentaire et caoutchouc, comment les courants océaniques parviennent à transporter de la chaleur sur de grandes distances. Ce livre est une invitation au voyage, du plasma interstellaire au cœur en fusion de la Terre.

Sylvie Redon-Clauzard

Fayard, 321 p., 20,55 € (134,80 F).



## EN LIBRAIRIE

### DANS LA COLLECTION «LES ENQUÊTES DE MARIE-ODILE MONCHICOURT» :

#### FAUT-IL AVOIR PEUR DES VIRUS ?

avec **Pierre Sonigo**

#### LE MYSTÈRE DES MALADIES À PRIONS

avec **François Moutou**

#### QUEL AVENIR POUR LES VACCINS ?

avec **Claude Leclerc**

Pour traiter ces thèmes brûlants, Marie-Odile Monchicourt, journaliste scientifique à Radio France, s'est adressée aux meilleurs spécialistes. Résultat : une série de petits ouvrages très faciles d'accès et agréablement construits à partir d'interviews.

Platypus Press, 52 p., 4 € (26,25 F) chacun.



### LA FABULEUSE AVENTURE DES HOMMES ET DES ANIMAUX



**Boris Cyrulnik, Karine Lou Matignon et Frédéric Fougea**

Crainte, fascination, adoration, domestication... Les rapports entre les hommes et les animaux ont évolué avec le temps et les peuples. Des chevaux mongols aux vaches indiennes, en passant par les lions,

totem des guerriers massai, ce livre fait ressentir la complexité et l'intensité des relations qui existent entre l'homme et l'animal, depuis leur cohabitation prudente sur les mêmes territoires jusqu'à la complicité pouvant les lier. Au fil des pages, les auteurs développent l'idée de l'animal perçu comme le miroir de l'homme. Ils sont aidés dans leur propos par de très belles photos et de judicieux documents.

Julie Coquart

Editions du Chêne, 192 p., 45,50 € (298,50 F).



## Le génie de l'exception, sans test et sans mesure

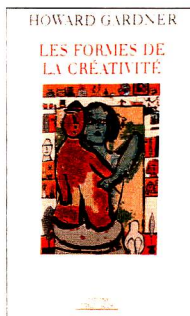
### LES FORMES DE LA CRÉATIVITÉ

Howard Gardner

**D**écidément, Howard Gardner ne se plie pas aux théories stéréotypées sur les cerveaux exceptionnels. Cet iconoclaste professeur en sciences de l'éducation et en neurologie aux universités de Harvard et de Boston avait déjà fait sensation, il y a quelques années, avec son fameux livre *les Formes de l'intelligence*. Loin des sentiers battus, des tests de QI et autres tests psychométriques standardisés, il affirmait la pluralité de l'intelligence, jamais réductible à un test, aussi complet soit-il. Pour lui, la notion d'intelligence au singulier n'a aucun sens ; nul n'est absolument intelligent. A chacun son intelligence spécifique, particulière. Dans ce livre précurseur, il insistait sur des types d'intelligence totalement étrangers à ce que mesurent les tests. Déjà, il donnait une large place à la sensibilité et à la créativité.

Or, cette dernière notion a elle aussi été récupérée par les fêrus de mesure. Ainsi se sont développés les fameux tests de créativité – et les conseils très lucratifs pour doper cette dernière. Là encore, Howard Gardner s'insurge : la "créativité" n'est pas une entité figée. Il y a plusieurs créativités distinctes, et être créatif dans un domaine n'implique nullement qu'on le soit dans les autres. La créativité d'un individu est toujours une histoire personnelle et non reproductible. Toutefois, l'auteur s'attache à mettre au jour les fondamentaux qui traversent toute forme de créativité. Ainsi en est-il, par exemple, du rapport à l'imagination enfantine dont tout créateur s'inspire.

Howard Gardner consacre la plus gran-



de partie de son ouvrage à des études de cas : sept grands créateurs ayant tous vécu entre les deux guerres (Freud, Einstein, Picasso, Stravinski, T. S. Eliot, Martha Graham, Gandhi). Le tout constitue une étude éclairante à la croisée de toutes les sciences humaines. Mais nulle recette pour devenir soi-même un génie n'est livrée. Et c'est bien ce qui fait le sérieux de l'ouvrage.

Odile Jacob, 480 p., 27,50 € (180,30 F).

## UN RÊVE D'ÉQUATIONS

### L'HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES

Richard Mankiewicz, préface de Denis Guedj



Qui a dit que les mathématiques étaient austères ? Si telle est votre idée, ce livre d'histoire des mathématiques vous détrompera immédiatement. La beauté des illustrations (reproductions de peintures ou de schémas d'époque) séduit et conduit subtilement vers le

texte – qui est tout sauf rébarbatif. Chaque découverte est resituée dans son contexte. Par-delà l'aspect anecdotique d'histoires souvent cocasses, on comprend que les mathématiques ne sont pas constituées de vérités tombées du ciel, mais au contraire qu'elles se construisent, se reconstruisent et se réaménagent selon les époques. Un vrai bonheur de livre, à la fois pédagogique et documenté.

Seuil, 194 p., 29 € (190,23 F).



# Science & Vie **JUNIOR**

Le magazine des années collège

organise **deux concours**  
dans les collèges

## LES BIOS



### Jeudi 14 mars 2002

Grand concours de Sciences de la Vie et de la Terre

6<sup>ème</sup> édition



## LES GEOPHILES

### Jeudi 28 mars 2002

Grand concours de Géographie

7<sup>ème</sup> édition



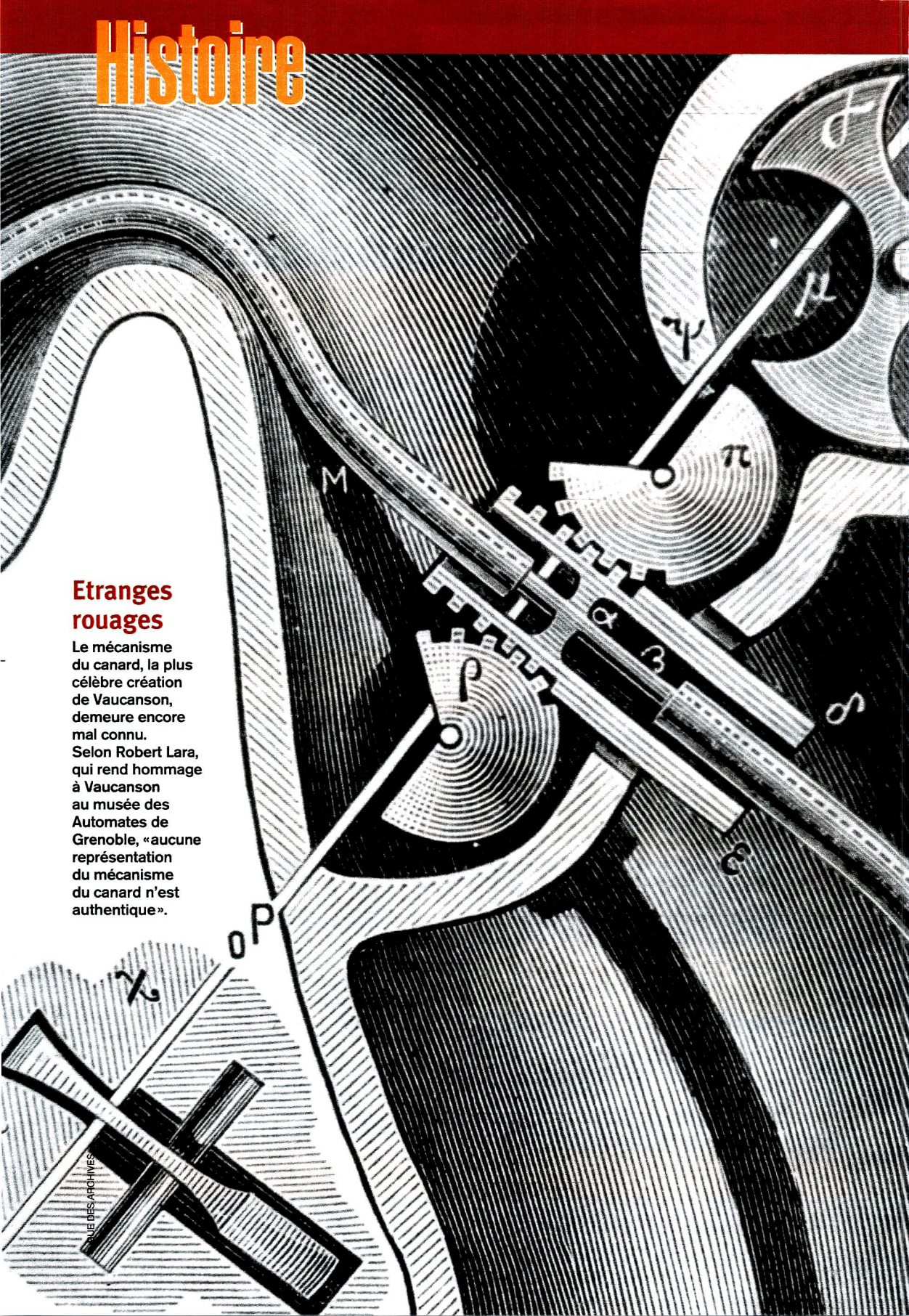
participez et faites gagner  
des milliers de cadeaux à vos élèves !

Les dossiers d'inscription sont disponibles dans les collèges à partir du 19 décembre 2001.  
Pour tout autre renseignement, contactez le 01 46 48 47 46.



## Etranges rouages

Le mécanisme du canard, la plus célèbre création de Vaucanson, demeure encore mal connu. Selon Robert Lara, qui rend hommage à Vaucanson au musée des Automates de Grenoble, «aucune représentation du mécanisme du canard n'est authentique».



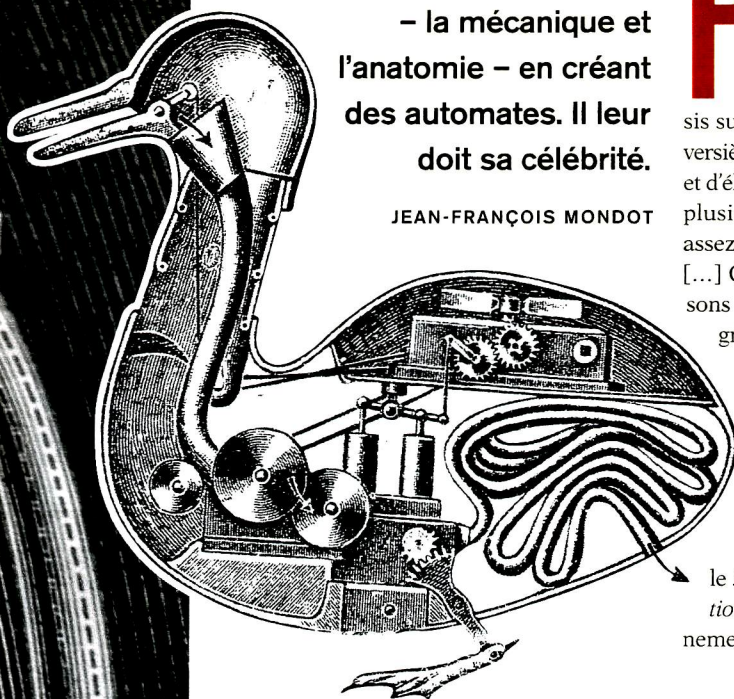


# Au XVIII<sup>e</sup> siècle **Vaucanson** rêvait d'une machine vivante



Il réussit à concilier  
ses deux passions «  
– la mécanique et  
l'anatomie – en créant  
des automates. Il leur  
doit sa célébrité.

JEAN-FRANÇOIS MONDOT



**P**aris voit aujourd'hui avec étonnement un chef-d'œuvre de mécanique, prodige de génie, un miracle de l'art, dans l'ouvrage incompréhensible de monsieur de Vaucanson. C'est un faune assis sur un rocher, qui joue de la flûte traversière, et qui exécute avec autant de force et d'élégance que de justesse et de précision plusieurs airs, dont quelques-uns sont assez difficiles, tels *le Rossignol* de Blavet [...] Coups de langue marqués et précis, sons enflés et diminués avec goût, tenues gracieuses, ports de voix, pincés, coulés, tremblements vifs, cadences perlées, échos mêmes, aucun agrément n'est inconnu du flûteur inanimé [...] En un mot, l'art fait ici tout ce que fait la nature dans ceux qui jouent bien de la flûte.»

Ainsi s'exprime l'abbé Desfontaine, le 30 mars 1738, dans sa revue *Observations sur les écrits modernes*. Il juge l'événement assez important pour reporter au

HARLINGUE-VIOLET - RUE DES ARCHIVES



numéro suivant les choses sérieuses, c'est-à-dire les derniers échos de la vie littéraire parisienne. Le "flûteur inanimé" est exposé pour la première fois le 11 février 1768, à l'hôtel de Longueville, près du Louvre. Ce "miracle de l'art" ne se laisse pas voir gratis : on paie d'abord trois livres, le prix d'une place de concert, et ensuite seulement, par groupes de vingt personnes, on pénètre dans le salon des Quatre Saisons.

On y voit une statue en bois, réplique exacte de l'œuvre de Coysevox le *Satyre jouant de la flûte*. Le satyre, ou le faune, a taille humaine (cinq pieds et demi, soit 1,60 mètre). Il est juché sur un grand piédestal (1,45 mètre) où sont dissimulés les rouages. Après quelques tours d'une énorme manivelle, la statue s'anime. Elle joue à la flûte traversière douze airs de Blavet, un compositeur à la mode. Cela dure un quart d'heure. Au début, les Parisiens sont sceptiques. Certains spectateurs, soupçonneux, tournent autour du socle de la statue : n'y aurait-il pas une "serinette" (boîte à musique) dissimulée à l'intérieur ?

### TRIOMPHE DE LA MÉCANIQUE

Mais non. C'est bien l'air sorti de la bouche de l'automate qui passe dans l'instrument. C'est bien avec ses doigts (au bout desquels on a collé un morceau de peau véritable) qu'il vient à bout des "doigtés fourchus" (trous à demi bouchés) de cet instrument difficile. Alors, après le scepticisme, c'est l'enthousiasme. Soixante-quinze personnes par jour en moyenne viennent écouter le flûteur. Le 30 mai, la recette est de 17 000 livres. Les gens sont venus, l'argent est rentré. Un triomphe.

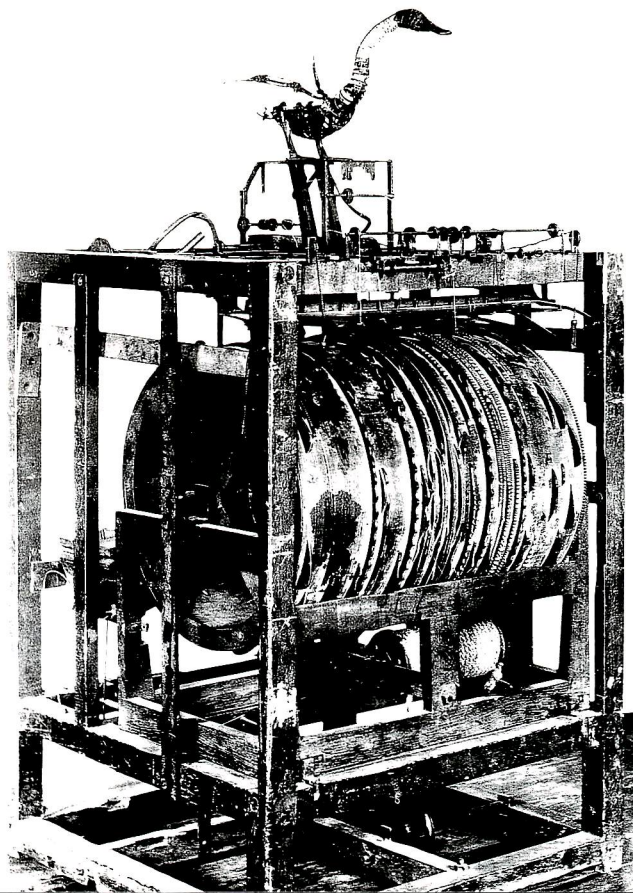
L'aspect financier de ce succès public ne laisse pas Vaucanson indifférent. A 29 ans, il a connu bien des vaches maigres. Né le 22 février 1709, il est le dixième enfant d'une famille de gantiers grenoblois qui le destine à une carrière religieuse. Il y renonce, car il veut se consacrer à ses deux passions, la mécanique (à 10 ans, il répare les montres de ses proches) et l'anatomie, qu'il étudie de 1728 à 1731 à Paris, puis à Rouen. Pour André Doyon et Lucien

Liaigre (auteurs de *Jacques Vaucanson, mécanicien de génie*), c'est à ce moment là qu'il élabore ses premiers automates. Il les expose pour pouvoir payer ses études. Vaucanson tire ensuite le diable par la queue, jusqu'à ce qu'il devienne l'un des familiers du riche fermier général La Popelinière. Ce mécène, qui protège aussi le musicien Rameau, lui donne les moyens de réaliser son flûteur automate. Jacques de Vaucanson devient célèbre.

Cet homme ambitieux ne se satisfait toutefois pas de cette célébrité. Son souci est de ne point passer pour un bateleur. Il veut s'affirmer comme savant. Le nom qu'il donne à ses créations – des "anatomies mouvantes" – est significatif. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, une "anatomie" est la reproduction d'un ou de plusieurs organes vivants, dans un but d'enseignement ou de connaissance. En employant ce terme, Vaucanson se place résolument sur le terrain scientifique et souligne l'originalité de sa démarche :

### Le volatile mis à nu

**Cette photo sur plaque de verre prise vers 1850, quelques années avant sa destruction (1879), révèle l'impressionnant mécanisme qui actionnait le canard.**



RUE DES ARCHIVES



ne plus seulement imiter les formes extérieures de la vie, mais en reproduire également les fonctions biologiques internes, comme la respiration ou la digestion. Les contemporains de Vaucanson sont conscients des implications scientifiques de sa démarche. Très vite, le 30 avril 1738, il est reçu par l'Académie des sciences, qui "approuve" son invention. Cette dimension est aussi perçue, plus confusément peut-être, par les visiteurs moins savants. Le trouble, l'admiration, la stupéfaction suscités par l'automate dépassent le simple succès de curiosité. Il y a, en filigrane, le sentiment que quelque chose est dit sur la nature de l'homme. L'automate mime-t-il le vivant, ou en exhibe-t-il la vérité?

## UN MONDE SANS MYSTÈRE

En 1739, la représentation du monde est encore très imprégnée de mécanisme. Ce n'est pourtant pas une idée neuve. Descartes (mort en 1650) a beaucoup contribué à répandre cette interprétation du monde. Selon lui, la nature s'explique à l'aide des notions de matière, de figure, de mouvement. Dans son *Traité de l'homme*, il réduit les animaux à des machines : « Hirondelles, mouches à miel, singes, chiens et chats agissent [...] comme des horloges », écrit-il au marquis de Newcastle. L'homme échappe à cet univers mécanique : Dieu l'a doté d'une âme et de la faculté de penser. Le mécanisme cartésien a fait florès : « Donner une liste des biologistes mécanistes en 1700 reviendrait à citer tous les auteurs », résume Jacques Roger dans son livre *les Sciences de la vie dans la pensée française du XVIII<sup>e</sup> siècle*. Le corps humain devient sans mystères. Qu'est-ce que les veines? des tubes hydrauliques. Le cœur? un banal ressort. Le poumon? un vulgaire soufflet. Les muscles? de simples cordes. L'automate de Vaucanson est la matérialisation de cette représentation mécaniste du monde...

Quand il se présente devant l'Académie des sciences et son secrétaire perpétuel, Fontenelle, le 30 avril 1738, Vaucanson fait valoir ses compétences de physicien et

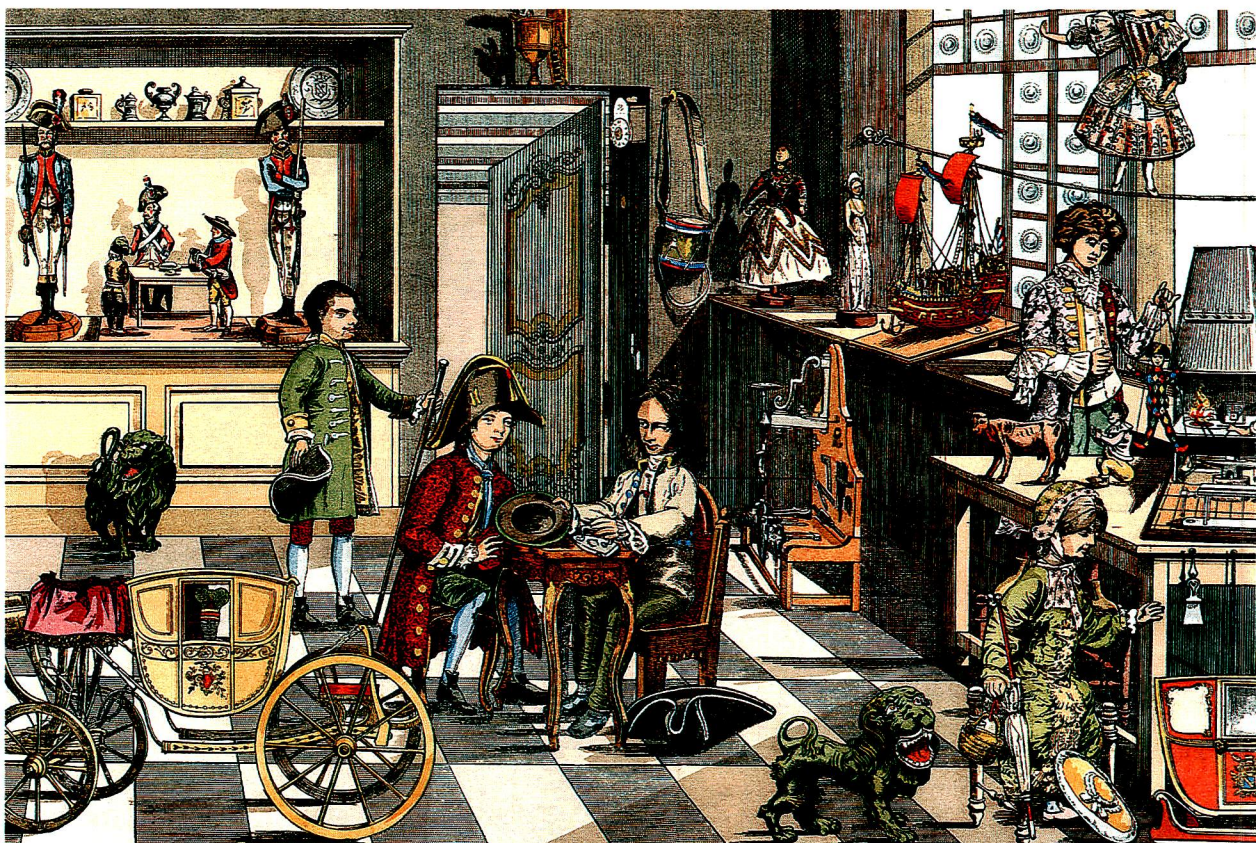


d'anatomiste. Écoutons les premiers mots de son discours. Sans oublier de cajoler les académiciens, il se pose en homme de science : « Messieurs, moins sensible aux applaudissements du public que jaloux du bonheur de mériter les vôtres, je viens vous découvrir que ce n'est qu'en suivant vos traces que je me suis soutenu avec quelque succès dans la route que j'ai suivie pour l'exécution de mon projet. Vous allez reconnaître vos leçons dans mon ouvrage... » Et après avoir souligné les connaissances anatomiques et théoriques dont il a eu besoin, Vaucanson se penche sur le fonctionnement concret de son "anatomie mouvante". Ses explications, même succinctes, permettent de reconstituer assez précisément le fonctionnement de son flûteur.

## Miracle de l'art

Le flûteur de Vaucanson est la réplique d'une œuvre du sculpteur Coysevox représentant un faune jouant de la flûte traversière. Il est capable d'exécuter une douzaine d'airs de Blavet, un compositeur alors à la mode.





La pièce la plus essentielle de l'automate est un cylindre de près de un mètre de long, et de 0,56 mètre de diamètre. Ce cylindre est "noté", c'est-à-dire qu'il comporte des reliefs qui vont entraîner le mouvement du flûteur. Il y a là des "picots" (de simples dentelures, de type boîte à musique), des "ponts" (des picots plus épaissis, en forme de rectangle), et, surtout, des "comes" (une forme en profil de crête).

### JOUEUR DE FLÛTE BIEN INSPIRÉ

Ces informations notées sur le cylindre défilent sous le bec d'un levier et déterminent, par l'intermédiaire de fils et de chaînettes d'acier le mouvement de l'automate. Il y a quinze leviers. Huit servent à moduler le souffle – trois pour contrôler la pression du vent, un pour le mouvement de la langue (qui ouvre ou ferme l'arrivée d'air) et quatre pour le mouvement des

lèvres (ouvert ou fermé, avancé ou reculé par rapport à la flûte). Les sept autres transmettent leurs ordres aux doigts du flûteur – trois pour la main gauche, quatre pour la main droite.

L'automate est mis en mouvement grâce un moteur à accumulation d'énergie, de type pendule : un poids fait mouvoir l'axe du cylindre et le vilebrequin de la soufflerie. Cette soufflerie est l'un des aspects les plus ingénieux du système. L'air provient de trois groupes de trois soufflets. Ces trois groupes engendrent trois vents différents (faible, moyen, fort). Par l'intermédiaire de trois tuyaux, cet air – ou vent – aboutit à trois réservoirs situés dans la poitrine du flûteur. A cet endroit-là, ils se réunissent, pour ne plus former qu'un seul tuyau au niveau de la gorge de l'automate. Puis le souffle est modifié par le coup de langue et par les lèvres, quadruplement mobiles.

### Boutique animée

En matière d'automates, le XVIII<sup>e</sup> siècle est souvent considéré comme un âge d'or. Cette représentation de la boutique d'un marchand de jouets et d'automates témoigne du degré de raffinement et de précision acquis par ces machines.



C'est là un mécanisme ingénieux, précis, remarquable. Mais est-ce révolutionnaire, ou seulement nouveau ? Il y a, certes, un raffinement technologique, mais pas d'innovation. L'apport technique de Vaucanson, souligne Jean-Claude Beaune dans *l'Automate et ses mobiles*, se limite à la généralisation de l'utilisation des comes sur le cylindre. Or, le principe de la came, qui permet des mouvements complexes, était déjà connu de Léonard de Vinci...

## CANARD DÉVOILÉ, ET DÉMASQUÉ

Après le flûteur, Vaucanson se remet immédiatement au travail. Il veut asseoir définitivement sa réputation. Les résultats ne se font pas attendre. Un an après, en janvier 1739, il pique habilement la curiosité du public parisien en faisant circuler une lettre à son ami l'abbé Desfontaines où il évoque sa nouvelle création. C'est un canard, écrit-il qui « montre le mécanisme des viscères destinées aux fonctions du boire, du manger, et de la digestion ; le jeu de toutes les parties nécessaires à ces actions y est exactement imité : il allonge son cou pour aller prendre le grain dans la main, il l'avale, le digère, et le rend par les voies ordinaires tout digéré [...] Toute la mécanique du canard artificiel sera vue à découvert [...] J'oubliais de vous dire que l'animal boit, barbote dans l'eau, croasse comme le canard naturel. Enfin j'ai tâché de lui faire faire tous les gestes d'après ceux de l'animal vivant, que j'ai considéré avec attention ». Et Vaucanson prend bien soin d'annoncer la date de l'événement : son canard sera exposé le lundi de Pâques, accompagné d'un berger automate qui joue du galoubet (ou flûte provençale à trois trous) et du tambour.

Le canard en cuivre doré de Vaucanson fait sensation. Son mécanisme, semblable à celui du flûteur, est parfaitement visible, comme pour signifier que Vaucanson ne cherche pas à créer une illusion factice. Les visiteurs peuvent donc effectivement observer qu'il a réussi à faire tenir tous ses rouages dans l'espace réduit des pattes du canard. Le volatile étend les ailes et les net-



## L'homme artificiel

**Voltaire (en haut) le tenait pour "rival de Prométhée"... Mais Vaucanson, doté de réelles compétences en anatomie, se lance, à l'instar du célèbre chirurgien François Quesnay (au centre) dans le projet d'une figure automate imitant la circulation du sang. Les conceptions mécanistes de Descartes (en bas) ont inspiré de telles tentatives.**

toie avec son bec, comme tout canard digne de ce nom. Et cet animal sans pudeur se montre capable de digérer quelques graines sous les yeux du public. Le mystère de la digestion du canard de Vaucanson ne sera éclairci que cent ans plus tard par l'illustre magicien Robert Houdin, à qui l'on a demandé de réparer le célèbre volatile. Il découvrira alors que les graines "ingérées" par le canard aboutissent à un réservoir, où elles restaient prisonnières. C'est d'un autre réservoir que partait, poussée par un piston, la mixture censée représenter les aliments digérés. En termes de prestidigitation cela s'appelle un escamotage... Ce qui explique sans doute pourquoi le canard a été exposé beaucoup moins longtemps que le flûteur...

Quoi qu'il en soit, Vaucanson est maintenant un homme dont les mérites sont unanimement reconnus. On se l'arrache. Frédéric II lui propose de venir s'établir à la cour de Prusse contre une pension de 12 000 livres. Mais le roi de France n'entend pas le voir partir. Le contrôleur général Orry propose à Vaucanson d'appliquer ses talents à l'industrie de la soie. Le 22 juillet 1741, il est nommé inspecteur des manufactures de soie du royaume. Une seconde vie, toute différente, va commencer pour lui. Il construit un métier automatique muni d'un cylindre à carton perforé, précurseur du fameux système de Jacquard. Si les "anatomies mouvantes" ne disparaissent pas de ses préoccupations, elles passent au second plan.

Arrêtons-nous un instant sur l'intérêt et les répercussions suscitées par les automates dans le débat scientifique de l'époque. Le canard et le flûteur, nous l'avons vu, ont eu une énorme répercussion auprès du public. Les réactions de l'élite savante et philosophique sont plus mitigées. Le cas de Voltaire est exemplaire. Il reconnaît, certes, l'importance des automates : « Sans la voix de la Le More et le canard de Vaucanson, vous n'auriez rien qui fit ressouvenir de la gloire de la France », écrit-il le 5 mai 1743. Dans *De la nature de l'homme* (1738), cependant,



son hommage à Vaucanson reste ambigu :

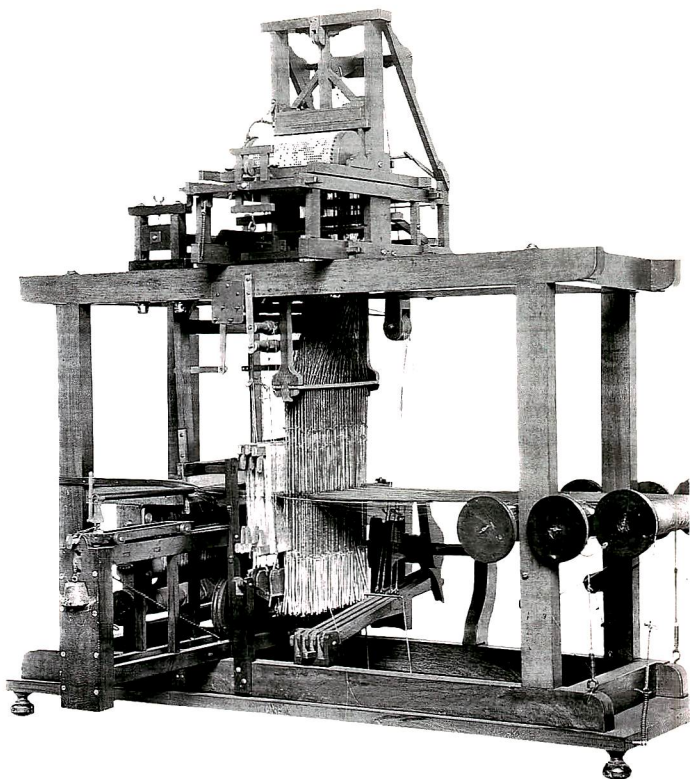
Tandis que d'une main stérilement vantée  
Le hardi Vaucanson, rival de Prométhée,  
Semblait de la nature imitant les ressorts  
Prendre le feu des cieux pour animer les corps,  
Pour moi loin des cités sur les bords du Parnasse  
Je suivais la nature et cherchais la sagesse.

Sous le miel, le fiel : "d'une main stérilement vantée...". Voltaire admire le "rival de Prométhée", mais ne croit pas qu'il apporte quoi que soit dans la connaissance de l'homme. On ne pense plus, en 1738, comme en 1670 : « L'époque qui s'étend de 1670 à 1745 voit l'expérience et l'observation ruiner progressivement le mécanisme, celui de Descartes et des géomètres », écrit Jacques Roger. Voltaire, ainsi que la quasi totalité des philosophes du XVIII<sup>e</sup> siècle, trouve que la vision mécaniste du vivant est très grossière : la nature ne se résume pas à un assemblage de cordes, poulies, ressorts, filtres et autres soufflets...

Julien Offroy de la Mettrie (*L'homme machine*, 1748) est l'un des seuls à conserver le mécanisme. Il l'applique même à l'homme : « L'homme n'est pas pétri d'un limon plus précieux : la nature n'a employé qu'une seule et même pâte dont elle a seulement varié les levains. » Mais son matérialisme intégral suscite peu d'écho.

Revenons maintenant à Vaucanson. A-t-il, lui aussi, senti l'anachronisme de la conception mécaniste du monde, et donc l'aspect chimérique de ses "anatomies mouvantes" ? Du tout. On sait aujourd'hui qu'il n'a jamais renoncé à sa passion de jeunesse. Le 9 août 1741, le voilà qui fait une communication devant l'académie des beaux-arts de Lyon, en demandant le secret le plus absolu sur les paroles qu'il va prononcer. Il alors évoque son projet de construire un homme artificiel, c'est-à-dire une figure automate qui imiterait toutes les "opérations animales", et notamment la circulation du sang.

Que Vaucanson songe à cela n'est pas étonnant. Un tel défi est dans l'air du temps : dix ans plus tôt, l'un des plus grands chirurgiens de l'époque, François Quesnay, a construit une machine hy-



### De l'art et du métier

**A partir de 1741, Vaucanson entame une seconde carrière. Nommé inspecteur des manufactures de soie du royaume, il invente l'un des premiers métiers à tisser entièrement automatiques (ci-dessus, un modèle de 1745), quelques années avant Jacquard.**

draulique afin de vérifier ses théories sur la circulation du sang. Le résultat est décevant. Quesnay l'impute à la rigidité du fer blanc utilisé pour figurer les artères : il lui faudrait trouver un matériau souple.

Vaucanson, évidemment, connaît cette tentative. Il songe à une solution audacieuse, nouvelle. Pourquoi ne pas utiliser cette "résine élastique" (le caoutchouc), que La Condamine a découverte en 1736, lors de son voyage scientifique pour tirer au clair la question du renflement de l'équateur (voir *Science et Vie* hors série n° 202) ? Toujours dans le plus grand secret, Vaucanson demande au chimiste Macquer de trouver un produit susceptible de dissoudre la "résine élastique" pour pouvoir lui donner ensuite la forme de petits tuyaux susceptibles de figurer veines ou artères. Macquer fait plusieurs essais. Il échoue avec l'huile de lin, l'huile de térébenthine, l'esprit de vin, le lait de figuier, mais réussit avec l'éther. L'histoire, qui semblait bien partie, finit de manière dé-

GIRAUDON/CNAM



## Divertir la cour

Après Vaucanson, l'art des automates produit encore de superbes réalisations. L'une des plus célèbres, la *Joueuse de tympanon* de Pierre Kintzing (1784) émerveille la reine Marie-Antoinette et sa cour.

cevant. Il semble que Vaucanson n'ait pu obtenir les grandes quantités de "résine élastique" qu'il réclamait. Il n'en continue pas moins à rêver d'automates et d'homme artificiel. On sait par sa correspondance qu'il a remis à Macquer, le 19 juin 1766, une bouteille remplie de "résine". Il semble qu'à cette date il s'était lancé dans un nouveau projet, celui d'un automate parlant. C'est l'époque où se produisent, dans ce domaine, d'importantes découvertes : on invente le terme de cordes vocales et l'on décrit l'appareil phonatoire comme un instrument à la fois à cordes et à vent. Vaucanson, qui avait déjà su doter son flûteur d'une mâchoire, de lèvres, et d'une langue artificielle, s'est attelé à la fabrication de cet automate parlant. A la fin de sa vie, on sait qu'il travaille à un automate capable d'articuler les voyelles.

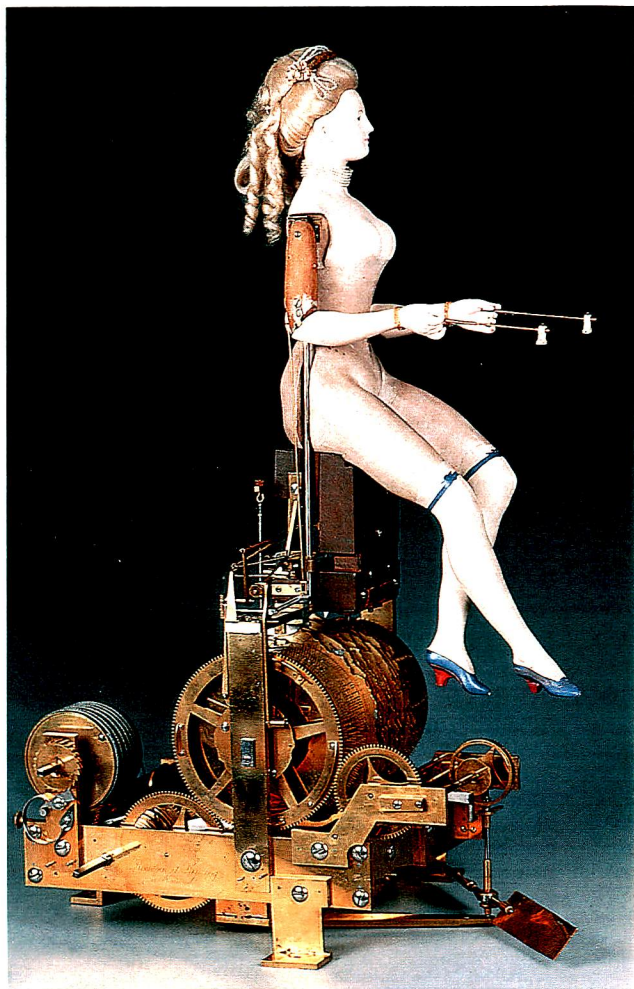
Jusqu'où est-il allé ? Impossible de le savoir, tant l'homme était secret. Nous possédons néanmoins une lettre, datée du 14 septembre 1762, où l'un de ses employés, se plaignant du manque de confidences de son maître, nous donne quelques indices : « Je ne suis qu'un atome dans l'Univers, mais il me semble que [Vaucanson] acquerrait autant de gloire [...] en faisant quelques élèves [...] qu'en ajoutant à ses automates, un [...] qui, au moyen de serinettes, articule des sons. »

### DÉCADENCE ET RÉSURRECTION...

On n'en saura malheureusement pas plus. En 1782, à la mort de Vaucanson, on ne retrouvera pas d'automate dans ses affaires. Aucun de ses trois automates n'est parvenu jusqu'à nous. Le fameux canard aurait été détruit au cours de l'été 1879, à Nijni Novgorod (Russie), après avoir été racheté par un dénommé Gassner, possesseur d'une exposition itinérante de curiosités. Un témoin de l'époque raconte qu'il ne restait plus du canard qu'"une paire de roues tordues"...

L'art de faire des automates existe aussi en marge de Vaucanson. En 1768, Pierre Jacques Droz réalise un merveilleux automate capable d'écrire quelques phrases ; en 1784, l'Allemand Pierre Kintzing émerveille Marie-Antoinette et sa cour en produisant une joueuse de tympanon qui pouvait exécuter huit airs. De 1740 à 1780, de Vaucanson à Kintzing, on passe de l'automate "anatomie mouvante" à un automate exclusivement ludique. L'objet à prétention scientifique est devenu un divertissement aristocratique, futile et fier de l'être – un automate fin de race.

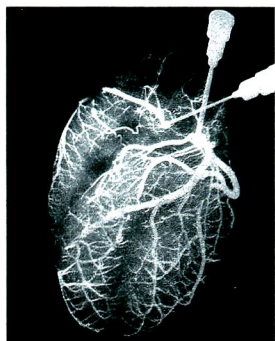
Entre ces deux époques, on assiste à la ruine totale et définitive de la vision mécaniste de 1670 : ni le monde, ni les animaux, ni les hommes ne seront plus assimilés à des horloges. Jusqu'au <sup>xx</sup>e siècle, lorsque surgissent la cybernétique et l'intelligence artificielle, nouvelles incarnations de ce vieux rêve de toute puissance : créer une machine pensante à l'image de l'homme. ■





Il y a

# 40 ans

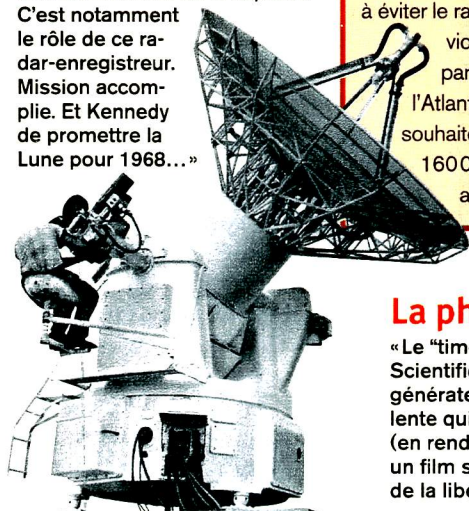


## Une pompe pour le cœur

«Deux heures après une attaque, ce cœur de chien est réparé! Cela grâce à la pompe du Dr Jacobey, qui pousse du sang dans le système artériel du cœur tandis que le myocarde est au repos. Les aiguilles (en haut) servent à injecter une substance opaque aux rayons X.»

## La fusée Mercury suivie de près

«Si le lancement d'Atlas-Mercury est réussi, encore faut-il suivre sa trajectoire jusqu'à la mise en orbite de la capsule. C'est notamment le rôle de ce radar-enregistreur. Mission accomplie. Et Kennedy de promettre la Lune pour 1968...»



**SCIENCE VIE**  
et

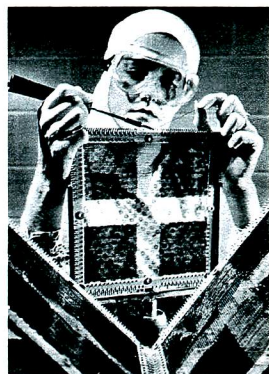
- CAP CANAVERAL : notre envoyé spécial
- CŒUR : nouveau traitement d'urgence
- HOROSCOPES : peut-on y croire ?



**FRANCE** • 55 000 tonnes • 160 000 cv.  
• 2 000 passagers • 31 nœuds

**JANVIER 1962**

«Les cheminées du *France* sont destinées à éviter le rabattage des fumées par vent violent. Ce n'est pas la seule particularité de ce super-palace de l'Atlantique, qui offre tout le confort souhaité à ses passagers. Et, avec ses 160 000 chevaux, le navire atteint aisément 31 nœuds.»



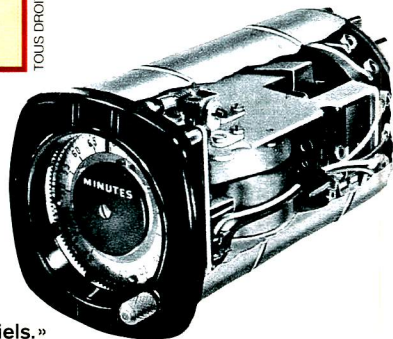
## Tisser une "mémoire"

«Cette ouvrière, qui évoque les tisserands des tapis d'Orient, est en train de mettre un dernier fil à une "mémoire" électronique. Dans quelques heures, une fois terminée, cette fine grille sera intégrée et connectée dans un ordinateur. Elle résoudra alors les problèmes mathématiques les plus ardues dans le temps d'un éclair.»

TOUS DROITS RÉSERVÉS

## La photo en accéléré

«Le "timer électronique" du Matériel Scientifique Moderne est un générateur d'impulsion à fréquence lente qui séduit déjà les biologistes (en rendant possible, par exemple, un film sur la métamorphose de la libellule), mais aussi les industriels.»





Reporters sans frontières

# WILLIAM KLEIN

## POUR LA LIBERTE DE LA PRESSE



5,79€  
38F

38 FF - 5,79€ / 240 BEF - 5,95€ / 950 Ptas - 5,71€ / 12 FS / £ 4.50 / 9,95 \$ CAN / 7 US \$



**RELAY**

**Rey**  
La preuve que le papier  
peut tout changer

En vente chez  
votre marchand  
de journaux



rsf.org

À P A R A Î T R E L E 2 8 N O V E M B R E 2 0 0 1





Bière de l'Abbaye

# Affligem

anno  1074

**ELLE VOUS EST CONFIÉE**



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