

Le plaisir de savoir

Science & Vie

Mensuel n° 985 - octobre 1999

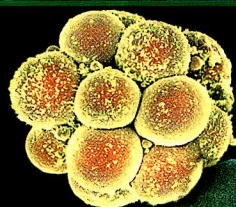


Guerre des étoiles

Comment la science rejoint la fiction

Ordinateurs
La fin du silicium

Cahier photos
L'album souvenir
de l'éclipse



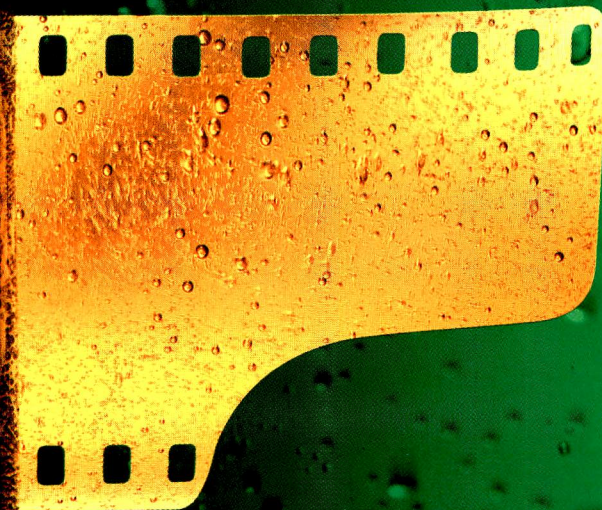
Bioéthique
Jusqu'où peut-on
manipuler
l'embryon humain ?

T 2578 - 985 - 23,00 F





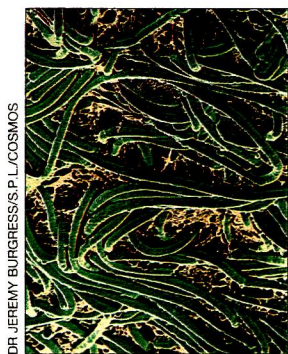
L'esprit bière par **Heineken**



A conserver à l'abri de l'air et de la lumière.

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

La vie a vieilli



DR JEREMY BURGESS/S.P.L./COSMOS

Une découverte australienne a fait vieillir de 800 millions d'années l'algue bleue, une cyanophycée (photo). La vie aurait surgi plus tôt qu'on ne le pensait.

La science a ceci d'extraordinaire qu'elle sait se remettre en cause dès que des faits nouveaux s'imposent. Et en deux coups de piolet, une équipe de géologues australiens vient de faire deux découvertes qui, si elles se confirment, bouleverseront toutes les notions péniblement acquises sur l'origine de la vie.

La Terre est âgée d'environ 4,6 milliards d'années et les premières formes de vie y sont apparues il y a 3,8 milliards d'années. Il s'agissait de procaryotes, organismes unicellulaires dont l'ADN n'est pas contenu dans un noyau. En revanche, les premiers véritables êtres vivants à avoir des cellules dont l'ADN est englobé dans un noyau, les eucaryotes, seraient apparus, supposait-on, il y a 1,7 milliard d'années.

Cette théorie vient d'être démentie par l'équipe australienne du Pr Jochen Brocks, de l'université de Sydney. En fouillant le site de Pilbara Craton, dans le nord-ouest de l'Australie, elle a mis au jour, à 700 m de profondeur, des schistes argileux qui contiennent des stéranes, c'est-à-dire des substances organiques synthétisées par des cellules eucaryotes. Or, ces stéranes sont âgées de 2,7 milliards d'années. Les eucaryotes, premiers êtres vivants, existaient donc un milliard d'années plus tôt qu'on ne le croyait.

La seconde découverte remet en question la date d'apparition de la photosynthèse. Les premières formes de vie capables de la "fabriquer" sont des algues bleues (procaryotes de la classe des cyanophycées), qui contiennent de la chlorophylle. Jusqu'ici, on pensait que ces algues étaient apparues il y a 1,9 milliard d'années. Or, dans la même couche géologique de Pilbara Craton, vieille de 2,7 milliards d'années, les Australiens ont mis en évidence des molécules, appelées 2-méthylhopanes, qui sont la signature des cyanophycées. La photosynthèse serait donc apparue 800 millions d'années plus tôt qu'on ne l'imaginait, à une époque où, selon les géologues australiens, l'atmosphère était incapable de la réaliser.

S & V

n° 985 • octobre 1999

1, rue du Colonel-Pierre-Avia

75 503 Paris Cedex 15

Tél. : 01 46 48 48 48

Fax : 01 46 48 48 67

E-mail : svmens@excelsior.fr

Recevez Science & Vie chez vous. Vos bulletins d'abonnement se trouvent pp.149 et 170.

Organigramme p. 7.

Encart abonnement jeté dans Science & Vie.

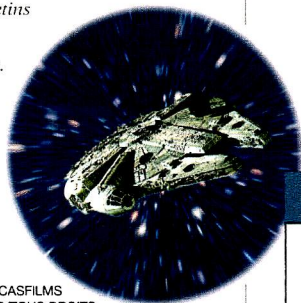
Diffusion vente au numéro

France métropolitaine.

Un dépliant d'abonnement à Science & Vie est joint aux exemplaires destinés aux abonnés.

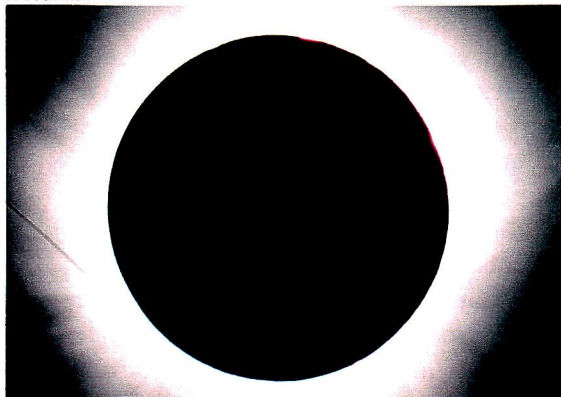
Diffusion : France métropolitaine.

Couverture : D. R.



LUCASFILMS
LTD/TOUS DROITS
RÉSERVÉS

R. SOUMMER



■ Pour observer et photographier l'éclipse totale de Soleil du 11 août dernier, il fallait avoir de la chance... et une stratégie. Un astronome amateur, agrégé de physique, a pris d'exceptionnels clichés que nous présentons dans un cahier photos spécial.



**TOUS LES SAMEDIS,
À 8 h 50 SUR BFM*,**

Marcel Lévy donne

"Carte blanche à Science & Vie"

dans son émission "Destination Progrès".

(Rediffusions à 16 h 50, 19 h 20, 22 h 20).

*Paris : 96.4

Retrouvez les autres fréquences
sur www.radiobfm.com.

Sommaire

Forum 6

Actualité

Recherche 12

Environnement 28

Technologie 34

Médecine 42

En couverture

Guerre des étoiles : la science rejoint la fiction..... 51

- Les guerriers de l'hyperespace 52
- Demain, les robots vivants 58
- Portraits d'extraterrestres 60

Cahier photos

L'éclipse comme vous ne l'avez pas vue 64

Microélectronique

Silicium : le bout de la route 70

Médecine

Sauver la peau des brûlés ... 76

Dossier

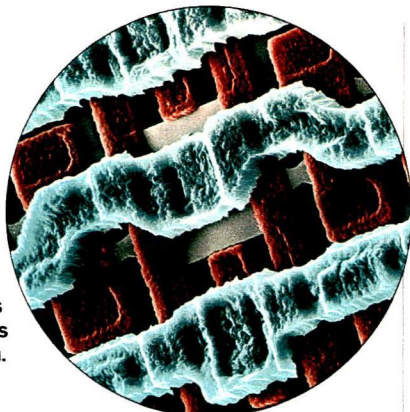
Embryon : la science au-delà de l'éthique 84

Environnement

Main basse sur les îles 98

70

■ Tous les trois ans, une nouvelle génération de microprocesseurs établit des records de miniaturisation. La limite sera bientôt atteinte. Par quoi va-t-on les remplacer ?



D. SCHARF/
SPL/COSMOS

98

■ Les îles Galapagos sont un laboratoire de l'évolution grandeur nature. Mais les impératifs des scientifiques nuisent

parfois au développement de la population locale.



F. HERMANN



STOCK IMAGE

■ Des centaines de milliers d'hectares sont laissés en jachère.

Or, on peut y cultiver des plantes aux applications industrielles, telles que les biocarburants. Tout le monde y gagne : l'agriculteur, l'industriel, le contribuable et... l'environnement.

Enquête

Les plantes industrielles au secours de l'agriculture ... 104

Armement

Missiles : déséquilibre des terreurs ... 116

Astronautique

Pourquoi les Russes n'ont pas décroché la Lune ... 124

Informatique

La science à l'assaut du piratage 134

Pl@net

Actualité du multimédia 143

Chaos sur la Toile 148

Conso 150

Dreamcast, un rêve de joueur 154

Encyclopédie xx^e siècle

La révolution médicale 157

■ L'essor de l'immunologie 158

■ La réponse immunitaire. 164

■ Philippe Kourilsky : «Dresser contre les tumeurs des cellules immunitaires "tueuses"» 166

Loisirs

Rétro 171

Le ciel du mois 172

CD-Rom 174

Livres 178

C'est indéniable, vous ne possédez point cette fameuse console dont l'objet est de vous divertir. Seulement, vous êtes l'un d'un moteur souple 1.8 T Turbo compressé à 5 soupapes par cylindre de 210 ch., sans oublier la toujours aussi exemplaire trans



Nouvelle Audi S3 quattro 210 ch.

Tout le monde n'a pas la

36-15 Audi
012 F l'accès
1,29 F la minute

Centre d'information Audi A3:
01 41 44 33 23

<http://www.audi-france.com>

des rares privilégiés à être assis sur un des sièges sport Recaro de la nouvelle Audi S3 d'une maniabilité admirable, dotée mission quattro sans laquelle vous ne pourriez longtemps prolonger vos parties. Alors, peut-on encore parler d'infortune ?



chance d'avoir une PlayStation.



Turbulences
« Mes félicitations pour l'article "Le triomphe de la météorologie" »

[Science & Vie n° 980, p. 100], écrit M. Henri Almin, de Pleneuf (Côtes-d'Armor). Dès les années 60, lors de la mise en service des Boeing 707, nous avons découvert l'existence des jets streams. A l'époque, les services de la météorologie ne pouvaient situer que très approximativement les courants aériens fort puissants qu'ils constituent. Lorsque nous avons déterminé l'altitude de la tropopause, en touchant la limite où la température ayant atteint la valeur de -56°C recommençait à croître, nous savions que le courant devait se situer juste sous cette tropopause. Une forte turbulence, dite "en ciel clair", confirmait sa présence. La valeur maximale était rencontrée dans l'hémisphère nord, au-dessus de l'océan Pacifique, en quittant le Japon vers l'est, ainsi que sur l'océan Atlantique, en quittant Terre-Neuve, toujours vers l'est. Cette valeur atteignait un maximum de 180 nœuds dans les deux cas de figure [...] » ■



A bon entendre salut...
Merci à ceux qui nous ont envoyé leur témoignage de sympathie en réaction au jugement

du 6 septembre 1998, que Science & Vie a dû publier [n° 982 et n° 983, p. 8] : « Moi qui, à l'époque, m'étais réjoui que vous portiez à la connaissance du public les stupidités (du moins à mon sens) sur la mémoire de l'eau ou sur l'homéopathie, que je crois être plus un placebo qu'autre chose, je vois que le jugement (sans doute par des hommes instruits) me dit que je me suis trompé, écrit M. Jean-Louis Grignet de Saint Loup, de Bordeaux (Gironde). J'en suis tout pantois [...] »

« Science & Vie est puni pour avoir appelé "un chat un chat" sans même ajouter "et Rolet un fripon", lequel se plaignait aussi et fut condamné !, écrit M. Jacques Villette, de Saint-Raphaël (Var). Après trois siècles, les Rolet triomphants jugent en faveur des fripons. Usez de précautions, mais ne renoncez pas ! [...] » Science & Vie attend un autre jugement, le 19 janvier 2000, pour avoir appelé un chat un chat [Science & Vie n° 978, p. 8]. Espérons que celui-ci sera digne d'hommes instruits. ■

Le plaisir de savoir **Science & Vie**

Publié par Excelsior publications SA.

Capital social : 10733500 F.

Durée : 99 ans.

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

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

E-mail : svmens@excelsior.fr

Adresse télégraphique : 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 et commercial : Marie-Hélène Arbus. Directeurs marketing et commercial adjoints : Jean-Charles Guérault, Patrick-Alexandre Sarradeil. Directeur des études : Roger Goldberger. Directeur de la fabrication : Pascal Rémy.

REDACTION

Rédacteur en chef : Jean-René Germain, assisté d'Elisabeth Latsague. Rédacteurs en chef adjoints : Jean-François Robredo, Didier Dubrana, Gérard Morice. Chef des informations : Isabelle Bourdial. Secrétaire général de la rédaction : Norbert Régina. Secrétaires de rédaction : Agnès Marillier, Jean-Luc Glock, Camille Chaplain, Alain Le Roch. Chefs de rubrique : Philippe Chambon, Germain Chambost, Romain Iconicoff. Rédacteurs : Pierre Rossion, Marie-Laure Moinet, Henri-Pierre Penel, Hélène Guillemot, Valérie Greffoz. Conception graphique : Nathalie Baylaucq. Direction artistique : Gilles Moine. 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

Matthieu Crocq, Yves Delaye, Philippe Henarejos, Jacques Larant, Hervé Poirier, Véronique Rochewsky, Mikhail Roudenko, Claude Spasevski, Anne Thiaville, Fabienne Tisserand.

RELATIONS EXTÉRIEURES

Michèle Hilling.

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

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

PUBLICITÉ

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

À NOS LECTEURS

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

SERVICES COMMERCIAUX

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

ABONNEMENTS

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

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Changement d'adresse : veuillez joindre à votre correspondance 3 F en timbres-poste français ou règlement à votre convenance. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec Science & Vie sauf opposition motivée. Dans ce cas, la communication sera limitée au service des abonnements. Les informations pourraient faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits non insérés ne sont pas rendus. La rédaction ne reçoit que sur rendez-vous. Copyright 1989 Science & Vie.



Timbre poste
« La cémentation ne
suit pas mais précède
toujours la trempe,
corrige M. Stéphane
Gazanion de Cluses

(Haute-Savoie), à propos
du procédé de la taille-douce
pour imprimer les timbres
[Science & Vie n° 982, p. 120].
En effet la cémentation s'applique
aux aciers dont la teneur en
carbone est inférieure ou égale
à 0,2 %. Elle a pour but d'enrichir
en carbone la couche extérieure
d'une pièce sur une profondeur
de 0,5 à 2 mm. Cet enrichissement
se fait à l'aide de méthane
ou de propane dans le cas d'une
cémentation gazeuse (elle peut
être également solide ou liquide).
La teneur en carbone est alors
de 0,7 % à 1 %. Mais la
cémentation seule n'augmente
pas la dureté. C'est la trempe
qui va modifier les propriétés



mécaniques de la pièce.
On la chauffe à 900 °C environ,
puis on la refroidit plus ou
moins rapidement en la trempant
dans de l'eau ou de l'huile.
On obtient ainsi, après un revenu
de détente, une très grande
dureté sur la couche cémentée
et une très bonne résilience
au cœur de la pièce. La
cémentation, la carbonituration
(un procédé équivalent)
et la trempe sont très utilisées
dans l'industrie mécanique. [...] Sans elles, de nombreux
objets que nous utilisons
quotidiennement auraient une
bien courte durée de vie. »

physique

Tunnel du Mont-Blanc l'effet de four

PAR RENAUD DE LA TAILLE

Le tunnel du Mont-Blanc est le plus long tunnel routier d'Europe. Il mesure 4,8 km de long et a une largeur de 11 mètres. Il a été construit entre 1969 et 1977.



Le tunnel du Mont-Blanc est le plus long tunnel routier d'Europe. Il mesure 4,8 km de long et a une largeur de 11 mètres. Il a été construit entre 1969 et 1977.

Le tunnel du Mont-Blanc est le plus long tunnel routier d'Europe. Il mesure 4,8 km de long et a une largeur de 11 mètres. Il a été construit entre 1969 et 1977.

Le tunnel du Mont-Blanc est le plus long tunnel routier d'Europe. Il mesure 4,8 km de long et a une largeur de 11 mètres. Il a été construit entre 1969 et 1977.

Le tunnel du Mont-Blanc est le plus long tunnel routier d'Europe. Il mesure 4,8 km de long et a une largeur de 11 mètres. Il a été construit entre 1969 et 1977.

Le tunnel du Mont-Blanc est le plus long tunnel routier d'Europe. Il mesure 4,8 km de long et a une largeur de 11 mètres. Il a été construit entre 1969 et 1977.

Tunnel du Mont-Blanc
« Le sinistre du tunnel
du Mont-Blanc [Science
& Vie n° 981, p 130] va
avoir des répercussions in-
attendues sur la qualité de
la vie, écrit M. Jean-Louis Guyot,
de Jasseron (Ain). [...] Le ferroutage
pratiqué depuis des années en
Autriche et en Suisse impose pour
certains parcours la mise sur wagon
des convois routiers. La France
applique ce procédé dans le tunnel
sous la Manche. Pour ma part, je
l'imposerais pour les traversées de
pays. Ainsi, un camion livrant de la
Hollande au Portugal serait sur rail
pour traverser trois pays [...] ».

C'est l'avis de l'association pour
le respect du site du Mont-Blanc
(Arsmb, Maison de la Montagne,
74400 Chamonix, Haute-Savoie).

La catastrophe du tunnel est l'oc-
casion, selon elle, de faire le choix
politique en faveur d'un trafic des
marchandises sur rail. L'Arsmb
fait circuler des pétitions pour
dire non au retour des camions
dans la vallée, qu'il revit et respi-
re de nouveau ».

Selon elle, le tunnel ne doit plus
profiter qu'aux voitures légères,
aux autocars et au commerce lo-
cal. Deux itinéraires sont propo-
sés à court terme et moyennant
travaux pour absorber les 13 mil-
lions de tonnes du trafic annuel
du Mont-Blanc : le tunnel ferro-
viaire de Modane, qui n'est utilisé
qu'à 50 % de ses capacités, et la
ligne dite « du Tonkin », qui passe
au sud du lac Léman et dont seul
un tronçon est encore actuelle-
ment en service.

Rectificatifs L'inventeur du logiciel de cryptage
PGP (Pretty Good Privacy), qui permet de se protéger
du piratage informatique, n'est pas Kevin Mitnick
[Science & Vie n° 982, p. 130] mais Phil R. Zimmerman,
mathématicien américain né à Boulder (Colorado).
« En mai, fais ce qu'il te plaît » : là se trouve peut-être l'origine
de la « coquille » qui aurait dû nous brûler les doigts, dans
le n° 980, p. 67 : le Soleil est à 149 597 800 kilomètres de la Terre,
cent fois plus que ce qui a été écrit. Enfin, dans le n° 983, p. 79,
il faut lire kilocalories et non kilogrammes/calories.

Enlève les points noirs
en 15 min.

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



NIVEA FOR MEN
kao
biore®

NIVEA FOR MEN. POUR CEUX QUI OSENT LE SOIN.

www.niveaformen.tm.fr



ALFA 156. 6 ET 7 CHEVAUX DE LUXE.

PACK LUXE AVEC CLIMATISATION. JANTES ALLIAGE ET ANTI-BROUILLARDS.





Coeur Sportif



Alfa 156. Toute l'élégance du pack luxe avec ses sièges en velours, son volant, son pommeau de levier de vitesses et sa console centrale effet acajou pour plus de raffinement.

Sa climatisation automatique, son accoudoir arrière pour plus de confort.

Toute la sportivité de ses jantes en alliage et la sécurité de ses anti-brouillards.

Alfa 156. Luxe, sportivité et sécurité conjugués pour cette grande berline 4 portes à l'allure

de coupé, sans oublier l'avantage de la fiscalité 6 et 7 cv.

Pack proposé sur la version Alfa 156 1.6 TS 120 ch CEE* 8 cv (motorisation 112 ch CEE-7 cv en option) 128 500F/19 589,70 euros et sur la version Alfa 156 1.9 JTD 105 ch CEE-6cv 145 300F/22 150,84 euros.

ALFA 156.
SA PUISSANCE, VOTRE MAÎTRISE.

Garantie 24 mois :

Les concessionnaires Alfa Romeo vous offrent une 2ème année de garantie. *Extension de garantie ALFA* de 12 mois, kilométrage illimité. Assistance 24 h/24. Offre valable et détaillée des conditions dans les points de vente participants.

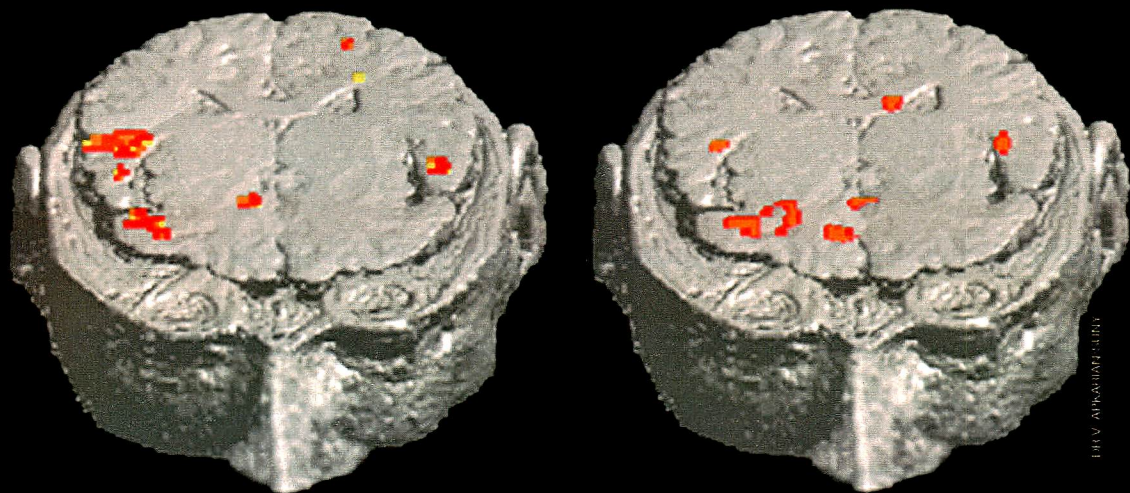
Alfa Romeo 
FINANCEMENT

*Consommations (l/100 km) valeurs maximales sur modèle 1.6 TS 120 ch CEE : cycle urbain 11,4 ; cycle extra urbain 6,4 ; usage mixte 8,2.
INTERNET : <http://www.alfa-romeo.tm.fr> - Pour informations ou essais :

NUMERO INDIGO
0 803 000 156

(0,99F"/mn)





La douleur prise sur le vif

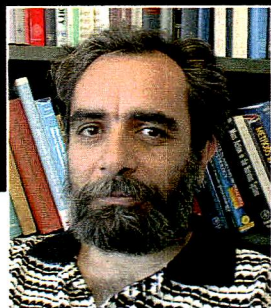
Des images des récepteurs de la douleur montrent les sites cérébraux impliqués quand notre organisme souffre. Ces travaux pourraient permettre de sonder la douleur comme on mesure la température.

La douleur en action se met désormais en image. C'est en 1991 qu'une équipe canadienne prend le premier "cliché" d'un centre de la douleur recevant des influx nerveux de parties du corps lésées, à l'aide d'un scanner PET (tomographie par émission de positon).

Depuis, les neurophysiologues ont compris qu'il existe non pas un mais une multitude de centres de la douleur et ils ont entrepris d'en dresser l'inventaire. Plus de deux cents régions du cortex ont ainsi été isolées. Les chercheurs tentent aujourd'hui de quantifier la dou-

leur en utilisant l'imagerie par résonance magnétique (IRM) fonctionnelle. Cette technique mesure les flux sanguins. Elle visualise les aires du cerveau activées, plus irriguées que les autres.

Le Dr Vania Apkarian, de l'université de New York, à Syracuse, étudie chez des personnes volontaires la perception d'une souffrance ressentie au niveau de la main, dans un muscle ou dans un tissu nerveux. Ses travaux, présentés dans le quotidien *New York Times*, constituent une avancée pour caractériser l'intensité et la nature des sensations douloureuses.



Le Dr Vania Apkarian scanne l'excitation des neurones sous l'effet de la douleur dans le cerveau. Ci-dessus, une douleur à la main (à gauche) et dans le dos.

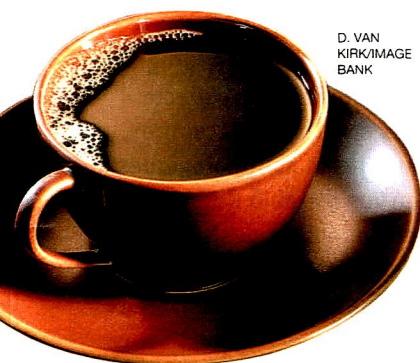
Le scientifique espère être un jour capable de mesurer la douleur comme on prend la tension ou la température. Serait alors évaluée non pas l'intensité douloureuse ressentie par le sujet mais l'atteinte à l'intégrité de l'organisme.

Reste, bien sûr, à prendre en compte les composantes cognitives et affectives de la douleur – un symptôme douloureux de même intensité étant ressenti différemment d'une personne à l'autre, en fonction de leur subjectivité. **I. B.**

Café serré contre radioactivité

La caféine protégerait des radiations, à en croire une étude publiée dans le *Journal of Radiological Protection* par des chercheurs de Bombay. La plupart des souris auxquelles ces scientifiques ont administré de grandes quantités de caféine (80 mg) avant de les soumettre à de fortes doses d'irradiations (7,5 grays) ont survécu, tandis que les souris qui ont reçu la même irradiation mais pas de caféine sont mortes. La caféine pourrait réagir avec les radicaux libres produits par les radiations. Un résultat qui, s'il est confirmé, n'est pas directement extrapolable à l'homme : la dose "efficace" équivaldrait à plus de cent tasses de café par jour...

H. G.



D. VAN KIRK/IMAGE BANK

Il faudrait boire cent tasses de café par jour pour être protégé contre la radioactivité. Pas simple!

FRÔLEMENT D'ASTRE

■ Lancée le 24 octobre 1998, la sonde américaine à propulsion ionique Deep Space 1 est passée le 29 juillet dernier à seulement 26 km de l'astéroïde 9969 Braille, dont elle a pris, au vol, quelques clichés. Découvert en 1992 à l'aide du télescope de Schmidt du mont Palomar (Californie), ce rocher de 2,2 km de longueur et de 1 km de largeur pose quelques questions



Deep Space 1 a confirmé la forme allongée de 9969 Braille.

aux astronomes. Il appartient à une famille d'astéroïdes assez rare, dont la composition est identique à celle de Vesta, l'un des plus gros astéroïdes connus (500 km de diamètre). Peut-être

est-il le vestige d'un corps plus gros détruit dans un cataclysme... L'analyse des spectres pris par les instruments de Deep Space 1 devrait apporter quelques lueurs sur le sujet.

Ph. H.

BIOLOGIE

La physique des protéines

Certains gènes, associés à des maladies graves, "fabriquent" des protéines dont on ne connaît pas la fonction. La physique va peut-être y remédier.

Harold Scheraga (université Cornell, à Ithaca, Etats-Unis) simule par ordinateur la forme des protéines à partir de leurs structures primaires, les séquences d'acides aminés. En établissant des liaisons entre eux, ces acides déterminent l'orientation dans l'espace de la protéine et lui confèrent des propriétés spécifiques. La simulation consiste donc à recréer la configuration des protéines pour déterminer leur activité biologique, opération à laquelle les scientifiques procédaient jusqu'ici en s'aidant du schéma déjà connu d'une protéine voisine.

Or, Scheraga a réussi à simuler le processus de formation de la protéine HDEA (issue de la bactérie *E. coli*) dans son intégralité, sans s'inspirer d'un modèle, mais en recourant aux lois de la physique. Les



P. NAS

La structure réelle de la protéine HDEA (en rouge) et la structure obtenue par ordinateur (en jaune).

chercheurs ont combiné les molécules des acides aminés selon leurs charges électriques (en appliquant les principes physiques d'attraction et de répulsion), pour reconstituer 80 % de la forme originale.

Cette méthode pourrait s'appliquer à des protéines qui ne ressemblent à aucune autre connue. M. P.



Le cratère Barringer, en Arizona, formé, il y a environ 25 000 ans, par la chute d'un météorite.

B. ROKEACH/IMAGE BANK

ASTRONOMIE

Le bulletin prévisionnel des astéroïdes

Evaluer le danger que représentent les astéroïdes qui se dirigent vers la Terre, tel est le but de l'échelle de Torino, conçue par Richard Binzel, du Massachusetts Institute of Technology (MIT). L'échelle, présentée à Turin (Italie), note les risques de zéro (aucune collision) à dix (collision certaine provoquant une catastrophe climatique globale).

Ainsi que le rapporte le magazine *Science* (n° 5428), l'Union astronomique internationale a rapidement adopté cet outil original qui se veut à la fois scientifique et

sociologique. Il s'agit surtout, au dire de Binzel, d'exprimer la très faible probabilité d'un réel danger. Tous les astéroïdes évalués jusqu'à présent atteignent d'ailleurs le degré zéro sur l'échelle.

Les chercheurs se sont montrés encore plus rassurants lors d'une réunion internationale sur les astéroïdes et les comètes à l'université Cornell (Ithaca, Etats-Unis) : grâce aux nouvelles techniques de recherche et de simulation, les risques qu'un astéroïde dangereux heurte la Terre ont été largement revus à la baisse.

M. P.

MÉDECINE

Un vaccin anticocaïne ?

Un vaccin contre la dépendance à la cocaïne devrait être testé chez l'homme au cours des mois à venir. Mis au point par l'équipe de Kim Janda, de l'institut de recherche Scripps (Californie), il déclenche une réaction immunitaire spécifique qui empêche les molécules actives de la cocaïne de se fixer sur leur cible. Il a été testé avec succès chez les rats. I. B.

BOTANIQUE

L'Eve végétale

L'ancêtre direct des plantes terrestres serait sortie non pas de la mer mais du ruisseau. Il s'agit d'une algue unicellulaire qui aurait vécu en eau douce il y a 450 millions d'années et serait à l'origine des 500 000 végétaux terrestres répertoriés. C'est ce qu'a annoncé Brent Mishler, de l'université de Berkeley (Californie). Le botaniste coordonne un vaste programme de recherche qui collecte des données moléculaires, fossiles et morphologiques en vue d'établir l'arbre phylogénique des végétaux. Ses premières conclusions diffèrent de la nomenclature actuelle, qui repose sur la classification de Linné. L'avenir dira si les deux systèmes peuvent coexister. I. B.



www.peugeot.fr

*Pour un air plus pur, retenir sa respiration
jusqu'à obtention d'une 806 HDi.*



Moteur HDi. La nouvelle génération de Diesel. Réduction des émissions polluantes et forte diminution de la consommation.

LA VOITURE QUE LES ENFANTS CONSEILLENT À LEURS PARENTS.

806



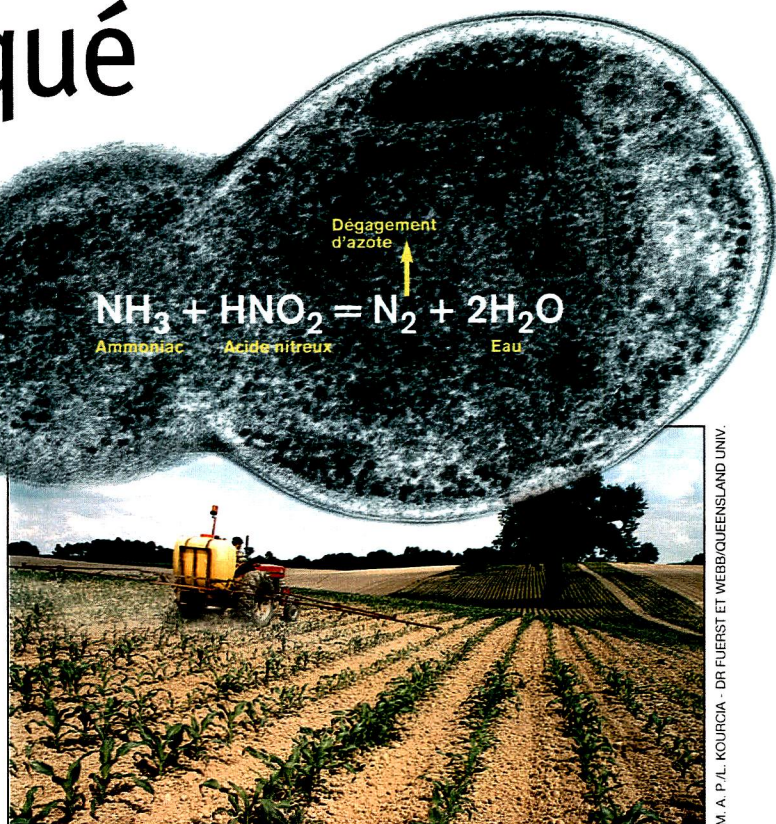
PEUGEOT

L'amateur d'ammoniac démasqué

On vient de découvrir une bactérie capable de fournir de l'énergie à partir de l'ammoniac. Recherchée activement depuis vingt ans, elle ouvre la voie à de nouvelles techniques de dépollution.

Une énigme biologique de vingt ans vient d'être résolue cet été, grâce à la découverte de la bactérie capable d'oxyder l'ammoniac (NH_3). Dès 1976,

Engelbert Broda, chimiste à l'université de Vienne (Autriche), lançait un avis de recherche contre cette bactérie dont l'existence avait été prédite par des principes évolutionnistes et thermodynamiques. L'oxydation de l'ammoniac par l'acide nitreux – réaction appelée anammox – dégage en effet une énergie importante. Or, selon un vieux principe de la biologie, une telle source d'énergie dans la nature ne reste pas inutilisée. Il se trouve rapidement un organisme qui s'adapte pour en profiter. Autrement dit, dès qu'il y a un repas à prendre, quelqu'un se présente.



L'ammoniac contenu dans les engrais est l'un des responsables de la pollution des terres cultivables. Il pourrait être transformé en azote.

Une équipe de biologistes néerlandais et autrichiens, dirigée par Marc Strous, de l'université de Delft (Pays-Bas), vient enfin de mettre la main sur le profiteur. C'est une nouvelle bactérie de l'ordre des planctomycètes, qu'on a du coup baptisée *Anammox*; elle mesure moins de 1 micromètre de longueur (un millième de millimètre). Dans un milieu riche en acide nitreux, elle ingère l'ammoniac avant de déclencher la fameuse réaction énergétique à l'intérieur de sa membrane.

L'*Anammox* est donc bien capable de digérer l'ammoniac!

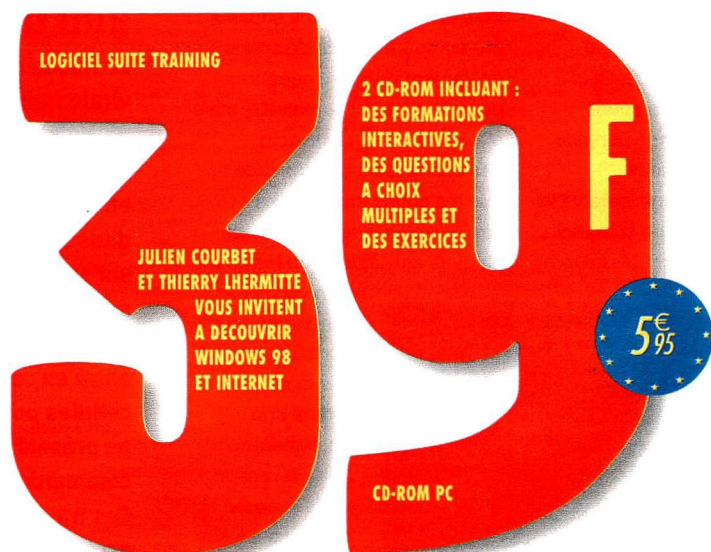
Cette découverte ne vient pas seulement conforter une vieille prédiction biologique, elle ouvre surtout de nouvelles perspectives écologiques : l'ammoniac, présent dans les engrais chimiques utilisés par les agriculteurs, est l'un des principaux responsables de la pollution. L'analyse du mode de digestion du germe opportuniste va permettre de mieux comprendre l'oxydation de ce polluant. L'ammoniac enfoui au fond des terres pourrait alors être transformé en azote (N_2), naturellement présent dans l'air. Et la pollution de s'envoler...

H. P.

Carrefour, c'est le moment.



2 CD DE FORMATION A WINDOWS 98 ET INTERNET



*Avec Carrefour
je positive!* 

A PARTIR DU 18 AOÛT 1999.

50 000 pièces disponibles.

Adresses, plan d'accès et services des magasins, pages 2615 Carrefour (2,23 F la minute).

RECHERCHE

PSYCHOLOGIE

La leçon des chatouilles

Elles sont souvent ressenties comme très agaçantes. Pourtant, qu'elles soient provoquées par une machine ou par une main, les chatouilles font rire. Une chercheuse de l'université de Californie (San Diego) s'est penchée sérieusement sur la question.

Selon Christine Harris, si une machine peut provoquer une réaction de chatouille, le rire n'est donc pas nécessairement lié à une relation chaleureuse entre chatouilleur et chatouillé – ou relation intersubjective. Il ne s'agirait pas non plus d'un réflexe, car on rirait



S. SCAGLIA/COSMOS

Le rire très particulier que provoquent les chatouilles n'est ni un réflexe ni lié à la relation intersubjective. S'agirait-il d'un apprentissage au combat ?

en se chatouillant soi-même. Enfin, contrairement à ce que pensait Darwin, ce rire n'est pas le même que celui qui fuse à l'écoute d'une histoire drôle.

S'appuyant sur plusieurs études scientifiques, la psychologue du

Centre du cerveau et de la cognition estime que le chatouillement est une expérience profondément déplaisante qui a une fonction évolutive essentielle : l'entraînement au combat au corps à corps. Mais, si la personne chatouillée criait de douleur plutôt que d'en rire, le chatouilleur renoncerait à la chatouiller, et l'apprentissage ne pourrait avoir lieu.

A. P.-L.

MÉDECINE

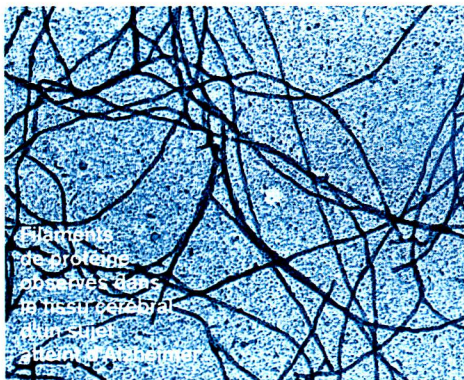
ALZHEIMER : VACCIN EN VUE

■ Elaboré par la société californienne Elan, sous la houlette du Dr Dale Schenk, un nouveau prototype de vaccin contre la maladie d'Alzheimer vient d'être testé avec succès sur des souris. Il s'agit d'un peptide à l'origine des plaques amyloïdes qu'on rencontre dans le cerveau des sujets atteints de la maladie. Le peptide a été injecté à des

souris programmées pour développer expérimentalement une maladie d'Alzheimer. Puis le cerveau de ces souris a été comparé à celui de souris également programmées pour développer la maladie, mais n'ayant pas reçu le vaccin. Les chercheurs ont constaté que les souris immunisées par le vaccin avaient moins de plaques amyloïdes que les souris

non vaccinées. On espère que l'immunisation par le peptide aidera non seulement à la prévention de la maladie mais aussi à son traitement. Les prochains essais s'effectueront sur l'homme.

P. R.



Plaques de protéine observées dans le tissu cérébral d'un sujet atteint d'Alzheimer.

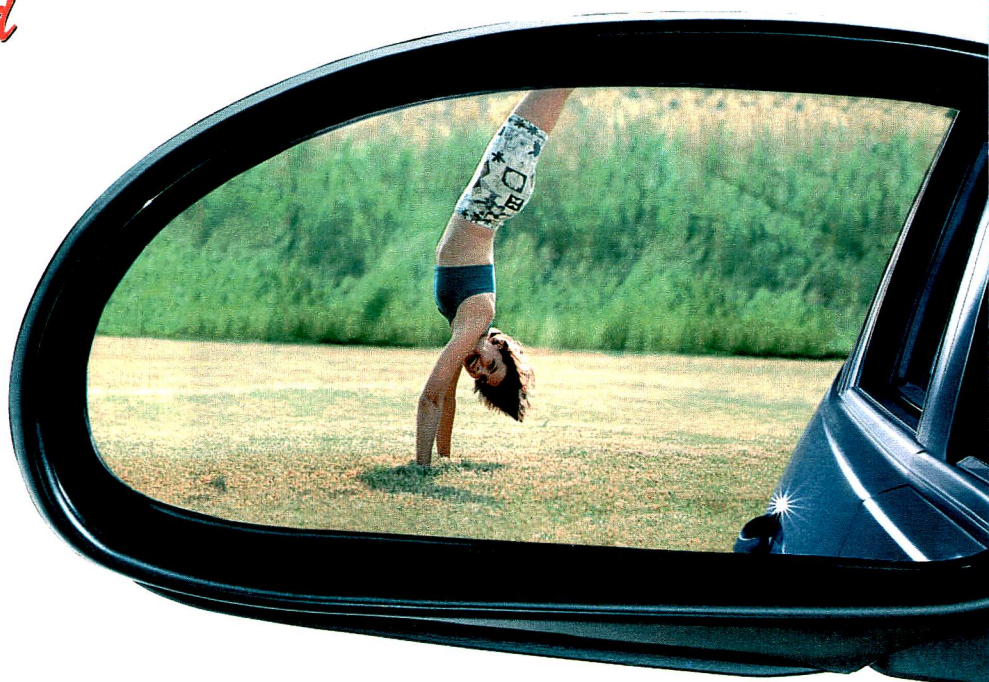
MÉDECINE

Le porc, meilleur ami de l'homme

Le risque de contamination virale freine l'essor des greffes d'origine animale (xénogreffes). Cet obstacle pourrait bien voler en éclats. Une étude présentée dans *Science* (n° 5431) a porté sur 160 personnes ayant subi des greffes d'organes de porc ou dont l'organisme est entré en contact avec des cellules porcines. Ces patients ne présentent pas d'infection communiquée par leur donneur. Ces travaux pourraient accélérer les expérimentations de xénogreffes chez l'homme. Modifieront-ils l'avis défavorable du Comité français d'éthique (voir p. 46) ?

I. B.

IdéeFord



Ne pensez qu'à vous nous avons pensé à tout.

Voyager, partir quand vous en avez envie, sans penser une seconde à votre voiture. Chez Ford, nous avons été

les premiers à comprendre que vous en rêviez.  Avec IdéeFord, finis les cauchemars habituels de

l'automobiliste :  maîtrise totale de votre budget automobile, garantie de la valeur de revente

de votre voiture au bout des deux ans et, avec le contrat d'entretien,⁽¹⁾ les révisions  et le changement

de toutes les pièces d'usure⁽²⁾  sont compris en plus de la garantie constructeur de deux ans.⁽³⁾

Et pour éviter tout stress, vous bénéficiez de l'Assistance Ford 24h/24  avec prêt d'un véhicule

en cas d'immobilisation.⁽⁴⁾ Avec IdéeFord, il ne vous reste plus qu'une seule chose à faire : profiter de la vie !

(1) En option. (2) À l'exception des pneumatiques, voir conditions générales contractuelles. (3) Dans la limite de 30 000 km pour les véhicules essence, 50 000 km pour les véhicules Diesel et dans les conditions définies dans le contrat. (4) Dans les conditions définies par le contrat. (5) LOA 25 mois. Exemple pour une Ford Ka 1.3 Pack AM 99. Prix recommande au 05/07/99 : 60 600 F⁽⁵⁾. Apport : 20% dont Depot de Garantie : 2% - 24 loyers de 1 247,55 F - Options d'achat : 30 300 F. Coût total en cas d'acquisition : 71 149,30 F. Sous réserve d'acceptation du dossier par FCE Bank plc - RCS Nanterre 392 315 776 00022.

IdéeFord

Tous les deux ans, une voiture neuve.⁽⁵⁾



RECHERCHE



Sur ce scanner, l'onguent apparaît en bleu. Injecté sous forme liquide, il s'est solidifié et repose sur une paroi de la boîte crânienne.

Sarcophage

Couronne de justification

Boîte crânienne

Pièces de lin

ARCHÉOLOGIE

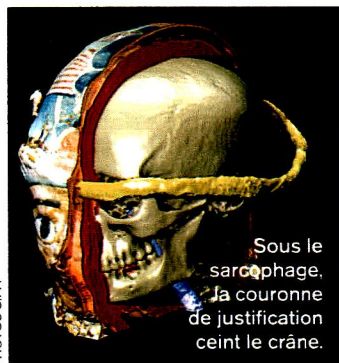
Autopsie virtuelle d'une momie

Les égyptologues de l'université de Hambourg (Allemagne) manient apparemment mieux le scanner que le scalpel. En effet, ils collaborent depuis plusieurs années avec l'Institut de mathématiques et d'informatique en médecine de Hambourg pour reconstituer en trois dimensions

l'anatomie de momies par tomodensitométrie. Ce procédé de radiographie consiste à effectuer des séries de coupes qui sont ensuite assemblées par ordinateur. L'imagerie cérébrale est une méthode non invasive, qui permet de disséquer le corps d'une momie sans la sortir de son sarcophage. Les chercheurs viennent de diffuser sur l'internet le crâne d'une momie – une femme âgée d'une trentaine d'années qui vivait il y a 2300 ans et dont les causes de la mort demeurent inconnues – qu'ils ont patiemment disséquée grâce à cette méthode.

La tache bleue visible au fond de la boîte crânienne correspond aux onguents à base de cire d'abeille, de résine, et d'huile aromatique que les embaumeurs injectaient dans le corps pour le purifier.

I. B.



Sous le sarcophage. La couronne de justification ceint le crâne.

PHOTOS SIPA

PHYSIQUE

Un synchrotron pour deux

Les chercheurs français devront partager le futur synchrotron de troisième génération avec leurs collègues britanniques. Ainsi en a décidé Claude Allègre, alors que plusieurs régions françaises étaient candidates pour accueillir le nouvel accélérateur de particules. Le ministre de la Recherche a annoncé que cet équipement lourd, nommé Diamond ("diamant"), serait implanté en Grande-Bretagne. Il sera subventionné par les deux gouvernements, ainsi que par le groupe pharmaceutique britannique Glaxo Wellcome. Cette annonce suscite la déception de nombreux scientifiques, en particulier de plusieurs membres du Comité national de suivi

du rayonnement synchrotron, dont la mission est d'évaluer les besoins des chercheurs français et d'optimiser l'emploi de l'accélérateur. La direction du Laboratoire pour l'utilisation du rayonnement électromagnétique (LURE) à Orsay dénonce une « mise en œuvre affligeante et lamentable », le projet franco-britannique ne couvrant qu'un quart des besoins de notre pays. I.B.

Claude Allègre, ministre de la Recherche.

D. GUYOT/AEP

SP Winter Sport M2

Le pneu "chasse-neige"



SP Winter Sport M2

Affronter la poudreuse ? Le défi est relevé ! De larges canaux longitudinaux, un profil directionnel original, un mélange de gommages au coefficient d'adhérence très élevé, le pneu SP Winter Sport M2 agit comme un véritable "chasse-neige". Tout en lui participe à une évacuation accélérée de la neige. Résultat : les limites de la glisse sont repoussées et la tenue de route est irréprochable. La piste est libre : à vous de tracer la route !

 **DUNLOP**
LA PASSION DU FUTUR

www.dunlop.fr

L'arbre de la discorde

Une loi de l'évolution vient d'être rendue publique par l'Académie des sciences. Révolutionnaire, elle est déjà largement critiquée...

L'évolution des espèces vivantes est classiquement représentée par un arbre. Dans une étude publiée par l'Académie des sciences, Jean Chaline, directeur de recherche à l'université de Bourgogne, à Dijon, pousse l'allégorie beaucoup plus loin : « L'arbre de la vie est vraiment un arbre, structuré de manière fractale comme les végétaux. » Dans le chaos de l'évolution se cacherait donc une structure mathématique hautement ordonnée.

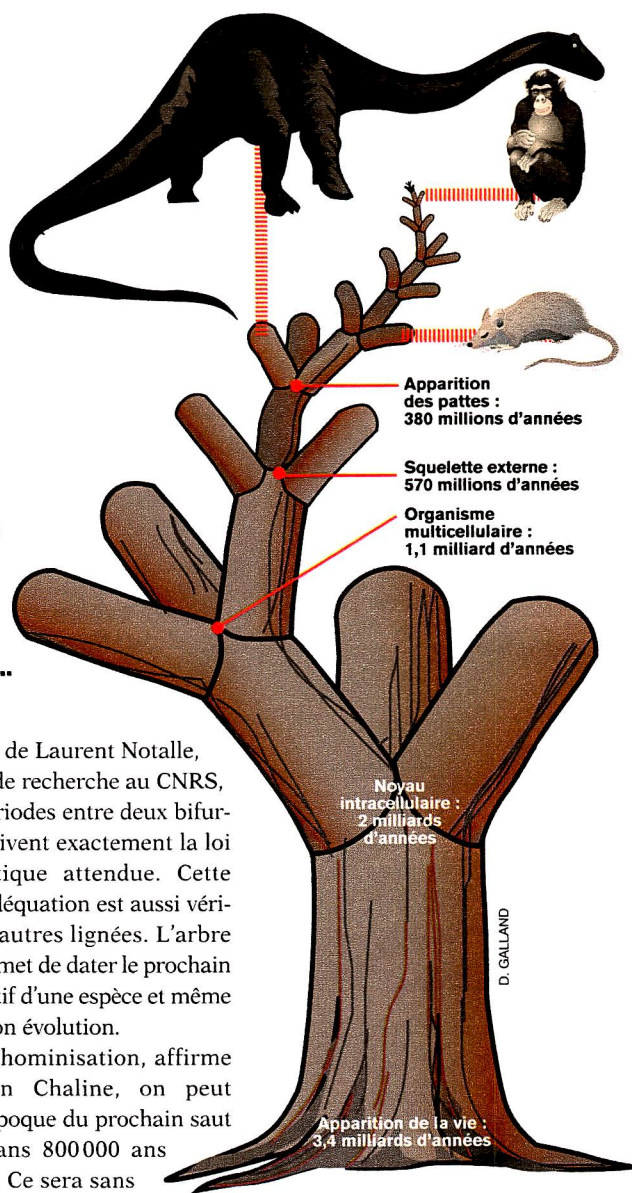
Un arbre fractal est une forme géométrique constituée d'un tronc qui se sépare en branches, qui elles-mêmes se scindent en rameaux. Le processus se répète indéfiniment et les longueurs des branches se réduisent suivant une loi mathématique. Pour vérifier que l'arbre de l'évolution a précisément cette structure fractale, Jean Chaline a sélectionné dans l'histoire les sauts évolutifs majeurs (comme l'apparition du squelette ou celle des pattes) depuis les premières formes de vie jusqu'à l'*Homo sapiens*. Il remarque alors,

avec l'aide de Laurent Notalle, directeur de recherche au CNRS, que les périodes entre deux bifurcations suivent exactement la loi mathématique attendue. Cette parfaite adéquation est aussi vérifiée sur d'autres lignées. L'arbre fractal permet de dater le prochain saut évolutif d'une espèce et même la fin de son évolution.

« Pour l'hominisation, affirme ainsi Jean Chaline, on peut prédire l'époque du prochain saut majeur dans 800 000 ans environ. » Ce sera sans doute le dernier saut évolutif de notre lignée !

Les réactions ne traînent pas. Beaucoup sont très critiques. Elles se concentrent principalement sur la notion de saut évolutif majeur, nulle part définie. « Le choix des dates des sauts est profondément anthropomorphique, souligne Philippe Janvier, du Muséum national d'histoire naturelle. Par exemple, l'apparition des pattes, retenue ici comme saut majeur, n'a pris toute son importance qu'une fois les êtres vivants sortis de l'eau. Cette évolution n'était à l'époque qu'un

événement mineur, ne facilitant que le déplacement aquatique. » Pour son collègue Guillaume Lecointre, « Chaline ne retient que les dates qui l'arrangent. Un choix différent, mais tout aussi légitime, ne vérifierait plus du tout la loi de répartition décrite ». H. P.



Dans l'arbre de Jean Chaline, à chaque nœud, trois embranchements se séparent. Le rapport entre deux branches successives est $\sqrt{3}$. L'arbre a, en fin de compte, une longueur finie, et l'évolution des espèces est limitée dans le temps.



Ce n'est pas parce que vous utilisez
toujours la même couleur que
les autres doivent finir à la poubelle.

BJC-6000
L'IMPRIMANTE
ÉCONOME

Canon

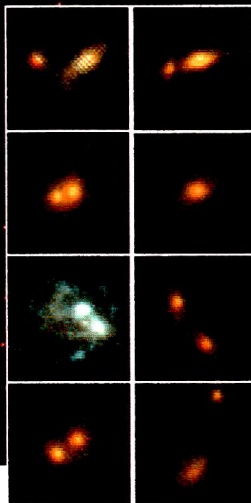
La nouvelle BJC-6000 est décidément l'imprimante toutes qualités. Économique : son système de réservoirs d'encre séparés vous permet de ne remplacer que la couleur d'encre épuisée et non un bloc de trois couleurs. Qualité d'impression exceptionnelle : haute résolution de 1440 dpi associée à la Drop Modulation TechnologyTM (modulation de la taille de la goutte d'encre) et son encre noire pigmentée. Enfin, la rapidité, une qualité non négligeable : 8 pages / minute en monochrome et 5 pages / minute en couleur grâce à l'impression bi-directionnelle. | www.canon.fr | Serveur vocal / Fax : 08 36 68 47 87 (2,23 F TTC/min).



BJC-6000

RECHERCHE

L'amas de galaxies MS 1054-03, observé par *Hubble*, est le siège de nombreuses collisions.



NASA

ARCHÉOLOGIE

Une carte de la Lune de 6000 ans

Les ancêtres des Celtes en savaient peut-être plus long sur les astres qu'on ne l'imagine. Quatre mille ans avant notre ère, un artiste du Néolithique a gravé dans la pierre un dessin qui ressemble à une carte de la Lune. C'est du moins ce qu'affirme le planétologue canadien Philip Stooke (université de l'Ontario de l'Ouest). En examinant par hasard les bas-reliefs du site irlandais de Knowth Tomb, l'astronome aurait reconnu non sans surprise une représentation de notre satellite, avec ses marques circulaires

(cratères et mers). Cette découverte relatée dans la revue *Discover* (n° 8) surprend quelque peu les spécialistes.

« Si l'intérêt de ces peuples pour la Lune était réel, commente Jean-Pierre Mohen, du Laboratoire de recherche des musées de France, ils n'avaient pas d'autre système d'observation que l'œil... » Un instrument d'optique cependant suffisant pour distinguer les structures lunaires les plus importantes... M. P.



D.R.

ASTRONOMIE

Fracas de galaxies

Comment se sont formées les premières galaxies de l'Univers? À cette question les astronomes répondent par deux hypothèses. L'une suggère qu'il se serait produit, plus de 300000 ans après le big bang, une "flambée" de galaxies au cours de laquelle la plupart de celles qu'on observe aujourd'hui se seraient formées. L'autre met en avant la fusion continue de petites galaxies donnant naissance à des galaxies de plus en plus grosses. Une équipe d'astronomes européens des uni-

versités de Groningue et de Leyde (Pays-Bas) vient de faire, avec le télescope spatial *Hubble*, une observation qui étaye le second scénario. Dans le lointain amas MS 1054-03, distant de 8 milliards d'années-lumière, ils ont remarqué que 13 des 81 galaxies qui le composent sont distordues par une collision récente ou se trouvent en "interaction" avec une autre galaxie.

Le nombre de collisions, particulièrement élevé, est compatible avec l'hypothèse de la formation des galaxies par fusion. Ph. H.

PHYSIQUE

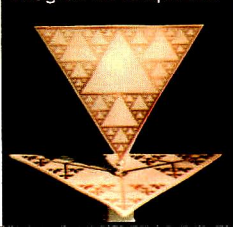
LE TÉLÉPHONE FRACTAL

■ Les antennes de radio et de téléphone portable vont acquérir une dimension fractale. Deux mathématiciens ont recouru aux équations de Maxwell, qui régissent le comportement des ondes, pour démontrer que ce type de structure capte une très large bande de fréquences avec plus de

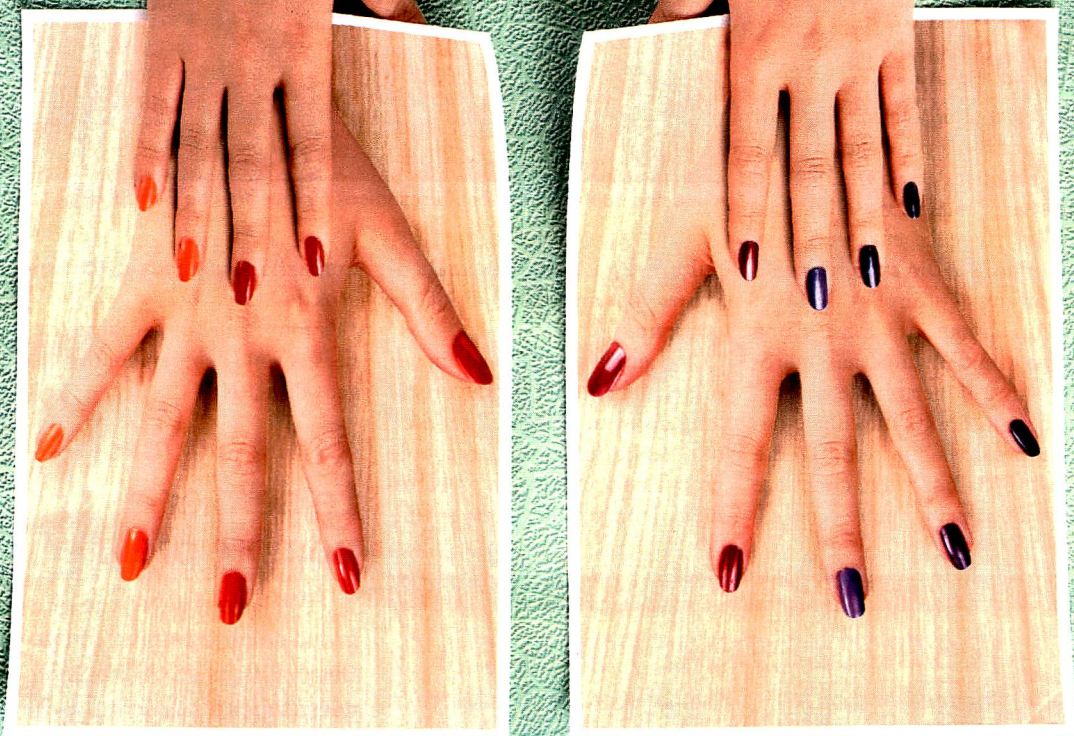
précision que des antennes classiques deux fois plus grandes. Robert Hohlfeld et Nathan Cohen ont fondé leur propre entreprise de fabrication d'antennes fractales (dans lesquelles un même élément

se répète à diverses échelles), qui devraient bientôt faire leur apparition en France. H. P.

L'antenne fractale sera intégrée au téléphone.



FRactal Antenna Systems Inc



Quand on crée des nuances,
on attend d'une imprimante qu'elle
les restitue au doigt et à l'œil.

BJC-6000
L'IMPRIMANTE
PHOTOREALISM™

Canon

La nouvelle BJC-6000 est décidément l'imprimante toutes qualités. Haute résolution 1440 dpi et qualité du rendu exceptionnelle grâce à la Drop Modulation Technology™, l'impression en 6 couleurs (en option) et une encre noire pigmentée. La BJC-6000 a aussi la qualité de vous faire faire des économies puisqu'elle dispose de réservoirs d'encre séparés par



couleur.

Enfin, elle possède une qualité non négligeable : la rapidité, 8 ppm en monochrome et 5 ppm en couleur

grâce à son impression bi-directionnelle. | www.canon.fr | Serveur vocal / Fax : 08 36 68 47 87 (2,23 F TTC/mn).



BJC-6000

RECHERCHE

ARCHÉOLOGIE

Un village mérovingien sous le bitume

C'est tout un ancien village qui sort peu à peu de terre sur le chantier de la RN 14, près de Sarrebourg (Moselle). Les fouilles d'urgence, effectuées sous l'autorité de la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC), ont mis au jour les vestiges d'une chapelle et d'un cimetière mérovingiens à la périphérie de Sarrixin-de-la-Forge, un village détruit lors de la guerre de Trente Ans (1618-1648). Le cimetière pourrait contenir quatre cents sé-



MAX PPP/LE RÉPUBLICAIN LORRAIN

L'une des quatre cents sépultures mises au jour près de Sarrebourg.

pultures qui, selon les archéologues, datent de 400 à 800 de notre ère.

Cinq autres sites archéologiques ont également été découverts le long du futur tracé de la route : une habitation et une nécropole protohistoriques (datant probablement de l'âge du fer), une habita-

tion gallo-romaine et deux maisons du Moyen Âge.

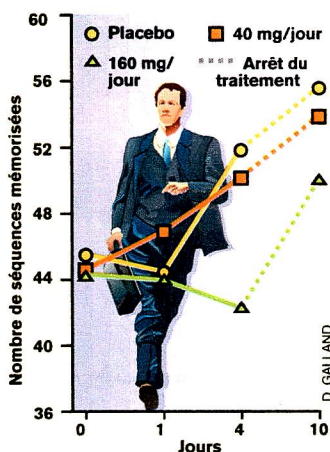
Ils font l'objet de fouilles effrénées, avant l'achèvement des travaux de la RN 14.

I. B.

NEUROPSYCHOLOGIE

JE STRESSE, DONC J'OUBLIE

■ Un stress extrême subi pendant plusieurs jours altère la mémoire. « On se souvient de la peur, mais on oublie les détails », assure John Newcomer, responsable d'une étude publiée dans *Archive General Psychiatry* (n° 56).



Pour parvenir à cette conclusion, le chercheur américain a étudié l'action sur la mémoire du cortisol, une hormone sécrétée par le cerveau lors d'un stress. Les personnes qui reçoivent une dose quotidienne élevée de cortisol (160 mg) correspondant à un stress extrême ont beaucoup de mal, au bout de quelques jours, à se souvenir d'un court texte lu trente minutes auparavant. Ces effets disparaissent progressivement à la fin des injections. En revanche, les personnes qui ont reçu 40 mg de cortisol par jour, une dose correspondant à un stress ordinaire (travail, fatigue...), n'ont pas de perte de mémoire. De quoi rassurer les étudiants anxieux avant leurs examens. H. P.

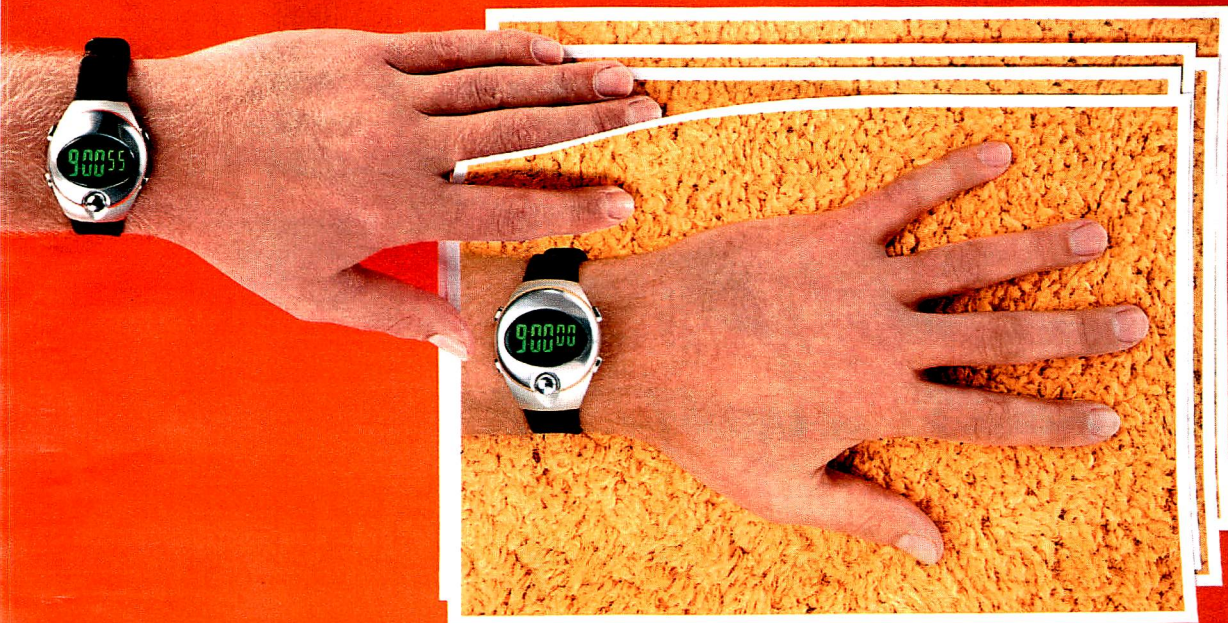
MATHÉMATIQUES

Le dernier nombre premier

$2^{6972593} - 1$ est devenu le plus grand nombre premier connu. Deux millions de chiffres sont nécessaires à son écriture. Pour établir ce nouveau record (l'ancien ne dépassait pas la barre du million de chiffres), le mathématicien amateur américain Nayan Hajratwala a fait "travailler" simultanément plus de vingt mille ordinateurs répartis dans le monde entier. Ces travaux permettent de développer de nouvelles techniques informatiques de calcul en réseau.

H. P.

Ont collaboré à cette rubrique : Philippe Henarejos, Anick Perreault-Labelle, Marie Persidat, Hervé Poirier, Pierre Rossion.



Ceux qui n'ont pas de temps
à perdre comprendront vite à quel
point elle va vite.

BJC-6000
L'IMPRIMANTE
RAPIDE

Canon

La nouvelle BJC-6000 est décidément l'imprimante toutes qualités. Rapide : 8 pages / minute en monochrome

et 5 pages / minute en couleur grâce à l'impression bi-directionnelle. Economique : son système de

réservoirs d'encre séparés vous permet de ne remplacer que la couleur d'encre épuisée et non un

bloc de trois couleurs.




Enfin, une qualité d'impression exceptionnelle : haute résolution de 1440 dpi associée à la Drop Modulation Technology™ (modulation de la taille de la goutte

d'encre) et son encre noire pigmentée. | www.canon.fr | Serveur vocal / Fax : 08 36 68 47 87 (2,23 F TTC/min).



BJC-6000



Le coyote a besoin d'un important espace vital. Il fuit les zones où il n'en dispose plus.

Prédateur disparu, équilibre rompu

G. LACZ/SUNSET

La disparition du coyote dans certaines régions entraîne celle de sa proie naturelle, l'oiseau de brousse. Explication d'un paradoxe qui montre l'extraordinaire fragilité d'un écosystème.

Lorsqu'un prédateur ne trouve plus sa proie naturelle – celle-ci ayant quitté la région – il est logique qu'il aille chercher sa pitance sur d'autres terres.

Kevin Crooks, du département de biologie de l'université de Californie (Los Angeles), et Michael Soule, du Wildlands Project au Colorado, décrivent pour la première fois un étonnant exemple de la relation inverse : la disparition d'un

prédateur peut aussi entraîner la disparition de sa proie...

Le coyote est un prédateur qui a besoin d'un important espace vital. Il ne peut donc survivre dans les zones fragmentées par l'urbanisation. Ainsi a-t-il été progressivement chassé de la côte sud de la Californie, *a priori* pour le plus grand bonheur de sa proie, l'oiseau de brousse. Mais les analyses détaillées, concernant les espèces présentes dans une trentaine de

régions de cette côte, publiées dans un récent article de *Nature* (vol. 400) montrent que la disparition du coyote laisse le champ libre à une multitude de nouveaux petits prédateurs. Chats, moufettes, renards, opossums ou rats laveurs s'adaptent beaucoup mieux à l'urbanisation et profitent de la disparition du gros prédateur pour décimer des populations entières d'oiseaux.

L'équilibre lentement établi entre coyotes et oiseaux de brousse est totalement rompu. En moins de deux ans, certaines régions sont vidées de leurs volatiles. Tout un écosystème a disparu.

H. P.

AMOURS SOUS PATCH

■ Oublié le romantisme ! Quand la survie d'une espèce est en jeu, le patch à hormones risque de remplacer le filtre d'amour... Rebecca Holberton, biologiste de l'université du Mississippi, essaie de réveiller les instincts de reproduction des oiseaux en voie de disparition, plus soucieux de survivre que d'assurer leur descendance. Avec son collègue John F. Cockrem de l'université néo-zélandaise de Massey, la chercheuse a conçu un patch qui, une fois placé sous l'aile de l'animal, diffuse un mélange d'hormones et d'huile végétale à travers la peau. Ce dispositif est actuellement testé sur des cailles,



Kakapo de Nouvelle-Zélande.

afin de prendre en compte le rôle du facteur stress dans la reproduction et d'ajuster le dosage des hormones. *Scientific American* (vol. 281, n° 2) rapporte que dans deux ans les kakapos de Nouvelle-Zélande (*Strigops habroptilus*) seront la première espèce d'oiseaux patchés. M. P.



Pulpe de betterave, déchet provenant de l'industrie sucrière.

CHIMIE

Des déchets pour assainir

Jean-François Thibault et son équipe de l'INRA de Nantes (Loire-Atlantique) affirment que la pulpe de betterave, déchet issu des industries sucrières, pourrait servir à absorber les métaux lourds présents dans les eaux rejetées par les usines. La pulpe de betterave n'a pas la propriété de gélifier comme la plupart des pectines puisqu'elle compte peu de molécules méthylées ($-COOCH_3$). Elle est en revanche capable de capter des ions métalliques, grâce aux molécules appartenant au groupe latéral acide carboxylique ($-COOH$). Les chercheurs proposent de multiplier ces capacités. M. P.

ANT/SUNSET

ZOOCHORIE

Un lémurien ou rien

Les forêts de l'est de Madagascar sont uniques : elles possèdent à la fois la plus grande diversité de végétaux au monde et la plus petite d'animaux disperseurs de graines. Depuis les premiers peuplements humains, il y a deux mille ans, 97 % des forêts ont été détruites, et la surface restante est très fragmentée. Mais le primatologue Jorg Ganzhorn, de l'université de Hambourg (Allemagne), affirme que le lémurien brun peut contribuer à lui seul à la régénéra-

tion de la forêt. En analysant les matières fécales des différents lémuriens, il a découvert que sur les 177 espèces d'arbres de la forêt, au moins 20 sont dispersées par le lémurien brun. Comme ils sont les seuls animaux à pouvoir ingérer et excréter les grosses graines de ces arbres, Jorg Ganzhorn estime que les programmes de protection doivent avant tout prendre en compte les lémuriens avant d'essayer de protéger uniquement les espèces végétales. M.-S. G.



ECONOMIE

Le prix du vert

Le coût de la protection de l'environnement en France a atteint 2480 F par habitant, en 1997.

ENVIRONNEMENT

COÉVOLUTION

L'écho de la chauve-souris

La fleur d'Amérique centrale qui porte le nom de *Mucuna holtonii* a trouvé la bonne solution pour attirer la chauve-souris pollinisatrice *Glossophaga commissarisi*, nectarivore indispensable à sa reproduction : grâce à la forme d'un pétale concave, le vexillum, elle réfléchit les ondes sonores émises par la chauve-souris et les lui renvoie. C'est aux zoologues Dagmar et Otto von Helversen, de l'université d'Erlangen (Allemagne), qu'on doit cette découverte. Les chercheurs ont com-



Belle stratégie : *Mucuna holtonii* attire la chauve-souris pollinisatrice *Glossophaga commissarisi*.

O. VON HELVERSEN

mencé par étudier les diverses parties de la fleur. Elle se compose de deux pétales, disposés en étui, qui forment une carène pour protéger les organes reproducteurs, de deux autres pétales de part et d'autre de la carène, et du vexil-

lum, dressé au-dessus. Ils ont constaté que les fleurs dont ils avaient ôté ou bouché le vexillum étaient beaucoup moins visitées. Les scientifiques ont ensuite étudié les propriétés de réflexion du vexillum. Malgré sa petite taille, il réfléchit la majeure partie des ondes que la chauve-souris émet avec son sonar pour se déplacer. Cette dernière repère ainsi facilement la fleur parmi l'abondante végétation de la forêt tropicale, et, se nourrissant du nectar, recueille sur ses poils le pollen propulsé par les étamines.

M.-S. G.

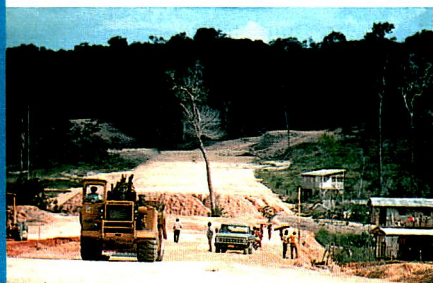
PÉDOLOGIE

SOUS LE BULLDOZER, LE VER

■ Une des conséquences de la déforestation massive en Amazonie est le tassement du sol, provoqué par les bulldozers qui transportent les troncs. Transformer la forêt en pâturages provoque la disparition de 80 % des espèces qui peuplent le sol forestier (fourmis, vers, termites). Une espèce de ver de terre, *Pontoscolex corethrurus*, envahit alors ce sol, constituant plus de 90 % de la biomasse d'invertébrés. Eleusa Barros,

de l'Institut brésilien de recherche amazonienne, à Manaus, et Armand Chauvel, de l'Institut de recherche pour le développement, à Paris, ont découvert que ce ver tasse le sol encore plus que les bulldozers. Pendant la digestion du ver, la compaction exercée – deux fois plus forte – réduit le volume des pores de la terre qui assurent la circulation et la rétention de l'eau utilisable par les plantes. En outre, les constituants biologiques de la terre disparaissent presque

totalement dans les déjections dont la masse, qui dépasse les 100 tonnes par hectare et par an, provoque la mort des végétaux, privés d'eau et d'oxygène. La solution pour redonner au sol ses qualités consiste à réintroduire des espèces "décompactantes" – les termites ou d'autres espèces de vers. M.-S. G.



Dans la forêt amazonienne, les bulldozers pèsent moins que *Pontoscolex corethrurus*.

H. COLLART ORDINETZ/SYGMA

EXPOSITION

Les naturalistes tiennent salon

La galerie de botanique du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, ouvrira ses portes au IV^e Salon des artistes naturalistes, du 27 octobre au 21 novembre. Peintres, sculpteurs et photographes témoignent de la diversité de la faune et de la flore.

Ont collaboré à cette rubrique : Marie-Sophie Germain, Marie Persidat, Hervé Poirier.

TOTAL Activa 9000 5W30.

L'huile qui fait économiser jusqu'à un plein par an.



Pour la plus grande sérénité de votre trappe à essence, TOTAL Activa 9000 5W30 Technologie Avancée fait rimer technologie avec économie. Non contente de protéger les moteurs et de leur garantir une longévité exceptionnelle, cette nouvelle huile très hautes performances, fruit d'une nouvelle technologie de synthèse, permet en effet d'économiser 5% de carburant en moyenne et jusqu'à 8% dans la phase de démarrage - la plus gourmande en énergie. L'air de rien, cela représente jusqu'à un plein de carburant par an (sur la base de la consommation et du kilométrage annuel moyens). Activa 9000 5W30 vous permet en outre de contribuer à la protection de l'environnement, en réduisant les émissions de CO₂ d'environ 6% et celles de particules de 20 à 30% (moteurs diesel). Retrouvez-nous sur notre site Internet : www.lubrifiants.total.com

VOUS NE NOUS CHOISIREZ PAS PAR HASARD.



NOUVELLE OPEL

L'appel



Une chose est sûre : lorsque vous aurez essayé la Nouvelle Opel Astra DTI 16V, vous aurez plus envie de reprendre la route que vos clubs de golf. Avec son confort de conduite, que vous ressentirez dès les premiers virages grâce à son nouveau châssis et sa ligne dynamique, vous vous sentirez autant en sécurité sur la route que sur un green. Dotée aujourd'hui d'une motorisation ECOTEC Turbo-Diesel à injection directe

ASTRA DTI 16V

du volant.



McCANN

16 soupapes, la gamme Astra possède toutes les qualités qu'exige la perfection : souplesse, puissance et sobriété. Avec la Nouvelle Opel Astra 2.0 DTI 16V, vous connaîtrez un agrément de conduite supérieur à celui d'un moteur essence. Vous ne résisterez pas longtemps à l'appel du volant. **A partir de 114 900 F***

* Opel Astra Comfort 2.0 DTI 16V 3p. Mod. prés. avec options : Astra Bk Elegance 2.0 DTI 16V : 129 300 F. AM 2000.

OPEL 



Energie dans le vent

Les progrès des aérogénérateurs permettent aujourd'hui de produire de manière fiable une énergie électrique d'origine éolienne.



Près de Montélimar, à Donzère, les travaux de mise en place d'une "centrale éolienne" de 3 MW ont commencé sur le site du Grand Coudouly. Il s'agit du programme Eole 2005 d'EDF : son investissement est pris en charge par la SINERG (filiale de la Caisses des dépôts et consignations); les travaux d'installation et d'exploitation ont été confiés à Spie Trindel. EDF s'est engagée à acheter l'électricité produite.

D'origine danoise, les cinq éoliennes sont placées sur deux

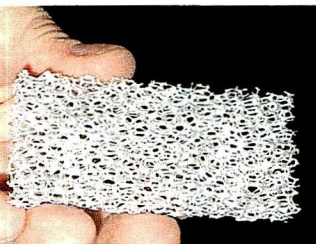
lignes et orientées en permanence face au mistral, le vent dominant de la région. L'électricité est fournie sous 690 V, tension relevée à 20 000 V par un transformateur placé sur le socle de béton qui sert de base à chaque éolienne. La production annuelle correspond à la consommation (hors chauffage) d'une ville de 10 000 habitants.

A côté de ce type d'éoliennes dont la production d'électricité est vendue à EDF, Traverre Aérogénérateurs, société basée dans la région niçoise, commercialise trois types d'éoliennes destinées à l'élec-

trification de sites isolés. Leur puissance respective est de 200 à 400 W, de 600 à 1 100 W et de 1 800 à 5 400 W. Ces chiffres s'entendent avec une vitesse du vent de 8 m/s (un peu moins de 30 km/h). Les supports des aérogénérateurs sont adaptés à la topographie du lieu d'implantation. Ce type d'éolienne, souligne la société, convient pour alimenter des pompes électriques à eau, le chauffage de lieux d'habitation ou l'alimentation de batteries de stockage de l'énergie électrique et des équipements associés.

PROPULSION

Dopés à l'éponge



ONR

Le rendement des turboréacteurs pourrait être fortement amélioré grâce à des sortes d'éponges en métal utilisées pour fabriquer les chambres de combustion. Ces affirmations,

rapportées par le magazine *Armed Forces Journal*, sont dues à des chercheurs américains de l'Office of Naval Research. Confectionnées en métal ultra-léger et poreux, les éponges favorisent un meilleur mélange air-carburant : le rendement est amélioré de 10 à 20%. De plus, les turboréacteurs peuvent fonctionner à une altitude deux fois supérieure à l'altitude limite des moteurs actuels. Cette technique pourrait être mise en application dans cinq ou six ans. Ces éponges constituent également des isolants thermiques très efficaces et d'excellentes protections contre les déflagrations. D'où l'idée de les utiliser dans les enceintes des dépôts de munitions.

SPORTS

Gonflés, les skieurs!

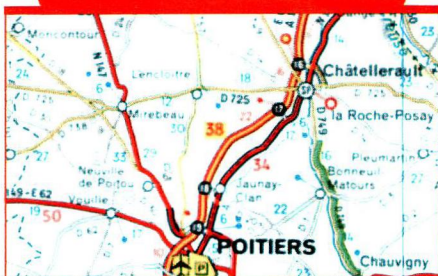
Pour les skieurs pris dans une avalanche, un Britannique a mis au point un sac à dos gonflable. Lorsqu'on tire sur un cordonnet, plusieurs ballonnets se gonflent grâce à une bouteille d'air comprimé. La bouée limite l'enfouissement du skieur en augmentant la surface de répartition du corps dans la neige. Et le skieur enfoui peut libérer l'air contenu dans les ballonnets, afin de respirer en attendant les secours.



SIPA

vous prochain voyage ?

3615 1 2 3 PARTEZ



**le meilleur
itinéraire routier,
le plus rapide,
le moins cher....
en quelques instants.**

(Excelsior Filipacchi - 2,23 F/Minute)

**COLLECTIONNEZ
LE SAVOIR
AVEC
LA RELIURE
SCIENCE & VIE**

BON DE COMMANDE
à compléter et à retourner paiement joint à SCIENCE & VIE
1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 PARIS cedex 15

**OUI, je commande reliure (*) SCIENCE & VIE
au prix de 95 francs - Etranger : 100 francs ****

*** Je joins mon règlement de francs à l'ordre de SCIENCE & VIE**

NOM Prénom

ADRESSE VILLE

CODE POSTAL

(*) Chaque reliure est conçue pour classer 12 numéros (**) Dans la limite des stocks disponibles
OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 99

Revue 8 571312723

TECHNOLOGIE

GÉNIE CIVIL

Du carbone en renfort

Naguère limité aux industries de pointe (espace, aéronautique), les fibres de carbone conquièrent de nouveaux domaines d'application. C'est le cas dans le génie civil et le bâtiment, qui emploient du tissu de fibres de carbone comme renfort de constructions en béton, de ponts, de soutènements, de réservoirs, de structures porteuses, de monuments historiques, etc. Il remplace les tôles métalliques collées, dont la mise en œuvre est beaucoup plus compliquée. La technique de renfort par tissu de fibres de carbone a été mise au point par un groupe de sociétés et d'organismes de recherche, dont Ato Findley, Freyssinet, Soficar et le laboratoire central des Ponts et Chaussées. Le tissu est appliqué sur les surfaces à renforcer : son



Du tissu de fibres de carbone, épais de moins de 1 mm, utilisé pour renforcer les constructions en béton.

imprégnation et son collage sont assurés grâce à une résine spéciale, qui durcit en quelques heures. Mis en place à l'aide d'un outillage et d'un équipement légers, l'ensemble mesure moins de 1 mm d'épaisseur.

INSTRUMENTATION

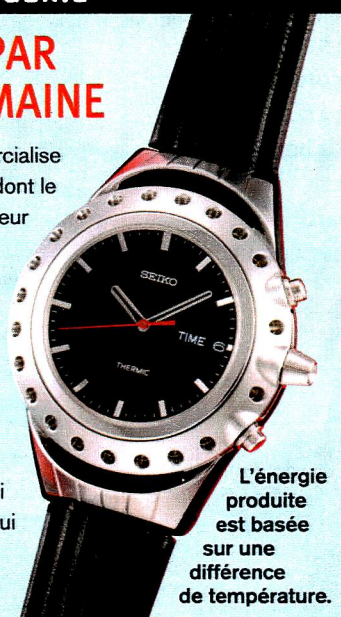
Sans souci de l'étiquette

Dans le cadre d'un projet européen Eureka, le laboratoire d'électronique, de technologie et d'instrumentation (Léti) de Grenoble travaille à la mise au point d'une étiquette électronique qui serait consommable, en raison de son faible coût. Le secret ? Son mode de lecture. L'étiquette ne contient pas de pile pour alimenter son circuit intégré. C'est le lecteur qui crée un champ magnétique, lequel est transformé en une force électromotrice par la bobine contenue dans l'étiquette. Cette force alimente le circuit intégré. L'étiquette ne devrait coûter que quelques dizaines de centimes. Elle sera utilisée d'abord pour des opérations de tri, de colis postaux et de bagages dans le transport aérien.

HORLOGERIE

ALIMENTÉE PAR LA CHALEUR HUMAINE

■ La firme japonaise Seiko commercialise depuis quelques mois une montre dont le mouvement est alimenté par la chaleur du corps. Le courant électrique nécessaire est produit par la différence de température entre l'air ambiant et la température du poignet, qui engendre une différence de potentiel sur une tige métallique (effet Seebeck). Seiko affirme qu'à une température extérieure de 26 °C, le courant ainsi produit est trois fois supérieur à celui qui est nécessaire pour faire fonctionner la Seiko Thermic.



L'énergie produite est basée sur une différence de température.

SEIKO CORP.

Attendre la nuit pour téléphoner moins cher, c'est une histoire à dormir debout.



Tarif unique
38 cts/mn TTC
partout en France*

Désormais, vous pouvez téléphoner moins cher 24h/24 grâce au tarif unique TELE2. Pour en bénéficier, c'est simple. Vous n'avez pas d'abonnement, pas de frais de dossier, pas de frais fixe, aucun engagement. Vous ne changez ni de téléphone ni de fax, vous remplacez juste le 0 par le 4 et vous êtes facturés à la seconde près au delà de la durée initiale. Alors maintenant pour téléphoner moins cher, commencez donc par un appel gratuit !

Inscrivez-vous gratuitement au **0800 44 04 04**
3615 TELE2FRANCE (2,23 F/mn) - Internet www.tele2.fr

TELE2.

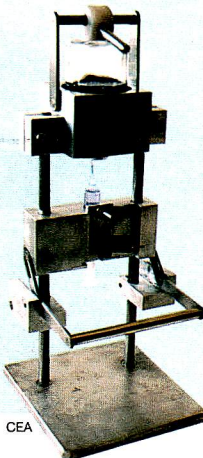
Pourquoi continuer à payer trop cher ?

* Pour tout appel en dehors de votre département, hors mobiles et numéros spéciaux ou courts et hors DOM-TOM.
Les départements 75 - 92 - 93 - 94 sont considérés comme un seul département de même pour la Corse (2A-2B). Se référer aux conditions de l'offre. Offre soumise à conditions.
Au delà de la durée initiale. Un minimum de 60 centimes est perçu sur chaque appel, correspondant à une durée initiale de 60 secondes de communication.

MATÉRIEL MÉDICAL

POUR PRÉLEVER SANS RISQUE

■ Pour manipuler des liquides contaminés ou dangereux, le CEA a inventé un dispositif de prélèvement pour aiguilles et seringues qui évite tout contact, et donc élimine pour le manipulateur tout risque de piqûre. Le dispositif permet de prélever un échantillon liquide dans un flacon fermé par un obturateur en matière souple, et d'introduire ce prélèvement dans un autre flacon. Un porte-seringues, manœuvré par un levier, coulisse sur deux colonnes verticales parallèles : l'aiguille perce l'obturateur du flacon et peut, si nécessaire, perforer un second flacon pour y injecter le liquide prélevé.



CEA

INFORMATIQUE

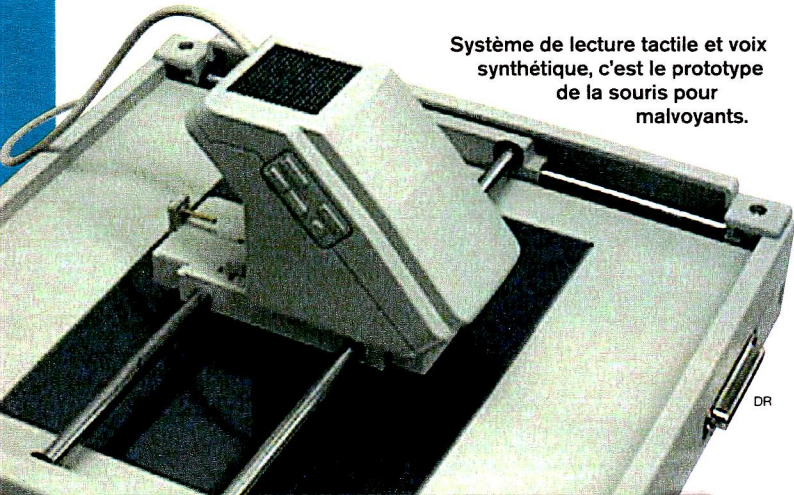
Les aveugles ont leur souris

La firme japonaise Nec Corp. a mis au point une souris pour les non-voyants, ou les mal-voyants, qui désirent utiliser un ordinateur. Cet équipement assure les fonctions habituelles d'une souris. Sur le dessus de celle-ci, un plateau doté de 256 points, qui reproduisent une sorte d'alphabet, permettent une lecture tactile. Un système de voix synthétique complète le procédé.

La souris glisse sur des barres, d'avant en arrière, de droite à gauche et en diagonale. Les points peuvent s'enfoncer ou se présenter

en relief, formant des signes facilement identifiables. Un triangle signifie par exemple que, sur l'écran, le curseur est pointé sur un dessin; un cercle, que le curseur est sorti du texte; un carré, que le curseur est positionné sur une icône. La voix synthétique indique alors de quelle icône il s'agit. De multiples combinaisons sont possibles. Comme les doigts sont occupés à la lecture, c'est le pouce qui clique pour commander les fonctions et les opérations. Nec Corp. travaille aujourd'hui à réduire les dimensions de cette souris prototype.

Système de lecture tactile et voix synthétique, c'est le prototype de la souris pour malvoyants.



DR

ELECTRONIQUE

Semiconducteur autoréparable

Des chercheurs israéliens du département des Matériaux et interfaces de l'Institut Weizmann, associés à des collègues français et allemands, pensent avoir mis en évidence la capacité d'un semiconducteur à se "régénérer" spontanément lorsqu'il a été endommagé. Alors qu'ils travaillaient sur le diséléniure de cuivre indium, ils ont observé que les liaisons entre des atomes de ce matériau peuvent être rompues assez facilement. Et que les atomes de cuivre peuvent se déplacer à l'intérieur de ces cristaux de semiconducteurs, jusqu'à ce qu'ils atteignent l'endroit endommagé et réparent les dégâts. Le Pr David Cahen, qui dirigeait l'équipe de recherche internationale, indique que les chercheurs ont ainsi compris pourquoi un semiconducteur apparenté encore expérimental, le diséléniure de cuivre indium gallium, qui peut être utilisé notamment pour fabriquer des cellules solaires, se révélait très stable, y compris lorsqu'il était soumis à des radiations. Une caractéristique très intéressante : les matériaux employés aujourd'hui dans la fabrication de cellules solaires étant soit très coûteux, soit instables. Ce qui n'est pas le cas du diséléniure de cuivre indium gallium.

AUTOMOBILE

La fin du coup du lapin ?

A partir de la fin de cette année, plusieurs modèles du constructeur de voitures allemand Opel seront équipés d'un appui-tête actif. Objectif : limiter les conséquences du "coup du lapin". Celui-ci survient lorsque, à la suite d'un choc arrière, la tête des occupants d'une voiture est projetée vers l'arrière, et le torse plaqué contre le dossier, provoquant des traumatismes au niveau des vertèbres cervicales. L'appui-tête actif fonctionne mécaniquement. Il est enclenché par le mouvement du torse, qui provoque la remontée et l'avancée de l'appui-tête. La distance entre ce dernier et la tête diminue, réduisant d'autant le traumatisme infligé aux vertèbres cervicales.

L'appui-tête actif est enclenché par le mouvement du torse.

OPEL

AÉRONAUTIQUE

Piloter sans voler

Un inventeur argentin a mis au point un simulateur de vol pour hélicoptère qui permet de répéter les manœuvres de pilotage sans quitter la proximité du sol. L'engin s'élève à 90 cm au-dessus de sa plate-forme de base. Le pilote se familiarise avec les sensations procurées par la conduite de ce type d'appareil, et s'entraîne aux manœuvres d'urgence en cas de panne.



Mise au point minimum : 3,5 mètres environ



Suivi automatique en mode équatorial des objets célestes



C'est aussi un puissant téléobjectif pour vos photos

**MEADE
ETX-90/EC
4950 F_{TT}C**

**Pour un bonheur
que rien n'éclipse...**

Le nouveau télescope MEADE ETX-90/EC, ultra-compact ultra-transportable a reçu toutes les dernières modernisations. Tout est fait pour faciliter son utilisation, même pour les débutants. Le suivi des objets célestes est ais grâce à sa raquette de commande électronique.

Le nouveau MEADE ETX-90/EC ne se limite pas à l'observation du ciel. Très léger (4,1 Kg), vous l'emporterez partout pour observer les beautés de la nature, les animaux en forêt le détail d'une architecture ou un bateau à l'horizon.

Grâce à sa mise au point de 3,5 mètres à l'infini, rien n vous échappera. De plus, le nouveau MEADE ETX-90/EC devient un puissant téléobjectif que vous pouvez adapter à votre appareil photo. Et le bonheur sera total...

Liste des revendeurs
sur simple demande au
01 43 39 91 36



90mm Maksutov-Cassegrain

paralux Importé et garanti par
Professionnel de l'optique depuis 1914

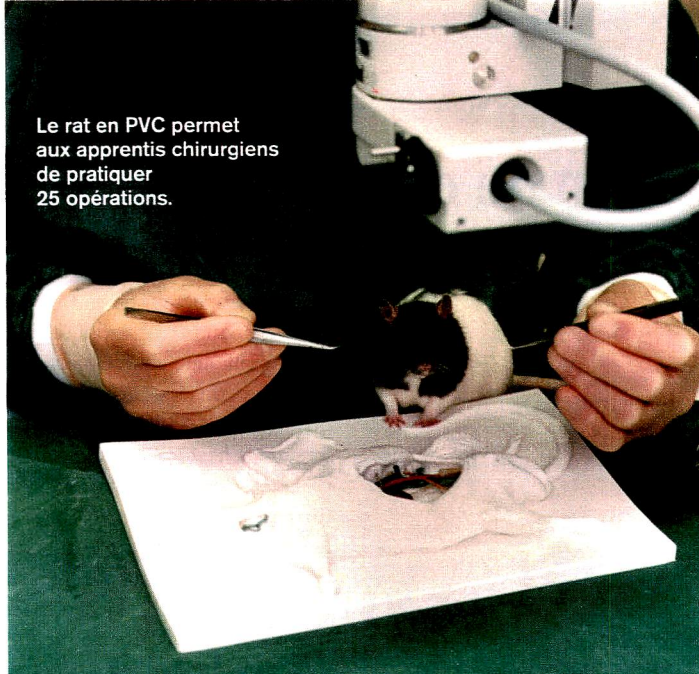
TECHNOLOGIE

CHIRURGIE

Un rat en plastique sur le billard

Afin de se familiariser avec les techniques complexes de certaines opérations, les étudiants chirurgiens ne devraient plus avoir à s'entraîner sur des rats, qu'il faut le plus souvent sacrifier. Le rat en plastique PVC de Microsurgical Developments leur permet de pratiquer quelque vingt-cinq opérations. Le projet a été financé par une organisation néerlandaise, Plate-forme pour les alternatives à l'expérimentation animale, fondée avec le soutien des pouvoirs publics, de quelques sociétés pharmaceutiques et de plusieurs organisations de protection animale. Le premier exemplaire de ce rat en plastique PVC a été remis au ministre de la Santé des Pays-Bas.

Ce nouvel outil de formation est un rat grandeur nature fabriqué dans un PVC spécialisé, développé par le groupe Solvay, l'une des cinquante premières sociétés



Le rat en PVC permet aux apprentis chirurgiens de pratiquer 25 opérations.

SOLVAY

pharmaceutiques mondiales. Le but visé étant bien entendu de réduire radicalement le recours aux animaux de laboratoire.

D'autant que lors de la phase initiale d'apprentissage des techniques de microchirurgie, un nombre élevé d'animaux peuvent être sacrifiés. Cet "animal" de laboratoire permet de pratiquer, notamment, des techniques de suture en boutonnière et de suture simple des vaisseaux sanguins, ainsi que des transplantations d'organes tels que le foie et le cœur.

SÉCURITÉ

Le calculateur prend le volant

L'étude du comportement d'un conducteur permet de détecter ses intentions futures et de prévoir qu'il se prépare à commettre une faute de conduite.

Partant de ce principe, des chercheurs américains du Massachusetts Institute of Technology, ont conçu un système de surveillance basé sur des capteurs installés sur les commandes, le volant, l'accélérateur, le frein. Les paramètres collectés par ces capteurs sont analysés par un calculateur, qui peut "prédire" les intentions du conducteur et avertir ce dernier s'il s'apprête à commettre une faute.

CONSTRUCTION

LA PÂTE CONTRE LE BRUIT

■ La société suédoise Auson a développé un produit, le Noxudol 3100 qui, appliqué sur les voitures, les coques de bateaux, les systèmes de ventilation, etc., amortit très efficacement les vibrations, donc le bruit. Selon les essais comparatifs réalisés en Suède, la capacité d'amortissement serait deux fois supérieure à celle des produits bitumineux couramment utilisés dans ce domaine, dont le poids est de 50 % supérieur. Le Noxudol 3100 protège aussi de la corrosion et n'absorbe pas l'eau. Il peut donc être utilisé dans la construction navale.

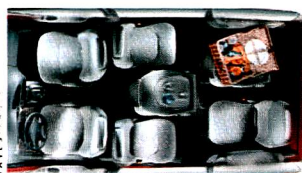


AUSON



Seat Alhambra.
A partir de 125.950 F*

19.200,96 €



Espace entièrement modulable

Selon les versions, vous pouvez disposer des équipements suivants : ABS avec répartiteur électronique de freinage EBV, climatic, régulateur de vitesse, ordinateur de bord, télécommande de verrouillage centralisé, autoradio cassette à commande au volant...





Un vaccin

Shigelles.
Ces bactéries
provoquent
des diarrhées
fréquentes et
douloureuses.

contre la dysenterie

DR KARI
LOUNATMAA/
SPL/COSMOS

Au terme de plusieurs années de recherches, un projet de vaccin peu onéreux et administré en une seule prise apporte un réel espoir.

Les shigelles sont des bactéries qui pénètrent dans les cellules intestinales et provoquent de violents accès de dysenterie. L'hygiène est sans doute la meilleure protection – malheureusement difficilement observable dans les régions pauvres du monde, les plus concernées par la maladie. Les traitements antibiotiques sont efficaces, mais trop chers pour ces mêmes pays. Ce qu'il faudrait, c'est un vaccin bon marché.

Les premiers pas dans ce sens viennent d'être franchis grâce au travail de l'équipe de Philippe Sansonetti, à l'Institut Pasteur de Paris. Les chercheurs ont identifié les gènes nécessaires à la pénétration de *Shigella flexneri*, responsable de la forme endémique de la shigellose, dans les cellules. Ces gènes ont donc été mutés chez les bactéries qui composent le vaccin. Ces shigelles ne peuvent plus passer d'une cellule à l'autre ni survivre.

Ce candidat vaccin a été testé aux

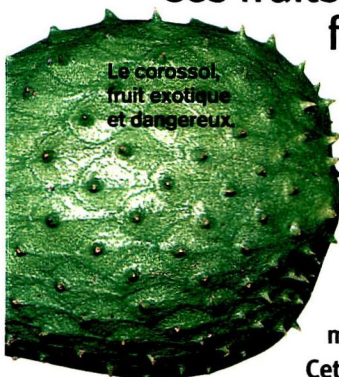
Etats-Unis sur des volontaires sains, dont aucun n'a été malade après l'injection de bactéries virulentes. Les essais en zone d'endémie sont en cours.

Le candidat vaccin de Philippe Sansonetti présente l'énorme avantage d'être administré en une fois par voie orale et de coûter moins de 0,5 dollar. De plus, il induit une immunisation sur les lieux mêmes de l'infection. Il reste cependant à protéger contre deux autres souches, *Shigella dysenteria*, la plus pathogène, et *Shigella sonnei*, une souche plus nordique. L'objectif est de parvenir à un vaccin unique contre les trois shigelles les plus répandues.

Ph. C.

NEUROLOGIE

Ces fruits qui rendent fous



Le corossol, fruit exotique et dangereux.

L'anone, le corossol et la pomme-cannelle engendreraient chez certains sujets le risque d'une forme atypique de la maladie de Parkinson. Cette corrélation a été

J.M. PREVOT/
SUNSET

mise en évidence par

le Dr Dominique Caparros-Lefebvre du Centre hospitalier universitaire des Antilles et de Guyane. Les trois fruits contiennent des benzyltétrahydro-isoquinolines, alcaloïdes dont la toxicité pour le cerveau a été expérimentalement démontrée chez les primates. La forme atypique de la maladie, plus grave que la forme typique, évolue fréquemment vers la démence. P. R.

PSYCHOLOGIE

Les préférences des hormones

Trois équipes de chercheurs – deux londonniennes, une japonaise – affirment qu'au cours de l'ovulation les femmes sont attirées par les hommes à l'aspect viril, alors que pendant la menstruation elles seraient plus attirées par les hommes aux traits efféminés. Les chercheurs sont arrivés à cette conclusion après avoir invité des jeunes femmes à différents stades de leur cycle à choisir sur un écran d'ordinateur les visages masculins qui les séduisaient le plus. La préférence pour les mâles virils en période de fertilité serait

Même visage, féminisé (à g.) et masculinisé (à dr.) par ordinateur.



UNIV. OF ST ANDREWS/SPL/COSMOS

liée à la recherche d'un meilleur géniteur. Les affaires de cœur – et de sexe – ne seraient-elles pas plus compliquées que ça? P. R.

FICHE-CONSEIL LUTSINE n° 1



Pour voir autre chose que vos problèmes de peau dans le miroir, essayez les soins Lutsine, le spécialiste des peaux jeunes à problèmes.

✓ Commencez par un nettoyage efficace avec Bactopur :

L'hygiène est le geste indispensable à toute amélioration. Bactopur, utilisé matin et soir, débarrasse la peau de ses impuretés, sans l'agresser. Elle est ainsi préparée pour le soin.



✓ Utilisez ensuite le soin Kératnia R :

Son action est multiple : exfoliante, désincrustante, sébo-régulatrice et apaisante. Utilisé matin et soir après Bactopur, vous verrez vite la différence.

LES CONSEILS DU DERMATOLOGUE LUTSINE :

Il faut de la persévérance pour être récompensé de ses efforts. Cela en vaut la peine, vous le constaterez. Mais évitez de tripoter votre peau, surtout avec des mains sales. Sinon gare à la prolifération des germes. Pour les cas plus sérieux, n'hésitez pas à consulter un dermatologue.

LUTSINE
ados

LUTSINE, UNE COMPÉTENCE DERMATOLOGIQUE

UROLOGIE

PROSTATE : GRANDE PREMIÈRE

■ Fait inhabituel : le jury de l'*American Urological Association* a décerné cette année son premier prix à un Français, le Dr Alexandre de la Taille, pour la découverte d'un gène, dit T6, impliqué dans la résistance hormonale du cancer de la prostate. Cette très importante découverte est le résultat d'une collaboration entre le centre de recherche chirurgicale du Pr Dominique Chopin de l'hôpital Henri-Mondor, à Créteil (Val-de-Marne) et le laboratoire d'urologie moléculaire du Dr Ralph Buttyan (université Columbia, New York) où Alexandre de la Taille est actuellement détaché. Le gène T6 empêche les cellules



Le Dr Alexandre de la Taille.

prostatiques d'être détruites sous l'effet des traitements hormonaux. Cela pourrait déboucher sur un traitement par thérapie génique de ce type de cancer, mais aussi sur un traitement immunologique : des anticorps reconnaîtraient spécifiquement les cellules résistantes et les détruiraient. P. R.

MICROBIOLOGIE

Un antibiotique qui arrive à point

Alors que le redoutable staphylocoque doré commence à résister aux antibiotiques les plus puissants, la firme Rhône-Poulenc vient de mettre sur le marché le Synercid, un antibiotique capable de le tuer, avec un taux global de réussite dans 75 % des cas. P. R.

IMMUNOLOGIE

Le BCG s'essouffle

Après plus de quatre-vingts ans de bons et loyaux services, le BCG commence à s'essouffler. Le vaccin contre *Mycobacterium tuberculosis*, l'agent de la tuberculose humaine, contient une souche atténuée de *Mycobacterium bovis*, le bacille de la tuberculose bovine. Pourquoi devient-elle moins efficace ?

L'équipe de Peter Small de l'université de Stanford, (Californie) vient de trouver l'explication en comparant les génomes de *M. bovis* et des souches de BCG disséminées dans le monde. Il a constaté que, au cours des différents processus de fabrication du vaccin, les souches vaccinales ont perdu certains éléments de leur génome, ce qui réduit leur capacité vaccinale. P. R.

TRAUMATOLOGIE

Des chiens au service des handicapés

Si les chiens rendent de précieux services aux aveugles, ils peuvent aussi en fournir aux handicapés moteurs. La preuve en a été apportée par une Américaine, Elizabeth Twohy. Devenue infirme à la suite d'une po-

lio contractée dans son enfance, elle mit à profit son labrador pour exécuter les menues tâches qu'elle était incapable d'accomplir. L'expérience ayant été concluante, elle a ouvert une société de services à Lindcroft (New Jersey). Le succès a depuis gagné tous les Etats-Unis. Avant d'être confiés aux personnes handicapées, les chiens subissent pendant deux ans un dressage intensif, qui les rend capables de ramasser les objets tombés sur le sol, d'éteindre ou d'allumer un commutateur électrique, d'ouvrir une boîte de conserve ou encore de décapsuler une bouteille.

Outre l'aide qu'elles apportent aux handicapés, ces sociétés créent des emplois. La France ferait bien de s'inspirer de cet exemple. P. R.

B. LANKER/COSMOS



Chien liftier, un précieux auxiliaire pour handicapé.

Beau, intelligent et en plus, pas cher.



OS Pro (version 1 Mo)
prix public indicatif : 1.290 F

Points de vente : FNAC, SURCOUF, HYPERMEDIA,
liste des revendeurs sur demande au 01.43.48.00.22.

OS. PRO : PERFORMANCE ET ÉLÉGANCE

Parce que votre temps est précieux, Oregon Scientific a créé pour vous l'assistant personnel OS. Pro.

Entièrement conçu pour optimiser votre temps : agenda, répertoire, mémo, calendrier, montre, alarme, calculatrice.... l'OS. Pro cumule toutes les fonctions possibles et imaginables dans la taille d'un portable.

Beau et intelligent, il vous suit dans tous vos rendez-vous. Compatible avec les principaux logiciels du marché, l'OS. Pro peut stocker avec ses 2 Mo de mémoire des milliers d'informations, échangeables avec votre ordinateur. Performant et élégant, l'OS. Pro a été conçu pour gérer l'envoi et la réception de fax et d'e-mail.



OREGON[®]
SCIENTIFIC

www.oregonscientific.fr

Dyslexie dans le cervelet

La dyslexie, qui touche entre 4 % et 10 % des individus et se manifeste par des difficultés d'acquisition des mécanismes de la lecture, aurait sa source dans une anomalie congénitale du cervelet. C'est ce que vient de démontrer l'équipe de Roderick Nicolson de l'université de Sheffield (Grande-Bretagne).

Ayant constaté que les enfants dyslexiques présentent fréquemment des troubles de l'équilibre, ces chercheurs ont mesuré l'activité cérébrale chez six dyslexiques et six témoins, répartis en deux groupes, lors d'une tâche faisant appel à l'activité des doigts.

Ils ont constaté que l'activité de



Méandres du cervelet droit, dont l'activité est diminuée chez les dyslexiques.

O. HECKES/EYE OF SCIENCE/COSMOS

la partie droite du cervelet était diminuée chez les dyslexiques et pas chez les autres sujets. Dans la dyslexie, l'anomalie du cervelet perturberait les mouvements rapides des yeux, indispensables pour la lecture. Une étude qui mérite d'être confirmée par l'utilisation d'un échantillon plus large. P. R.

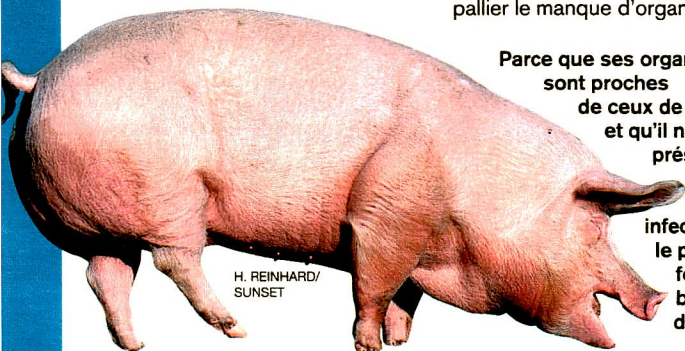
TRANSPLANTATION

XÉNOGREFFES CONTESTÉES

■ Alors que les xénogreffes – greffes d'organes d'animaux sur l'homme – sont encore loin d'être au point, le Comité national d'éthique se montre très réticent à leur développement. Pour motiver son avis, le Comité met en avant le risque de transmission à l'homme

d'agents infectieux inconnus issus de l'animal donneur, risque qui pourrait se traduire par des épidémies à l'échelon mondial. L'avis du Comité national d'éthique met donc un frein aux recherches dans un domaine que ses partisans présentent comme la seule solution pour pallier le manque d'organes. P. R.

Parce que ses organes sont proches de ceux de l'homme et qu'il ne présente pas de risques infectieux, le porc ferait un bon donneur.



H. REINHARD/SUNSET

PÉDIATRIE

Le QI, fonction du milieu

Après dix ans de recherches, une équipe parisienne de l'INSERM, dirigée par Michel Duyme, a montré que des enfants de milieux défavorisés ayant un quotient intellectuel faible (inférieur à 85, alors que la moyenne est de 100) amélioreraient leurs performances intellectuelles lorsqu'ils étaient adoptés par des familles bénéficiant d'un bon niveau socio-économique. Les gains les plus forts (19 points) sont obtenus dans les milieux où ce niveau est le plus élevé. Pour la première fois, il est démontré que l'intelligence n'est pas fixée dès la naissance, mais qu'elle peut être améliorée. P. R.

A collaboré à cette rubrique :
Philippe Chambon.

Vos cheveux commencent à tomber

Cette découverte scientifique vous intéresse.

Aujourd'hui, grâce aux avancées de la recherche, on sait prédire longtemps à l'avance l'importance d'une chute de cheveux.

La plus grande enquête épidémiologique réalisée en Europe



Bruno A. Bernard, Docteur ès Sciences.
Groupe Biologique des cheveux,
Recherche avancée L'Oréal Paris.

Pour parvenir à comprendre et à combattre l'alopecie, les chercheurs de L'Oréal ont mis en place une vaste étude sur la chute des cheveux dans le cadre de SU.VI.MAX, une enquête épidémiologique sur l'alimentation et la santé de 14.000 sujets. Pas moins de 2.178 cuirs chevelus de femmes et d'hommes ont été examinés pendant 4 ans. Résultat : une découverte capitale qui permet d'identifier aujourd'hui les alopecies de demain.

Après quatre ans d'études, les chercheurs de L'Oréal ont mis en évidence une anomalie présente chez les sujets qui vont développer une alopecie ou chute de cheveux importante : le « halo péri-pilaire ». Des mois, voire des années avant leur chute, les cheveux pré-

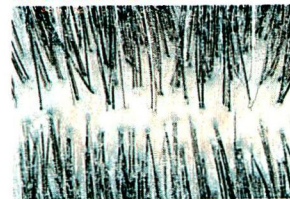
sentent à leur base un anneau cuivré visible au vidéo microscope. La découverte de ce signe précurseur de la chute est une révolution puisque désormais, on va pouvoir agir avant que le cheveu ne tombe.

Dès les premiers signes de la chute, vous êtes en mesure aujourd'hui de la traiter de façon précoce.

Cuir chevelu apolécique
avec halo péri-pilaire



Cuir chevelu sain,
sans halo péri-pilaire



Pour plus d'informations, appelez un médecin au :

N°Azur 0810 02 70 00
(PRIX APPEL LOCAL)

L'importance d'une

Les découvertes récentes de signes précurseurs de la chute permettent une action de plus en plus précoce. On peut aujourd'hui enrayer efficacement le processus dès ces premiers signes. Le capital cheveux est ainsi mieux préservé, ce qui permet d'éviter des traitements plus contraignants. Explications...

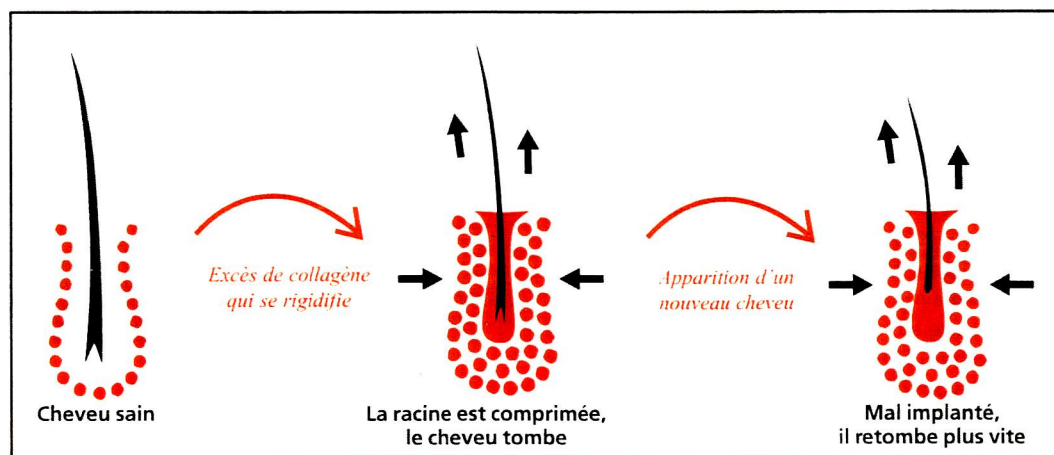
Dès les premières chutes, un phénomène associé : la rigidification des racines

C'est dans la partie la plus profonde de la racine, le «bulbe pileaire», que se décide la vie ou la mort d'un cheveu. Une découverte récente montre également qu'il existe un phénomène associé à la chute : la rigidification des racines. Explications.

Si la chute des cheveux dépend de nombreux facteurs, on sait aujourd'hui que le vieillissement prématuré des racines joue un rôle essentiel. Après dix ans de travaux, les chercheurs de L'Oréal sont parvenus à identifier un phénomène associé à la chute de cheveux : la rigidification des fibres de collagène entourant leur racine. Souple à l'origine, le collagène peut en effet, lorsqu'il mature, devenir rigide.

Résultat : cette rigidification entraîne le rejet préma-

turé du cheveu vers l'extérieur. Il est alors remplacé par un autre, plus fin, qui ne peut pas s'implanter correctement dans le derme car le collagène rigide l'en empêche. Mal implanté, il va donc tomber et être remplacé plus vite que prévu. Notre «capital cheveux» s'épuise ainsi prématurément, car la nature a prévu 25 repousses pour un même cheveu durant toute la vie d'un homme. Les cycles prévus pour couvrir une existence vont donc se succéder sur une période beaucoup plus courte et la chevelure va s'éclaircir trop vite et trop tôt.



action précoce

Aminexil®

une molécule active dès les premières chutes

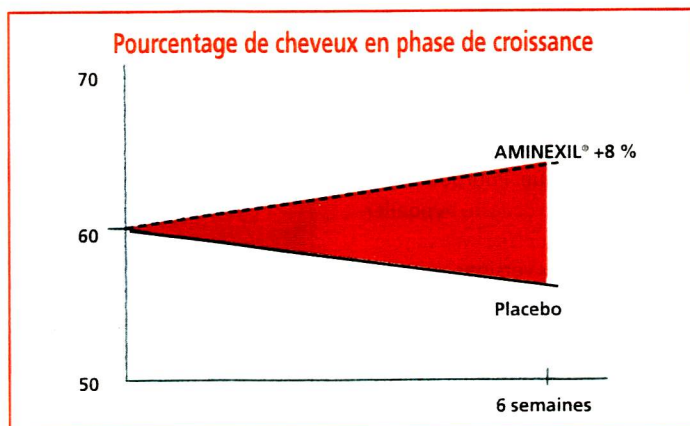
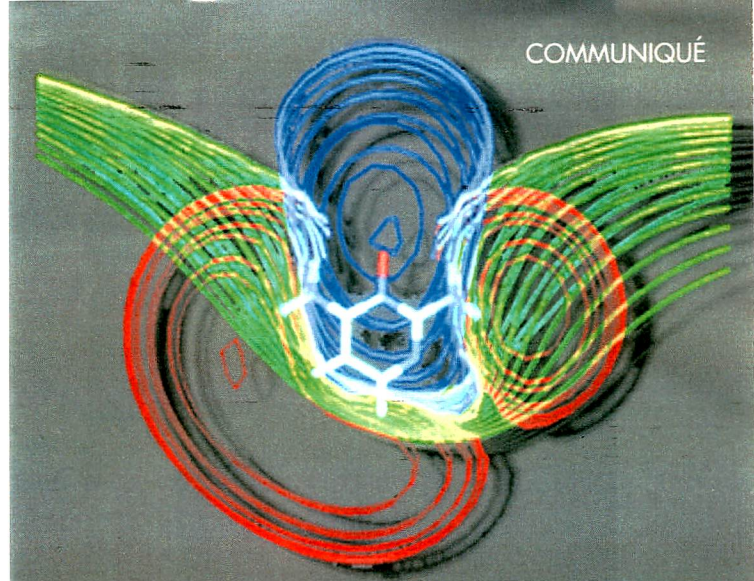
L'AMINEXIL® est la première molécule cosmétique capable de s'opposer à la rigidification des racines et donc d'agir contre la chute de cheveux. Pas moins de dix ans de recherches ont été nécessaires pour l'inventer et la breveter...

En France, 52% des hommes et 60% des femmes sont concernés par le délicat problème de la chute des cheveux. Or seulement une minorité d'individus suivent un véritable traitement et nombreux sont ceux qui ont fini par renoncer à des traitements trop contraignants et qui peuvent notamment présenter des effets secondaires. **Heureusement, un nouveau pas vient d'être franchi** : la découverte récente d'un mécanisme commun associé à la chute, la rigidification des racines, a débouché sur la mise au point d'une molécule qui permet d'agir efficacement dès les premières chutes.

10 années de recherches

L'objectif prioritaire des chercheurs était la mise au point d'une molécule d'une **réelle efficacité contre la chute et sans effet indésirable**.

Plus d'une centaine de molécules ont été créées, évaluées puis rejetées par la recherche. Seule une a été retenue : l'**Aminexil®**. Non seulement elle répondait à tous



les critères préfixés, mais elle montrait une efficacité exceptionnelle contre la rigidification des racines.

Résultats des tests

- **+ 8% de cheveux en phase de croissance après 6 semaines de traitement.**
- **Les tests ont confirmé la parfaite tolérance de la molécule et l'absence d'effets indésirables.**

Tests effectués en milieu hospitalier (Amersham General Hospital, Hôpital Saint-Louis, Fondation A. de Rothschild) sur 130 hommes en application quotidienne contre placebo.



Dercos à L'AMINEXIL®

traitement efficace dès les premières chutes

Efficacité prouvée cliniquement à 6 semaines

(+ 8% de cheveux en phase de croissance), le traitement Antichute Dercos est unique. Pourquoi ? Il est **non gras et non collant**, hypoallergénique et **sans effet indésirable**. Il existe en deux versions :

- une pour les femmes enrichie en vitamines PP/B5/B6,
- une pour les hommes enrichie cette fois en agents anti-irritations.



Les conseils des Laboratoires Vichy

Dercos Antichute s'utilise sur cheveux secs ou après le shampooing en cure de 2 mois, à raison de 6 ampoules par semaine (3 ampoules par semaine pour une chute modérée). A utiliser en relais : le shampooing Énergisant Dercos à l'Aminexil®.

VICHY
LABORATOIRES

LA SANTÉ PASSE AUSSI PAR LA PEAU.

VOUS PERDEZ VOS CHEVEUX... QUE FAIRE ?

Si vous vous posez des questions sur la chute des cheveux, contactez le Centre d'informations capillaires des Laboratoires Vichy. Un médecin répond à vos questions et vous conseille.

N°Azur 03 10 02 70 00
(prix appel local)

Vendu en pharmacie et parapharmacie. Demandez conseil à votre pharmacien.

Guerre des étoiles

Comment la science rejoint la fiction



Vingt ans après la sortie du premier film de la saga *Star Wars* et la fameuse déclaration de Ronald Reagan sur la "guerre des étoiles", sort un nouvel épisode de la série culte. Les armes lasers y crachent leurs rayons destructeurs, les vaisseaux foncent dans l'hyperespace, des armées de robots s'entretuent et les extraterrestres peuplent les planètes du bout de l'Univers. On s'évade de nouveau vers ces mondes imaginaires de science-fiction. Mais la vraie science affûte sa technologie et se prépare à relever le défi. La fiction d'aujourd'hui sera peut-être la science de demain...

Les guerriers
de l'hyperespace p. 52
Demain, les robots
vivants p. 58
Portraits
d'extraterrestres p. 60

PAR HERVÉ POIRIER

LUCASFILMS LTD / TOUS DROITS RÉSERVÉS

Guerre des étoiles

Les guerriers de l'hyperespace

Star Wars, la saga culte américaine, fait voyager et se battre ses héros à travers l'Univers. In vraisemblable ? Non ! La science met aujourd'hui au point des armes lasers foudroyantes, ainsi que des technologies qui laissent envisager, un jour, le voyage vers les étoiles...

Le missile nucléaire de longue portée quitte l'atmosphère de la planète et file à 30 000 km/h. Alors qu'il amorçe son retour pour frapper son objectif, un rayon lumineux, surgi de nulle part, l'atteint de plein fouet dans l'espace. Il explose en un éclair. Est-ce une scène de *Star Wars*, le dernier film de George Lucas (1) ? Non : c'est l'une des stratégies de défense anti-missile du très sérieux programme Space Based Laser (SBL), officiellement lancé cette année par l'US Air Force, l'armée de l'Air des États-Unis.

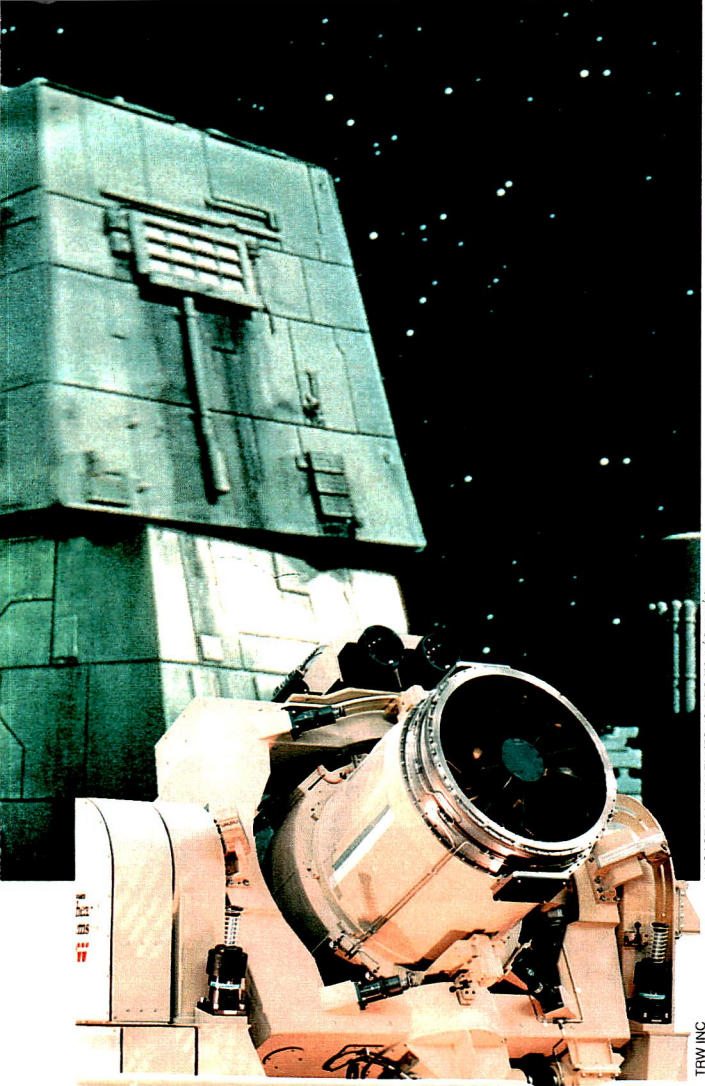
Ce programme prévoit la mise en orbite à 1 200 km d'altitude de vingt satellites équipés d'armes laser. S'ils n'auront pas la puis-

sance de feu de l'Étoile de la mort semant la terreur dans *Star Wars*, chacun de ces lasers, d'une puissance proche du mégawatt (1 million de watts), pourra tout de même détruire un missile ennemi à 4 000 km de distance en moins de dix secondes.

« L'impact du SBL sera révolutionnaire, explique au journal *Popular Science* William Martel, directeur de l'université des forces aériennes d'Alabama. Il rendra impossible toute attaque de missiles balistiques contre les États-Unis. »

Trois entreprises américaines – Boeing, Lockheed Martin et TRW – sont chargées d'élaborer au plus vite ce programme, dont le calendrier d'application ne sera pas connu avant le printemps prochain. Le budget de l'US Air Force – qui parle même de se rebaptiser US Aerospace

.....
(1) Sortie en France le 13 octobre.



LUCASFILM LTD & TM/TOUS DROITS RÉSERVÉS

TRW INC

Force! – est bouleversé : la part consacrée aux technologies spatiales va passer de 13% aujourd'hui à 30% dans six ans. L'armée israélienne, de son côté, prévoit l'installation, dès l'année prochaine, du premier système de destruction dans l'atmosphère des missiles de courte portée par armes laser. Le Tactical High Energy Laser (THEL), mis au point avec l'armée américaine, a réussi cet été les tests préparatoires.

Nous entrons dans l'ère de la "guerre des étoiles", annoncée avec fracas voilà presque vingt ans. Souvenez-vous : au début des années 80, alors que le premier film de la saga *Star Wars* sort sur les écrans, l'espace est dans l'impasse, la science-fiction n'est que fiction. Pourtant, le 23 mars 1983, le président américain Ronald Reagan lance un projet de défense

Défense au laser

Dans moins de deux ans, l'arme laser sera intégrée à la défense aérienne israélienne.

Conçu avec l'aide des Etats-Unis, le Tactical High Energy Laser (THEL), ci-dessus, a pour mission de protéger les sites stratégiques des attaques de missiles à courte portée. Ce genre d'armes figure déjà dans le film *Star Wars* (photo du haut).

futuriste : un bouclier spatial protégeant les États-Unis des missiles intercontinentaux, projet immédiatement surnommé "guerre des étoiles", par référence au film de George Lucas.

Ce très ambitieux projet est rapidement controversé. Diversement interprété, il est tantôt tenu pour un coup publicitaire de Reagan, tantôt pour une concession injustifiée au lobby de l'espace, proche du président, ou encore pour un bluff politique destiné à épuiser l'URSS dans une course aux armements qu'elle ne pourra suivre. De toute façon, ce projet est prématuré : la technologie des lasers et des satellites n'est pas encore au point. La chute de l'empire soviétique en a précipité la fin. Au début des années 90, la guerre des étoiles est reportée.

PHOTONS TRÈS DISCIPLINÉS

Mais les dix années de recherches n'ont pas été vaines. La technologie du laser, arme idéale de l'espace, est aujourd'hui mieux maîtrisée. Le laser est un rayon de lumière cohérent : alors qu'une source lumineuse classique émet des photons (particules de lumière) dans toutes les directions à des longueurs d'onde différentes, une source laser impose à ces particules la même direction et la même longueur d'onde. Cette armée de photons en ordre rangé peut faire fondre ou exploser n'importe quel matériau. Plus sa longueur d'onde est courte, plus il est destructeur. Ainsi, le laser micro-onde (entre 1 mm et 1 m de longueur d'onde) permet de dégager un puissant champ électromagnétique qui neutralise les circuits électriques et les moyens de communications de l'ennemi. Les Russes soupçonnent les Américains de s'en être servis au Kosovo.

D'une longueur d'onde beaucoup plus petite (de 0,4 à 0,8 millièmètre), les lasers à rayons visibles sont aussi plus destructeurs. Mais ils restent un million de fois moins énergétiques que le rayon laser gamma, à la longueur d'onde minimale (inférieure à un milliardième de millièmètre), dont on est loin de contrôler la technologie.

Si l'espace prend aujourd'hui une place militaire stratégique, il n'en devient pas

Guerre des étoiles

moins un marché économique juteux : pour la première fois en 1996, les bénéfices du secteur spatial (environ 500 milliards de francs) ont été supérieurs aux dépenses engagées dans ce domaine. Et

la tendance risque de s'accélérer : la station spatiale internationale se construit, le nombre de satellites se multiplie et on prépare les robots à travailler dans l'espace. Alors ? Rentrons-nous dans l'univers de *Star Wars* ? La science rattrape-t-elle la fiction ? Non. Pas encore. La conquête de cette nouvelle frontière se heurte toujours à un mur : celui du transport. Le transport de la Terre vers l'espace d'abord, le voyage dans l'espace ensuite.

TRANSPORTS

UNE VOITURE EN PLEIN CIEL

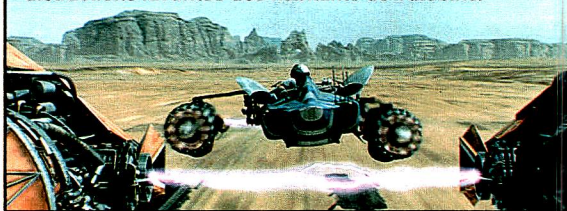
■ Luke Skywalker saute dans sa voiture, met le moteur en marche et...décolle de la planète. Depuis quelques semaines, cette voiture des airs existe. La Skycar M 400 n'en est encore qu'à ses premiers essais publics, mais l'Administration fédérale de l'aviation des Etats-Unis, qui gère le trafic aérien américain, a déjà créé une certification spéciale pour l'engin. Entièrement contrôlée par ordinateur, la M 400, fabriquée par l'entreprise Moller International, a des caractéristiques impressionnantes : quatre passagers, 560 km/h de vitesse de croisière,

1 500 km d'autonomie à 9 000 m d'altitude, 13 litres au 100 km (avec un carburant classique). Il suffira de programmer la destination voulue pour filer dans les airs, propulsé par huit puissantes turbines. Une boîte GPS (Global Positioning System), qui calcule de façon précise la position de l'appareil à tout moment, intégrée dans la Skycar, permettra de coordonner les divers vols et d'empêcher tout accident. Pour l'instant, le coût de ce prodigieux véhicule est de 1 million de dollars (6 millions de francs) ! Mais sa fabrication en série permettrait de l'abaisser à 360 000 F dans à peine trois ans.

ÉLIMINER LA PESANTEUR

« Allez en orbite basse, et vous serez à mi-chemin de n'importe quelle destination du système solaire », écrivait l'auteur de science-fiction américain Robert Heinlein. Les premiers kilomètres du voyage – le décollage, puis la mise en orbite – sont en effet les plus délicats. Et les plus chers : chaque kilogramme placé en orbite terrestre basse revient aujourd'hui à 120 000 F ! Pour réduire ces coûts, la pre-

Dans le dernier *Star Wars*, la course de "pods", des chars volants tirés par deux moteurs, est l'une des distractions favorites des habitants de Tatooine.

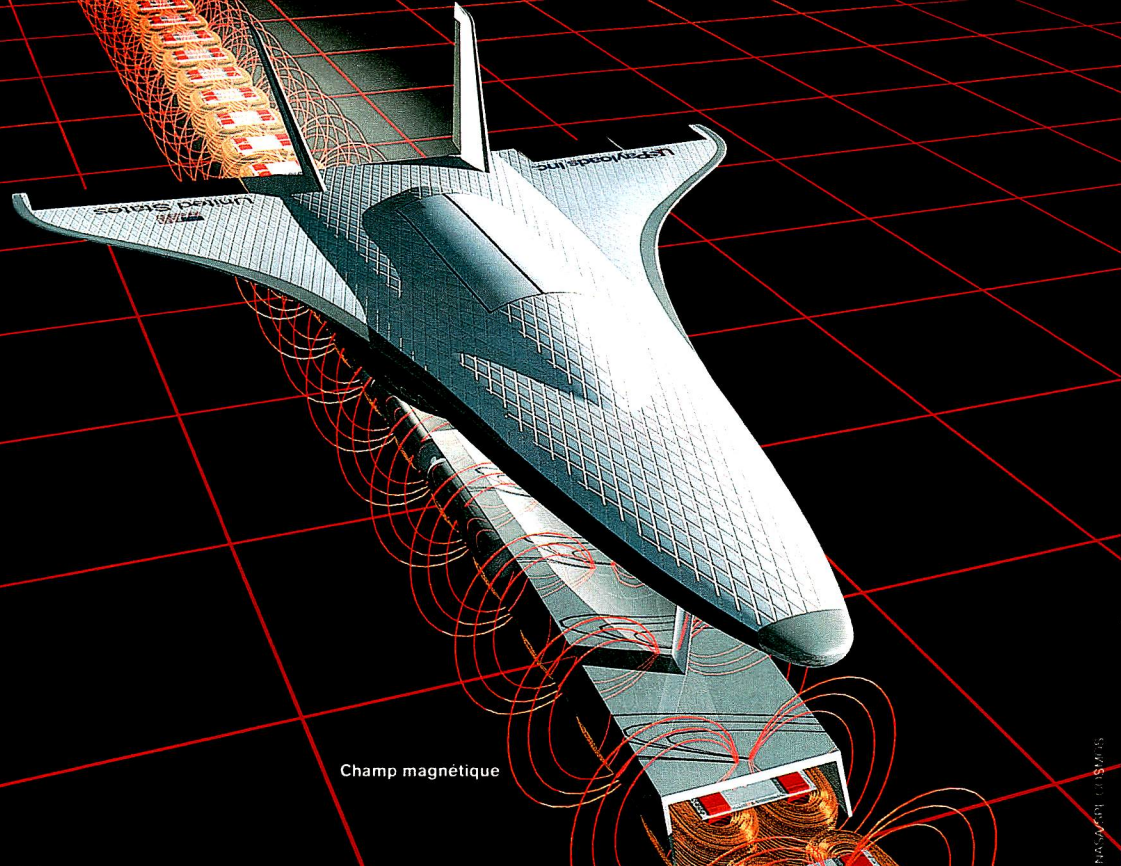


mière solution consiste à réduire le poids des carburants embarqués, ce qui permet d'augmenter la charge utile qu'on veut placer en orbite. La NASA prépare ainsi à l'horizon 2007 un système d'accélération magnétique, qui, pour un prix dérisoire, pourrait catapulter de la Terre une navette spatiale à 1 000 km/h toutes les quatre-vingt-dix minutes. Les statoréacteurs à combustion supersonique utilisent un autre moyen astucieux : ils aspirent pendant le vol l'oxygène de l'atmosphère et s'en servent comme combustible. Il n'y a presque plus de carburant embarqué ! L'US Air Force étudie même un vaisseau "autocannibale", qui fait tourner son moteur en brûlant sa propre structure !

Une autre solution, qui permet de réduire de 30% le coût du kilogramme envoyé



MOLLER INTERNATIONAL INC.



Champ magnétique

Tremplin magnétique

Le décollage magnétique des fusées pourrait réduire le coût de la mise en orbite des satellites.

La NASA, aidée par l'université britannique du Sussex, prévoit pour 2007 la mise en place d'un tel système.

Un puissant champ magnétique pourra catapultier à 1 000 km/h une fusée toutes les 90 minutes.

dans l'espace, est de construire des véhicules spatiaux réutilisables. Aujourd'hui, il faut en effet une nouvelle fusée *Ariane* pour chaque nouveau lancement... L'idée d'une navette spatiale n'est pas neuve, et de nombreux projets sont à l'étude (voir *Science & Vie* n° 984, p. 110). On imagine aussi des câbles et des ascenseurs spatiaux pour tirer mécaniquement les charges jusqu'au ciel...

Tous ces programmes permettront sans doute de faire sauter dans une dizaine d'années ce premier verrou de l'espace que représentent le décollage et la mise en orbite. Selon Robert Heinlein, la moitié du chemin sera ainsi parcourue. La seconde partie – le voyage dans l'espace – semble un peu plus délicate. Les vaisseaux ne pourront pas aller plus vite que la lumière (300 000 km/s). Les inévitables distorsions du temps et de la masse qui se produisent lorsque les vitesses sont proches de cette limite obligeront les vaisseaux à se contenter de vitesses largement inférieures, autour de 30 000 km/s. Théoriquement, toute énergie produite assez longtemps permet d'atteindre cette vitesse. Encore faut-il le pouvoir emporter suffisamment de

carburant... L'énergie communément employée est d'origine chimique : le mélange dans une chambre de combustion d'hydrogène et d'oxygène, par exemple, provoque un fort dégagement gazeux, qui, dirigé vers l'arrière du vaisseau, le propulse dans le vide spatial, en vertu du principe newtonien de la réaction.

DEUX MONDES POUR ALLER PLUS VITE

Mais cette méthode de propulsion nécessite de lourdes charges de combustibles, ce qui rend impossible tout voyage interplanétaire. Le moteur ionique de la sonde *Deep Space 1* de la NASA, (actuellement à 206 millions de kilomètres de la Terre) fournit, lui, dix fois plus de poussée par kilogramme de carburant. Des moteurs utilisant l'énergie de la fission nucléaire (30 000 fois plus puissante que l'énergie chimique), voire de la fusion (200 000 fois plus puissante), pourraient considérablement réduire la masse de carburant nécessaire.

Des vaisseaux fonctionnant à l'énergie solaire ou propulsés par un rayon laser émis d'un satellite – donc sans carburant

Guerre des étoiles

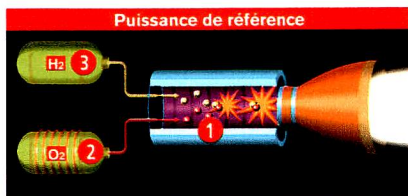
embarqué – sont également à l'étude.

Mais l'énergie théoriquement la plus prometteuse vient de l'antimatière. L'existence de l'antimatière est prédite depuis longtemps par la théorie quantique. En 1996, pour la première fois, le Centre européen de la recherche nucléaire (CERN), installé à Genève, a réussi à créer un atome d'antimatière – appelé un antiatome. L'antimatière ressemble beaucoup à la matière. Seules les charges électriques sont inversées. Ainsi, dans l'antimonde, les antiélectrons à charge positive, tournent autour d'un antinoyau à charge négative. Dans la matière, c'est le contraire : les charges négatives sont à l'extérieur de l'atome et les charges positives à l'intérieur. Cela explique en particulier la fantastique explosion qui se produit lors du contact de ces deux mondes. L'annihilation d'un demi-gramme de matière et d'un demi-gramme d'antimatière fournit autant d'énergie que la fission d'un kilogramme de plutonium ou de la combustion d'un mélange de 30 tonnes d'oxygène et d'hydrogène...

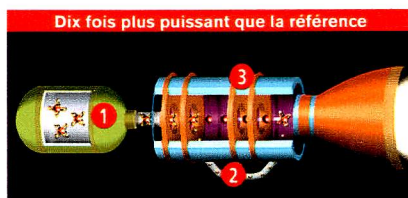
CONDAMNÉS POUR LE MOMENT AU SAUT DE PUCES SIDÉRAL

« Si un jour, nous voulions, en emportant assez de carburant, voyager à la vitesse de la lumière, l'antimatière serait la meilleure solution, voire la seule », selon le physicien américain Lawrence Krauss. Mais on ne sait pas « fabriquer » cette antimatière en quantité suffisante et à des coûts raisonnables. Lawrence Krauss a d'ailleurs calculé qu'il faudrait consacrer « une somme supérieure au budget fédéral annuel des États-Unis pour éclairer sa chambre à coucher à l'aide d'antimatière ».

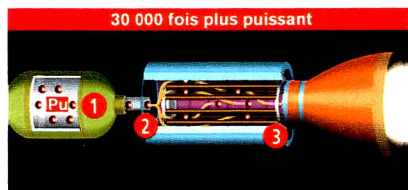
On se contentera donc, dans les prochaines décennies, des autres méthodes de propulsion. Elles nous permettront déjà d'atteindre en quelques mois les planètes de notre système solaire. Les portes de l'espace seront grandes ouvertes. Mais pas celles de l'Univers.



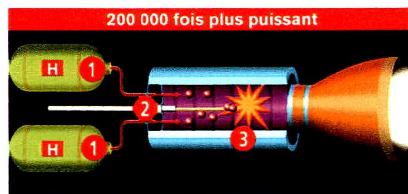
MOTEUR CHIMIQUE. L'énergie provient de l'explosion dans la chambre de combustion **1** du mélange de l'oxygène **2** et de l'hydrogène **3**. Il ne permet que les voyages en grande banlieue de la Terre.



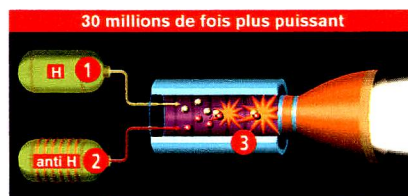
MOTEUR IONIQUE. Les atomes de xénon **1** perdent un électron qui passe dans un conduit **2**. L'atome devenu ion est accéléré par un champ magnétique **3**. Il récupère son électron et est rejeté dans l'espace à grande vitesse.



MOTEUR À FISSION. Un atome de plutonium **1** est cassé en atomes plus petits **2**, ce qui provoque un fort dégagement d'énergie **3**.



MOTEUR À FUSION. Deux atomes **1** d'hydrogène fusionnent grâce à une amorce énergétique **2** pour former de l'hélium **3**, en un dégagement d'énergie encore plus puissant.



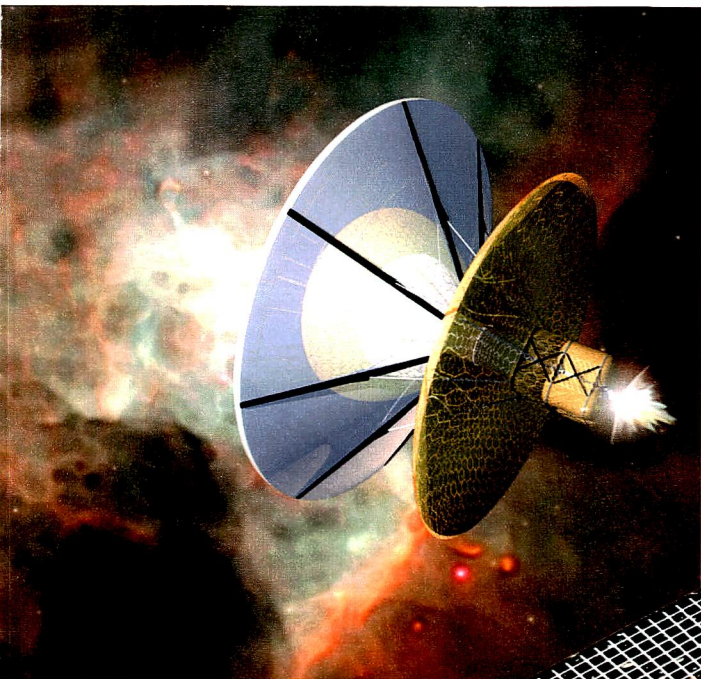
MOTEUR À ANTIMATIÈRE. Le contact entre un atome **1** et un antiatome d'hydrogène **2** provoque un dégagement record d'énergie **3**. Il permettra de dépasser largement le système solaire.

Aspirateur interstellaire

Un nouveau système de propulsion pour atteindre les étoiles : le système Ramjet a une autonomie énergétique totale grâce à son puissant champ magnétique qui aspire l'hydrogène de l'espace et approvisionne son moteur à fusion nucléaire.

Panoplie de propulsions

Les fusées disposent d'un large choix de systèmes de propulsion qui n'ont pas tous la même puissance et ne permettent pas tous d'aller aussi loin. Leur puissance s'évalue selon l'énergie dégagée par kilogramme de carburant embarqué. Le moteur de référence dégage 28 500 kJ/kg.



BOB SAUL/JOHN FRASSANITO & ASSOCIATES

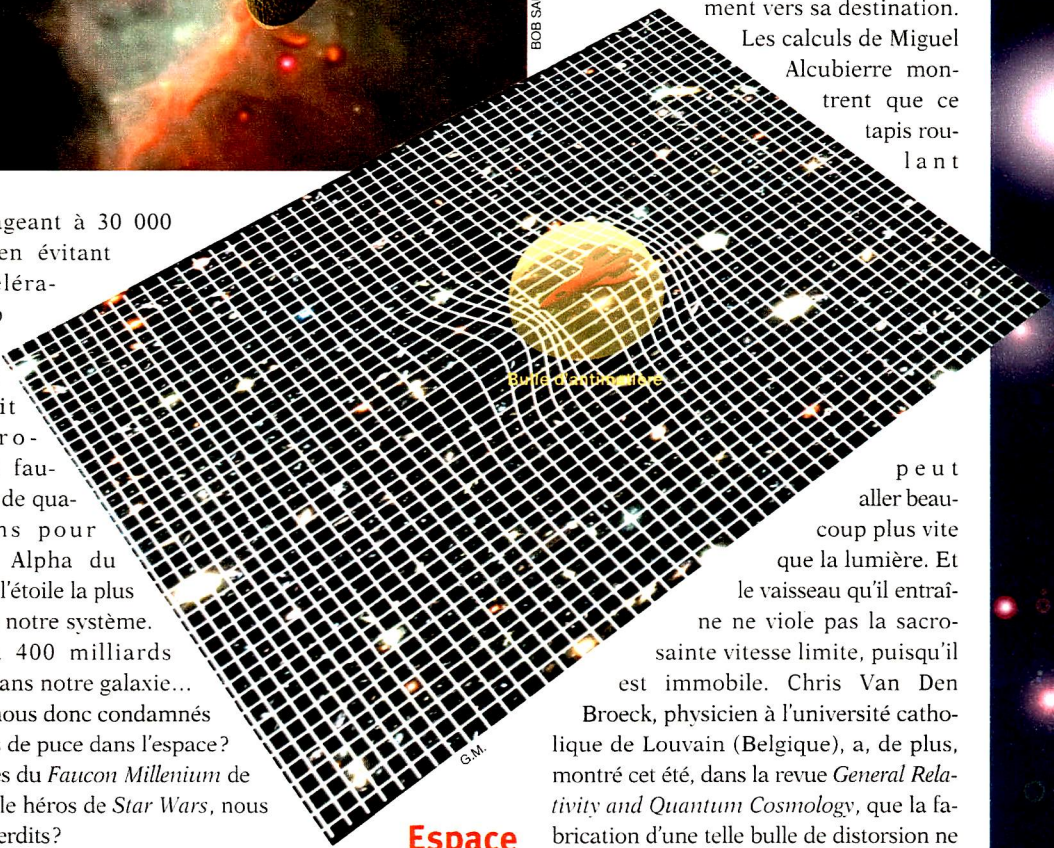
mexicain Miguel Alcubierre fut particulièrement intéressante. La méthode de voyage qu'il propose s'intéresse non pas au vaisseau, mais à l'espace-temps qui l'entoure. Einstein a prouvé au début du siècle que l'espace-temps, qui structure notre Univers, se déforme en présence de matière. On peut donc théoriquement rétrécir cet espace-temps devant un vaisseau et l'agrandir derrière. L'engin spatial avance alors comme sur un tapis roulant : tout en restant immobile par rapport à l'espace qui l'entoure, il glisse inexorablement vers sa destination.

Les calculs de Miguel Alcubierre montrent que ce tapis roulant

En voyageant à 30 000 km/s et en évitant une accélération trop puissante, qui écraserait les astronautes, il faudrait près de quarante ans pour atteindre Alpha du Centaure, l'étoile la plus proche de notre système. Et il y a 400 milliards d'étoiles dans notre galaxie... Sommes-nous donc condamnés à ces sauts de puce dans l'espace? Les voyages du *Faucon Millenium* de Yan Solo, le héros de *Star Wars*, nous sont-ils interdits?

LE TAPIS ROULANT DU TEMPS ET DE L'ESPACE

C'est la question qui a été posée, il y a deux ans, à de prestigieux physiciens internationaux par Marc Gillis, du Centre de recherches Glenn de la NASA. Il leur a demandé d'examiner « les phénomènes de la littérature scientifique susceptibles de percées technologiques réalisables ». *Star Wars* à la rescousse de la NASA! Les réponses furent nombreuses, et celle du physicien



Espace distordu

Pour suivre Yan Solo dans l'hyperespace, il faudrait faire entrer le vaisseau dans une bulle d'antimatière. Cette "bulle de distorsion" rétrécit l'espace devant le vaisseau et l'agrandit derrière. L'engin va alors plus vite que la lumière.

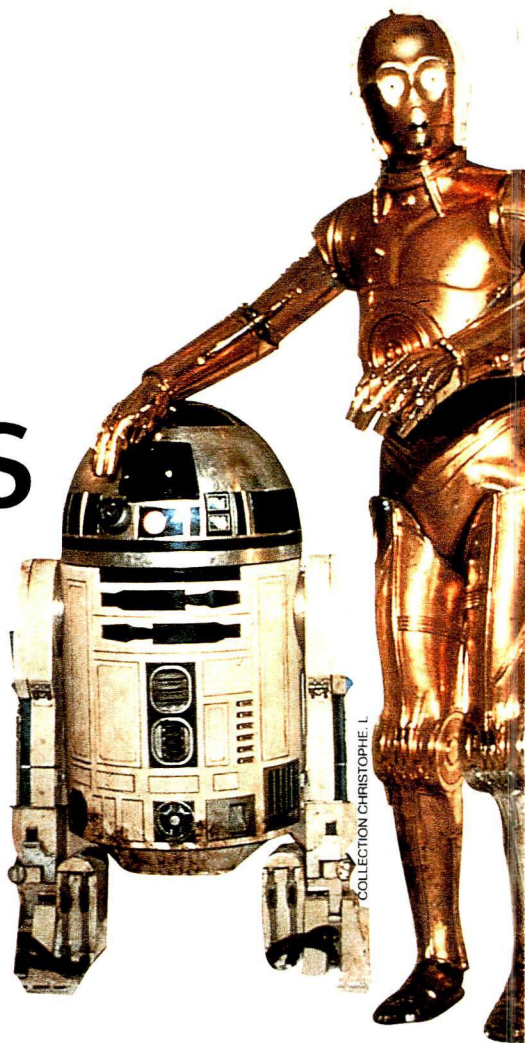
peut aller beaucoup plus vite que la lumière. Et le vaisseau qu'il entraîne ne viole pas la sacrosainte vitesse limite, puisqu'il est immobile. Chris Van Den Broeck, physicien à l'université catholique de Louvain (Belgique), a, de plus, montré cet été, dans la revue *General Relativity and Quantum Cosmology*, que la fabrication d'une telle bulle de distorsion nécessiterait que... 3,4 grammes d'antimatière. Et nous voilà repartis dans l'anti monde si difficile à maîtriser. C'est en tout cas grâce à la distorsion de l'espace-temps que le *Faucon Millenium*, « bat les vaisseaux de l'Empire en vitesse pure » selon Yan Solo. Des « stabilisateurs de courbe de distorsion », situés sur ses flancs contrôlent en permanence la bulle d'espace-temps créée. Nous avons donc sans le savoir découvert le secret de l'hyperespace, et entrouvert la porte des étoiles. ■



Guerre des étoiles

Demain, des robots vivants

Les robots du futur auront toutes les caractéristiques de ceux de *Star Wars*. Ils seront autonomes, doués de langage et de raison, ils sauront apprendre et s'adapter aux situations nouvelles. Ils envahiront tous les domaines de la société.



Paradoxe : C-3PO et D2-R2, les deux robots vedettes de la saga *Star Wars*, sont les "acteurs" les plus attachants du film, presque les plus humains. Aucun personnage n'est, en effet, plus angoissé et craintif que C-3PO, le droïde protocolaire plaqué or, et il n'y a pas plus spirituel et ironique que R2-D2, le robot "astromech" sur roulettes – bien qu'on ne comprenne pas un traître mot de ses borborygmes électroniques.

Nos deux héros de métal sont des robots universels : ils sont non pas programmés pour exécuter une tâche précise mais pour s'adapter à toute sorte de situation. Il n'existe pas aujourd'hui de tels robots autonomes. Les machines n'en sont qu'au

stade de l'araignée : dotées d'un cerveau pouvant exécuter quelques millions d'instructions par seconde (MIPS), elles peuvent imiter le comportement de cet insecte, mais pas celui d'un animal plus évolué.

Certes, Manny, l'androïde du ministère américain de l'Energie, ou P3, le dernier robot de Honda, imitent parfaitement la morphologie et le déplacement de l'homme. Mais s'ils ont déjà surpassé la démarche saccadée de C-3PO, ils sont loin d'en avoir l'intelligence.

Physiquement plus sommaires, les robots utilitaires ont un peu plus de capacités. Cye, fabriqué par l'entreprise américaine Probotics, peut ainsi accomplir des tâches domestiques simples. Relié à un ordinateur classique sur lequel son tra-

Défi relevé

Dans *Star Wars*, C-3PO (l'androïde doré) et D2-R2 (sur roulettes) sont plus que des machines : ce sont des héros. Les robots actuels sont nettement moins évolués que leurs cousins imaginaires, mais la robotique est prête à relever le défi lancé par la science-fiction.

vail est programmé, il se déplace dans une pièce, sert le dîner ou lave le tapis. Mais ne lui demandez pas de vous faire la conversation.

Nés dans les années 50, les premiers robots ont amorcé leur longue évolution au stade de la bactérie. Les tortues cybernétiques du psychologue britannique Grey Walter étaient déjà capables de en contourner les obstacles, puis de retourner dans leur cage.

Depuis, les progrès ont été plutôt lents. « Les promesses de l'intelligence artificielle faites dans les années 60 n'ont pas été tenues », souligne Philippe Coiffet, directeur de recherche en robotique au CNRS. Certes, des machines hyper spécialisées ont envahi les usines, mais le robot universel, autonome, adaptable et mobile, est resté longtemps dans une impasse.

ÉVOLUÉ COMME UN LÉZARD

De nos jours, les progrès de la cybernétique, de l'informatique et de la mécanique, ainsi que les besoins de la recherche spatiale préparent l'avènement prochain des robots universels. « Depuis 1990, la puissance des programmes de robotiques – c'est-à-dire le nombre d'instructions traitées par seconde – double chaque année », dit Hans Moravec, directeur du laboratoire des robots mobiles de l'université Carnegie-Mellon, à Pittsburgh (États-Unis). Pour lui, la première génération de robots universels sera prête dès 2010. Avec 3 000 MIPS dans la "cervelle", ils en seront au stade du lézard : ils sauront percevoir l'environnement, le manipuler et s'y déplacer. Un premier pas vers l'autonomie.

Leur évolution les conduira ensuite au stade de la souris (100 000 MIPS), puis du singe (3 millions de MIPS). Ils pourront mettre à profit leurs expériences, élaborer leur propre représentation du monde et s'autoprogrammer pour des tâches simples et nouvelles.

Si Philippe Coiffet estime qu'il sera difficile d'aller au-delà, Hans Moravec prévoit qu'en 2040 les robots universels (100 millions de MIPS) auront atteint le niveau de l'homme. Obéissants, doués de langage et

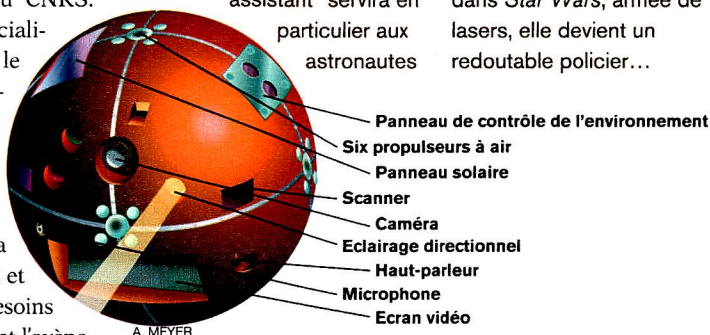
NASA

L'ASSISTANT DE L'ESPACE

■ Le dernier bijou de la NASA, un petit robot en forme de boule, sort tout droit de l'univers de *Star Wars*. Ce n'est pourtant pas pour s'entraîner au sabre-laser que les ingénieurs, dirigés par Yuri Gawdiak, ont mis au point ce partenaire volant. Le "satellite personnel assistant" servira en particulier aux astronautes

de la future station spatiale internationale. Cet ordinateur, qui se déplace librement grâce à ses six propulseurs, les assistera lors de leurs sorties dans l'espace ou inspectera seul les endroits les plus dangereux.

A noter que, quand cette boule robotisée est, comme dans *Star Wars*, armée de lasers, elle devient un redoutable policier...



A. MEYER

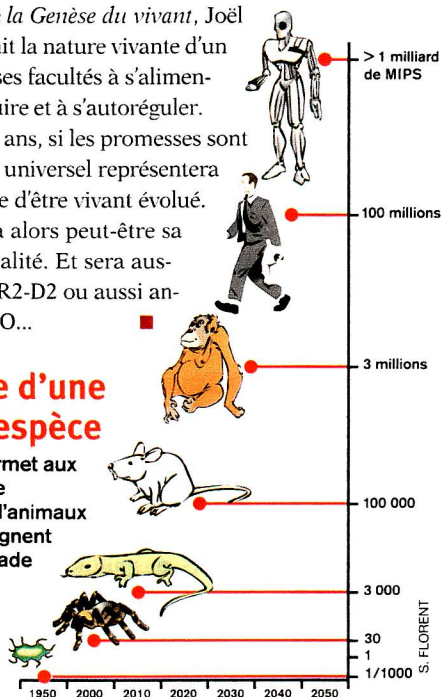
de raison, ils nous remplaceront au travail ou à la guerre. Et ils "construiront" eux-mêmes les générations suivantes.

Dans son livre *la Genèse du vivant*, Joël de Rosnay définit la nature vivante d'un organisme par ses facultés à s'alimenter, à se reproduire et à s'autoréguler. Dans cinquante ans, si les promesses sont tenues, le robot universel représentera un nouveau type d'être vivant évolué.


Il développera alors peut-être sa propre personnalité. Et sera aussi spirituel que R2-D2 ou aussi angoissé que C-3PO...

Naissance d'une nouvelle espèce

La robotique permet aux robots d'imiter le comportement d'animaux évolués. Ils atteignent aujourd'hui le stade de l'araignée... Peut-être celui de l'homme vers 2050, et le dépasser...



Guerre des étoiles



Portraits d'extraterrestres

Si des extraterrestres technologiquement avancés existaient, à quoi pourraient-ils bien ressembler ?

La sélection naturelle leur impose des contraintes morphologiques qui les rendraient sans doute semblables à nous. Mais qui sait si d'autres formes de vie évoluée n'existent pas ?

Rencontre d'un autre type

Tête, bras, jambes, nombreux sont les points communs, dans *Star Wars*, entre Sebulba le Dug, Jar Jar Binks le Gungan et Anakin Skywalker. Manque d'imagination de la part des créateurs des personnages, ou convergence universelle des formes ?

D rôle d'ambiance dans le bar de Mos Eisley, une ville perdue de Tatooine, la planète d'origine d'Anakin et de Luke Skywalker, les héros de la saga *Star Wars*.

Toutes les espèces se donnent rendez-vous autour du comptoir. Mais qu'ils soient wookiee, chadra-fan ou kitonak, ces êtres venus d'ailleurs ont tous une morphologie comparable à la nôtre. Pourquoi une espèce ayant élaboré une tech-

nologie suffisante pour aller se désaltérer dans un café situé à plusieurs milliers d'années-lumière de sa planète natale devrait-elle nous ressembler ?

Supposons donc l'existence d'un extraterrestre, pilier de bar à Mos Eisley. Avant d'examiner sa morphologie, essayons de savoir de quelle matière il est constitué. Un être vivant, c'est d'abord un corps matériel. « Un corps solide, précise André Brack, exobiologiste au centre de biophy-



LUCASFILM LTD & TM/TOUTS DROITS RÉSERVÉS

sique moléculaire d'Orléans (1). Un corps gazeux ou liquide aurait une structure trop instable. » Cette vie solide, née dans un liquide (eau, ammoniac liquide ou alcool), est capable de se reproduire tout en évoluant de génération en génération. Les lois de la nature sont les mêmes dans tout l'Univers : la sélection naturelle fait évoluer les espèces. Seuls les plus adaptés survivent. La structure chimique de cette vie originelle serait probablement fondée – comme sur la Terre – sur la chimie du carbone. Les quatre liaisons du carbone, élément très répandu dans l'Univers, permettent en effet de développer des structures complexes et variées.

« Le silicium possède des propriétés voisines, fait remarquer André Brack, mais les liaisons entre les atomes y sont plus so-

(1) L'exobiologie étudie les formes de vie extraterrestres possibles.

lides. Les structures sont donc plus stables, plus rigides, l'évolution est moins facile et la vie qui en résulterait, serait vraisemblablement trop rudimentaire. Une vie basée sur le bore ou sur le germanium, au lieu du carbone, pourrait aussi émerger, mais ces éléments sont peu abondants dans l'Univers. »

Supposons donc que notre pilier de bar galactique soit une espèce solide et carbonée, sirotant son verre d'alcool ou d'ammoniac liquide au comptoir de Mos. Sa taille peut être variable. Elle dépend en particulier de la taille de sa planète : plus celle-ci est grosse, plus la gravité est importante, et plus l'extraterrestre aura tendance à se tasser. Réciproquement, plus la planète est petite, plus la gravité est faible, et plus le corps s'allonge. Pour connaître sa morphologie, faisons l'inventaire des organes dont il a eu nécessairement besoin pour atteindre un tel niveau d'évolution.

TROIS PRINCIPES POUR ÉVOLUER

Un être vivant doit, avant tout, se reproduire, s'alimenter et s'autoréguler. Pour se reproduire, plusieurs stratégies sont possibles. « Le clonage, c'est-à-dire la reproduction à l'identique, est un système très efficace à court terme, explique Guillaume Lecointre, biologiste au laboratoire d'ichtyologie du Muséum national d'histoire naturelle. L'espèce peut envahir très rapidement tout l'espace disponible. Mais les capacités d'évolution sont très limitées à long terme. »

Donc notre extraterrestre évolué n'utilise probablement pas cette stratégie. Hermaphrodite ou sexué, il a tout intérêt à se reproduire à plusieurs, pour faciliter le brassage génétique. Il dispose à cet effet d'un organe spécifique, dans un endroit protégé de son corps.

Pour s'alimenter, il lui suffit d'exploiter une source d'énergie. Là, les possibilités sont nombreuses. L'énergie peut être électromagnétique, recueillie par une sorte de photosynthèse; ou chimique, recueillie par une digestion; ou même nucléaire... Un câblage interne la redistribue à l'ensemble des organes et vidange les déchets. Le corps est régulé. Pour écumer les bars, notre extraterrestre vit en surface. L'air

Guerre des étoiles

ENIGME

LE SECRET DE LA FORCE

Pouvoir occulte

Le vénérable Jedi Yoda complète la formation du fougueux héros. La mystérieuse Force lui permet déjà de déplacer à distance des cailloux. Bientôt, il soulèvera des montagnes.

■ Le Jedi Obi-Wan Kenobi, formateur de Luke Skywalker, lui démontre les pouvoirs de la Force.
«La Force ? demande le jeune incrédule.
– Oui, la Force, répond le vieux sage. C'est une sorte d'énergie qui nous entoure et nous pénètre. Elle maintient la galaxie en un tout unique.»
Cette étrange Force reste aujourd'hui largement dans le domaine de la fiction. Dans son dernier ouvrage, *Beyond Star Trek*, le physicien américain Lawrence

Krauss tente de savoir d'où pourrait venir ce fabuleux pouvoir. Selon lui, cette force ne peut être d'origine électromagnétique, car n'importe quel appareil la détecterait. Il ne peut s'agir non plus des forces nucléaires faible et forte, leur rayon d'action étant limité aux échelles atomiques. La force de gravité est, elle aussi, éliminée : pour créer un champ gravitationnel capable de faire bouger un crayon, il faudrait contrôler une quantité astronomique de matière. «Peut-être existe-t-il une cinquième force, que nous n'avons pas été capables de détecter», poursuit Lawrence Krauss. Mais cette hypothétique force devrait être mille milliards de fois plus faible que la gravité pour être, jusqu'ici, passée inaperçue. Pour déplacer les objets à distance, Obi-Wan doit donc puiser son énergie ailleurs que dans la matière. L'énergie du vide quantique (voir *Science & Vie* n° 970, p. 55) semble être la candidate idéale. Mais, selon les calculs du physicien, «soulever un crayon à 1 m de distance nécessite d'exploiter l'énergie de dix milliards de mètres cubes de vide». Cela dit, «nous sommes loin de tout connaître de la matière». Dans le doute, souhaitons donc quand même que la Force soit avec nous...



LUCASFILM LTD&TM/TOUS DROITS RÉSERVÉS

n'est pas nécessairement oxygéné : l'oxygène est un gaz toxique, qui détruit les molécules organiques. La vie sur la Terre, à l'origine non oxygénée, a dû déployer des trésors d'évolution pour s'y adapter. L'extraterrestre se déplace dans cette atmosphère grâce à des organes de locomotion. «Au moins deux, pour l'équilibre», souligne André Brack. L'invention déci-

ve est ici la création de l'articulation. Elle permet de maintenir le centre de gravité du corps au même niveau au-dessus du sol. » Avancer sans plier le genou rendrait notre démarche très chaotique...

De plus, ce déplacement influence la forme générale du corps. «Une symétrie naît du mouvement avant-arrière», souligne Guillaume Lecointre. Les organes

externes se répartissent symétriquement de part et d'autre d'un plan vertical, parallèle au déplacement. Des organes de préhension, capables de saisir un caillou, de mettre au point une technologie ou de prendre un verre au bar, lui sont également indispensables. Leur nombre peut être variable et, là encore, de multiples articulations en facilitent l'usage.

Mais, pour interagir avec l'environnement, encore faut-il le percevoir. Notre extraterrestre dispose donc d'un réseau d'organes sensoriels. Les radiations lumineuses envoyées par les objets sont

CENTRALISATEUR D'INFORMATIONS

Situé près des organes sensoriels pour limiter les temps de réaction, il est le lieu de l'intelligence et de la conscience.

ORGANE DE PRÉHENSION

Articulé, il protège la "tête" et est indispensable pour agir sur l'environnement.

ORGANE DE MÉTABOLISME

Il est chargé de capter l'énergie (ici, grâce à des "pores"), de la stocker, de la distribuer à l'ensemble du corps, puis de faire disparaître les déchets.

ORGANE DE REPRODUCTION

Placé à un endroit protégé, il peut être sexué ou androgyne.

une source d'informations particulièrement riche. Notre voisin de l'Univers a sans doute un sens visuel, captant la lumière sur un spectre peut-être différent du nôtre. Comme nos abeilles, il peut aussi utiliser la polarisation de la lumière pour s'orienter dans l'espace.

D'autres sens sont évidemment disponibles. Des capteurs sonores, chimiques, tactiles, magnétiques, des radars... Tous ces organes sensoriels sont disposés stratégiquement afin d'optimiser la réception. Les capteurs de lumière, par exemple, se trouveront tout en haut du corps, pour améliorer le point de vue.

L'ensemble de ces informations sont centralisées, afin que leur analyse en soit

ORGANES SENSORIELS

Placés de façon à optimiser la réception des informations, ils sont pour la plupart regroupés en haut du corps.

facilitée. Placé à côté de l'organe sensoriel principal pour limiter le temps de réaction, le cerveau central commande les réactions physiques. C'est là que se développent la conscience, l'intelligence et la raison. A partir de ces organes existant, des systèmes de communication très variés (position du corps, ondes sonores ou lumineuses, émissions chimiques...) se mettent au point et vont permettre de favoriser la vie sociale.

GARE À L'ANTHROPOMORPHISME !

Une espèce extraterrestre évoluée aurait donc probablement un schéma fonctionnel proche du nôtre (voir illustration). L'évolution est le produit d'événements hasardeux, de mutations aléatoires et d'improbables percées individuelles, mais les contraintes de la sélection naturelle font converger les

formes. Ce phénomène de convergence a déjà été observé sur la Terre, avec, notamment, la création d'un œil similaire par des espèces distinctes.

Selon les exobiologistes américains Carl Sagan et Francis Drake, cette convergence entraînerait sur toute planète habitée disposant d'assez de temps l'apparition d'une espèce intelligente relativement proche de la nôtre, même par d'autres voies biologiques.

Il faut toutefois se méfier de l'anthropocentrisme, ce que Carl Sagan appelait le "chauvinisme" : d'autres types d'espèces intelligentes peuvent évidemment exister.

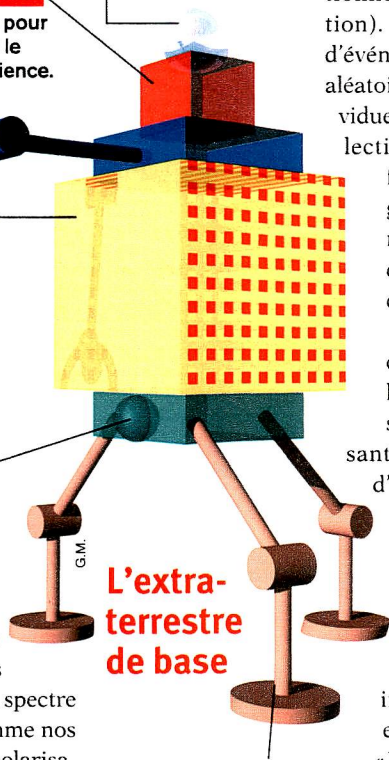
« Des espèces vivant dans l'eau, imagine par exemple Guillaume Lecoindre. Immobiles au fond des mers, sans aucune symétrie corporelle, mais supérieurement intelligentes, elles auraient une vie sociale fondée sur la reproduction, et non sur la recherche de nourriture. » Elles ne pourraient toutefois aller se désaltérer dans le bistrot galactique.

Dans le bar de Mos Eisley, sur la planète Tatooine, le patron prévient de toute façon : « Ici, toutes les créatures sont acceptées... Sauf les droïdes ! » ■

L'extra-terrestre de base

ORGANES DE LOCOMOTION

Placés en bas du corps, ces organes articulés assurent l'équilibre et le déplacement.



Pour observer et photographier l'éclipse totale de Soleil du 11 août dernier, il fallait avoir de la chance. Sur la bande de totalité, de Cherbourg à Strasbourg, les deux luminaires n'ont cessé de jouer à cache-cache avec les nuages. Saisir les deux minutes de "soleil noir" exigeait donc de "prendre la bonne trouée", d'où la nécessité d'être très mobile. C'est cette stratégie de "cavalerie légère" qui a permis à Rémi Soummer, un Niçois de 27 ans, agrégé de physique et astronome amateur, de prendre les fabuleux clichés que nous vous présentons ici. Parti à 3 h du matin de la région parisienne pour s'installer au sud de Montdidier (Somme), il a changé de site au dernier moment à cause d'une éclaircie lente à venir. Son télescope Maksutov de 180 mm n'a été mis en station que cinq minutes avant la totalité. Photographe averti, il a réussi, au foyer de son instrument, ce film exceptionnel du soleil noir.



PAR PHILIPPE HENAREJOS,
PHOTOS RÉMI SOUMMER

L'éclipse

comme vous ne l'avez pas vue

Le spectacle céleste

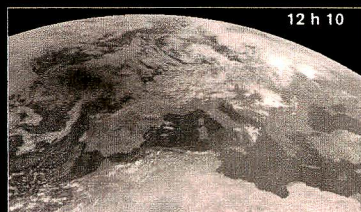
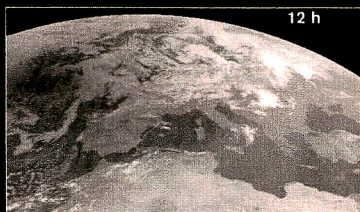
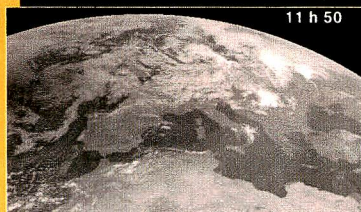
Le passage du Soleil, parfaitement occulté par la Lune, révèle la couronne solaire dans toute sa splendeur, de même que les protubérances, très nombreuses le 11 août dernier. Pour prendre ces clichés d'une très grande netteté, Rémi Soummer a fixé son boîtier reflex au foyer de son télescope de 180 mm et a déclenché ses poses entre 1/1000 de seconde et 1/4 de seconde, manuellement. « Pendant que j'armais et que je déclenchais l'appareil, une dizaine d'amis, mais aussi des inconnus qui passaient, ont jeté un coup d'œil à l'oculaire pour profiter du spectacle », raconte-t-il. Pour sa part, il dit avoir vu l'éclipse à l'œil nu et au télescope, mais aussi avoir peut-être perdu les trois-quarts du spectacle pendant les prises de vues. C'est qu'au moment du développement, en voyant la qualité des négatifs, que son photographe lui a conseillé de contacter la presse pour en faire profiter le plus grand nombre.

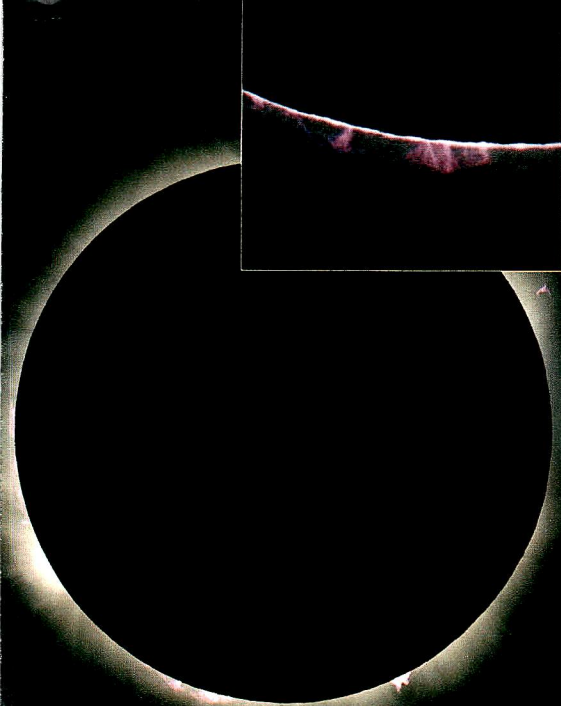
Les grains de Baily

Dans deux ou trois secondes, l'éclipse sera totale (en bas). Le chapelet lumineux est produit par les parties du Soleil encore visibles dans le fond des vallées lunaires, sur le bord du disque.

Ce sont les grains de Baily, du nom de l'astronome amateur britannique qui les a découverts en 1836.

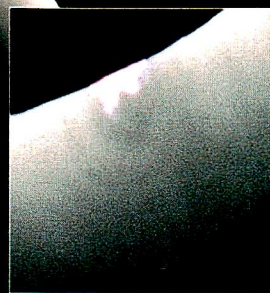
La deuxième image, prise un bref instant avant la totalité, permet de voir encore mieux les irrégularités du contour de la Lune, responsables des grains de Baily alors que les protubérances (en rose) sont déjà nettement apparentes.





Eclat rose saumon

L'éclipse est totale. Sur le bas de l'image sont visibles les protubérances. L'une d'elles (détail) forme plusieurs arches. Un très fin "croissant" de Soleil semble encore visible. En fait, il s'agit de la chromosphère, une zone de 2000 km d'épaisseur située au-dessus de la photosphère (ou surface du Soleil), dont la température moyenne est de 10 000 kelvins. Invisible en temps normal à cause de l'éclat de la photosphère, elle est assez lumineuse et équivalait à un bon clair de Lune. Son éclat rose saumon est dû à l'émission produite par l'hydrogène. La chromosphère n'est pas visible sur tout le pourtour du disque lunaire car celui-ci est plus gros que le Soleil et qu'il la masque dans les parties où il n'affleure pas le disque solaire.



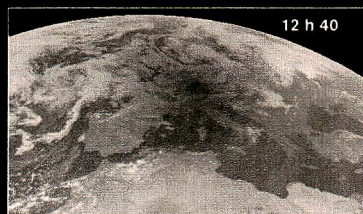
Les champs magnétiques

Un temps de pose légèrement plus long

révèle toute la basse couronne du Soleil. Celle-ci, de couleur blanche, est parcourue de lignes plus sombres, qui semblent s'échapper du Soleil comme des rayons. Il s'agit des lignes du champ magnétique, très intense autour du Soleil. Les protubérances sont constituées de gaz appartenant à la chromosphère (c'est pour cette raison qu'elles ont la même couleur rose), piégé par des lignes de champ magnétique et emporté en altitude jusque dans la basse couronne. Le gros plan montre d'ailleurs l'une d'elles au-dessus de laquelle on voit très bien les lignes de champ magnétique formant une boucle dans la couronne. En haut, à droite, de la matière chromosphérique est expulsée très haut et commence à incurver sa trajectoire en suivant des lignes de champ.

L'éclipse vue de l'espace

Grâce au satellite *Eumetsat*, on a pu suivre la progression de l'ombre de la Lune sur le continent européen au cours de l'éclipse. Il apparaît que le nord de la France était couvert de nuages. Seules quelques trouées éparées ont permis aux plus chanceux de voir l'éclipse au moment de la totalité.

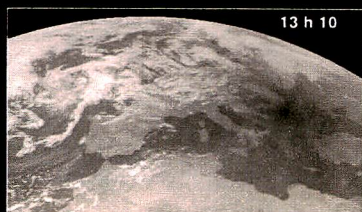
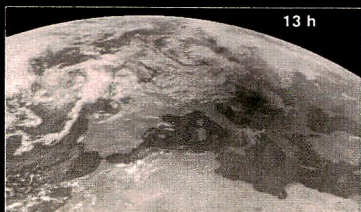
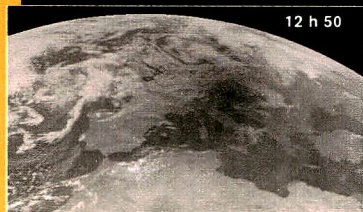


La fin du rêve

Un peu plus de deux minutes après la soudaine tombée de la nuit, une petite portion de photosphère réapparaît de l'autre côté de la Lune. Aussitôt, le jour revient. Cette photo montre cet instant ultime.

Les protubérances sont encore visibles pendant quelques fractions de secondes. En raison du déplacement de la Lune devant le Soleil, la belle protubérance en arche située en bas n'est plus visible, car elle est maintenant entièrement masquée par la Lune.

De même, on ne voit plus que le haut de celle qui était accompagnée de belles boucles magnétiques. En revanche, du côté où le Soleil réapparaît, d'autres protubérances, cachées jusque-là, ont émergé.

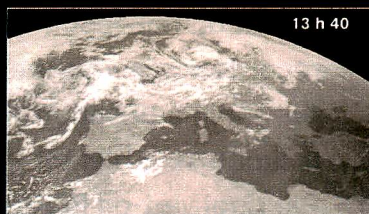
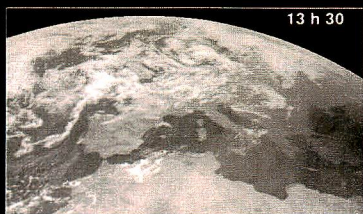


De nouveau, les rayons brûlent

Un large croissant de Soleil est maintenant visible. Son intense lumière brûle la pellicule de 100 ISO utilisée sans filtre pour saisir les fugitives secondes de la totalité. L'éclat est tel que les protubérances et la couronne cessent d'être visibles. Toute observation sans protection doit cesser. L'éclipse n'est plus que partielle.

Les taches du Soleil

Dans la phase partielle qui a suivi, le Soleil, en réapparaissant progressivement, a dévoilé ses quelques groupes de taches présentes ce jour-là dans la photosphère. Cette image correspond à ce qu'ont pu voir les observateurs situés hors de la bande de totalité. Elle a été prise à l'aide d'un filtre sans lequel la pellicule aurait été trouée par les rayons du Soleil. Il faudra attendre le 3 septembre 2081 pour revoir pareil phénomène à partir la France métropolitaine.





Depuis quarante ans, les performances du microprocesseur ne cessent d'augmenter. Tous les trois ans, une nouvelle génération établit de nouveaux records sur la voie inexorable de la miniaturisation. Mais la limite sera bientôt atteinte. Par quoi va-t-on le remplacer ?



Silicium

Le bout de la route

MARK LEWIS/FOTOGRAF STONE IMAGES

Ordinateurs de sable...

La matière première des transistors actuels, le silicium (ci-contre), est un élément que l'on trouve facilement et abondamment sur Terre. Associé à deux atomes d'oxygène, il forme le dioxyde de silicium, autrement dit le sable.

La puce – le cerveau de l'ordinateur – est constituée d'un réseau de minuscules neurones : les transistors. Un nouveau record de miniaturisation vient d'être établi par Simon Deleonibus, chef du groupe Dispositifs nano-électroniques sur silicium au CEA-Léti (Laboratoire d'électronique, de technologie et d'instrumentation du Commissariat à l'énergie atomique) installé à Grenoble : son petit bijou est cent fois plus petit que le plus petit des transistors actuels. Avec une longueur de 18 nanomètres, on peut en ranger plus de 7 milliards sur une pièce de un franc ! « Il ne pourra pas être intégré dans une puce avant 2015 au plus tôt, considère Simon Deleonibus. Il sera difficile de construire un transistor en silicium plus petit. Il touche aux limites de la technologie du silicium. Mais il nous permet dès aujourd'hui d'évaluer où se situent les futurs problèmes. » Et ces problèmes sont de plus en plus nombreux au fur et à mesure que le transistor se rapproche de l'échelle atomique.

Sematech (Semiconductor Manufacturing Technology), consortium regroupant les principaux industriels de la filière du silicium, souligne ces limites dans son der-

nier "plan de route", censé identifier les défis technologiques des quinze prochaines années. Selon eux, « une approche complètement différente sera nécessaire pour prolonger la miniaturisation. » C'est une révolution pour les transistors : le premier virage depuis plus de quarante ans.

MATIÈRE SOUS INFLUENCE

Le principe du transistor n'a en effet pas varié depuis sa création. C'est un simple robinet à électrons qui s'ouvre ou qui se ferme. À l'aide de ces deux seuls messages primaires (0 pour fermé, 1 pour ouvert), des connexions appropriées entre transistors forment des circuits intégrés, les puces. Ce sont elles qui effectuent les opérations logiques, à base de 0 et de 1, nécessaires au fonctionnement de l'ordinateur.

Pour éviter que ce circuit ne se perde dans un enchevêtrement de fils, Frosh et Derrick, deux chercheurs des laboratoires américains Bell, ont l'idée, dès 1954, de sculpter les transistors dans un seul morceau de matière, le silicium, dont la principale qualité est d'être facilement influençable : des impuretés implantées dans son réseau cristallin transforment ses propriétés électriques. Deux régions dis-

tinctes d'un même morceau de silicium sont ainsi dopées et possèdent une surcharge d'électrons. Elles forment la source (où arrivent les électrons) et le drain (d'où ils ressortent). Pour ouvrir et fermer le robinet, une grille, qui conduit l'électricité, recouvre l'ensemble, séparée de celui-ci par un isolant. Lorsqu'une tension inférieure à un certain seuil est appliquée sur cette grille, les électrons désertent la surface du silicium, ce qui isole la source du drain. Le

teur k , il doit en être de même pour sa largeur, son épaisseur d'isolant et la tension exercée sur sa grille. La vitesse, qui dépend de la distance, augmente d'un facteur k et la mémoire, qui dépend de la surface, d'un facteur k^2 . En cours de route, il peut arriver que le transistor ne respecte pas cette échelle et se déforme, suivant les capacités technologiques des constructeurs. Mais les proportions optimales sont toujours rétablies. La loi d'échelle fixe donc la direction de la route.

surdoué, cette loi sert aujourd'hui encore à prévoir les caractéristiques des futures générations de puces. Il est difficile de comprendre comment est venue à Gordon Moore cette intuition – alors que la route était à peine commencée. Il l'est tout autant de comprendre pourquoi la vitesse de miniaturisation des transistors est si régulière. Toujours est-il que les toutes dernières puces mises sur le marché, contenant 5 à 6 millions de transistors de 180 nanomètres de long chacun, étaient attendues de longue date. Le gigabit (un milliard de transistors sur une même puce) est prévu pour dans dix ans.

La construction de la route du silicium est un travail délicat : le tracé doit se faire en ligne droite et la vitesse des travaux est imposée.

LE MUR DE L'ATOME

Pourtant, « il n'y aura probablement pas de barrière technologique insurmontable pendant encore une dizaine d'années », prévoit Sorin Cristoloveanu, directeur de recherche du CNRS dans

le Centre de projet en microélectronique avancée, à Grenoble. Les puces sont passées en quarante ans de l'ère du kilobit (quelques milliers de transistors sur une même puce) à l'ère du mégabit (plusieurs millions). Elles traverseront bientôt l'ère du gigabit (plusieurs milliards) pour atteindre sans doute le téra-bit, avec plusieurs milliers de milliards de transistors... Sorin Cristoloveanu considère même que la vitesse de Moore sera, pendant un temps, légèrement dépassée. Ses collègues du LÉTI, Jean-Michel Lamure et André-Jacques Auberton-Hervé, ont en effet récemment mis au point un nouveau matériau, le SOI (Silicon On Insulator) qui permet de garder la struc-

Rétrécir pour avancer, seule solution sur la voie de la miniaturisation

transistor est alors fermé. Si la tension est supérieure à ce seuil, un canal d'électrons se forme entre les deux régions. Le transistor est maintenant ouvert.

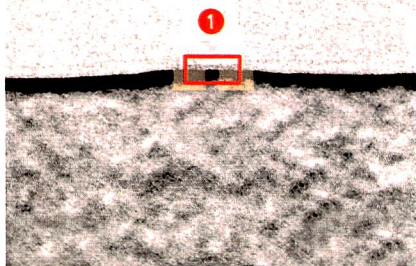
Depuis quarante ans, pour améliorer la performance des puces on multiplie simplement le nombre de ces transistors. La taille des puces étant limitée, la seule solution est la miniaturisation. Ainsi est née la route du silicium : le seul moyen d'avancer, c'est de rétrécir. Les transistors qui dévalent cette route ne respectent que deux règles : la loi d'échelle et la loi de Moore. La loi d'échelle a fixé une fois pour toutes la forme du transistor. Si la longueur d'un nouveau transistor se réduit d'un fac-

La vitesse est fixée par la loi de Moore : tous les trois ans, le nombre de transistors sur une plaque de silicium se multiplie par quatre. Tous les trois ans apparaît donc une nouvelle génération de transistors engendrant de nouveaux records de performance. Établie en 1965 par Gordon Moore, cofondateur d'Intel et oracle

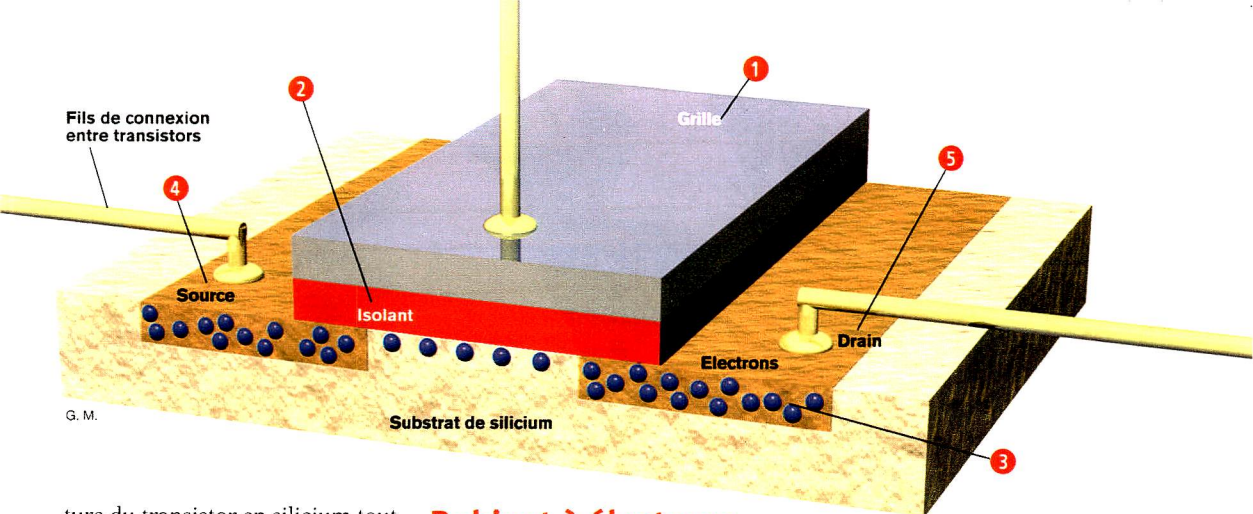


Ultime bijou

Sur le transistor de Simon Deleonibus, le plus petit du monde, la trace en forme de champignon ① du masque qui a été utilisé pour le graver. La partie utile (ci-dessus) contient les trois couches essentielles : la grille ② en métal conducteur, l'isolant ③ en oxyde de silicium et le substrat ④ de silicium.



CEA-LÉTI



G. M.

ture du transistor en silicium tout en facilitant sa miniaturisation. IBM prévoit d'utiliser cette technique pour ses prochaines puces. « Mais d'insolubles difficultés apparaîtront dans les années 2010-2015 », poursuit-il, lorsque l'on se rapprochera des dimensions moléculaires. Sur la route du silicium, se dressera le mur de l'atome.

Une des limites fondamentales à la taille des transistors est désormais connue. C'est la largeur de l'isolant entre le transistor et la

Robinet à électrons

Pour ouvrir un transistor, il suffit d'appliquer une tension au-dessus de la grille 1 posée sur un isolant 2 : les électrons 3 se déplacent de la source 4 (où ils arrivent) vers le drain 5 (d'où ils ressortent). Ces deux régions redeviennent électriquement isolées lorsque la tension s'annule. Le transistor est alors fermé.

grille. L'épaisseur minimale de cette couche vient d'être calculée par l'équipe de David Muller du laboratoire Bell (États-Unis) : elle ne doit pas avoir moins de cinq atomes de silicium, soit environ 0,7 nanomètre (*Nature*, vol. 399). Une di-

mension qu'elle atteindra normalement dès 2012. « Pour une épaisseur inférieure à quatre atomes, confirme, dans la même revue, Max Schulz de l'Institut de physique appliquée à l'université d'Erlangen (Allemagne), le courant traverse l'isolant, rendant le transistor caduc. » Une seconde frontière tout aussi cruciale est la distance entre le point d'arrivée du courant et son point de sortie. Selon Simon Deleoni, treize atomes de silicium (soit une longueur de 4 nanomètres) sont nécessaires pour assurer le fonctionnement de la machine. Distance qui sera atteinte dans un peu plus de quinze ans.

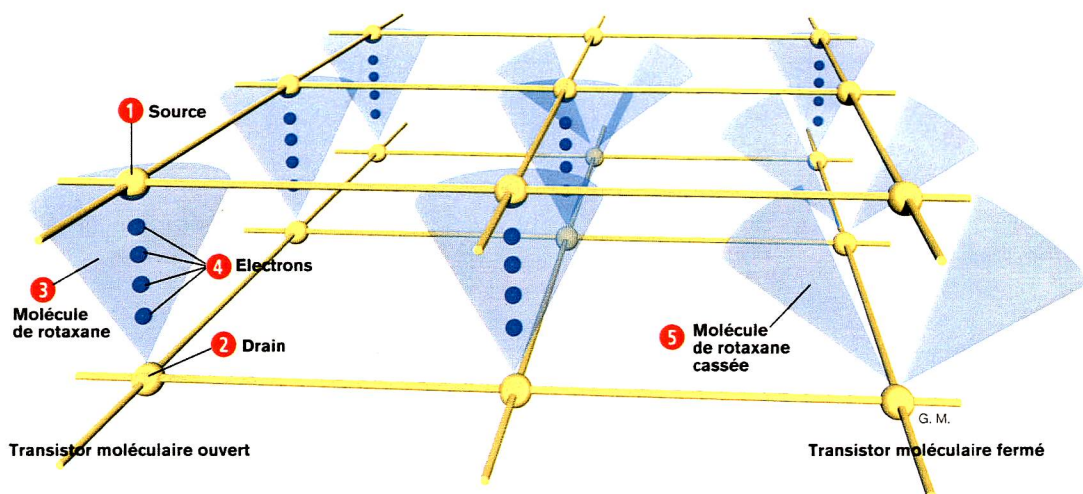
UN MARCHÉ STRATÉGIQUE

■ Une troisième loi sur la route du silicium vient s'ajouter aux lois d'échelle et de Moore. Elle est tout aussi scrupuleusement respectée. La loi de Rock, un autre collaborateur d'Intel, stipule que le coût de fabrication d'une puce double tous les quatre ans. Les cent cinquante fabricants actuels ne peuvent tous suivre ce rythme fou. La tendance est donc aux regroupements industriels et au cofinancement (comme l'alliance Apple, IBM et Motorola pour le PowerPC). Le prix du silicium entre pour une part négligeable dans la facture : c'est l'usine et la recherche qui coûtent cher. Depuis plus de quarante ans, le chiffre d'affaires

annuel du marché de la micro-électronique (qui devient en fait la nano-électronique) est ainsi en constante progression pour atteindre aujourd'hui 150 milliards de dollars. Il représentera dans dix ans plus de 40 % du marché global de l'électronique (qui sera alors le marché dominant dans le monde). La fabrication de transistors sera devenue un savoir-faire stratégique. « Dans dix ou vingt ans, prédit même Sorin Cristoloveanu, ce seront les États qui financeront les usines à puces, dont le coût unitaire atteindra près de 50 milliards de dollars. Une usine de microélectronique sera alors comme un trésor national, à conserver précieusement. »

VERS L'INFINIMENT PETIT

Le transistor de Simon Deleoni est très proche de ces limites. Avec six ou sept atomes d'épaisseur d'isolant et treize entre la source et le drain, il sera peut-être l'ultime transistor en silicium. A-t-on besoin de prolonger encore au-delà cette miniaturisation ? Dans dix ans, une puce pourra charger l'ensemble des données disponibles actuellement sur l'internet (environ $4,8 \times 10^{13}$ bits) en vingt minutes. Une performance *a priori* suffisante.



Une molécule pour le futur?

Le microprocesseur de l'avenir sera probablement minimaliste : un nœud de fils en haut (la source 1), un autre en bas (le drain 2). Entre les deux, une molécule de rotaxane 3, qui laisse circuler les électrons 4 du haut vers le bas, sauf si une tension appliquée entre les deux nœuds la casse 5. Le transistor se ferme.

te pour les ordinateurs de bureau. Mais de nouvelles applications sont imaginées. La puce sera tellement petite qu'elle envahira tous nos objets quotidiens (murs, stylos, vêtements...). Elle pourra également s'intégrer à des nanorobots injectés dans le corps pour y détecter maladies et dysfonctionnements génétiques. La technologie du silicium est insuffisante pour réaliser ces nouveaux rêves de puissance. Il faut donc tracer un nouveau chemin, pour prolonger le voyage vers l'infiniment petit.

Le transistor moléculaire est un candidat sérieux à la succession.

Le département de chimie et de biochimie de l'université de Californie a annoncé cet été la première construction d'un tel prototype (*Science*, vol. 285). Sa structure est radicalement nouvelle. La puce n'est plus constituée que de trois couches superposées. Les couches du haut et du bas sont deux réseaux identiques de fils perpendiculaires, la couche du milieu est un plan de molécules de R(1) rotaxane rangées en damier. Le transistor devient ainsi minimaliste : une simple molécule de rotaxane placée entre un croisement de fils de la couche du bas (qui joue le rôle de source) et un croisement de la couche du haut (le drain). Le rotaxane forme un pont entre les deux nœuds : un électron présent dans la couche du haut saute librement sur la molécule de rotaxane pour atteindre la rive du bas. Le transistor est ouvert, jusqu'à ce qu'un champ électrique appliqué entre les nœuds casse cette molécule. Le pont est brisé, l'électron bloqué et le transistor fermé. Le transistor moléculaire pourrait, à terme, permettre de miniaturiser cent gros ordinateurs

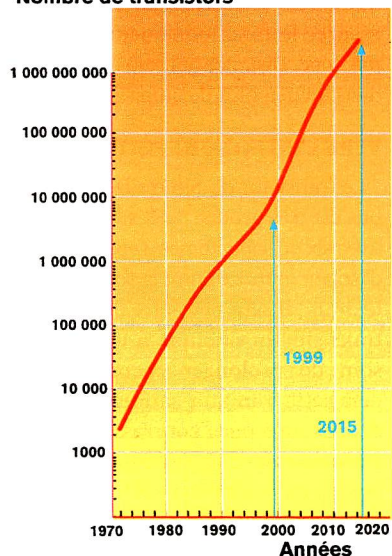
de bureau dans le volume d'un grain de sable... Mais il a aujourd'hui un défaut majeur : on ne sait pas, pour l'instant, réparer un pont de rotaxane détruit... Une molécule plus maniable est donc recherchée.

PISTES OUVERTES POUR MICRO-TRANSISTORS

D'autres pistes sont d'ores et déjà à l'étude : par exemple, le transistor en trois dimensions, qui intègre la technologie du silicium avec des connexions non plus seulement horizontales mais aussi verticales, le transistor quantique, qui n'émet pas des 1 ou des 0, mais un mélange de ces deux informations primaires, ou encore le transistor à un électron, qui réduit le courant à son intensité minimale...

La voie de la miniaturisation qui prolongera celle du silicium, inexorablement vouée à s'arrêter dans une quinzaine d'années, n'est donc pas encore trouvée. Mais des pistes sérieuses commencent à se dessiner. « La microélectronique ne mourra pas », affirme Sorin Cristoloveanu. Et le voyage continuera, sur une autre route.

Nombre de transistors



MON MINIDISC C'EST UNE VRAIE BOMBE.



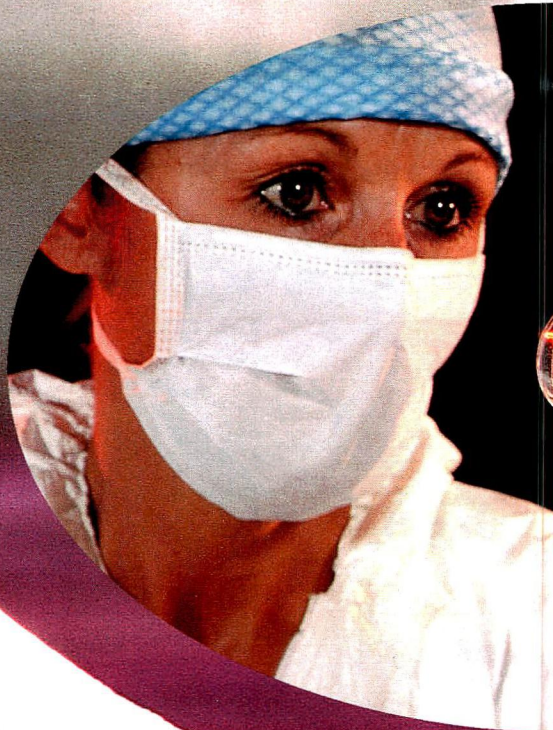
Ne vous fiez pas à sa taille, c'est une vraie bombe technologique. Vous tenez dans le creux de la main, le lecteur de MiniDisc AM-ST40. 74 minutes de pure musique numérique en continu. Emmenez-le partout, il se moque des chocs grâce à sa mémoire tampon électronique et écoutez indéfiniment, sans aucune perte de qualité. MiniDisc Aiwa, le nouvel objet de votre quotidien.



aiwa

j'aime
ce que tu fais pour moi

Il y a vingt ans,
une brûlure profonde
sur 20% du corps
était souvent fatale.
Aujourd'hui, on sauve
un grand brûlé à 90%.
Aux quatre coins du



Sauver la peau

monde, les chercheurs
améliorent les
techniques de culture
et de greffes
de peau... Et ils
obtiennent maintenant
des résultats
spectaculaires.



La culture au secours de la nature

L'épiderme obtenu par culture d'un fragment d'épiderme prélevé sur la peau saine d'un brûlé est détaché du fond de la boîte de Petri à l'aide d'un traitement enzymatique approprié (en bas). Une fois greffé sur un derme de culture, il donne une "peau reconstruite" (en haut), actuellement testée, avec succès, sur des souris, à l'hôpital Edouard Herriot de Lyon.

des brûlés

Faire peau neuve, après une brûlure grave, est maintenant chose possible. Cette formidable avancée scientifique et médicale concerne surtout les brûlures les plus étendues et les plus profondes. Certes, il reste toujours des cicatrices inesthétiques et indélébiles, mais elles sont malgré tout

mieux atténuées. Ces greffes de peau de culture avec derme et épiderme viennent compléter celles de l'épiderme qui existaient déjà. Bien que le derme soit encore très simple, il possède une bonne élasticité, une bonne souplesse ainsi qu'une certaine vascularisation. Il est de plus attaché au derme, par une jonction dermo-épidermique, comme dans la

PHOTOS : J.C. REY

peau naturelle. Ensuite, les chercheurs envisagent de rétablir le sens du toucher et de la douleur, et, dans un futur sans doute plus lointain, de mettre en place les dernières pièces du puzzle (glandes sudoripares, poils, cellules du système immunitaire). La peau greffée se confondra alors avec l'originale.

2 M² DE PEAU DE CULTURE EN TROIS SEMAINES

En France, ces recherches concernent les 200 000 patients atteints, chaque année, de brûlures nécessitant des soins. Plus particulièrement, elles s'adressent aux brûlures sérieuses (15 000 environ) qui nécessitent une hospitalisation, et aux cas très graves (3 000 environ) qui requièrent une admission dans l'un des 23 centres spécialisés existant en France.

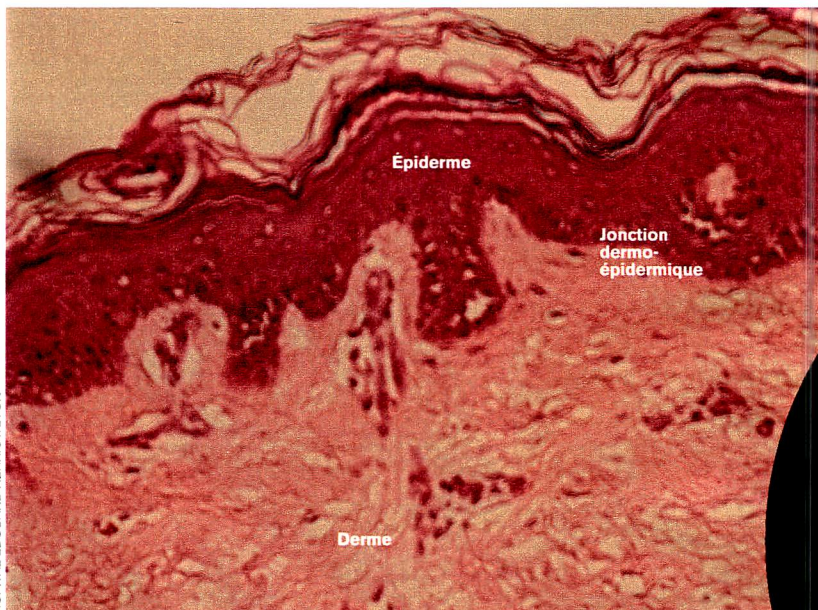
La peau, on l'a compris, n'est pas qu'une simple enveloppe faisant office de barrière de protection vis-à-vis du monde extérieur. C'est un revêtement complexe, dont on n'a pas fini de percer les secrets.

Pour sa part, l'épiderme est essentiellement constitué de kératinocytes, ainsi nommés parce qu'ils ont pour fonction de synthé-

ultraviolets du soleil. On y rencontre encore des cellules de Langerhans et des lymphocytes T, impliqués tous deux dans le système immunitaire, et des cellules de Merkel, récepteurs sensoriels responsables du sens du toucher. Enfin, l'épiderme est une structure qui se renouvelle constamment et

synthèse du collagène et de l'élastine, protéines indispensables à la "bonne santé" de la peau. Le derme contient également des vaisseaux sanguins qui jouent un rôle important dans la régulation de la température de l'organisme, des fibres nerveuses et musculaires, des récepteurs sensoriels et des populations cellulaires impliquées dans le système immunitaire, comme macrophages et mastocytes. Enfin, le derme repose sur un matelas de tissu adipeux, l'hypoderme, d'épaisseur variable selon sa localisation, qui se moule sur les muscles et les os sous-jacents.

Pour terminer, l'épiderme est rattaché au derme par un système d'ancrage sophistiqué, la jonction dermo-épidermique, appelée encore membrane basale épidermique. Il y a vingt ans, une brûlu-



Une peau de culture solide comme la vraie

Toute biopsie de peau saine (au centre, en médaillon), présente, au microscope, deux couches cellulaires superposées, à savoir, en profondeur, le derme et, en surface, l'épiderme. Ces deux structures sont rattachées l'une à l'autre par un système d'ancrage extrêmement complexe, appelé jonction dermo-épidermique ou encore membrane basale épidermique (à gauche), qui assure une bonne rigidité à la peau. Dans les "peaux reconstruites", obtenues en laboratoire, à partir de derme et d'épiderme de culture, ce même système d'ancrage sophistiqué est également présent (à droite).

La mise en culture du derme permet de traiter les brûlures les plus graves

tiser la kératine, une protéine fibreuse qui intervient dans la protection de l'organisme contre les agressions extérieures. On y trouve aussi des mélanocytes dont le rôle est de synthétiser la mélanine, un pigment qui assure la coloration de la peau et qui protège contre les effets nocifs des rayons

rapidement, puisque tous les 28 jours, il se reforme totalement.

Par contre, le derme est un tissu conjonctif plus lent à se renouveler puisque les fibroblastes qui le constituent ne se multiplient, en moyenne, que tous les trois ans. Les fibroblastes sont des cellules responsables, entre autres, de la

re profonde couvrant 20% de la surface corporelle pouvait être fatale. Aujourd'hui, grâce à la mise au point d'épiderme et de derme de culture, les médecins sont en me -

bout d'une semaine environ, les 2 cm² de peau de départ produisent une couche simple d'épiderme de 300 cm². On refait alors les mêmes opérations - séparation des cellules épidermiques, culture de ces cellules sur des fibroblastes irradiés - et on obtient, en dix jours, un épiderme qui est cette fois pluristratifié. Autrement dit, à partir d'un prélèvement initial de 2 cm², on peut

jours après l'accident la brûlure n'a toujours pas cicatrisé spontanément. Elle évite que les fibroblastes présents dans le derme ne se mettent à proliférer et à synthétiser des protéines en excès, responsables de cicatrices inesthétiques et de problèmes fonctionnels. Si l'étendue de la brûlure est inférieure à 60%, on a uniquement recours à de fines autogreffes provenant de la peau intacte du patient. En revanche, si elle dépasse 60%, il ne reste pas assez de

HÔPITAL EDOUARD HERRIOT/LYON



sure de guérir des patients brûlés à plus de 90%.

C'est en 1981 que la technique de fabrication de l'épiderme, inventée par le Dr Howard Green du MIT (*Massachusetts Institute of Technology*, Boston, États-Unis) a été appliquée chez des brûlés. Elle consiste à prélever un fragment de peau saine, d'environ 2 cm², pris dans une région épargnée par les brûlures, en général la plante des pieds ou les aisselles. Puis, l'épiderme est détaché du derme sous-jacent à l'aide d'une enzyme, la trypsine. Ensuite, les cellules de l'épiderme sont séparées les unes des autres et placées sur un tapis de fibroblastes irradiés faisant office de tissu nourricier. Au

obtenir en 3 semaines un épiderme susceptible d'être greffé d'1 à 2 m², selon les besoins du patient.

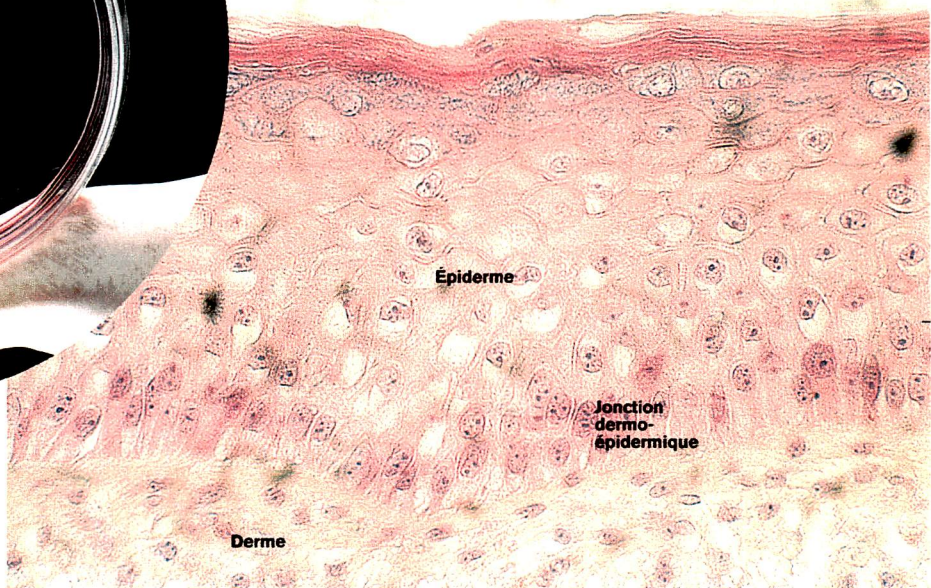
En raison de son coût, seules les brûlures graves et étendues bénéficient de cette technique. Dans les brûlures du premier degré et du deuxième degré superficiel, où l'épiderme seul est partiellement détruit, la brûlure guérit spontanément, à partir des kératinocytes situés à la base de l'épiderme. En revanche, dans les brûlures du deuxième degré profond, on distingue deux cas de figure.

Quand le derme est peu atteint, la greffe est impérative, si quinze

peau saine pour assurer le recouvrement des plaies. Les autogreffes sont donc complétées par des greffes d'épiderme de culture.

ÉVITER LE REJET DE LA GREFFE

Par contre, quand le derme est très atteint, il doit être remplacé, afin de limiter les cicatrices hypertrophiques et les rétractions. Si l'étendue de la brûlure est inférieure à 60% de la surface corporelle, les autogreffes suffisent. En revanche, si elle dépasse 60%, on les complète par des homogreffes, c'est-à-dire par des greffes de peau maintenue à basse température,



provenant d'un donneur en coma dépassé. La technique consiste à appliquer la peau du donneur sur la plaie, puis à en détacher l'épiderme afin de pouvoir y greffer quinze jours plus tard de l'épiderme de culture. Cette précaution est nécessaire car les kératinocytes de l'épiderme greffé portent des antigènes d'histocompatibilité pouvant être reconnus par les cellules du système immunitaire de l'hôte et donc de déclencher rapidement le processus du rejet. En revanche, le derme, lui, ne pose pas de problème, car les fibroblastes sont dépourvus d'antigènes d'histocompatibilité impliqués dans le rejet. Toutefois, cette peau finit toujours par être rejetée, en général au bout de trois semaines. Ce délai est cependant suffisant pour permettre la cicatrisation des brûlures superficielles, ainsi que celles des sites où l'on a déjà prélevé de la peau. A ces endroits, on pourra donc prélever de la peau pour d'éventuelles autogreffes. Les homogreffes ont toutefois des inconvénients. Le premier est la pénurie de prélèvements de peau sur des cadavres, le second concerne les risques infectieux, car le greffon peut contenir des virus et des bactéries pathogènes. D'où les recherches pour obtenir une peau de culture, avec derme et épiderme.

UN SUBSTRAT ET DES VARIANTES

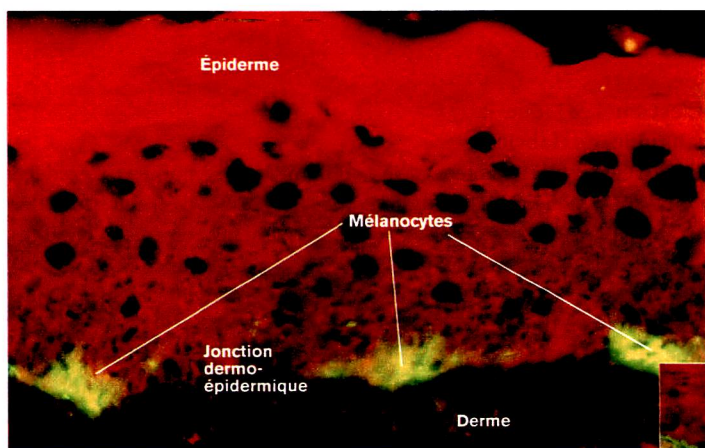
C'est en 1980 que fut mis au point le premier "substrat dermique", c'est-à-dire la charpente protéique sur laquelle s'édifie le derme. Son inventeur, le Dr Ianis Yannas, chercheur au *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge (États-Unis) le fabriqua à partir de collagène purifié de bovin, auquel il ajouta des chondroïtines sulfates (molécules sucrées de la famille des glycosaminoglycanes), afin d'em-

■ Dans les pays du Tiers Monde où il n'est évidemment pas question de produire des substituts cutanés de culture, comment fait-on pour soigner les brûlés ? Une seule solution : le système D. Une solution qui donne parfois des résultats étonnants, comme nous avons pu le constater à l'Institut national des brûlures Le Huu Trac, à Hanoï (Vietnam). Malgré des installations vétustes et un matériel rudimentaire, les médecins vietnamiens parviennent à tirer

LA PEAU DE GRENOUILLE

d'affaire des brûlés sérieusement atteints. Ces guérisons ont une explication. Elles ont pour origine un environnement microbien favorable, un personnel soignant nombreux et dévoué, mais surtout une technique originale de greffe de peau. Elle a été mise au point, durant la guerre du Vietnam, par un médecin militaire, le P^r Le The Trung, pour venir en aide aux victimes du napalm et des bombes à phosphore. Au début rien que de plus classique. Avant

de pratiquer la greffe, le patient est préparé selon les règles édictées dans les manuels de l'infirmier de campagne, les seules applicables dans un pays pauvre. On commence par le plonger dans un bain d'eau froide stérile pendant 20 minutes, puis on applique sur sa plaie un pansement sec compressif, afin de diminuer les pertes de liquide par l'organisme. Ensuite, on lui fait boire de l'eau additionnée de sucre et de sel de cuisine, et on le transfuse avec du sérum physiologique.



PHOTOS : HÔPITAL EDOUARD HERRIOT LYON

Irriguée et pigmentée comme la vraie

Les chercheurs sont capables d'obtenir *in vitro* des peaux avec un épiderme contenant des mélanocytes, des cellules contenant de la mélanine, pigment qui assure notamment le bronzage (cellules jaunes marquées d'une flèche, ci-dessus). Il leur est aussi possible de créer des peaux présentant dans le derme des structures tubulaires mimant les capillaires sanguins (tubes en coupe marqués d'une flèche, à droite).

AU SECOURS DES GRANDS BRÛLÉS

Enfin, après lui avoir administré quelques comprimés d'antibiotiques, le patient est prêt pour l'opération.

La technique employée consiste à recouvrir la plaie avec de la peau de grenouille, afin de l'isoler du milieu extérieur. Puis la peau est taillée en bandes, à la façon de ces rideaux qui, dans le midi, servent à protéger du soleil. Une bande sur deux est ensuite enlevée, et, dans les emplacements libres, on greffe à la place des bandes de peau saine, prélevées sur le patient. Progressivement les bandes d'autogreffe s'élargissent au détriment des bandes

de peau de grenouille, qui dégénèrent. Finalement, les bandes d'autogreffes finissent par se rejoindre. Les deux phénomènes s'adaptent si harmonieusement qu'il n'y a pas de plaie apparente.

« Cette technique marche aussi bien que celle utilisant de la peau de cadavre. De toute façon, on ne peut pas faire autrement, pour des raisons de crédits et religieuses, la mort étant taboue. En revanche, il est facile de se procurer de la peau de grenouille. Il suffit de se baisser pour en avoir », commente le Pr Le The Trung. Joignant le geste à la parole, il désigne du



Au Vietnam, le Pr Le The Trung (à droite) utilise de la peau de grenouille en guise de substitut cutané.

doigt la rizière entourant l'hôpital, d'où monte le coassement envoûtant des batraciens.

Aucune infection n'est à craindre pendant le traitement des patients, car l'hôpital bénéficie d'un environnement microbien favorable. Sa position dans la banlieue d'Hanoi, en pleine

campagne, le met à l'abri de toute pollution. Par ailleurs, la brise légère qui passe à travers ses larges baies sans fenêtre renouvelle en permanence l'air ambiant. Cette technique révolutionnaire a valu au Pr Le The Trung une réputation mondiale.

pêcher la dégradation du collagène par les enzymes bactériennes et son rejet par le système immunitaire. Enfin, pour éviter que le collagène ne se solubilise, il additionna à la préparation un produit chimique, le glutaraldehyde. Il obtint ainsi une sorte d'éponge très proche de la matrice du derme.

En 1987, le Dr Ianis Yannas pro-

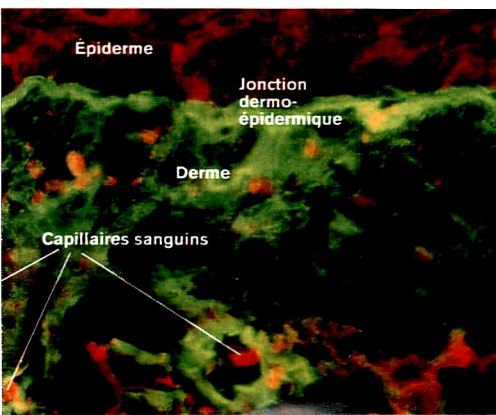
Des techniques qui guérissent en rendant à la peau sa souplesse

céda aux premiers essais cliniques chez l'homme. Le "substrat dermique" est appliqué sur la plaie, puis recouvert, quinze jours plus tard, par une fine autogreffe provenant de la peau saine du patient.

Les vaisseaux sanguins et les fibroblastes migrent alors de la plaie vers le "substrat dermique" par les orifices de la structure poreuse. Depuis août 1995, ce substitut cutané est introduit sur le marché sous le nom d'Integra par la société américai-

ne Integra Life Science Corp et il est diffusé en France par la société Surgi B. La technique "Ianis Yannas" est aujourd'hui utilisée dans les centres spécialisés pour grands brûlés. Pour le plus grand bien des patients : elle facilite la guérison en limitant les cicatrices et les rétractions et permet de retrouver une peau plus souple.

Une variante de ce type de "substrat dermique" a été mise au point par l'équipe du Dr Odile Dammour, responsable du laboratoire des substituts cutanés à l'hôpital Edouard Herriot de Lyon. Sa principale originalité a consisté à rem-



placer le glutaraldéhyde toxique par un polysaccharide biologique extrait de la carapace de crustacés, le chitosane. Actuellement, une cinquantaine de patients ont été traités à l'hôpital Edouard Herriot, à Lyon et à l'hôpital Sainte Anne, à Toulon, avec des résultats encourageants, tant au niveau de la souplesse et de l'élasticité obtenues que de la qualité du tissu conjonctif observé sous microscope.

Les "substrats dermiques" ont cependant un gros inconvénient. Comme ils doivent être épidermisés avec de l'autogreffe ou de l'épiderme de culture, après leur vascularisation et leur colonisation par les fibroblastes du patient, cela prend beaucoup de temps. C'est la raison pour laquelle les chercheurs s'attachent à mettre au point des substituts cutanés plus élaborés. Pour ce faire, trois voies de recherche sont actuellement explorées.

PEAUX RECONSTRUITES ET PIGMENTÉES

La première consiste à ensemencer, *in vitro*, des "substrats dermiques" avec des fibroblastes. Ceux-ci synthétisent, dans la trame de collagène du substrat, les différents composants du derme naturel, à savoir du collagène, de l'élastine, des glycoprotéines, des glycosaminoglycanes. De plus, les fibroblastes produisent et libèrent des facteurs de croissance. Le derme de culture ainsi obtenu est appelé "derme équivalent". Encore au stade de l'expérimentation animale, il pourrait ultérieurement être greffé sur des brûlés puis recouvert ensuite avec un épiderme de culture. Il pourrait également servir à traiter les plaies chroniques, qui surviennent notamment chez certains diabétiques.

Les "dermes équivalents" sont également utilisés *in vitro* comme terrain de culture pour des kérati-

nocytes. Après deux semaines de culture, on obtient un épiderme pluristratifié et bien différencié, ancré sur le "derme équivalent" par une jonction dermo-épidermique. Cette peau de culture, avec derme



J.C. REY

Qualité certifiée

Toutes les peaux fabriquées *in vitro* à l'hôpital Edouard Herriot de Lyon font l'objet d'un contrôle microscopique rigoureux. Il permet de s'assurer de la bonne croissance des cellules, gage d'une peau de qualité.

et épiderme, appelée "peau reconstruite", est actuellement testée, à Lyon, sur des souris nues. Il s'agit de souris atteintes d'une maladie héréditaire grave qui supprime les défenses immunitaires naturelles. Une maladie que l'on rencontre aussi chez certains enfants obligés de vivre, dès leur naissance, à l'intérieur d'une bulle stérile. Aux dernières nouvelles, la prise de la "peau reconstruite" et la cicatrisation ont été obtenues. La principale utilisation des "peaux reconstruites" concernera la chirurgie

tubulaires, comme les capillaires sanguins. On obtient ainsi des "dermes équivalents endothélialisés", qui une fois épidermisés donnent des "peaux reconstruites endothélialisées". Ce résultat a été

obtenu par l'équipe d'Odile Damour, en collaboration avec l'équipe du P^r François Auger du laboratoire d'organogénèse expérimentale, à Québec (Canada).

La troisième voie de recherche porte sur la culture de kératinocytes et de mélanocytes, c'est-à-dire des cellules pigmentées contenant de la mélanine, sur des "dermes équivalents". Les ké-

ratinocytes se développent en épiderme, tandis que les mélanocytes, restent localisés dans la couche basale de l'épiderme. Après irradiation aux rayons ultraviolets, les mélanocytes sont capables de synthétiser de la mélanine et de la transférer aux kératinocytes voisins, par l'intermédiaire des dendrites qu'ils émettent. Autrement dit, il se produit *in vitro* le même phénomène que dans le bronzage. On obtient dès lors une "peau reconstruite pigmentée".

L'enjeu des recherches est de reconstituer une peau "d'origine"

réparatrice des grands brûlés.

La seconde voie de recherche consiste à cultiver *in vitro* sur un "substrat dermique" des fibroblastes et des cellules endothéliales, c'est-à-dire des cellules qui constituent la paroi des vaisseaux sanguins. Les cellules endothéliales s'organisent en structures

Toutes ces expériences bénéficieront bien sûr aux grands brûlés. On s'attend aussi à ce qu'elles fassent progresser la recherche fondamentale et des disciplines, comme la pharmacotoxicologie. Les choses devraient se faire progressivement mais sûrement, en donnant du temps au temps. ■

Y a pas que Jimmy
dans votre vie.

Marie Caroline

LES CHRONIQUES ET LES MAGAZINES
DE JIMMY

c'est une autre façon de voir la culture :
T'es Toi, La Route, T'as pas une Idée,
Chronique de mon Canapé,
Chronique du Front, des infos et débats
sans concession qui ont tout,
sauf un air de déjà vu.

CANAL
JIMMY

LA CHAÎNE QUI NOUS RESSEMBLE

Embryon

La science au-delà de l'éthique

A partir de quand un groupe de cellules est-il considéré comme une personne ? La science a-t-elle le droit de concevoir des clones ou de choisir le sexe de l'enfant... en manipulant et en sélectionnant des embryons humains ? La recherche peut aller beaucoup plus loin que le droit ne l'y autorise. Faut-il lui fixer des limites au moment où la loi sur la bioéthique va être révisée ?

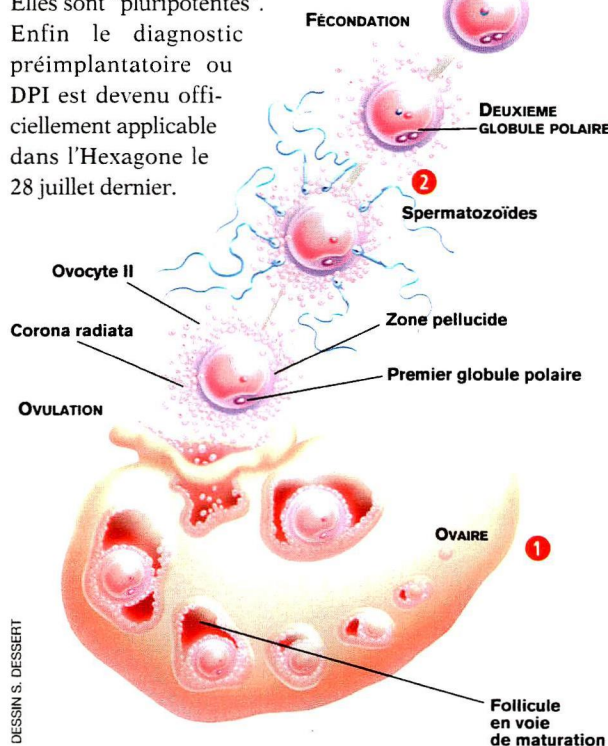
© 1999 SFL - 01870139

La fécondation *in vitro* permet d'observer l'embryon humain de sa conception à la fin de la première semaine. Cet embryon de quatre jours – une dizaine de cellules –, en équilibre sur une tête d'épingle, est une "morula". Il a été débarrassé de sa coque protectrice, la zone pellucide, que l'on voit autour de l'embryon de deux jours observé au microscope.

Embryon

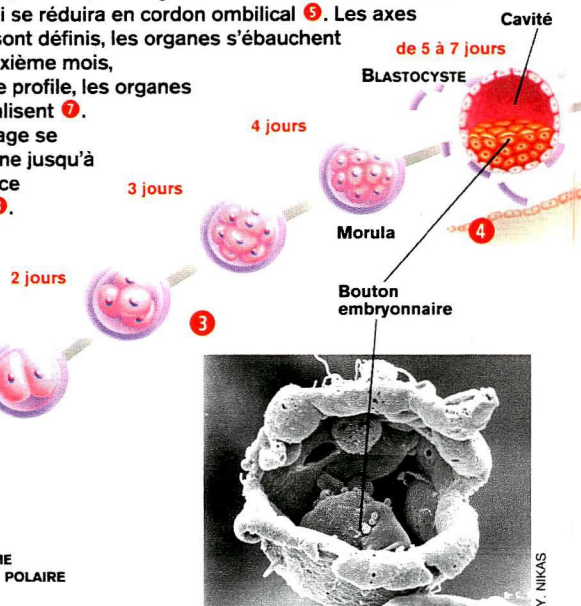
la science au-delà de l'éthique

particulier, elle n'évoque pas et pour cause le clonage "reproductif" et le clonage "thérapeutique". Le premier est devenu réalité chez les mammifères avec l'annonce de la naissance de l'agneau Dolly, le 27 février 1997; il consiste à transférer le noyau d'une cellule différenciée d'un individu dans le cytoplasme d'un ovocyte énucléé afin d'obtenir le développement d'un individu au même patrimoine génétique. Le second n'est encore qu'une promesse, mais le 6 novembre 1998, on a identifié chez l'homme les cellules "souches" embryonnaires, découvertes chez la souris en 1981 : ce sont des cellules prélevées dans la masse interne d'un embryon de sept jours (appelé blastocyste) qui restent aptes à se différencier en tel ou tel type cellulaire (peau, muscle, cellule sanguine etc.) selon le milieu de culture. Elles sont "pluripotentes". Enfin le diagnostic préimplantatoire ou DPI est devenu officiellement applicable dans l'Hexagone le 28 juillet dernier.



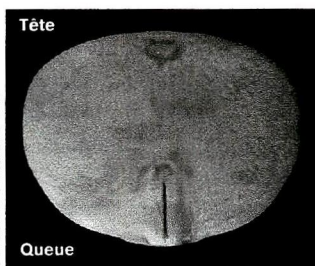
Comment on devient un bébé

La conception commence par la rencontre en haut de la trompe utérine d'un ovocyte maternel et d'un spermatozoïde paternel. L'ovocyte a acquis sa maturité dans l'ovaire à l'intérieur des follicules ①. Parvenu à un stade précis, il est éjecté, entouré de cellules folliculaires. Il migre grâce au liquide folliculaire. L'entrée d'un spermatozoïde dans l'ovocyte en interdit l'accès aux suivants ②. L'ovocyte émet un deuxième globule polaire (qui dégénérera, comme le premier). Les deux noyaux des cellules parentales fusionnent, l'œuf commence ses divisions ③. A 5 jours, l'embryon dit "blastocyste" montre deux tissus différenciés : le bouton embryonnaire, au centre d'une cavité, qui donnera l'embryon, et le trophoblaste, à la périphérie, qui donnera le placenta ④. Il établit un dialogue avec la muqueuse où il s'implante au septième jour. A 14 jours, le bouton embryonnaire s'aplatit en un disque délimité par deux cavités, la cavité amniotique, dorsale, où baignera le fœtus, et le sac vitellin, ventral, qui se réduira en cordon ombilical ⑤. Les axes du corps sont définis, les organes s'ébauchent ⑥. Le deuxième mois, le corps se profile, les organes s'individualisent ⑦. Ce modelage se perfectionne jusqu'à la naissance du bébé ⑧.



Aujourd'hui très réglementé comme nous le verrons, c'est malgré tout la première porte ouverte sur le tri des embryons.

Pour l'instant, qu'a-t-on le droit de faire sur l'embryon humain en France? « En pratique, rien, aucune expérimentation ni aucune recherche », répond Yves Ménézo, biologiste pour la fécondation *in vitro* (FIV) à l'Institut rhône-alpin et directeur de recherches à l'Institut national des sciences appliquées de Lyon. A partir de ses travaux sur des souris et des bovins, il a mis au point les premiers milieux de culture performants pour l'embryon humain, cette entité nouvelle, sortie de l'ombre dans les années 80 grâce à l'assistance médicale à la procréation (AMP), qui pallie les problèmes de stérilité. L'AMP inclut un



Disque embryonnaire

Cavité vitelline
(ventrale)Cavité
amniotique
(dorsale)14 jours Muqueuse
utérine

Le plus grand jour de la vie

Pour les embryologistes anglo-saxons, le plus grand moment de la vie est la gastrulation, vers 14 jours. Elle détermine les axes fondamentaux du corps et met en place les trois "feuilles" primordiales à l'origine de tous les tissus et organes.

FŒTUS

4 semaines

8 semaines

4-5 mois

9 mois

8

NAISSANCE

traite-
ment hor-
monal de la femme
qui amène à maturité plusieurs follicules
de ses ovaires (contre un seul par cycle na-
turel); lorsqu'on déclenche l'ovulation, on
obtient alors plusieurs ovules dans le li-
quide folliculaire ponctionné, mais 60%
seulement d'entre eux ont le stade précis
requis pour être fécondables : le stade
ovocyte II (voir dessin ci-contre). Les em-
bryons naissent du rapprochement de
ces ovocytes II et des spermatozoïdes en
tube à essai. Dans une variante de la FIV
nommée *Intracytoplasmic spermatozoid
injection* (ICSI), on choisit même "le"
spermatozoïde qui fécondera l'ovocyte
(voir photo p. 92). Indiquée dans les cas
de stérilité masculine, cette micromanipulation
mise au point en 1992 a connu
un essor tel qu'elle représente
aujourd'hui 39% des FIV (1).

Après la fécondation, qui a lieu deux à
six heures après le rapprochement des
noyaux des cellules sexuelles (gamètes),
la cellule-œuf se divise dans le milieu de
culture. Le troisième jour après la fécon-
dation, lorsque les embryons ont une di-
zaine de cellules, on les transfère dans
la cavité utérine (au maximum deux ou

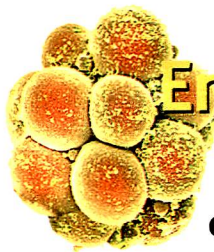
trois) pour éviter le
risque de grossesses multiples.
Les autres, dits surnuméraires (en
moyenne un sur deux), sont congelés
pour un délai de cinq ans au delà duquel,
si le projet parental n'existe plus, on doit
les détruire.

« Au stade de sa culture *in vitro*, l'em-
bryon n'est rien de plus qu'un œuf
segmenté », confie le Pr René Frydman,
gynécologue obstétricien à l'hôpital Anto-
ine-Béclère de Clamart (Hauts-de-Seine).
Depuis Amandine, premier "bébé-éprou-
vette" français, née en 1982 sous ses aus-
pices et ceux du biologiste Jacques Tes-
tart, 66 000 enfants sont nés après FIV en
France. En 1998, ils étaient près de 8 000,
soit 1% des naissances. Aujourd'hui, les
deux pionniers de la FIV affichent des
points de vue divergents sur l'usage de
l'embryon.

PERSONNE POTENTIELLE OU ŒUF SEGMENTÉ ?

Pour René Frydman, « l'œuf segmenté
ne devient un embryon doté d'humanité
que s'il s'inscrit dans un projet et un désir
parental *via* son transfert, immédiat ou
différé après congélation, dans l'utérus
maternel ». L'implantation de l'embryon
dans l'utérus (nidation) est le moment dé-
cisif qui lui donne vie, avis que partagent
de nombreux scientifiques dont Françoise
Arnal, biologiste du laboratoire de fécon-
dation *in vitro* du CHR de Montpellier et
membre de la Commission nationale de
médecine et de biologie de la reproduc-
tion et du diagnostic prénatal (CNM-

(1) 96 centres sont agréés pour les activités biolo-
giques (la FIV proprement dite) dont 71 pour l'ICSI, et
99 centres sont agréés pour les actes cliniques (sti-
mulation de l'ovulation, ponctions, transfert des em-
bryons...).



Embryon

la science
au-delà
de l'éthique

BRDP). Ne peut-on utiliser les milliers d'embryons congelés abandonnés à des fins de recherche, comme le préconise dans son avis n° 53, le Comité consultatif national d'éthique?

« Non, juge Jean-François Mattei, professeur de génétique médicale à l'hôpital d'enfants de La Timone, à Marseille, et membre du Comité directeur de bioéthique du Conseil de l'Europe. Comme on n'a pas le droit de créer des embryons pour la recherche, on serait trop content de pouvoir compter sur ces embryons surnuméraires et on ne mènerait plus les recherches indispensables sur la congélation des ovocytes (aujourd'hui infaisable) ou sur l'amélioration de leur aptitude à la fécondation *in vitro*. Sans compter que pour les croyants dont je suis, l'Église catholique prône, pour la dignité de l'être humain, la mort de l'embryon plutôt que son instrumentalisation ».

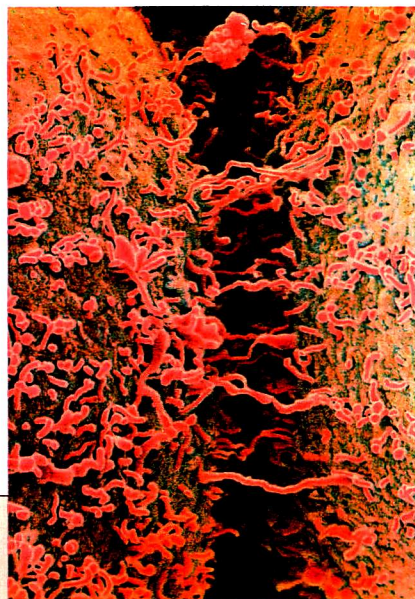
LES INSUFFISANCES DE LA LOI

« L'empressement à travailler sur l'embryon humain est davantage du ressort de l'idéologie que de la science, dit Jacques Testart, directeur de l'unité Maturation gamétique et fécondation à l'Inserm. « Car les recherches utiles peuvent être d'abord menées soit sur l'embryon animal, soit sur les gamètes humains ». Et de rejeter la position des Anglo-Saxons, ces "apologistes du quatorzième jour" qui estiment qu'avant ce stade, l'embryon est un "pré-embryon". Ainsi aux États-Unis et au Royaume-Uni, où Louise Brown a déclaré, le 25 juillet dernier lors de ses 21 ans, qu'elle était fière d'être le premier bébé-épiprouvette, on autorise la recherche - et même la conception d'embryons pour la recherche -

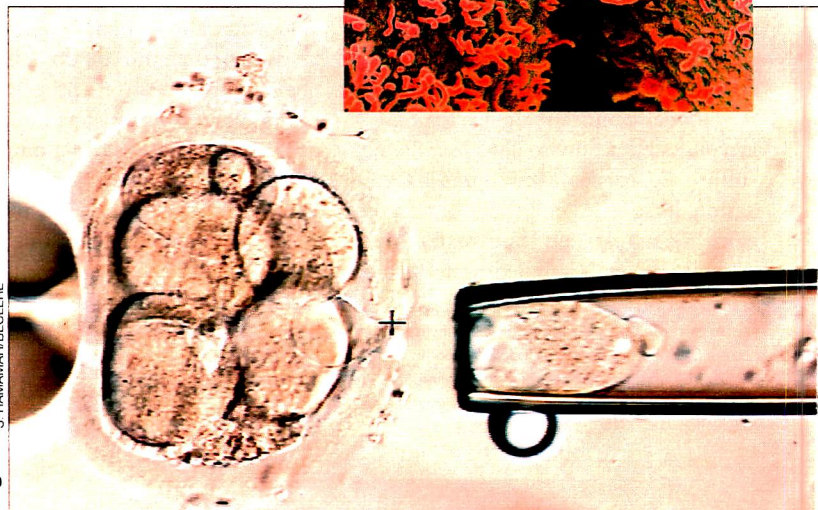
jusqu'au quatorzième jour de son développement. « Cette appellation de préembryon est dérangeante, convient le P Michel Vekemans, chef du service d'histologie, embryologie et de cytogénétique à l'hôpital Necker, car le développement est un processus continu, mais il est vrai qu'on ne parle véritablement d'embryon qu'à partir du stade où le plan général d'organisation du corps apparaît, avec son axe primitif, la chorde dorsale, et les trois feuilletés à l'origine de tous les tissus : l'ectoderme, à l'origine de la peau, du système nerveux..., l'endoderme, à l'origine du tube digestif, de l'appareil respiratoire... et le mésoderme, à l'origine du squelette, des muscles, de l'appareil cardio-vasculaire, de l'appareil uro-génital... Le mésoderme, dernier différencié, se met en place au début de la troisième semaine lors d'un stade nommé gastrulation dont l'embryologiste britannique Lewis

Biopsie très précoce

Les six à dix cellules appelées blastomères d'un embryon de trois jours ne sont pas fermement jointives (ci-contre). Cela permet de prélever l'une d'entre elles pour un diagnostic sans altérer le développement ultérieur de l'embryon (ci-dessous).



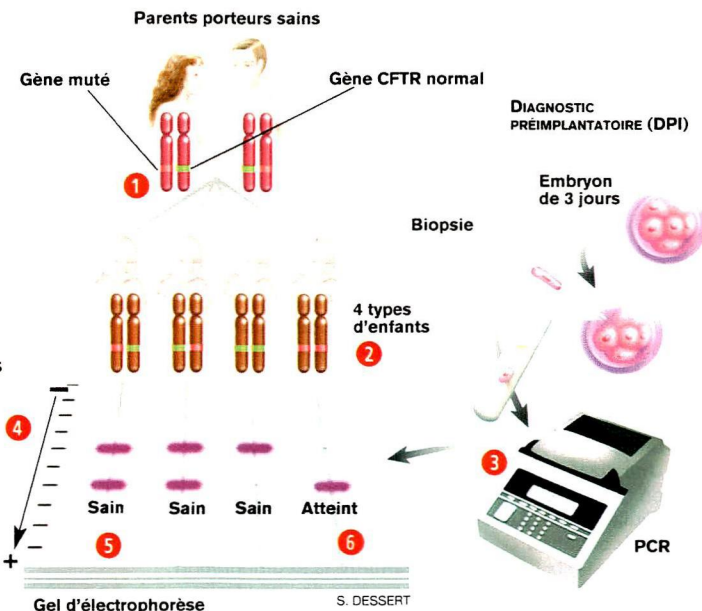
Y. NIKAS/SPL/COSMOS



S. HAMANAH/BECLERE

Sain ou atteint ?

La mucoviscidose, qui limite l'espérance de vie à 30 ans, est due à une mutation récessive du gène *CFTR* (*cystic fibrosis transmembrane receptor*) : une personne développe la maladie, quand elle hérite du gène muté de chacun de ses parents ❶. Si les deux parents sont porteurs sains, le risque d'être atteint concerne 25 % des enfants ❷. La mutation la plus courante est détectable par la technique PCR qui permet de "photocopier" le fragment du gène où se trouve la mutation, un "mot" de trois lettres enlevé dans une "phrase" du gène ❸. On fait migrer cette "phrase" dans un champ électrique sur un gel (l'ADN est chargé négativement) ❹. Si elle est complète, la "phrase", plus lourde, s'arrête plus tôt (gène normal) ❺. S'il manque un mot (gène muté), elle migre plus loin. On détecte ainsi l'embryon atteint ❻.



Wolpert disait de manière volontairement excessive : « Ce n'est pas la naissance, le mariage ou la mort, mais la gastrulation qui constitue véritablement le moment le plus important de notre vie ». Pour Michel Vekemans, il importe que des études soient menées sur notre propre espèce, dans un cadre respectant les avis du Comité consultatif national d'éthique. « Nous étudions depuis deux ans dans notre service les embryons (morts) récupérés au centre d'orthogénie de l'hôpital Broussais (Paris). Ils ont jusqu'à 5 semaines, stade jusqu'auquel on peut interrompre une grossesse non désirée à l'aide du composé hormonal RU 486 (au delà, l'aspiration les désintègre). Nous découvrons de multiples différences sur l'expression des gènes entre le modèle souris (ou le poisson zébré, ou la drosophile...) et les embryons humains. »

Les adeptes de la recherche sur l'embryon précoce font valoir quant à eux la contradiction entre le fait que la loi de 1994 interdit toute recherche sur l'embryon *in vitro*, pourtant âgé de moins d'une semaine, alors que la loi de 1975 dépénalise l'interruption volontaire de grossesse jusqu'à dix semaines de grossesse biologique, et que le stérilet ou la pilule du lendemain ("contragestion") empêchent la ni-

dation d'embryons de plus de sept jours... Pour l'instant, sur les embryons vivants, la loi est ferme. Aucune étude ne peut être entreprise « si elle a pour objet ou risque d'avoir pour effet de modifier le patrimoine génétique de l'embryon, ou est susceptible d'altérer ses capacités de développement », précise un décret du 27 mai 1997. A titre exceptionnel, on peut entreprendre des études « qui présentent un avantage direct pour l'embryon concerné », notamment en vue d'accroître les chances de réussite de son implantation, ou « qui contribuent à l'amélioration des techniques d'assistance médicale à la procréation ».

ANALYSE GÉNÉTIQUE SUR MESURE

L'autorisation préalable du ministre de la Santé dépend alors de l'avis de la CNM-BRDP, instituée en mai 1995. Le type d'études sur lesquelles ses membres actuels, nommés le 8 avril 1999, auront à se prononcer concerne par exemple, les moyens de détecter la viabilité des embryons que l'on transfère, ou la composition des milieux de culture sur lesquels ils se développent. Car la tendance aujourd'hui est de

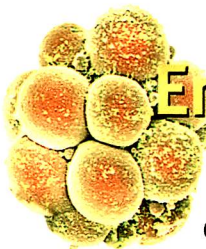
Suite p. 92

Sexage

On connaît rapidement le sexe de l'embryon en utilisant des sondes fluorescentes qui s'hybrident spécifiquement avec le chromosome recherché (technique FISH). Ici, on a repéré un chromosome Y (en vert) et un chromosome X (en rose). C'est donc un garçon. Aujourd'hui, en France, le sexage des embryons est réservé au diagnostic des maladies liées à l'X (on élimine les mâles). Mais qu'en sera-t-il demain ?



S. ROMANA/NECKER



Embryon

la science
au-delà
de l'éthique

P.M. MOTTA ET AL/SPL/COSMOS

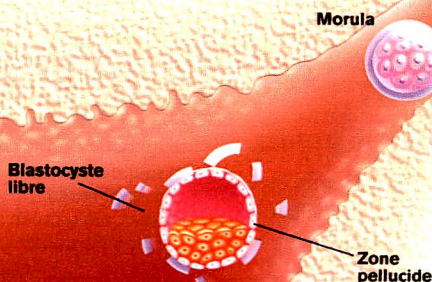
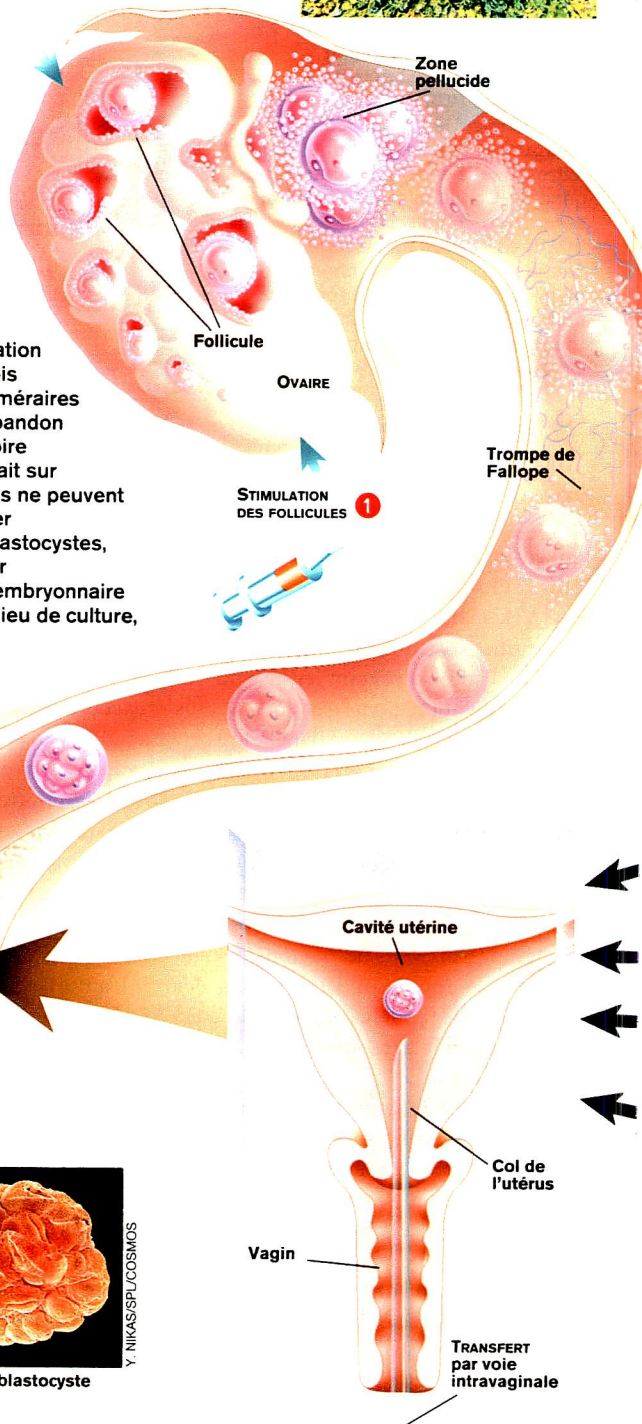
Ovocyte mature
(0,12 mm) avec son
globule polaire (rouge)
et sa couronne de
cellules folliculaires

DÉCLENCHEMENT
DE L'OVULATION 2



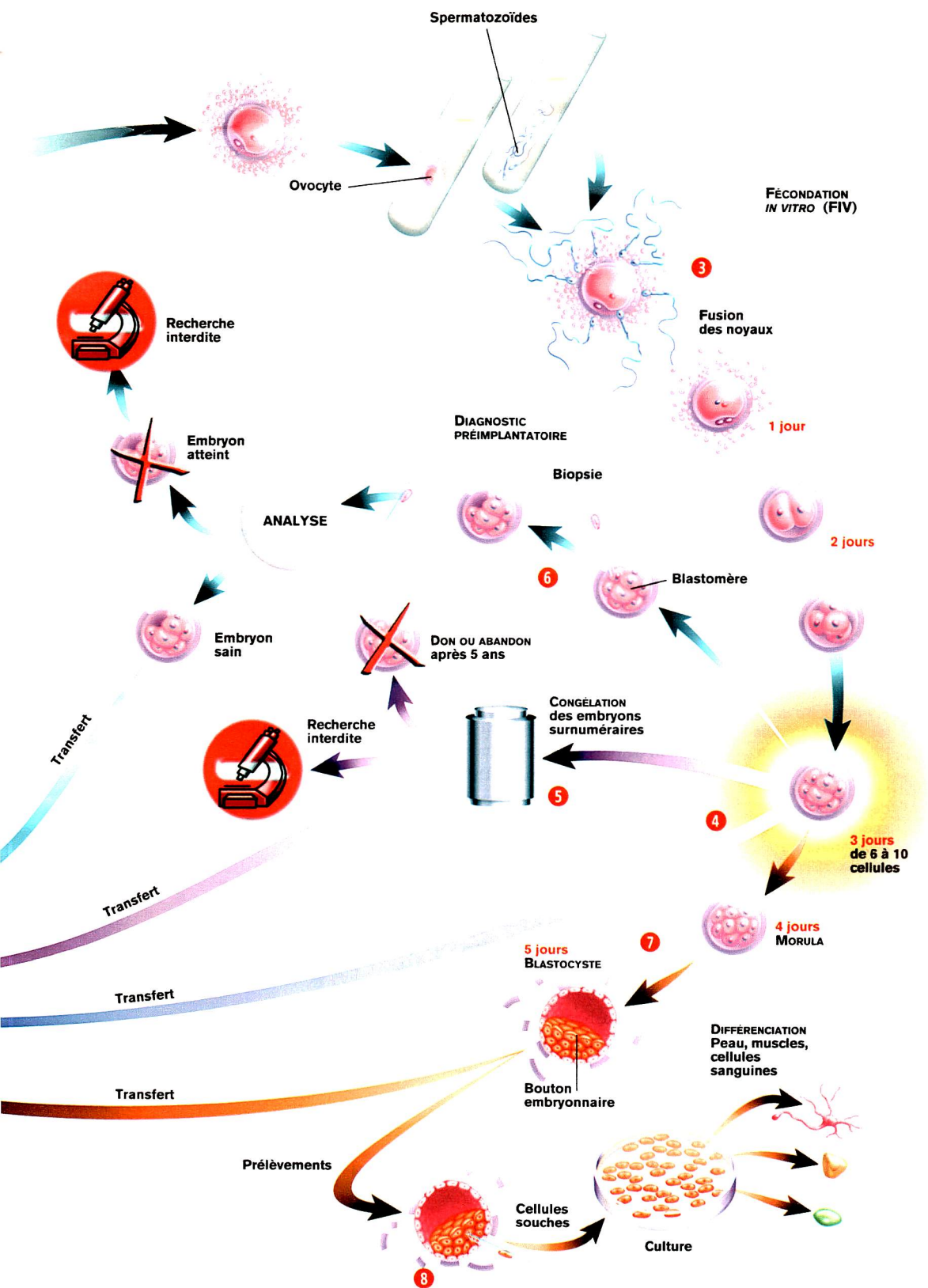
L'embryon convoité

Une tentative de FIV est couronnée de succès une fois sur cinq. En revanche, elle produit un excédent d'embryons. Car un traitement hormonal amène plusieurs follicules à maturité 1 alors que dans un cycle naturel un seul follicule dominant éjecte son ovocyte. Une dizaine d'ovocytes sont ponctionnés en moyenne 36 heures après un traitement ovulatoire 2. Aussitôt, on provoque la fécondation 3. Le lendemain, quand elle a réussi (six fois sur dix), démarre la segmentation de l'œuf. A trois jours, on transfère deux ou trois embryons 4. On congèle les embryons surnuméraires 5, qui sont détruits après cinq ans en cas d'abandon du projet parental. Le diagnostic préimplantatoire exige le recours à la FIV puisque l'analyse se fait sur un blastomère 6. Les embryons non transférés ne peuvent être un objet de recherche. On tend à prolonger la culture des embryons pour transférer des blastocystes, plus viables 7. A moyen terme, on songe, pour faciliter les greffes, à prélever dans le bouton embryonnaire les cellules "souches", capables, selon leur milieu de culture, d'évoluer en divers types de cellules 8.



"Eclosion" du blastocyste

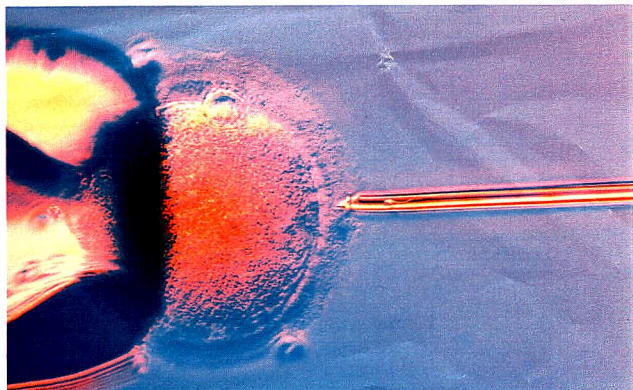
Y. NIKAS/SPL/COSMOS



DESSIN S. DESSERT

Embryon

la science
au-delà
de l'éthique



Stérile de père en fils

Née en 1992, l'intra cytoplasmic spermatozoon injection (ICSI) est une variante de la FIV indiquée dans les cas de stérilité masculine, car on introduit "le" spermatozoïde déniché dans le sperme défectueux à l'intérieur de l'ovule. 39% des tentatives de FIV se font aujourd'hui par ICSI, au risque qu'un fils ainsi conçu ait à son tour des problèmes de stérilité.

Suite de la p. 89

transférer les embryons cinq ou six jours après la fécondation (J + 5, J + 6) plutôt que trois (J + 3). Ils vivent depuis plus longtemps sur leur patrimoine génétique propre (avant J + 3, l'embryon se développe sur la machinerie cellulaire de l'ovocyte, le génome de l'embryon est silencieux) et ils ont de plus grandes chances de s'implanter dans la muqueuse. De plus à ce stade dit blastocyste (voir dessin ci-contre) on peut prélever les fameuses "cellules souches embryonnaires" que l'on mettra en culture.

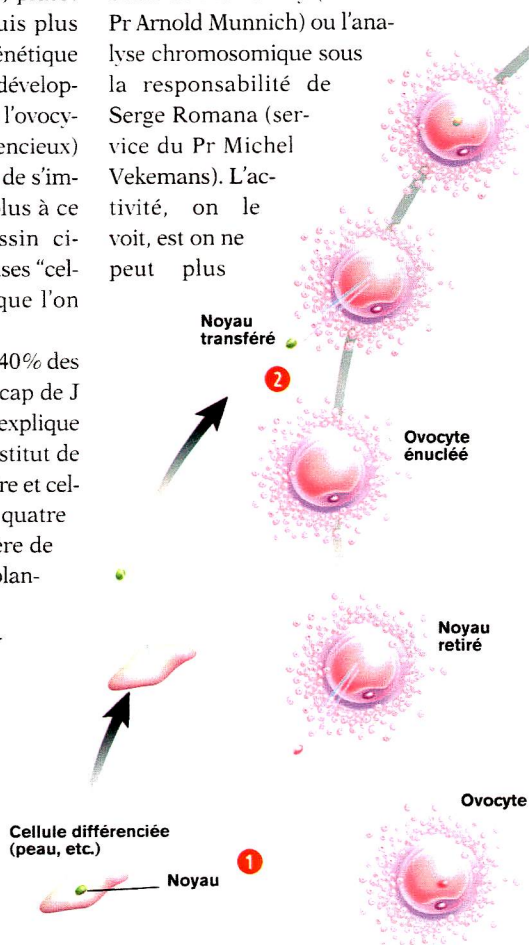
« Mais pour l'instant, seulement 40% des embryons réussissent à passer le cap de J + 3 à J + 6 en milieu de culture », explique Stéphane Viville, chercheur à l'Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire de Strasbourg, et l'un des quatre pionniers désignés par le ministère de la Santé pour le diagnostic préimplantatoire (DPI).

Le DPI est le premier geste intrusif sur l'embryon toléré en France. Il consiste en une analyse génétique "sur mesure" effectuée sur une ou deux cellules prélevées sur un embryon de six à dix cellules (J + 3), donc forcément conçu *in vitro*. « Si

l'on ne prélève pas plus du quart des blastomères, soit une ou deux cellules selon les cas, on n'altère pas le développement de l'embryon », précise Stéphane Viville qui est responsable à la fois du prélèvement des blastomères, au service de biologie de la reproduction du Centre médico-chirurgical et obstétrical de Schiltigheim (Bas-Rhin) et de leur analyse génétique, dans le service de diagnostic génétique de la faculté de médecine de Strasbourg (dirigé par le Pr Jean-Louis Mandel).

PARTAGE DES RESPONSABILITÉS

En Ile-de-France, les compétences seront partagées. Le Pr Samir Hamamah sera responsable du prélèvement des blastomères dans le service d'AMP de l'hôpital Antoine-Bécclère. Ces blastomères seront transportés d'urgence à l'hôpital Necker où, selon la maladie recherchée, on effectuera aussitôt l'analyse de génétique moléculaire, sous la responsabilité de Pierre Ray (service du Pr Arnold Munnich) ou l'analyse chromosomique sous la responsabilité de Serge Romana (service du Pr Michel Vekemans). L'activité, on le voit, est on ne peut plus

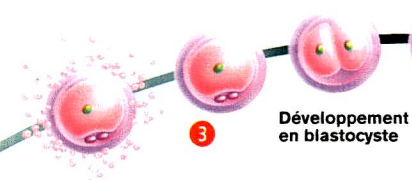


cadrée! Car l'exercice est hautement périlleux à chacune de ces étapes. Caractériser le contenu génétique d'une seule ou au mieux de deux cellules, en quelques heures, pour pouvoir transférer l'embryon sain ou porteur sain le jour même, relève de la gageure. Pour le prélèvement, la micromanipulation suppose que l'on perce au préalable à l'aide d'acide Tyrode ou au rayon laser la coque qui enveloppe l'embryon (zone pellucide). Et les écueils sont nombreux : lorsqu'on n'a qu'une cellule à disposition, on ne peut "vérifier" son diagnostic. Or certains embryons ont des variations de patrimoine génétique d'un blastomère à l'autre (ils sont "en mo-

nique de la technique, le Pr Alan Handyside (aujourd'hui à l'université de Leeds). C'est pourquoi la vérification du résultat par un diagnostic prénatal est encore souhaitable.

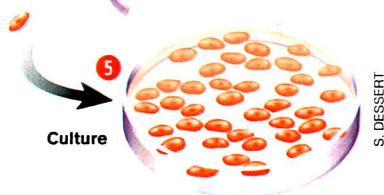
IDENTIFIER LE SEXE, ÉLIMINER LE MAL

Les conditions de mise au point de la PCR prennent plusieurs mois selon la mutation recherchée. Elle n'est utilisée que pour mettre en évidence une mutation délétère connue et courante, comme celle qui touche dans la population caucasienne 70% des personnes atteintes de mucoviscidose (dessin p. 89). On sait déceler dans l'ADN du noyau par PCR un mécanisme de mutation fréquent : la répétition *n* fois d'un triplet de bases, par exemple CTG (cytosine-thymine-guanine) dans le cas de la maladie de l'X-fragile, liée au chromosome X et responsable de retard



Développement en blastocyste

Prélèvement de cellules-souches



Culture

Cellules différenciées

S. DESSERT

saïque"). Deux techniques sont utilisées. La polymérase chain reaction (PCR) permet de détecter, si l'on sait où la chercher, une erreur de frappe d'une seule "lettre" (une paire de bases) dans le livre de trois milliards de lettres qu'est le génome humain. La PCR consiste à reproduire ("amplifier") le morceau de phrase où se trouve l'erreur de frappe (la mutation) pour la mettre en évidence (dessin p. 89). Ce n'est pas simple lorsqu'on n'a qu'une cellule donc seulement 3 picogrammes (10^{-12} g) d'ADN à disposition - en général, on dispose de 20 à 200 nanogrammes (10^{-9} g) d'ADN pour une analyse habituelle de cellules d'adulte ou de fœtus. Et là, on n'a même pas de cellules de secours pour refaire la manipulation. Autre difficulté : le risque de contamination de l'ADN du blastomère par de l'ADN étranger (venant d'une cellule du manipulateur, d'un spermatozoïde ou d'une cellule folliculaire restée accrochée à la zone pellucide). « En prenant toutes les précautions requises, la fiabilité du test peut atteindre plus de 95% », estime cependant Pierre Ray, qui a travaillé six ans au Hammersmith Hospital de Londres, chez le pionnier britan-

Science ou science-fiction?

On peut créer des blastocystes à partir de n'importe quelle cellule d'un donneur ①. On "trompe" un ovocyte énucléé en y transférant au bon moment le noyau d'une cellule différenciée ②. Un développement embryonnaire s'enclenche ③. On l'arrête cinq jours plus tard et on prélève certaines cellules dans le bouton embryonnaire ④. Mises en culture dans des milieux différents ⑤, ces cellules "souches" donneront matière à greffer divers tissus sans risque de rejet ⑥.

mental et de dysmorphies. « Plus *n* est grand, plus la maladie s'exprimera. Or cette mutation est instable et *n* grandit à chaque génération », constate Pierre Ray.

Les premiers cas de DPI à l'étranger, il y a dix ans, ont consisté à déterminer le sexe par PCR en amplifiant une séquence spécifique du chromosome Y. Environ deux cents maladies sont liées au chromosome X (myopathie de Duchenne, X-fragile, hémophilie, certains cas de surdité etc.). Quand on ne sait pas détecter et amplifier la mutation responsable, et que celle-ci est récessive (elle ne s'exprime pas si

Embryon

la science au-delà de l'éthique

le gène homologue sur l'autre chromosome X est intact), on identifie le sexe des embryons et on ne transfère que les embryons femelles. Car dans les deux chromosomes X de leurs cellules, un seul est *a priori* porteur de la mutation délétère. Pour les mâles, un sur deux a une chance d'être indemne mais faute de savoir le distinguer, on les élimine tous...

PRÉVENIR MYOPATHIES ET DÉRIVES...

Ce "sexage" des embryons se fait plutôt par fluorescence *in situ* hybridization (FISH) : une séquence d'ADN marquée avec un pigment fluorescent sert de sonde pour repérer un chromosome. Car par construction, cette séquence qui est complémentaire d'un fragment du chromosome recherché, s'hybride avec lui. Il est ainsi possible, à l'aide de sondes fluorescentes, de détecter en deux heures les chromosomes sexuels (photo p. 89) ou des chromosomes excédentaires comme dans la trisomie 21 (syndrome de Down) ou encore des portions échangées entre chromosomes (translocations).

Déjà pratiqué par une quarantaine de centres à travers le monde (États-Unis, Canada, Colombie, Grande-Bretagne, Suède, Pays-Bas, Belgique, Espagne, Israël, Australie...), le DPI a déjà favorisé la naissance d'une centaine d'enfants sains. En France, ne pourront y recourir que les couples consentants qui risquent de transmettre une maladie incurable parce que l'un d'eux au moins est porteur (sain) de l'anomalie génétique impliquée. Un Conseil génétique préalable en définit les enjeux. A Necker, 52 couples sont demandeurs et profiteront, avec les services élus pour le DPI, de la manne financière déjà apportée par l'association française contre les myopathies (AFM). L'un des conjoints est porteur d'une mutation susceptible de donner la maladie de l'X-fragile, ou la mucoviscidose, ou une maladie neuromuscu-

laire (il existe 70 myopathies distinctes...). Mais, parmi les demandes, figurent aussi des cas de nanisme, ou d'hémophilie...

Le choix du sexe de son enfant est l'une des dérives les plus immédiates du DPI. Il est à la portée de n'importe quel laboratoire pratiquant la PCR ou la méthode FISH. Son interdiction est donc une question de "morale". En France, le DPI pour convenue est formellement interdit. Il n'est de toute façon pas anodin puisqu'il implique le recours forcé à la fécondation *in vitro* avec ses inconvénients : un taux de grossesse par transfert qui n'est que de 20 à 25 % et de lourds désagréments à la clef de la stimulation ovulatoire pour la femme. Ces tracas ne sont supportables *a priori* que pour éviter des peines incomparables comme la maladie ou la perte d'un premier enfant, ou encore un avortement consécutif à un diagnostic prénatal (praticable à partir de la douzième semaine de grossesse). Selon une enquête du consortium européen du DPI, créé en juin 1997, un tiers des couples demandeurs en Europe sont des couples avec un historique dramatique, un tiers se savent à risque et ont un problème de fertilité, et un tiers sont contre l'avortement (50% aux États-Unis).

DANGER : SÉLECTION !

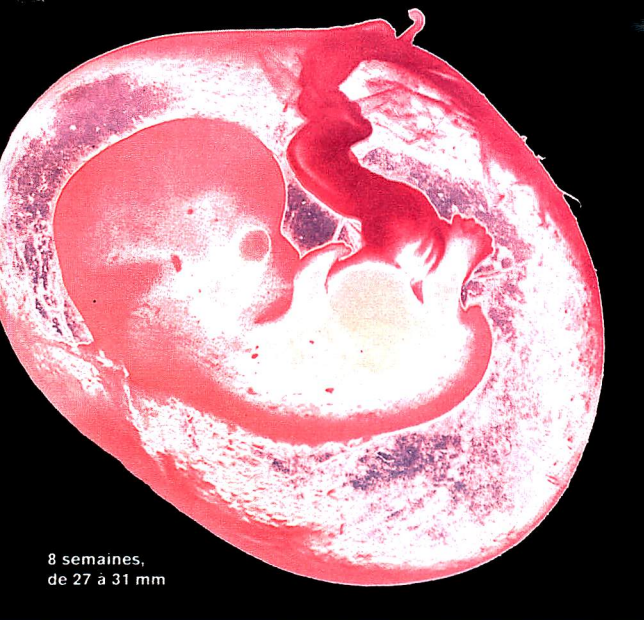
Il est trop tôt pour assister à des demandes de bébés sur mesure et *a fortiori* à la réparation ou à la manipulation d'embryons *in vitro*, formellement interdite car toute transformation à ce stade précoce, antérieure à la différenciation des cellules germinales, se transmettrait aux descendants. Mais le décryptage du génome humain avance à grand pas et des professeurs de génétique médicale, comme le Californien French Anderson, partagent la crainte de dérives vers une sélection sur des critères tels que la prédisposition au cancer, ou à l'alcoolisme, ou à la dépression, sous la pression sociale ou économique... Le père de Louise Brown, Robert Edwards, n'a-t-il pas déclaré le 4 juillet dernier au *Sunday Times* : « Donner naissance à un enfant handicapé sera bientôt un péché de la part des parents » ? Quel sera alors le regard de la société sur les handicapés ? Contre l'accusation d'eugé-

T.ATTIE/M.VEKEMANS/NECKER

4 semaines,
de 4 à 6 mm

Bientôt humain

Une fois bien implanté dans l'utérus, l'embryon poursuit son développement. De quatre à huit semaines, c'est la période du "body building" ; les formes, la face, les membres, les organes des sens se mettent en place. A quatre semaines, les cavités cardiaques sont formées. A huit semaines, l'embryon fait place au fœtus : c'est sûr, il appartient à l'espèce humaine, mais il a encore beaucoup à faire pour figurer le programme et devenir un beau bébé.



8 semaines,
de 27 à 31 mm

M.A. ANSARY/SPL COSMOS

nisme, les émules du DPI se défendent : seuls les embryons atteints sont éliminés. On transfère les porteurs sains d'une mutation récessive inexprimée car masquée par le gène normal (dominant) du chromosome apparié (nos chromosomes vont par paire, y compris le chromosome X chez les filles). La diffusion de la mutation défectueuse dans la population est donc au contraire favorisée. Ce à quoi les mauvaises langues pourraient faire remarquer que se constitue là une clientèle captive pour la médecine génétique!

Au carrefour du développement humain et de la génétique, l'embryon se prête à tous les fantasmes. Et, Dolly apporte la preuve vivante qu'on peut obtenir chez les mammifères un individu à son image - un clone - en transférant le noyau d'une cellule différenciée dans le cytoplasme d'un ovocyte énucléé. Avec des "ratés", certes. Jean-Paul Renard, directeur du laboratoire de biologie cellulaire et moléculaire à l'INRA de Jouy-en-Josas, chiffre à 35% en moyenne la mortalité des clones dits "somatiques" chez les bovins (contre quelques pour cent pour les clones créés à partir de cellules embryonnaires). Ils meurent peu avant ou après la mise-bas, d'une taille excessive à la naissance, ou d'anomalies de placenta, ou d'une déficience immunitaire, circulatoire, cardiaque... De quoi tordre le cou au cauchemar du clonage reproduc-

tif chez l'homme, explicitement interdit dans un protocole additionnel signé à Paris le 12 janvier 1998 à la Convention sur les droits de l'homme et de la biomédecine (signée elle, à Oviedo, en Espagne, le 4 avril 1997) et probablement dans la prochaine loi de Bioéthique. Quant aux bovins, le Comité d'éthique et de précaution de l'INRA a décidé que le taux de mortalité acceptable de ces animaux devait être inférieur à 30%.

REDONNER UN NOM À L'EMBRYON

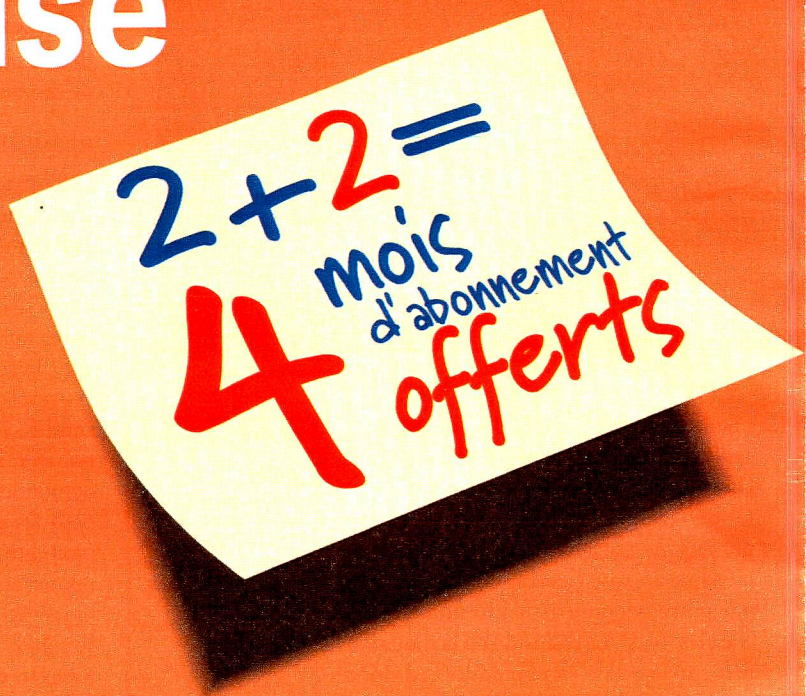
En revanche, les chercheurs souhaitent l'autorisation du prélèvement des cellules "souches" dans le bouton embryonnaire de blastocystes, ces cellules pluripotentes qui peuvent donner plusieurs types cellulaires, une fois mises en culture. Connues chez la souris depuis 1981, on n'en a découvert l'existence chez l'homme qu'en novembre 1998. Leur culture pourrait déboucher sur un approvisionnement à la demande de différents types cellulaires pour les greffes. Le problème de la compatibilité pourra être résolu soit en diminuant leur immunocompétence (par génie génétique), soit en récoltant les cellules souches sur des "embryons" issus du transfert de noyau d'une cellule somatique du malade que l'on veut greffer (dessin p. 93). Les scientifiques l'appellent le clonage "thérapeutique", terme sésame pour l'opinion publique. Il y a peu, on nommait interruption thérapeutique de grossesse (ITG), l'interruption médicale après un diagnostic prénatal défavorable. Cela n'avait pourtant rien de thérapeutique pour la mère ou le fœtus. Jean-François Mattei propose le terme plus justifié de "lignage" pour cette manipulation touchant aux cellules souches.

Pour éviter d'avoir à parler de manipulation d'embryon, il propose de renommer la structure vivante issue du transfert d'un noyau de cellule différenciée dans un ovocyte énucléé (de vache ou de femme). N'aurait alors droit à ce statut inviolable d'embryon humain qu'un être issu de la fécondation de deux cellules sexuelles et élançé vers la vie par sa nidation réussie dans l'utérus maternel. La sémantique est décidément un exercice de haute voltige quand elle touche à l'embryon humain! ■

POUR EN SAVOIR PLUS

- Dieu, la médecine et l'embryon*, Pr R. Frydman (Odile Jacob).
- Les Médecines de la procréation*, Cl. Humeau et F. Arnal (Odile Jacob).
- Procréer*, Cl. Humeau (Odile Jacob).
- Histoire naturelle et artificielle de la procréation*, J. Gonzalès, (Bordas).
- Le Désir du gène*, J. Testart (Champs-Flammarion).
- Le Triomphe de l'embryon*, L. Wolpert (Dunod).
- L'Embryon humain est-il humain?* Forum Diderot (PUF).
- Rapport sur l'application de la loi du 29 juillet 1994 d'A. Claëys et Cl. Huriet.
- Ovocyte et embryon*, de S. Hamamah et Y. Ménèzo (Ellipses).
- Principes de génétique humaine*, de J. Feingold, M. Fellous, M. Solignac (Hermann).
- Naître* ? D. Mehl, (Bayard).
- Les Procréations médicalement assistées*, R. Frydman, S. Hamamah, F. Olivennes (Que sais-je ? PUF).
- *Embryologie humaine*, W. Larsen (De Boeck).

Wanadoo double la mise



Pack Contact Wanadoo
comprenant 1 MODEM
OLITEC 56K norme V90

290F
(44,21€)

Le doublement des mois est valable
sur toute la gamme Wanadoo
jusqu'au 31 octobre 1999.

PRIX APPEL LOCAL

N°AZUR 0 801 105 105

OFFRE SPÉCIALE

jusqu'au 31 oct.



• Agences France Télécom

• Grandes surfaces ou magasins spécialisés

• www.wanadoo.fr



France Telecom

Visite très guidée

Plus de 160 ans après le passage de Darwin aux Galapagos, les touristes vont à la rencontre d'espèces endémiques comme cet iguane marin, *Amblyrhynchus cristatus*, ou les tortues géantes, *Galapago*, *Geochelone elephatopus*. Sanctuaire biologique, ces îles représentent un enjeu scientifique, économique et politique important.



Main basse sur les îles



Laboratoire de l'évolution grandeur nature, les îles Galapagos sont reprises en main par les scientifiques. Des lois circonscrivent le tourisme et

un laboratoire scientifique édicte des règlements. Au détriment parfois du développement de la population locale.

Lorsqu'il visita l'archipel des Galapagos, du 17 septembre au 20 octobre 1835, au cours de son grand voyage sur le *Beagle*, Charles Darwin découvrit un milieu jusque-là presque épargné par l'homme. L'observation de la faune locale fut pour lui décisive. Il remarqua que des populations issues d'une même espèce mais isolées sur différentes îles avaient été conduites à des adaptations différentes. Ainsi en est-il pour les pin-

sons, nommés depuis "pinsons de Darwin" : 13 espèces endémiques aux Galapagos ont évolué à partir d'une seule espèce originelle *Melanospiza richardsonii* qui aurait migré depuis le Costa-Rica. Elles présentent toutes des habitudes alimentaires et donc des caractéristiques de bec différentes. Le jeune naturaliste avait 26 ans lorsqu'il fit ces découvertes. Vingt quatre ans après, il publia "*De l'origine des espèces par voie de sélection naturelle*". Cent-soixante ans plus tard, l'ar-

PHOTOS : M. VIARD

chipel a subi d'importants bouleversements. La colonisation humaine au cours de ce siècle l'a transformé en une province équatorienne de plus de 16 000 habitants, attirés pour la plupart très récemment par la manne que représente le tourisme. Chaque année, ce sont plus de 60 000 touristes qui visitent les îles ! Pour les scientifiques qui poursuivent des recherches au cœur du "laboratoire de l'évolution", cette fréquentation des îles est un fléau. Le Parc national Galapagos a beau englober 97% de l'archipel, et les zones touristiques être limitées à 54 sites terrestres et à 62 sites marins, les végétaux et animaux introduits ne connaissent pas de barrières, et gagnent du terrain. Mammifères introduits récemment par les colons ou de longue date par les pirates, insectes débarqués des bateaux, plantes d'ornement ou de consommation importées, sont plus compétitifs que la faune et la flore natives, spécifiques et fragiles...

REPTILES ET OISEAUX : PREMIERS COLONS DES ÎLES

La spécificité de la flore et la faune des Galapagos provient du fait que ces 19 îles et 42 îlots ou rochers, qui couvrent une surface totale de 8 000 km², sont purement océaniques. Ils s'élèvent sur la plate-forme des Galapagos, plateau

Trésor végétal

Ivan Aldaz, botaniste, (ci-contre) dans l'herbier de la Station scientifique à Puerto Ayora. La zone pastorale de Santa Cruz (ci-dessous) abrite des espèces endémiques. La végétation issue "d'importation sauvage", fait l'objet d'un programme d'éradication.

gie et celle des Cocos, se rencontrent à cet endroit situé à 1 000 km des côtes équatoriales. L'archipel est un point chaud, une zone où la croûte terrestre océanique est très fragile. Le magma en fusion la troue et en se refroidissant crée un cône sous-marin. En quelques millions d'années et après maintes éruptions, le cône atteint la surface de l'océan. L'âge des îles émergées est estimé à trois millions d'années environ pour les plus anciennes. La dernière éruption aux Galapagos a eu lieu quant à elle en septembre 1998, au volcan Cerro Azul, situé au sud d'Isabella... Comme toutes les îles océaniques, les Galapagos présentent une disharmonie dans la répartition de la flore et de la faune. Les organismes s'y sont en effet établis difficilement. Ils ont

me venu par air ou par mer. Une fois parvenus aux Galapagos, les espèces ayant rencontré un minimum de conditions permettant leur survie, ont été soumises à la sélection naturelle, le grand thème de Darwin, grâce à laquelle les organismes se sont progressivement mieux adaptés à leur environnement...

Les vertébrés dominants aux Galapagos sont les reptiles et les oiseaux. Les mammifères natifs sont très pauvrement représentés (rats, chauves-souris et otaries seulement), tandis que les amphibiens et les poissons d'eau douce sont totalement absents... Le plus célèbre des reptiles de l'archipel est sans aucun doute la tortue géante ou *Galapago*, *Geochelone elephantopus*, qui a évolué en quatorze sous-espèces distinctes sur les différentes îles de l'archipel. Il n'en reste aujourd'hui que onze. L'homme a d'abord été son principal ennemi. Aujourd'hui ce sont les prédateurs introduits qui mettent en danger



Ce sanctuaire abrite des espèces uniques visitées par "trop" de touristes

basaltique sous-marin situé entre 360 et 960 mètres de profondeur. Ils sont aussi purement volcaniques. Isabella, la plus grande île avec ses 4 588 km², est ainsi un assemblage de six volcans.

Deux plaques, celle des Cocos et celle de Nazca, et également deux riles sous-marines, celle de Carné-

dû, à partir d'Amérique du Nord, d'Amérique centrale, des Caraïbes ou d'Amérique du Sud, franchir la barrière aquatique. On suppose que trois modes de dispersion ont pu être à l'origine de l'installation des premiers végétaux et animaux : la flottaison libre sur la mer ou sur un radeau naturel, la dispersion



PHOTOS : F. HERMANN

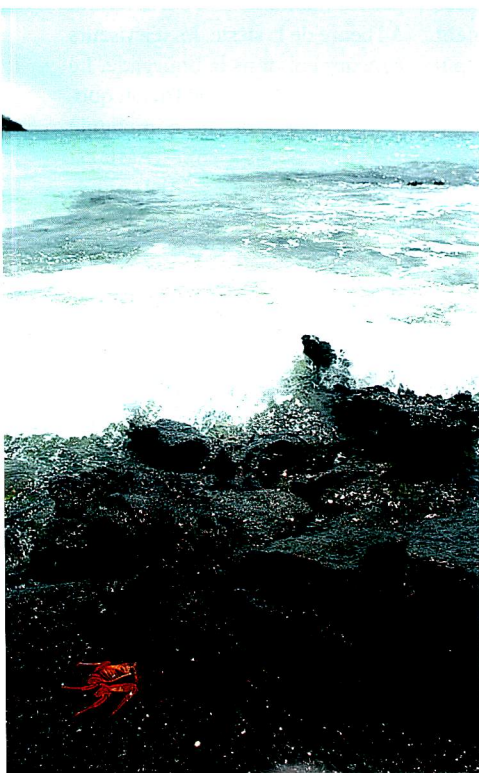
les œufs enfouis par les femelles sur le littoral, lors de leur descente annuelle des pentes des volcans. L'iguane marin des Galapagos, *Amblyrhynchus cristatus*, réparti en sept sous-espèces endémiques, est spectaculaire par son type d'adaptation : alors qu'il est issu d'un ancêtre terrestre, il plonge sous les vagues pour se nourrir d'*ulva*, de

petites algues vertes, accrochées aux rochers, et peut rester jusqu'à une heure sous l'eau ! Parmi les 48 espèces d'oiseaux (19 marines et 29 terrestres), le cormoran aptère, *Nannopterum harrisi*, endémique aux îles, est un des oiseaux les plus rares au monde : il a perdu sa faculté de voler, en l'absence d'ennemis terrestres...

L'isolement et la spécificité géologique des îles basaltiques ont favorisé l'endémisme de la flore et la faune (76% des oiseaux terrestres et 90% des reptiles, soit 20 espèces sur 22, sont endémiques !). C'est ce qui les rend attrayantes et des compagnies organisatrices de croisières font ainsi miroiter la richesse naturelle exceptionnelle des îles. C'est aussi ce qui fait sa fragilité

Le rouge et le noir

Un crabe rouge, *Cancer sp.*, arpente le sol d'une île de l'archipel. Les îles Galapagos sont toutes des formations volcaniques et reposent sur un plateau basaltique situé entre 360 et 960 m de profondeur.



vis à vis des espèces introduites. Les premières véritables alertes sur les menaces encourues par les îles remontent à 1959, année de création du Parc national Galapagos...

ARCHIPEL TRÈS CONVOITÉ

Le tourisme, malgré cette prise de conscience, a pourtant fini par se tailler sa part des îles : c'est un gros pourvoyeur de devises, grâce aux 100 \$ prélevés sur tout visiteur mais surtout par l'industrie qu'il génère ! Cette activité économique oppose deux utopies : celle des équatoriens pauvres, candidats à l'immigration, qui rêvent à un monde meilleur, et celle des naturalistes impliqués dans la Fondation Darwin, qui rêvent d'îles "sous cloche". Dans cette bataille, la Fondation Darwin a remporté une belle victoire avec le vote de la "loi Spéciale" de mars 1998. La nouvelle loi impose une limitation drastique de l'immigration. Elle met en place un système de quarantaine devant éviter l'apport de végétaux et d'animaux introduits. La loi isole en fait complètement la province des Galapagos dans le paysage administratif national : elle est gérée par l'INGALA, "*Instituto Nacional Galapagos*", dont le Conseil réunit les représentants de cinq ministères équatoriens (Environnement, Finances, Défense nationale, Tourisme, Commerce extérieur, Industrialisation et Pêche) et les représentants de la Province des Galapagos. La "loi Spéciale" prévoit en outre que « la Fondation Darwin participera au Conseil de l'INGALA, avec voix mais sans vote ». Cette nomination comme conseiller officiel des autorités politico-légales, succès de taille pour l'organisme international (dont les statuts sont toujours belges malgré sa dominante anglo-saxonne, et dont le siège est installé à Quito), vient entériner la collaboration de terrain qui a été toujours plus étroite.

te entre le SNPG (Service du Parc national Galapagos) et la Station scientifique Charles Darwin. « Comme nous disposons de toute l'information sur les îles, explique Roselyn Cameron, chargée de communication de la Station, nous appuyons les groupes gouvernementaux comme conseiller scientifique ».

PROGRAMME DRACONIE POUR LA CONSERVATION

Ainsi, alors qu'au départ la station était surtout un lieu d'accueil pour des chercheurs du monde entier, à l'heure actuelle, elle s'investit pleinement dans la gestion environnementale des îles. Elle compte une soixantaine de permanents et ses axes d'interventions sont, localement, au nombre de trois : éradication et contrôle des organismes introduits, management touristique, éducation de la population à la conservation.

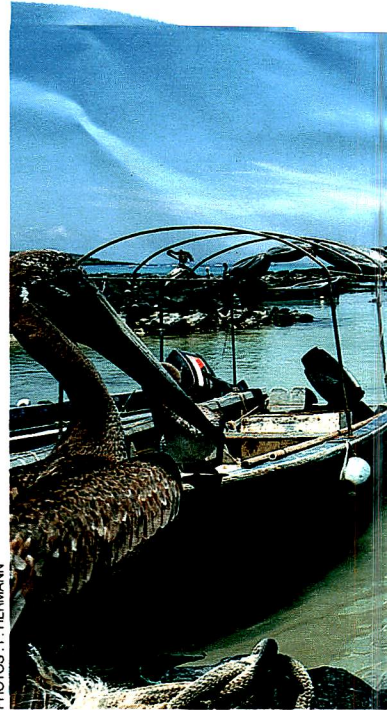
« Bien que les zones de colonisation humaine ne couvrent que 3% du territoire de l'archipel, elles occupent les îles de plus grande biodiversité », déplore Alan Tye, responsable du département « Plantes terrestres et Invertébrés » de la station. Ces îles possèdent un potentiel plus grand pour la recherche que la plupart des îlots encore vierges qui ont été fermés au public et réservés à l'investigation scientifique. Aussi les chercheurs en poste aux Galapagos consacrent une grosse partie de leur temps à mettre au point des mé-

Pêche à tire d'ailes

Le pélican brun, *Pelicanus occidentalis*, un des plus grands oiseaux de l'archipel, est le compagnon des pêcheurs, dont il attend le retour, ici à Puerto Ayora, sur l'île de Santa Cruz.

thodes de « restauration » des milieux. Si les gros mammifères font l'objet de battues, les arbres et plantes sont éliminés par des herbicides et certaines zones vierges sont clôturées. Des populations ont déjà été éradiquées : ce fut le cas pour les chèvres sauvages sur Plaza Sur dès 1961, sur Santa Fé en 1971, sur Rabida en 1975. Dans certains cas, des populations de jeunes tortues ou d'iguanes élevées dans le centre d'élevage créé par la Station Darwin sont réintroduites. « Plus que le tourisme, bien maîtrisé, ce sont les importations de denrées qui sont dangereuses », estime Roselyn Cameron. Fortement impliquée dans la détermination des zones de visites et la formation des guides naturalistes, la station a aussi œuvré à l'éducation des habitants. Un département spécialisé a ouvert des centres d'éducation à l'environnement dans les trois villes principales, publié des livres pour les enfants, organisé des ateliers pour les professeurs, et mis en place une radio diffusant sur toutes les localités des

PHOTOS : F. HERMANN



îles des programmes sur la conservation, en attendant une chaîne de télévision. La « loi Spéciale » programme aussi une « réforme éducative intégrale », associant la Fondation Darwin, notamment pour la formation de nouveaux fonctionnaires. La perspective de cette éducation à la conservation ne trouble pas les habitants de Puerto Ayora. A l'heure de la sieste, les téléviseurs ronronnent dans la bourgade. Le boom lié à l'arrivée de l'avion quotidien de la compagnie équatorienne TAME est résorbé.

L e s

Retour à la nature

La taille des iguanes marins varie, queue comprise, de 60 cm à 1 m. Certains d'entre-eux élevés en captivité sont peu à peu réintroduits en milieu naturel.



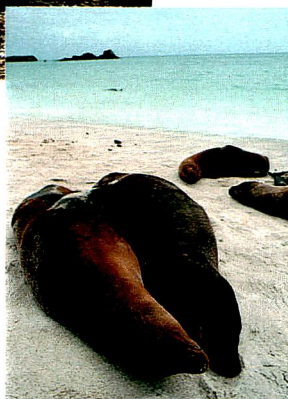


Ramage et plumage

Une Frégate mâle, *Fregata minor*, gonfle son jabot coloré pendant sa parade amoureuse.

Une bande d'otaries, *Zalophus californianus*, se contente, elle, de profiter de la plage de Gardner

Bay sur l'île Espanola. Avec les rats et les chauve-souris, ce sont les seuls mammifères natifs de l'île.



touristes ont rejoint leurs yachts ou leurs hôtels. Quelques enfants s'engouffrent dans le chemin clôturé qui conduit à la plage de Tortuga Bay après s'être inscrits dans l'office du garde-parc...

POPULATION SOUS CLOCHE!

« La population des Galapagos accueille plutôt bien la nouvelle loi, annonce Roselyn Cameron. Elle craint de perdre une situation privilégiée si l'immigration se poursuit ». C'est pourquoi la nouvelle législation passe comme une lettre à la poste... Selon le rapport 1998-99 du WWF dans sa partie "analyse des résultats électoraux aux Galapagos", les institutions jouissant du plus de crédit auprès des habitants sont le Service du Parc national et la Station Darwin... En fait personne ne paraît se soucier de l'avenir de cette sage population de 16 000 personnes. N'assiste-t-on pas simplement, aux Galapagos, à du lobbying politique sous couvert de science et d'environnement, effectué au détriment des citoyens? Félix Burgos, habitant de Santa Cruz, est employé à la tâche par la Station

scientifique Charles Darwin pour des travaux de terrain. Il témoigne de sa difficulté à obtenir auprès des services compétents de la station un appui, même technique, pour un projet de cultures maraîchères biologiques : en effet la majeure partie des légumes consommés sur l'île sont importés du continent. « C'est faute d'argent que ces initiatives ne sont pas encouragées au sein de la Fondation Dar-

tenir le Service du Parc dans sa mission de surveillance de la réserve marine », alors que celle-ci est fréquemment violée par les bateaux-usines japonais et les chasseurs illicites de concombre de mer... Les multiples associations d'"Amis des Galapagos" qui soutiennent la Fondation Darwin ("Charles Darwin Foundation, Inc." aux États-Unis, "Galapagos Conservation Trust" au Royaume-Uni, "Galapa-

Les scientifiques font du lobbying et brident les initiatives des habitants

win », déclare Guy Coppo, membre belge (obligatoire selon les statuts) du Conseil de la Fondation, zoologiste à l'université libre de Bruxelles. Leitmotiv identique à la station. « C'est faute de carburant, explique Roselyn Cameron, que la station ne peut sou-

gos Darwin Trust Luxembourg", "Swiss Association of Friends of Galapagos", "Vrienden van de Galapagos Eilanden") ne devraient-elles pas s'inquiéter d'une politique conservatrice qui met de côté des problèmes aussi concrets... et humains! ■

Les plantes au secours d

Ils roulent vert

Ces vacanciers l'ignorent, mais leur véhicule "brûle" sans doute du tournesol, du colza, de la betterave ou du blé. Ces biocarburants, compatibles avec les moteurs actuels, sont déjà commercialisés, mélangés par les pétroliers au gazole ou à l'essence – qu'ils améliorent en les oxygénant et en les lubrifiant.



industrielles e l'agriculture

Pour limiter la
surproduction, on gèle
10% des terres arables.
Sur ces centaines de
milliers d'hectares
laissés en jachère, on
peut cultiver des plantes
aux applications
industrielles, telles que
les biocarburants. Tout le
monde y gagne :
l'agriculteur, l'industriel,
le contribuable et...
l'environnement.

Pas de semis, d'engrais, de traitement des sols, simplement l'obligation de maintenir un couvert végétal pour respecter l'environnement : les jachères, autrement dit les terres gelées pour cause de surproduction, ne coûtent rien à l'agriculteur. Selon les départements et les rendements, plus ou moins élevés, elles lui rapportent de 2000 F à l'hectare (dans le sud, où les rendements sont bas) à 2700 F l'hectare (dans le nord, où les rendements sont beaucoup plus élevés). Ces indemnités sont main-



Plantes industrielles

tenues à condition que l'agriculteur effectue sur les terres gelées des productions agricoles mais non alimentaires.

C'est en effet l'une des grandes idées qui soutiennent la politique agricole commune (PAC) que de rechercher de nouveaux débouchés à l'agriculture, car il y a quelque chose de gênant, voire de choquant, à laisser de bonnes terres à l'abandon, à les geler pour rien, à se priver de leurs richesses potentielles.

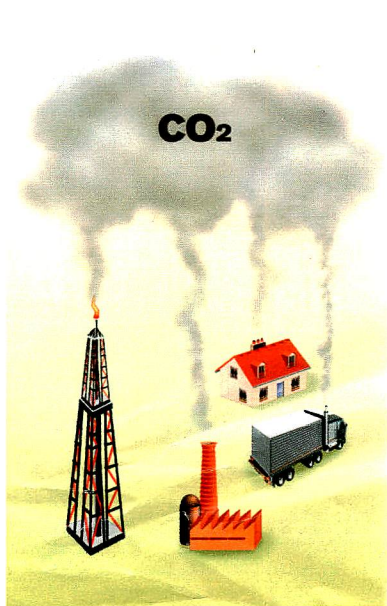
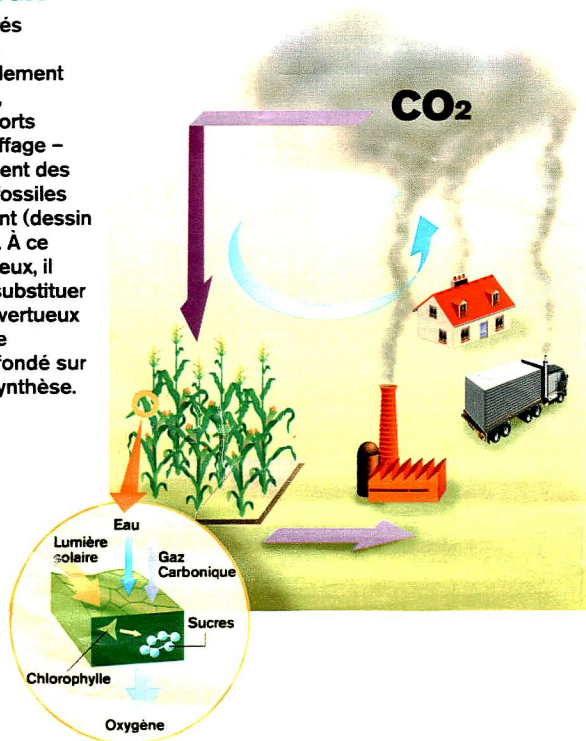
Les terres peuvent produire des richesses industrielles. « La transformation des produits agricoles en produits non alimentaires, notamment énergétiques

(éthanol, ester d'huile de colza), note l'Académie des sciences, est ainsi devenue, en une dizaine d'années, plus particulièrement en France, le nouvel horizon d'une agriculture désorientée pour avoir réussi au-delà du nécessaire la révolution de l'après-guerre. »

A vrai dire, il y a bien longtemps que l'agriculture fabrique des productions de type industriel, sinon sans le savoir, du moins sans en avoir clairement conscience, sans qu'on le dise et sans qu'on s'en aperçoive. Il y a belle lurette que les hommes utilisent le bois pour construire leurs maisons, fabriquer leurs meubles, se chauffer. La cellulose, le papier, la laine, les peaux à fourrure, les plantes textiles, les plantes d'agrément, les plantes aromatiques et médicinales, le tabac, le suif, le sang, les mélasses, etc., sont aussi depuis longtemps tirés de l'agriculture. La soie également, et l'amidon, produit peut-être encore plus "purement" industriel, qui est fourni aussi bien par le blé que par la

Cercle vertueux

Les activités humaines – principalement l'industrie, les transports et le chauffage – consomment des énergies fossiles qui polluent (dessin de droite). À ce cercle vicieux, il s'agit de substituer un cercle vertueux (dessin de gauche), fondé sur la photosynthèse.



DE LA PÉNURIE À LA SURPRODUCTION

Produire à tout prix : c'était la consigne donnée aux agriculteurs et à la recherche agronomique au lendemain de la Seconde Guerre mondiale. Dans l'immédiat après-guerre, on gérait encore la pénurie : les tickets de rationnement n'ont été supprimés qu'en 1948, rappelle Lucien Bourgeois, directeur des études économiques de l'Assemblée permanente des chambres d'agriculture (APCA). Cette mission prioritaire assignée à l'agriculture française, sortie de la guerre exsangue, désorganisée et techniquement peu évoluée, fut si bien remplie qu'en quelques années on passa à l'abondance, puis, dès 1953, aux excédents. Il fallut freiner la production de céréales – son rendement à l'hectare continue à croître régulièrement (1) depuis trente ans – pour surmonter le double écueil de la surabondance dans les pays développés et de l'insolvabilité du marché mondial, la demande venant des pays les plus démunis. Pour inciter les agriculteurs à réduire leur production, les pouvoirs publics mirent en œuvre la politique des quotas : au-delà d'une certaine quantité par exploitation, le prix payé était plus

bas. Cette politique dura jusqu'en 1967, date de la mise en place du Marché commun. La France, qui détenait la moitié des terres cultivables des Six, se retrouva en situation de quasi-monopole ; elle devint le grenier à blé de l'Europe libre, celle qui se trouvait à l'ouest du mur de Berlin. Cela lui permit de continuer à développer sa production sans se soucier des débouchés. Mais, quand tomba le mur de Berlin, la même surproduction se représenta. Depuis, la politique agricole européenne a consisté à limiter les aides, à geler les terres (jachères) et à rechercher de nouveaux débouchés. Les professionnels de l'agriculture, tels que Jean-Claude Sourie, de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), emploient le terme de "gel" plutôt que celui de "jachère", à connotation plus ancienne et plus traditionnelle (la jachère, c'était le temps de repos qu'on laissait aux sols pour qu'ils se régénèrent, avant de revenir à la culture d'origine). « Le gel des terres, précise Jean-Claude Sourie, institué au niveau européen en 1992, est une mesure politique de régulation de la production pour diminuer les coûts de dépense de soutien des marchés et de retraits

de la production excédentaire. Mesure d'autant plus politique que ces coûts sont finalement payés par les contribuables. » Le gel est obligatoire. Il touche, bon an, mal an (car on revoit son taux chaque année au moment des semis, quand on évalue les niveaux de production de la prochaine récolte) 10% des terres arables. C'est le cas pour la campagne 1999-2000, et pour de nombreuses années, compte tenu de la surproduction prévue du marché mondial.



JOBSIPA

Manifestation de producteurs de pommes de terre.

.....
(1) Selon les comptes de l'agriculture en 1998, que vient de publier l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), lors de la dernière récolte, le rendement du blé a battu son record : 78 quintaux à l'hectare, soit une progression de 5%.

pomme de terre ou le maïs. On estime que 48% seulement de l'amidon produit dans le monde sont destinés à l'alimentation humaine ; 52% vont à des applications industrielles.

La culture des terres gelées à des fins non alimentaires présente un autre intérêt majeur : elle combat la pollution parce que les produits "verts" sont plus

propres ; parce que le mécanisme de la photosynthèse leur fait absorber du CO₂ et rejeter de l'oxygène ; enfin, parce qu'ils n'ont pas la redoutable responsabilité de l'effet de serre – réchauffement de la planète créé par les produits de la grande industrie "classique", qui gavent l'atmosphère de gaz, absorbant le rayonnement solaire réémis par la surface de la Terre.



Plantes industrielles

L'Académie des sciences pose deux préalables à l'engagement dans une politique délibérée de production par l'agriculture de filières non alimentaires. Le premier, c'est que le développement de l'agriculture pour l'industrie ne se fasse pas au détriment des grands équilibres alimentaires du monde. « À terme, souligne l'Académie, ces équilibres sont bien davantage menacés par la dégradation des sols dans le monde (1) et par les obstacles économiques, sociaux et politiques qui freinent le "décollage" de l'agriculture de nombreux pays en voie de développement... »

LE RENDEMENT D'UN MOTEUR À ESSENCE N'ATTEINT QUE 40 %

Le second consiste à admettre que l'intérêt de promouvoir un usage non alimentaire pour les produits agricoles s'inscrit dans deux logiques complémentaires. L'une repose sur la nécessité de trouver rapidement de nouveaux débouchés pour maintenir les surfaces activées. « À la notion de gel des terres se substitue celle de production industrielle. » L'autre veut qu'« à une logique de soutien de l'activité agricole se substitue une logique de diversification industrielle ».

Il y a quelques mois, Philippe Desmarescaux, directeur général de Rhône-Poulenc, remettait au ministre de l'Agriculture, à la demande de ce dernier, le rapport "Situation et perspectives de développement des productions agricoles à usage non alimentaire". On y lit que ces dernières « constituent une chance unique pour l'agriculture et pour les secteurs industriels en aval, qu'il faut saisir dès maintenant ». Mieux, Philippe Desmarescaux estime « justifiée commercialement,

(1) Voir *Science & Vie* n° 972, p. 96.



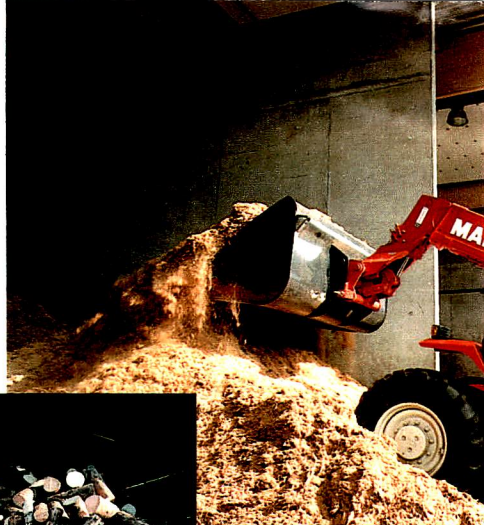
J.-M. LAURÉDITING

techniquement et économiquement, dans un délai de dix ans, la mise en culture de 1 million d'hectares complémentaires », engendrant un chiffre d'affaires annuel de « 4 milliards de francs au niveau de l'agriculture et de plus de 6 milliards de francs au niveau des produits finis ».

L'optimisme est donc à l'ordre du jour. Voyons sur quelles bases il se fonde. Les perspectives de productions agricoles non alimentaires peuvent être classées en deux grandes catégories : les bioénergies d'une part, et les productions purement industrielles d'autre part.

Le premier domaine est celui de l'Agence pour le développement et la maîtrise de l'énergie (ADEME). Claude Roy, directeur de l'agriculture et des bioénergies, annonce d'emblée : « Les bioénergies d'origine agricole ou forestière, issues de ressources naturelles renouvelables, représentent déjà 5% de la consommation française d'énergie, et 3% du bilan énergétique de l'Union européenne. La Commission européenne prévoit, d'ici à 2010, le triplement de la contribution des bioénergies dans le bilan énergétique de l'Union. La substitution de mille tonnes équivalent pétrole par an d'origine fossile par des bioénergies renouvelables permet la création d'un à quatre emplois directs et une réduction des émissions de CO₂ de 3 000 à 4 000 tonnes par an. »

5% de la consommation française, c'est



Chauffés au bois

7,2 millions de logements ruraux sont équipés de chauffage au bois. Et deux mille chaufferies (ci-dessus) vont alimenter usines et réseaux de chaleur pour des ensembles d'immeubles ou des quartiers urbains.



MARIE D'AUTUN

11 millions de tonnes équivalent pétrole (11 Mtep) par an, puisque la consommation française totale d'énergie primaire atteint 220 Mtep/an. Pour fournir un élément de comparaison, on rappellera que l'horaire d'été, avec tous ses inconvénients, a été rétabli

alors que nous subissions de plein fouet le premier choc pétrolier, afin d'économiser 300 000 tep/an!

L'énergie primaire – fioul, essence, gaz, électricité, bois ou méthane –, c'est l'énergie "brute", qui doit être transformée en énergie utile, avec les piètres rendements que l'on connaît, du fait de la déperdition au cours de cette transformation, notamment sous la forme de chaleur et de refroidissement. De l'énergie perdue, "é vaporée", qui n'est pas affectée à sa destination finale. Le rendement d'un moteur à essence n'atteint que 40%; celui des centrales nucléaires, 60%, 40% de l'énergie étant rendus à l'atmosphère.

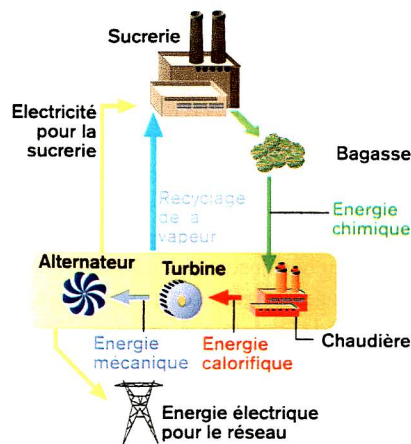
Le bois est la première des applications agricoles non alimentaires qui vienne à l'esprit. Avec 7,2 millions de logements individuels équipés de chauffage au bois, la France est le premier pays consommateur de "bois-énergie" en Europe. L'énergie primaire fournie est de 8 Mtep/an. Le rendement énergétique est certes faible (de 30 à 40%), mais il s'améliore progressivement, le caractère traditionnel et rural de ce mode de chauffage s'estompant au profit d'une diffusion banalisée d'appareils plus performants (180 000 nouveaux appareils commercialisés chaque année, pour un chiffre d'affaires de 1,5 milliard de francs par an).

Ces chiffres sont d'autant plus considérables qu'on estime que 90% du bois de chauffage ne passent pas par les circuits commerciaux. Soit le bois est "auto-produit" et "auto-consommé", soit il provient de l'"affouage", ancien droit coutumier

toujours en vigueur qui veut que, dans chaque commune possédant une forêt, tout habitant a le droit de prélever gratuitement le bois nécessaire à la construction de sa maison, puis le bois nécessaire à son chauffage. Ce "marché" hors circuits commerciaux est évalué à 9 millions de mètres cubes, soit 5 milliards de francs par an. L'objectif est de parvenir à améliorer de 10% le rendement énergétique du bois et d'économiser ainsi 400 000 tep/an.

On le sait moins, le bois est également utilisé pour le chauffage collectif et industriel : 450 chaufferies alimentent, directement ou par réseau de chaleur, quartiers urbains, ensembles immobiliers, équipements publics (hôpitaux, écoles, piscines, etc.).

C'est l'équivalent de 150 000 tep/an, ce qui évite la production de 500 000 tonnes de



L'énergie du sucre de canne

Résidu de la fibre de canne, la bagasse est utilisée à la Guadeloupe, dans la centrale du Moule (ci-dessous). Elle alimente en énergie la rhumerie dont elle provient. Le surcroît d'électricité fournit à l'île 35% de ses besoins.



V. PAUL/MÉDIATHÈQUE EDF



Plantes industrielles

CO₂ par an et a permis de créer cinq cents emplois au cours des cinq dernières années. Seulement 20% du bois sont d'origine forestière, 80% se présentent sous la forme de déchets de transformation (écorces, sciures, broyats de récupération). En matière de chauffage industriel, un millier d'installations – le plus souvent dans les entreprises de la filière bois – économisent 500 000 tep/an et évitent la production de plus de 1,5 Mtonnes de CO₂ par an.

Un réseau national de deux mille chaufferies collectives et industrielles au bois est en cours d'installation à titre de démonstration. A lui seul, ce réseau substituera le bois à 200 000 tep/an supplémentaires, réduira les émissions de CO₂ de 60 000 t par an, créera, d'ici à 2010, six cents emplois directs, valorisera 600 000 m³ par an de sous-produits et déchets du bois jusqu'ici inutilisés (écorces, emballages usagés, chutes, sciures...).

Enfin, le "bois-matériau" a, en France,

une importance considérable : 13 millions de mètres cubes par an, représentant 10% de la valeur de l'ensemble du marché des matériaux, sont utilisés dans la construction. À côté de ses qualités thermiques et esthétiques, ce bois offre deux avantages essentiels à l'environnement, notamment en ce qui concerne l'effet de serre : 1 m³ de bois stocke 1 tonne de CO₂; à performances d'usage égales, le bois nécessite pour sa fabrication et sa mise en œuvre une énergie deux fois plus faible que le béton et cinq fois moindre que l'acier. Une augmentation d'à peine 1% de la part du marché du bois dans la construction entraînerait l'économie de 350 000 tep/an et celle de près de 1 Mt de CO₂.

UNE TECHNIQUE QUI REMONTE AU MOYEN AGE

L'utilisation de la biomasse pour produire de l'électricité et de la chaleur constitue une autre application énergétique des produits agricoles. Elle remonte au Moyen Age, où l'on pratiquait des cultures ligneuses à courte rotation, notamment pour approvisionner les verreries; mais elle tomba en désuétude. Aujourd'hui, on maîtrise les techniques de cultures intensives à forte productivité (de 10 à 15 tonnes de matière sèche par hectare et par an) : taillis de peupliers, de saules, d'eucalyptus (six cents espèces dans le

Raisin cosmétique

De nombreux produits de beauté font aujourd'hui appel aux plantes. Les pépins de raisin sont utilisés par la firme Caudalie pour leurs effets tenseur, hydratant et anti-radicaux libres. L'Oréal est, en France, le premier déposant de brevets.



J. ANDANSON/SYGMA



CAUDALIE



MAP/G. HERSANT

Le retour du lin

Les plantes textiles redeviennent à la mode. Après le coton, le lin connaît un nouveau développement. Les terres réservées à sa culture sont plus nombreuses et les filatures, tout en préservant le savoir-faire traditionnel (ci-contre), mettent en œuvre de nouvelles technologies.

monde, l'eucalyptus est aussi largement utilisé par l'industrie de la pâte à papier); cultures énergétiques de sorgho et de céréales en plantes entières (orge, blé, titricale plantés pour leur paille et non plus pour leurs graines, où l'on a inversé le rapport tige-épi au profit de la première). Le problème pour la recherche française consiste aujourd'hui à rapatrier et à adapter au sol national ces techniques qu'elle a développées après la dernière guerre dans ses anciennes colonies : 2 500 ha d'eucalyptus à culture intensive ont ainsi été plantés en Corse, et des essais sont en cours dans la région de Toulouse.

Parallèlement, on a largement développé les technologies de production d'électricité et de vapeur (ce qu'on appelle la "cogénération") à partir de sous-produits de papeterie (en métropole) et de déchets ligno-cellulosiques industriels, comme la bagasse de sucrerie (à la Guadeloupe et à la Réunion).

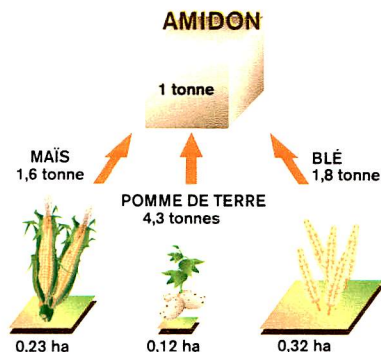
La bagasse est la fibre de la canne, résidu qui subsiste après qu'on en a extrait le sucre. Une tonne de canne produit ainsi 320 kg de bagasse. Quand on la brûle, elle ne dégage ni soufre ni dioxydes; quant au CO₂ créé par sa combustion, il est largement compensé par l'absorption du gaz grâce à l'effet photosynthétique, quand la bagasse croît et se développe. En dehors de la saison de la canne, il faut prendre la

relève. C'est ce que font, en utilisant du charbon, les centrales d'outre-mer, celles de Bois-Rouge et du Gol, à la Réunion, celle du Moule, à la Guadeloupe. Tour de force technologique, ces centrales pouvant passer de la bagasse au charbon avec une grande souplesse, sans s'arrêter. La centrale thermique du Moule, inaugurée en avril dernier, est équipée de deux turboalternateurs de 32 mégawatts. Elle fournit à la Guadeloupe 35% de ses besoins en électricité.

Au sujet des déchets du secteur agroalimentaire, celui-ci, qui consomme annuellement 6,4 millions de tep, engendre 45 millions de tonnes par an de sous-produits, dont l'essentiel est valorisé, notamment dans l'alimentation animale. Les entreprises du secteur consomment pour leurs propres besoins l'équivalent de

Molécule surdouée

L'amidon est la molécule la plus synthétisée. 48% seulement de sa production mondiale sont destinés à l'alimentation, 52% ont déjà des applications industrielles.





50 000 tep/an. Il reste cependant à valoriser 3 Mt/an de déchets et de résidus, alors que, jusqu'à présent, on ne les élimine qu'en les jetant dans des décharges.

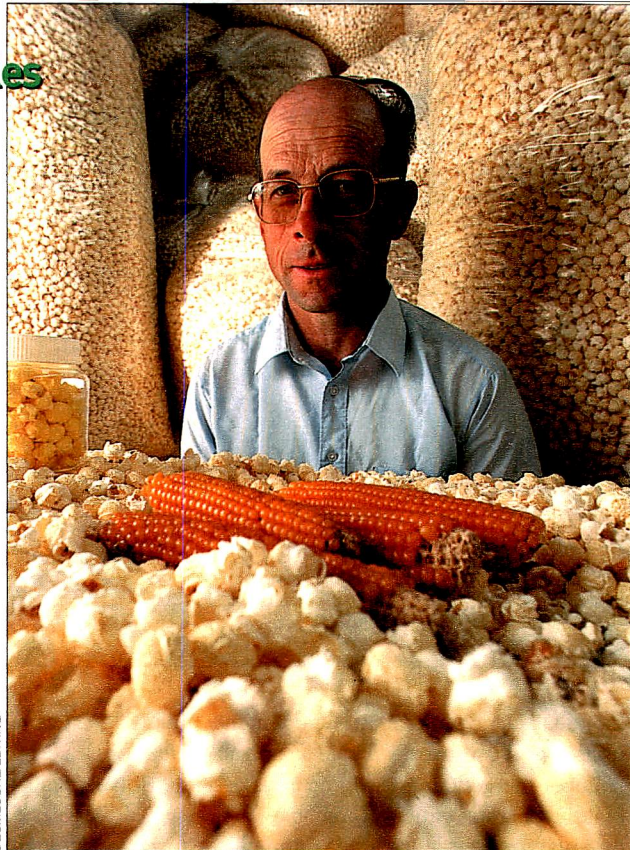
Ces dernières peuvent elles-mêmes se transformer en sources d'énergie. « En fermentant, matières organiques et déchets de la filière agroalimentaire produisent spontanément du méthane. L'exploitation de cette ressource pendant vingt-cinq ans équivaldrait aux trois quarts des réserves de gaz naturel de Lacq », précise Claude Roy. Alors que le méthane est le plus souvent soit brûlé sur place (torchères), soit émis dans l'atmosphère, où il contribue fortement à l'accroissement de l'effet de serre...

Avec les biocarburants et les bioadditifs (voir encadré page ci-contre), les bioénergies, qui contribuent pour 15% au bilan énergétique mondial, apparaissent ainsi comme l'énergie aussi bien des très pauvres (les Africains, qui utilisent les taillis, les fourrés, les branchages et même les bouses, qui leur apportent de 35 à 40% de leurs besoins énergétiques) que des très riches (les Danois et les Suédois, par exemple, qui récupèrent déjà à grande échelle jusqu'au biogaz des décharges).

CHIMIE DE SUBSTITUTION

Après l'énergie, la deuxième grande application qui se présente aux productions agricoles non alimentaires est celle de la chimie. Une chimie nouvelle, une chimie de substitution, fondée sur des cultures purement industrielles auxquelles on consacre déjà plus de 400 000 hectares.

Les "agro-ressources" fournissent les trois grandes familles chimiques nécessaires à la vie : les glucides (hydrates de carbone), les protéines (acides aminés) et les lipides (acides gras). Dans les glucides,



DESMEURES/EDITING

l'amidon est, après la cellulose, la molécule la plus abondamment synthétisée par les plantes. Sous sa forme "naturelle", il est employé pour les emballages et les papiers. L'industrie papetière en consomme plus de 200 000 tonnes, ce qui place la France au premier rang des pays utilisateurs. Le prix de l'amidon le fait préférer à d'autres liants, tels que le latex. Mais il permet aussi d'améliorer les divers traitements du papier, notamment son recyclage pour les journaux. Les meilleurs résultats de "machinabilité" et d'impression ont été obtenus avec l'amidon de blé, le moins pur, donc le moins coûteux.

Sous la forme de maltose, de maltodextrine ou de glucose, il sert de support à de nombreuses réactions chimiques. Ainsi l'oxydation du glucose donne naissance à une molécule de sodium qui piège les ions calcium et constitue donc un bon substitut des phosphates dans les détergents (2).

L'acide gluconique entre aussi dans les formulations des décapants, des peintures pour métaux, et on l'emploie comme addi-

.....

(2) Voir *Science & Vie* n° 969, p. 137.

Emballages "pop-corn"

L'entreprise Agripack propose des billes de grains de maïs pour remplacer le polystyrène expansé qui protège les objets fragiles dans les emballages. Un marché de plus d'un million de billes qui, jusqu'à présent, ne sont pas recyclées.

LES CARBURANTS VERTS

■ Le plus souvent, les automobilistes l'ignorent : deux "biocarburants" compatibles avec les moteurs actuels sont déjà commercialisés en France. Le premier est le bioéthanol : mélangé aux essences, il les oxygène, ce qui améliore leur combustion. On en produit 85 000 tonnes à partir de betterave et de blé (23 000 ha de cultures).

Le second est le Diester (contraction de Diesel et d'ester) : mélangé aux gazoles, il les oxygène également et améliore leur pouvoir de lubrification, atout fort apprécié des pétroliers.

On produit 300 000 tonnes de Diester à partir des huiles végétales, principalement le colza et le tournesol. Sept des treize raffineries françaises incorporent du Diester à 5% (taux homologué par les pouvoirs publics pour une distribution à la pompe) et le commercialisent sur tout le territoire.

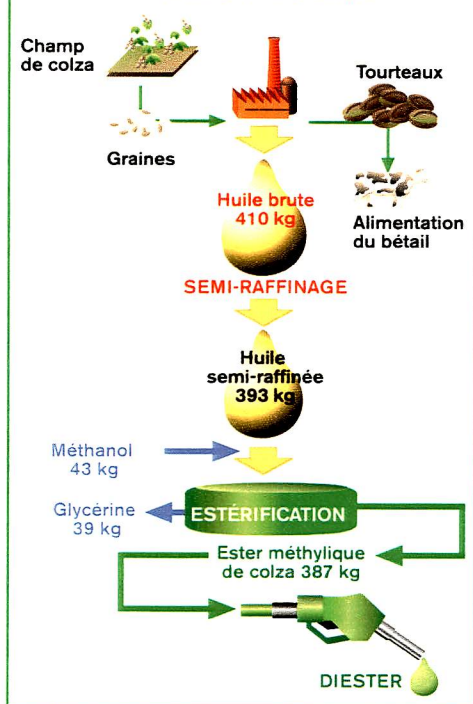
Ces filières présentent des "bilans énergétiques" très positifs : d'abord, elles permettent d'économiser 325 000 tep par an de carburant fossile ; ensuite, le rendement énergétique (énergie restituée sous forme de carburant) de la filière éthanol est de 1,2 à 1,6, soit le double de la filière essence (0,8) ; celui de la filière ester est encore meilleur : 2 au lieu de 0,9 pour le gazole ; enfin, elles donnent naissance à des sous-produits utilisés en alimentation animale (tourteaux de colza) ou en chimie (glycérol). Ces biocombustibles non toxiques et renouvelables sont

biodégradables à plus de 98%. Un mélange comprenant 30% de Diester (testé sur les autobus) supprime quasiment les fumées noires et les particules, les composés aromatiques, dont le benzène, la pollution acide, en raison de l'absence de soufre, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) réputés cancérogènes. Les plantes, dont on tire les biocarburants, absorbent en outre le CO₂ émis par les véhicules et produit par toute énergie fossile. Comme il ne saurait être question de substituer une pollution à une

autre, la filière française des huiles et protéines végétales (PROLEA) a défini avec les producteurs une "charte environnement" qui les engage à respecter un cahier des charges strict en matière de protection du biotope (par exemple, limitation des engrais et des pesticides).

Les biocarburants sont certes de 2,5 à 3 fois plus chers que les énergies fossiles. Mais ils apportent aux pétroliers une amélioration de leurs combustibles qui leur permet de faire l'économie d'additifs. Et les pouvoirs publics, à hauteur de 2,40 F le litre, leur accordent l'exonération de la taxe intérieure sur les produits pétroliers (TIPP), au même titre que les autres énergies de substitution (GPL,

Du champ à la pompe



électricité, etc.).

Aujourd'hui, au niveau européen, on discute de l'établissement d'une "écotaxe", d'une "pollutaxe", dont on attend deux bénéfices : l'un environnemental, l'autre financier. Cette taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) serait, en France, dès 2001, étendue à l'énergie, mais bien sûr pas aux énergies renouvelables. Il semble qu'il y ait, au sein même du gouvernement, de fortes divergences sur l'utilisation de la TGAP. Le ministère des Finances et celui de l'Environnement semblent l'un et l'autre vouloir faire main basse sur le produit de la nouvelle taxe, estimé, lorsqu'il aura atteint son régime de croisière, dès 2003, à 12,5 milliards de francs...



Plantes industrielles

tif dans les ciments ou... en pharmacologie pour combler les carences de calcium. De même, l'oxydation d'une molécule de glucose ou de maltose constitue le début de la synthèse de la vitamine C et, par hydrogénation catalytique, le glucose donne le sorbitol, un complexe vitaminé employé en pharmacie. Le glucose sert encore de substrat pour diverses fermentations, alcooliques ou industrielles.

Grâce au caractère épaississant de l'amidon, un autre type de fermentation permet de fabriquer des produits cosmétiques; une autre encore sert à créer du xanthane, utilisé pour le forage pétrolier, la stabilisation d'huile minérale ou la dispersion de matières actives phytosanitaires.

Toujours dans le domaine des glucides, on trouve le saccharose (utilisé pour la fabrication de mousses polyuréthanes, de levures, d'acides organiques, d'acides aminés et d'antibiotiques) et les fibres lignocellulosiques et celluloses valorisées dans les papiers-cartons, pour de nouveaux matériaux (textiles, films, mousses remplaçant la viscose, matériaux composites à base de ciment, substitut possible de la fibre de verre, etc.).

PROTÉINES POUR L'INDUSTRIE

Les protéines, toujours présentes dans les productions animales et végétales, proviennent essentiellement des grains de céréales (blé sous forme de gluten) et des graines de protéagineux (soja, pois...). Leurs applications industrielles viennent, dit l'Académie des sciences, de leur solubilité (ce qui permet de les utiliser en milieu aqueux); de leurs propriétés tensioactives (3); de leurs propriétés gélifiantes et filmogènes (ce qui leur permet de servir à la production de films alimentaires résistants et extensibles); enfin de leur viscoélasticité, qui leur donne leur pouvoir liant et agglomé-












Les huiles omniprésentes

Produit	Utilisation	Origine
Carburant 	Moteurs Diesel.	Huiles végétales (colza, tournesol...).
Lubrifiants 	Fluides hydrauliques pour machines agricoles et engins de travaux publics. Huiles pour chaînes de transmission (tronçonneuses) et forages pétroliers en mer.	Huile de colza (normale et érucique). Ricin, tournesol oléique, soja. Glycérine (coproduit de l'estérification).
Détergents 	Lessives, savons ménagers et industriels, tensioactifs. Produits pour l'hygiène corporelle (mousse à raser, gel douche, shampooing, savon liquide). Produits pour la sidérurgie.	Huile de colza, lin, tournesol oléique. Huiles riches en acides gras particuliers (érucique, laurique, tropicale : coco, palme). Glycérine.
Revêtements 	Peintures industrielles et d'art. Résines (mousses polyuréthane). Vernis, linoléum, traitement du bois.	Huile de lin, ricin, soja, colza, tournesol.
Impression 	Encre d'imprimerie noir et blanc, couleur, journaux, magazines.	Huile de colza, tournesol, soja, lin.
Pharmacie Cosmétiques 	Savons, dentifrices, crèmes, rouges à lèvres, tensioactifs...	Ricin, huiles riches en acides gras particuliers (laurique, tropicale : coco, palme). Glycérine.
Produits techniques agricoles 	Huiles adjuvantes. Solvants pour produits phytosanitaires, huile anti-poussière (silos). Traitement du bois.	Huile de colza, soja, tournesol.
Plastiques et caoutchoucs 	Additifs dans les emballages (stabilisants, plastifiants, biodégradables).	Colza érucique, lin, soja, ricin, glycérine.
Solvants 	Dégraissage, nettoyage, décapage.	Colza, tournesol.

Surface supérieure à la jachère

Aujourd'hui, les agro-ressources industrielles couvrent près de 700 000 hectares. Cette superficie sera au moins multipliée par deux dans les prochaines années. A terme, elles couvriront une superficie supérieure à celle de la jachère actuelle. (Les chiffres absents ne sont pas disponibles.)

Les agro-ressources industrielles

	SITUATION 1997/1998		PERSPECTIVE 2010	
	Tonnage	Surfaces en ha	Tonnage	Surfaces
Biocarburants 	435 000	255 000	de 500 000 à 1 000 000	de 300 000 à 600 000
Biolubrifiants 	10 000	8 000	110 000	80 000
Solvants 	300 000	85 000	500 000	155 000
Tensioactifs 			100 000	60 000
Acides aminés 			1 000 000	300 000
Plantes à fibres 		58 000		58 000
Polymères, matériaux 				10 000
Tabac 		10 000		10 000
Pharmacie, parfum 		29 000		37 000
Amidon industriel 		240 000		300 000
Biocombustibles 		1 000		40 000
Total général		686 000		de 1 350 000 à 1 650 000

rant (utile aux matériaux de construction, aux colles et aux papiers).

« Les protéines sont employées comme adjuvants de fabrication ou comme ingrédients afin de conférer aux produits de meilleures propriétés ou de les rendre biodégradables... Des protéines végétales peuvent être employées pour la fabrication de mousses de polyvinyle afin d'améliorer ses capacités mécaniques et isolantes. » On fabrique aussi des isolants phoniques à base de laine de roche et d'amidon, dans lesquels la protéine de soja sert d'agent moussant.

Les lipides, enfin, sont présents dans les plantes dites oléagineuses : colza, tournesol, soja, lin. La principale utilisation de ces huiles est la fourniture d'acides gras pour les lubrifiants. Les autres applications sont nombreuses : l'illustration ci-contre en présente une synthèse.

Au total, les agro-ressources industrielles

couvrent déjà près de 700 000 hectares. Toutes les études qui leur ont été consacrées concordent : cette superficie sera au moins multipliée par 2,5 dans les prochaines années. Et ce n'est que le début d'un vaste mouvement, qui ne peut aller qu'en s'amplifiant. A terme, les agro-ressources couvriront une superficie supérieure à celle de la jachère actuelle.

Déjà confrontés aux entreprises de l'agroalimentaire, les agriculteurs devront s'adapter aux impératifs de la grande industrie. Mais il faudra trouver un juste équilibre entre cette dernière et les nouveaux paysans, qui seront également des chimistes. Il s'agira aussi de rester vigilant pour que l'agriculture ne devienne pas "trop" industrielle.

Car, si les nouvelles productions ou le traitement chimique des produits actuels ont une justification économique, on pourrait vite oublier l'autre raison majeure qui fait souhaiter leur développement : la protection de l'environnement et la lutte contre l'effet de serre et les pollutions atmosphériques.

(3) Les tensioactifs modifient la tension superficielle des solutions aqueuses. Ils dissolvent les salissures et permettent leur extraction.

armement

Missiles

Déséquilibre



Les missiles menacent de répandre leur terreur à la surface du globe. Autrefois strictes possessions des "grandes puissances", ils sont devenus des instruments de négociation et parfois de chantage aux mains des gouvernants de pays en voie de développement.

des terreurs

A lors que depuis la fin de la guerre froide, l'Est et l'Ouest (hormis la Chine), se sont engagés dans une réduction drastique du nombre de leurs armements stratégiques, plusieurs pays se dotent progressivement de missiles. Certains, comme Israël, l'Inde, le Pakistan, la Corée du Nord, et peut-être l'Iran, disposent aujourd'hui de véritables arsenaux, dont les performances inquiètent la communauté internationale. D'autant plus que ces pays sont situés dans des régions instables.

A partir de la fin des années 80, les pays occidentaux, prenant en compte cet état de fait, pensèrent

L'Asie armée

Dans les années 90, les pays en voie de développement – le Pakistan avec le *Ghauri*, l'Inde avec l'*Agni* et l'Iran avec le *Shahab 3* – mettent au point des missiles d'une portée de 1 000 à 2 000 km.



S. KIRLOSKAR/REUTERS/MAXPPP

D. SAGOL/REUTERS/MAXPPP

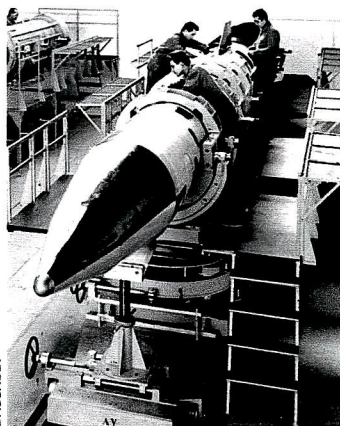
Z. HUSSAIN/REUTERS/MAXPPP

qu'à moyen terme le risque d'une utilisation régionale de ces armes allait s'accroître. Et qu'à plus longue échéance, leurs propres territoires pouvaient se trouver menacés. Sous l'impulsion des États-Unis, des pressions diplomatiques s'exercèrent sur certains États pour éviter le transfert de technologies dites "sensibles", ou d'armes de destruction massive. Une étape, allant dans le sens d'une limitation de la prolifération de ces armements, a été franchie en avril 1987, avec la signature d'un accord dit Missile Technology Control Regime (MTCR). Cet accord, approuvé à l'origine par sept pays (États-Unis, Canada, France, Grande-Bretagne, Allemagne, Japon et Italie), a été étendu à vingt-six nations. Il interdit le transfert de technologies relatives aux missiles de plus de 300 km de portée et de 500 kg de charge utile.

Depuis, cette prolifération s'est, semble-t-il, ralentie. Elle se poursuit, néanmoins, et a eu pour révélateur majeur les missiles balistiques tirés par l'Irak pendant la guerre du Golfe, en 1991. Entre-temps, l'attention s'est davantage portée sur la Corée du Nord, l'Inde, le Pakistan et l'Iran. En fait, la prolifération concerne bien d'autres pays. Ainsi, hormis les cinq puis-

possèdent des armes nucléaires (Israël, Inde, Pakistan). Et une dizaine disposent encore d'armements chimiques et biologiques.

Dans le futur, il est peu vraisemblable que la liste de ces pays s'allonge. Cependant, certains de ceux



Prolifération

En exportant des missiles, l'URSS et la Chine et, dans une moindre mesure, la France et les États-Unis ont favorisé la prolifération. Ci-dessus, le missile MD 620, de Dassault, dont s'est inspiré Israël.

qui appartiennent au club des puissances balistiques chercheront à accroître la portée de leurs missiles et à se doter de l'arme nucléaire pour exercer leur dissuasion vers l'Europe, voire les États-Unis. Ce pourrait être le cas de

il a déjà mis au point toutes les technologies relatives aux missiles? Il apparaît que la première solution ait les préférences de Tokyo et de Washington, après l'accord signé entre les deux capitales, et révélé en août dernier, sur la réalisation d'un système anti-missiles japonais. Reste aussi l'épineux problème politique et constitutionnel de la réalisation par le Japon de son propre armement nucléaire.

ARMES RÉGIONALES

Si l'on observe les conflits intervenus depuis 1973 dans le monde, force est de constater deux faits. Premièrement, l'utilisation opérationnelle des missiles balistiques a eu lieu exclusivement aux Proche et Moyen-Orient, là où les tensions ont été les plus fréquentes et les plus vives. Second constat : les missiles balistiques utilisés étaient essentiellement des *Frog* et des *Scud* d'origine soviétique, modifiés, le cas échéant, pour en accroître la portée. En octobre 1973, durant la guerre du Kippour, 200 à 220 missiles *Frog 7* et *Scud B* furent tirés par l'Égypte et la Syrie contre le territoire israélien. Ce fut encore le cas en avril 1986, lorsque le colonel Kadhafi décocha deux *Scud* en direction des îles italiennes de Lampedusa, qu'ils n'atteignirent pas. Entre 1985 et 1988, durant ce que l'on a appelé la "guerre des villes" entre l'Iran et l'Irak, 909 missiles balistiques, dont 551 *Scud*, furent utilisés contre les agglomérations de l'adversaire : 460 par l'Irak, 449 par l'Iran. De même, entre octobre 1988 et mars 1991, plus de 2000 *Scud B* et *C* furent-ils lancés en Afghanistan, contre la résistance, par les Soviétiques et l'armée afghane. Avec un record mensuel en juillet 1988 : 239 tirs, et un record journalier le 6 de ce même mois : onze tirs, lors de la bataille de Jalalabad. De même encore, 86 missiles Al-

Six "petits" pays ont des missiles de plus de 1 000 km de portée

sances balistiques et nucléaires historiques, Russie, États-Unis, Grande-Bretagne, France et Chine, une douzaine d'autres possèdent des missiles balistiques tactiques ou stratégiques. Six de ces pays détiennent des missiles de plus de 1 000 km de portée (Israël, Iran, Arabie saoudite, Pakistan, Inde et Corée du Nord). Trois d'entre eux

l'Iran et de la Corée du Nord. Le cas du Japon, d'ores et déjà sous la menace des missiles nord-coréens, prête à réflexion. S'engagera-t-il dans la protection de son territoire à l'aide de missiles anti-missiles, ou bien se lancera-t-il dans la réalisation de missiles balistiques, sachant qu'avec son lanceur M 5, opérationnel depuis février 1997,

Hussein (version améliorée du *Scud*) furent tirés par l'Irak, durant la guerre du Golfe, contre les troupes de la coalition alliée en Arabie saoudite et quarante contre des villes israéliennes. Enfin, en 1993 et 1994, vingt *Scud D* furent utilisés au Yémen, pendant la guerre civile. Ainsi, l'emploi du missile balistique, utilisé tant de façon tactique que stratégique, par des pays autres que les cinq "Grands", apparaît-il comme un fait historique. Notons au passage que ces cinq "Grands",

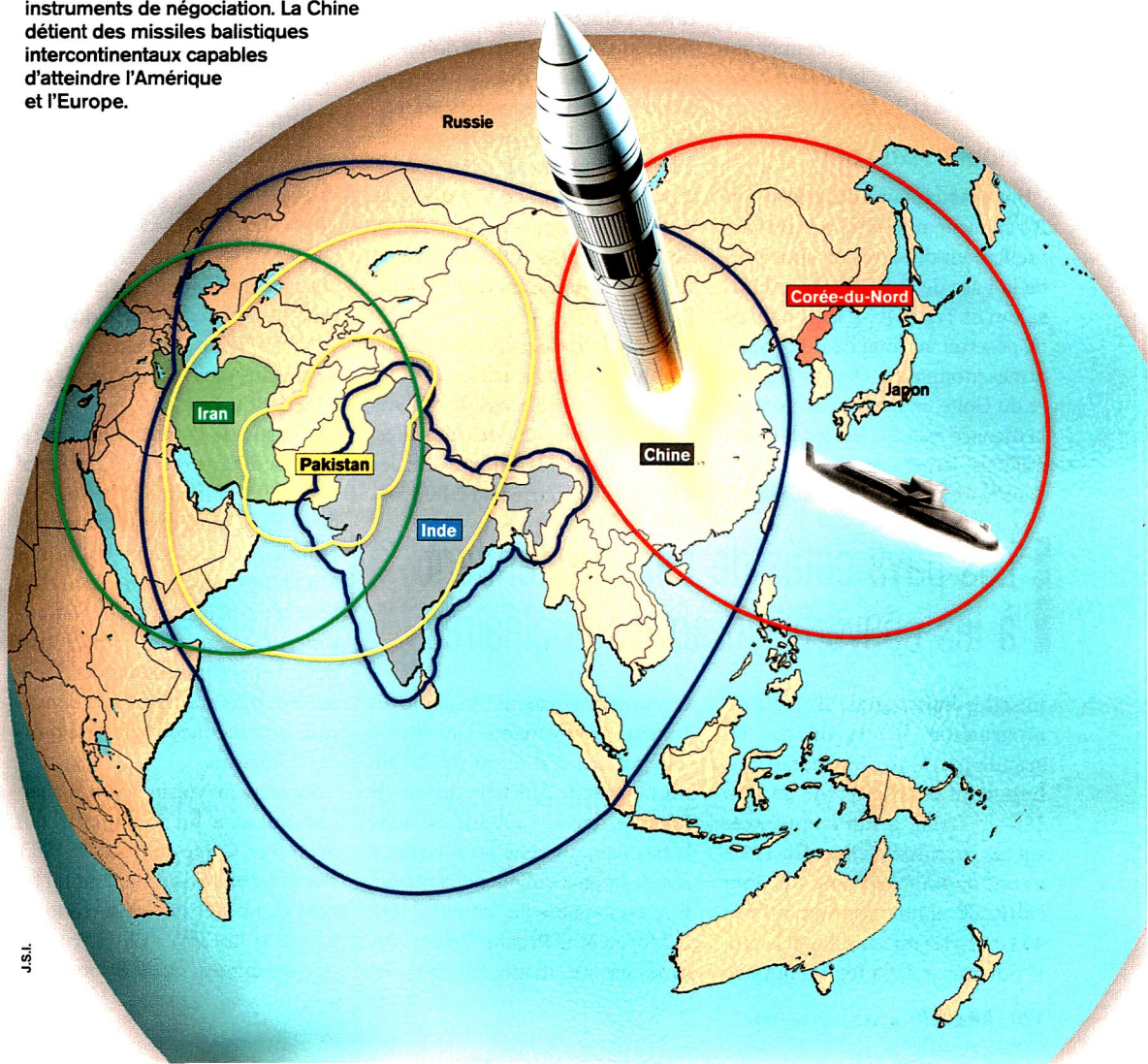
au cours des années de guerre froide, n'ont jamais fait usage de tels systèmes d'armes. Il est vrai que les charges nucléaires qu'ils emportaient étaient là pour dissuader, non pour être utilisées. Notons enfin que les modèles de missiles employés dans les divers conflits précités n'ont jamais dépassé la portée de 600 km, ce qui les rangeait dans la catégorie des armes régionales, et non pas intercontinentales. Au contraire des engins dont disposent les grandes

puissances, dont la portée dépasse les 4 000 km.

Seule puissance nucléaire et spatiale du Proche-Orient, Israël, dès la fin des années 60, cherche à se doter de missiles balistiques pour dissuader ses voisins arabes avec lesquels il est en guerre. Dans ce but, une aide lui est fournie par la société française Dassault, qui réalise le missile *MD 620*, constitué de deux étages à poudre repris du second étage du lanceur spatial français *Diamant*.

Du chantage à la guerre

La carte ci-dessous montre les portées des missiles que possède chaque pays d'Eurasie. L'Inde, le Pakistan et la Chine disposent de l'arme nucléaire. Selon les situations politiques, les missiles sont utilisés comme armes de guerre ou comme instruments de négociation. La Chine détient des missiles balistiques intercontinentaux capables d'atteindre l'Amérique et l'Europe.



L'embargo décidé par le général de Gaulle en 1967 à l'égard de Tel-Aviv met un terme à la coopération. Néanmoins, un transfert de technologies, de matériels, de savoir-faire, a été effectué. Parallèlement, Israël met en place une infrastructure industrielle aéronautique et spatiale pour assurer son autonomie. L'État hébreu acquiert aussi des missiles *Lance* américains de 120 km de portée. Et, dès 1968, il met au point le missile *Jericho 1*, fortement inspiré du *MD 620* et capable de transporter une charge de 1 000 kg à 560 km de distance. Lui succède en 1987 le *Jericho 2*, d'une portée de 1 500 km. L'année suivante, en 1988, Israël devient la huitième puissance spatiale et la seule de la région, en mettant en orbite son premier satellite, *Ofek 1*, avec le lanceur *Shavit*, émanation du *Jericho 2*.

TOUJOURS PLUS LOIN

Une cinquantaine de *Jericho 1* et 2 à capacité nucléaire seraient actuellement déployés en silos près de la base de Tef Nof, entre Jérusalem et Tel-Aviv. L'État hébreu disposerait au total de deux cents armes atomiques. Depuis la guerre du Golfe, et prenant en compte la menace exercée par les missiles irakiens, Israël s'est aussi engagée dans la réalisation de missiles anti-

pose d'un ensemble aussi complet d'armements stratégiques offensifs et défensifs.

Après 1973 et la guerre du Kippour, l'une des priorités de la Syrie fut de se doter de missiles *Scud B*, dont la portée (290 km), permettait de "couvrir" l'essentiel du territoire israélien. L'année suivante, l'URSS lui fournissait les premiers missiles de ce type. A partir de 1974, des missiles *Scud C* (500 km de portée), lui étaient livrés, semble-t-il, par la Corée du Nord. En 1992-1993, Damas engageait des négociations de coopération avec Téhéran en vue de l'acquisition et du développement des armements stratégiques (production conjointe de missiles avec l'assistance chinoise et nord-coréenne, mais aussi aide dans le domaine nucléaire). Selon diverses sources, la construction d'usines souterraines, près d'Alep et d'Hama, destinées à la production des *Scud C* d'origine russe et de *M 9* d'origine chinoise, était en cours au début de 1993. Depuis cette date, aucune information n'est venue confirmer le fait.

C'est à la fin des années 80 que l'Arabie saoudite a acheté à la Chine, pour 3,5 milliards de dollars, une soixantaine de missiles, conçus dans les années 60, les *CSS 2*, d'une portée de 2 800 km.

Les pays dotés de missiles tendent à les convertir en armes nucléaires

missiles balistiques. Il s'agit du programme *Arrow*, financé en grande partie par les États-Unis. Lors d'un essai effectué en juin 1994, l'*Arrow* a intercepté avec succès un missile cible. En 1995, c'était au tour de l'*Arrow 2*, dont l'altitude d'interception atteint 40 km. Israël est sans doute la seule puissance de la région qui dis-

Ces engins auraient été déployés en deux groupements, l'un situé à Salayjil, au sud-ouest de Riyad, l'autre près de Al-Khair, au sud de Riyad. L'Arabie saoudite est donc le pays qui possède les missiles à portée la plus longue de la région. Elle est capable de "couvrir" tout le Moyen et le Proche-Orient. Ces missiles ne disposent pas de

charges nucléaires, mais emportent des charges classiques de 1 600 kg. Leur remplacement par des engins plus récents paraît être à l'ordre du jour.

A l'issue de la guerre du Golfe, et de la défaite de l'Irak, l'arsenal balistique, chimique et biologique de ce pays, ainsi que ses capacités industrielles à produire des armes nucléaires ont été démantelés, sous la responsabilité des Nations unies. On peut donc penser que, pour de nombreuses années, l'Irak ne sera plus en mesure de constituer une menace régionale dans ces domaines.

Son ennemi voisin, l'Iran, a cherché quant à lui à acquérir des *Scud B* en Corée du Nord en 1983. Des possibilités de coopération furent examinées avec la Syrie, la Chine et la Libye. En juin 1987, une centaine de *Scud B* sont livrés



SHONE/SIPA



Charge militaire

Réservoir
d'oxydant
et de carburant
Gaz de
pressurisation

Oxygène

Système de
guidage

Carburant

Air sous
pression
pour la
manœuvre
des
gouvernes

Chambre de
combustion
Tuyère

Gouverne

Déflecteur de jet

«Fabriqué comme des saucisses»

Le R-11, baptisé *Scud* par l'OTAN, ici à la parade, est le missile le plus copié du monde. Selon le mot de Khrouchtchev, l'URSS l'a fabriqué «comme des saucisses» à partir de 1954. Il peut emporter une charge de 600 à 700 kg à 300 km de distance. Haut de 10 m, sa masse au décollage est de 5,5 tonnes.

par la Corée, pour un montant de 500 millions de dollars. Des *Scud* sont fournis à Téhéran par la Syrie et la Libye. Les premiers *Scud C* nord-coréens sont livrés par voie aérienne en janvier 1991. D'autres sont acheminés par la mer, soulevant la protestation des Américains. L'Iran s'engage alors dans un vaste programme de missiles balistiques. Avec l'aide des Chinois et des Coréens, des unités de production et d'assemblage sont construites. Deux essais en vol sont effectués, au mois de mars 1991. Le premier, d'un missile de 700 km de portée environ (*Iran 700*), l'autre d'une portée de 1 000 km (*Tondar 68*). Il était aussi question, en 1992, de la mise au

point du missile *Zalzal 300*, réalisé à partir du *M 11* chinois (portée 300 km). Au début de l'année 1998, les services de renseignement américains et israéliens faisaient part d'un essai au banc d'un moteur-fusée à ergols liquides d'origine russe, auparavant utilisé sur un missile soviétique de 2000 km de portée.

AMÉLIORATIONS CONSTANTES

Six mois plus tard, un nouvel engin, *Shahab 3*, dérivé du *No Dong* coréen, et d'une portée comprise entre 1 300 et 1 600 km, était testé en vol. A cette époque, un autre missile était identifié, le *Shahab 4*, basé sur le *SS 4* russe, d'une portée estimée à 4 000 km. Mais aus-

si deux autres engins, dont les portées atteignaient respectivement 5 500 et 10 000 km ! S'agissant de l'arme nucléaire proprement dite, la presse israélienne se fait régulièrement l'écho des efforts de l'Iran dans ce domaine. Elle mentionne à ce propos l'aide apportée à Téhéran par la Chine et le Pakistan, ou même l'acquisition de têtes nucléaires auprès des anciennes



NACKSTRAND/AFP

Meurtriers mais imprécis

Pendant la guerre du Golfe, l'Irak a lancé des *Scud* sur Israël. Malgré les dégâts causés, les experts ont constaté l'imprécision de leur guidage.

républiques de l'Union soviétique. En 1991, le Congrès américain mentionnait ainsi la vente par la Russie de deux armes nucléaires tactiques à l'Iran, pour la somme de 25 millions de dollars.

Après avoir obtenu des missiles *Scud B* de l'Égypte en 1981 et 1982, la Corée du Nord en réalise une copie, le *Scud B* modèle A. Ce dernier est testé en vol en 1984. Fi-

1989. Le modèle D, encore appelé *Nodong 1*, d'une portée de 1 500 km, sera testé en 1993. La portée du *Nodong 1* est triple de celle du modèle C. D'autres versions sont, semble-t-il, en cours de développement. Tel le *Nodong 2*, d'une portée de 2 000 km, et pour lequel les Nord-Coréens bénéficieraient de l'aide du bureau d'études russe Makeyev, qui, dans les an-

atteindre l'Alaska ou Hawaï. On parle enfin de *Taepo Dong 3*, dont la portée serait de 8 000 km.

Depuis leur création, il y a un peu plus de cinquante ans, l'Inde et le Pakistan s'affrontent régulièrement. Dernier épisode en date, celui de 1999. Au delà d'un conflit de religions, il s'agit de la suprématie de l'un ou l'autre pays sur tout ou partie du Cachemire. En outre, sur sa frontière nord, l'Inde s'est trouvée en conflit, en 1962, avec son puissant voisin chinois, qui dispose de missiles balistiques et d'armes nucléaires depuis le début des années 60. Les relations entre les deux États restent tendues. En bref, toute cette région du globe vit sous tension. L'accumulation d'armements classiques a fait progressivement place à celle d'armements nucléaires.

Ainsi, en 1974, l'Inde accédait-elle au rang de puissance nucléaire, et s'engageait-elle dans la réalisation de lanceurs spatiaux. En 1980, elle plaçait en orbite son premier satellite, *Rohini 1*, avec son lanceur *SLV 3*, et devenait de ce fait la septième puissance spatiale. Parallèlement, elle mettait en chantier le développement de deux missiles balistiques, le *Prithi-*

Les missiles joueront-ils le même rôle que la bombe A pendant la guerre froide ?

nancée par l'Iran, la réalisation de la version *Scud B* modèle B est engagée en 1985. La production est alors de huit à douze exemplaires par an. Dès juillet 1987, le premier des 100 *Scud* modèle B est livré à l'Iran. Il sera utilisé dans la "guerre des villes" contre l'Irak. Fin 1988, les Nord-Coréens amélioreront le modèle B, qui devient le modèle C, ou *Scud PIP*, et fabriquent le modèle D. Le modèle C sera essayé en vol au mois de juin

nées 50, avait conçu les *Scud*, et mis au point, ensuite, la plupart des missiles balistiques embarqués sur les sous-marins soviétiques. Des sources américaines et japonaises mentionnent également le projet *Taepo Dong 1* (2 000 km de portée), testé en vol au mois d'août 1998. Sa trajectoire a survolé le Japon, provoquant les protestations de Tokyo. On parle encore de *Taepo Dong 2*, d'une portée de 3 500 km, qui pourrait

vi et l'Agni. Le premier comprend trois versions différentes : une de 150 km de portée pour l'armée de Terre; l'autre de 250 km de portée, conçue pour la destruction des pistes d'aérodrome, et destinée à l'armée de l'Air. Ces deux versions sont opérationnelles. Une troisième version, de 150 km de portée, prévue pour être embarquée sur des navires de combat, est en cours de développement. La précision à l'impact de ces engins, lors des essais, se situe entre 10 et 25 m, ce qui témoigne du niveau technologique atteint par l'Inde. Le *Prithvi* peut transporter des charges classiques de 250 à 1 000 kg. Certains experts estiment que ce missile est capable d'emporter des charges nucléaires de très faible puissance, comme celle qui a été testée par l'Inde au mois de mai 1998.

L'Inde a montré pour la première fois en public son missile *Agni 1*, d'une portée de 1 500 km, lors d'une parade militaire à New Delhi. L'*Agni 1* a effectué son premier essai en vol en 1989. Le 11 avril 1999, elle procédait aux essais de la version *Agni 2*, qui atteignit une cible dans le golfe du Bengale, à 2 000 km de son site de lancement.

ENTENTE INTERNATIONALE

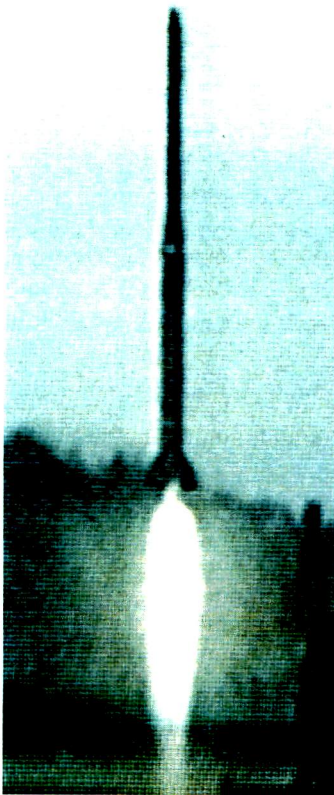
Le 14 avril, le Pakistan, lui aussi engagé dans le développement de missiles balistiques, répliquait avec l'essai du *Ghauri 2*, de 1 100 km de portée. Suivi, le lendemain, du *Shaheen 1*, capable d'emporter une charge de 1 000 kg à 750 km de distance. Dans les deux cas, les charges peuvent être soit conventionnelles, soit nucléaires. Rappelons que le Pakistan est une puissance nucléaire depuis 1998, puisqu'en réplique à la reprise des essais nucléaires par l'Inde, Islamabad a procédé l'année der-

nière à ses propres essais, en dépit de toutes les pressions exercées par les États-Unis. Enfin, dans ce climat d'escalade, l'agence pakistanaise de presse PPI annonçait que le pays avait commencé l'étude de la version *Shaheen 2*, d'une portée de 2 400 km. Alors qu'une source proche du ministère indien de la Défense indiquait que l'Inde développait à l'heure actuelle un missile intercontinental d'une portée comprise entre 8 000 et 10 000 km.

Fin juin 1999, un nouvel incident détériorait encore un peu plus les relations entre les deux pays. La Marine indienne arraisonnait un cargo nord-coréen qui transportait des éléments de missiles, confirmant ainsi l'aide

Le Japon menacé

La fusée qui a servi à lancer le premier satellite de la Corée du Nord le 5 septembre 1998 est une modification du missile *Taepo Dong 1* d'une portée de 2 000 km.



STR/REUTERS/MAXPPP

qu'apporte la Corée du Nord au Pakistan. Ce fait s'était produit tout juste un mois après la visite des installations nucléaires et de missiles pakistanaises par le ministre de la Défense d'Arabie saoudite. Visite qui attirait l'attention du monde sur la coopération Corée du Nord-Pakistan-Arabie saoudite qui se dessinait.

SOURCE DE DEVISES

Les grandes puissances ont assuré elles-mêmes leur indépendance au cours des années 50 et 60 en se dotant d'un arsenal nucléaire et des vecteurs capables de transporter de telles armes. On ne doit pas s'étonner si d'autres pays, à leur tour, cherchent à atteindre le même objectif. L'Histoire nous enseigne d'ailleurs qu'aucune invention, quelle qu'elle soit, n'est jamais demeurée à l'usage exclusif de son inventeur. Certes, la prolifération peut être ralentie à coups de règlements internationaux, de traités, de sanctions ou de menaces. Mais force est de constater qu'un pareil arsenal se révèle peu efficace vis-à-vis de pays qui, comme la Corée du Nord, ne disposent pratiquement d'aucune autre source de devises que celle de la vente des technologies liées aux missiles.

Quel qu'en soit le rythme, la prolifération paraît donc inéluctable. La seule question qui se pose est de savoir si les armes nucléaires et balistiques détenues par de nouveaux pays auront le même rôle que celles de la guerre froide, c'est-à-dire si elles pourront assurer le maintien de la paix par l'équilibre de la terreur. En d'autres termes, dissuader ceux qui possèdent ces armes de les employer, par crainte des dégâts qu'ils subiraient eux-mêmes en représailles. Mais à cette question, qui, aujourd'hui, se hasarderait à fournir une réponse? ■

Pourquoi les n'ont pas décro la Lune

« **U**n bond de géant pour l'humanité » : des premiers pas des astronautes américains sur la Lune, la postérité semble surtout retenir, trente ans plus tard, la dimension historique et l'exploit technologique. L'empire soviétique ayant aujourd'hui sombré corps et âme, la guerre froide passant désormais pour de l'histoire ancienne, on oublie parfois l'importance de l'événement replacé dans la compétition spatiale entre les deux superpuissances de l'époque.

Surtout, on imagine mal son impact psychologique en URSS, car il n'y eut guère pour les dirigeants soviétiques de nouvelle plus consternante, cette année-là, que la réussite de la mission Apollo. Ils perdaient en effet brutalement aux yeux du monde l'avance qu'ils avaient acquise depuis *Sputnik*, le premier satel-

Il y a trente ans, les Américains conquéraient la Lune, au terme d'une lutte sans merci contre les Russes. *Science & Vie* vous propose un document exclusif : l'analyse, par l'un des ingénieurs qui ont participé au programme lunaire soviétique, des causes de cet échec historique.

lite artificiel de la Terre, lancé en 1957. La sonde *Luna 2*, qui atteignit la lune en 1959, leur avait permis de creuser encore l'écart. Puis ce furent Youri Gagarine, premier homme dans l'espace, en 1961, les sondes vers Mars et Vénus, les nouvelles sorties de cosmonautes...

A chaque exploit, la propagande soviétique claironnait la « supériorité du communisme » sur le « capitalisme pourrissant ». Dans la compétition exacerbée entre les deux superpuissances, la conquête de l'espace était deve-

nue un enjeu politique et idéologique majeur. « Notre plate-forme de tir, affirmait Khrouchtchev, c'est le socialisme ! »

Mais, en ce 21 juillet 1969, l'URSS était battue. Comble de malheur : alors même que les cosmonautes américains achevaient leur promenade, la sonde automatique *Luna 15* se fracassait sur le sol lunaire, dans la Mer des Crises, à la suite d'une défaillance de son moteur. L'engin devait rapporter sur Terre des échantillons de sol lunaire. Jusqu'à la dernière minute, on avait

PAR MIKHAIL ROUDENKO

ADAPTATION FRANÇAISE : FAIZ HENNI

Russes ché

Quatre essais, quatre échecs

Quatre modèles de la fusée lunaire *N-1* ont été lancés du cosmodrome de Baïkonour, entre février 1969 et décembre 1972. Le vol le plus long a duré cent sept secondes. Chaque fois, la *N-1* a été trahie par un dysfonctionnement du système de propulsion (qui comprenait trente moteurs).

MOSCOP



DR



DR

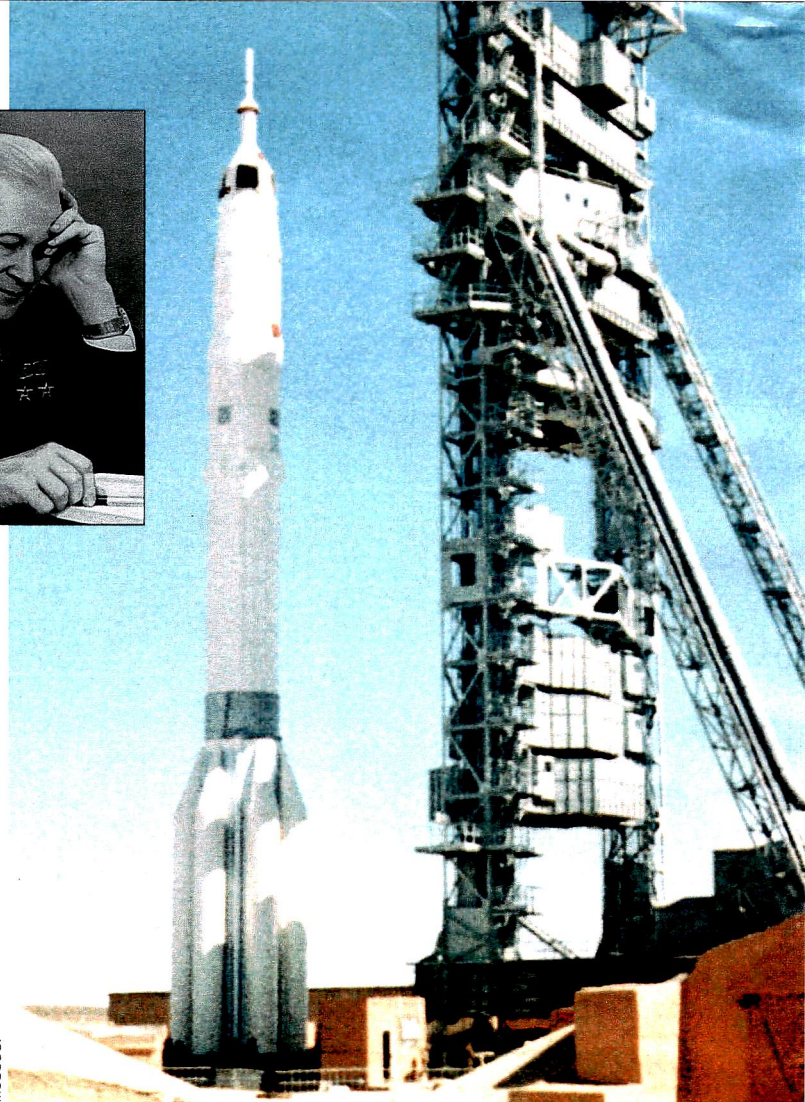
espéré au Kremlin que la sonde reviendrait sur Terre en devançant les astronautes américains.

Seule une centaine de hauts dirigeants soviétiques put voir, à la télévision, les astronautes américains fouler le sol lunaire. De ce merveilleux spectacle, le reste de la population n'eut droit qu'à de courts extraits, diffusés très tard dans la nuit, et à une brève dans *La Pravda* du lendemain.

1 MILLION DE PERSONNES IMPLIQUÉES DANS LE PROJET

Quelques semaines plus tard, le secrétaire général Leonid Brejnev assura que son pays « n'avait jamais eu le projet d'envoyer un homme sur la Lune : nous avons notre propre voie pour la conquête de l'espace. » Rien n'était plus faux. Mais il fallait sauver la face. En réalité, l'URSS n'avait pas un projet lunaire, mais plusieurs ! Celui du « constructeur principal » Sergueï Korolev avait impliqué, de près ou de loin, 1 million de personnes aux quatre coins du plus grand pays du monde. Mais, à la différence du programme Apollo, lancé à grands renforts de publicité, le projet soviétique était tenu dans le plus grand secret. La plupart des personnes employées ne savaient même pas qu'elles travaillaient à un projet lunaire. Ce n'est qu'après la chute du régime communiste que

MOSCOOP



Paralysés par la concurrence interne

Alors que les Américains se concentraient sur un seul programme lunaire, les Soviétiques en avaient trois en concurrence. Celui de Vladimir Tchelomeï (ci-dessus) était basé sur une fusée UR-700 (en haut, à gauche). Une version plus modeste, l'UR-500 (ci-dessus) devait permettre d'envoyer un cosmonaute contourner la Lune.

les langues ont commencé à se délier. Encore faut-il savoir distinguer le vrai du faux, car ces témoignages émanent généralement des auteurs du programme en échec, les collègues et successeurs de Korolev.

En 1959, Korolev propose donc au gouvernement de mettre au point un lanceur d'une masse de 1 000 à 2 000 tonnes, capable d'emporter dans l'espace une charge utile dix fois supérieure. Il s'agit de satisfaire les besoins de l'armée, de la

météo et des télécommunications. Mais Korolev n'a pas oublié son rêve de jeunesse : la Lune.

« Le lanceur lourd, écrit-il, sera capable d'effectuer des vols vers la Lune ». Techniquement, tout, ou presque, reste à faire. Pour atteindre la « seconde vitesse cosmique » (1), Korolev envisage une

.....

(1) Vitesse nécessaire pour quitter l'attraction terrestre et pénétrer dans le système solaire.

fusée à trois, voire à quatre étages. Pour se diriger vers la Lune et la contourner, il lui faudra créer un système de direction d'une grande précision, des dispositifs de protection des appareils de bord, sans oublier un système de télécommunications adapté pour des distances supérieures à 400 000 km...

En 1960 – un an avant l'exploit de Gagarine – le "constructeur principal" présente son avant-projet de lanceur, baptisé *N-1*. La fusée emporterait de 40 à 50 t en orbite basse et de 12 à 20 t hors de l'attraction terrestre. La *N-1* propulserait vers la Lune un vaisseau chargé de deux cosmonautes. Une fois l'engin en orbite lunaire, une capsule destinée à alunir avec un seul cosmonaute s'en détacherait.

RISQUES ÉLEVÉS POUR LES COSMONAUTES

Mais Korolev se heurte rapidement au problème des moteurs. Pour soustraire la *N-1* à l'attraction terrestre, la poussée des moteurs (150 t) du spécialiste Valentin Glouchko semble suffisante, mais ils fonctionnent à l'UDMH (2) et au peroxyde d'azote, des composés hautement toxiques. D'où des risques élevés pour les cosmonautes (et l'environnement) en cas d'accident. Korolev demande d'élaborer des moteurs à combustible non toxique, tel l'hydrogène et l'oxygène liquides, à l'instar de la fusée américaine *Saturn V*. Mais Glouchko lui oppose un *niet* sans appel : à un tel niveau de puissance, estime-t-il, ces produits rendraient le processus de combustion trop instable...

Pendant ce temps, les Améri-

.....

(2) Hydrazine dissymétrique, carburant classique des fusées.

UN RUSSE BLANC À L'ORIGINE DU PROGRAMME APOLLO



DR

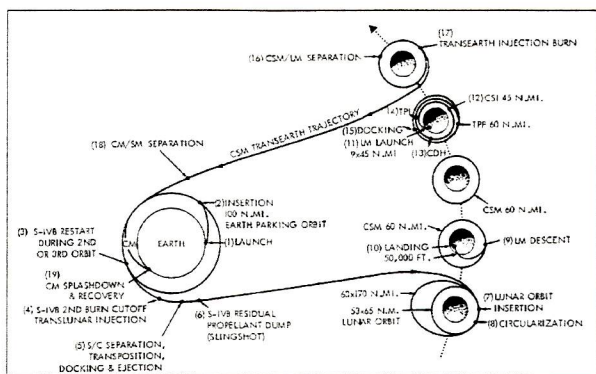
■ Réveur ou visionnaire ? Alexandre Chargaï n'a pas 20 ans lorsqu'il rédige, dans son lycée

de Poltava (Ukraine), un essai intitulé *La conquête des espaces interplanétaires*. Un petit bijou de l'histoire des sciences et des techniques, élaboré sans autres ressources qu'une intuition et une intelligence exceptionnelles. Et un cahier d'écopier. Chargaï y définit, en particulier, la trajectoire optimale d'un vol de la Terre à la Lune. Pour économiser l'énergie, démontre-t-il, il faudra prévoir un vol orbital autour de la Lune. De là, un module se détacherait et irait s'y poser. Survient la révolution d'Octobre : Chargaï fait le "mauvais choix". Le jeune officier de l'armée

Plan de vol défini en 1929 par Alexandre Chargaï et repris en 1961 par la NASA.

tsariste défaite devra passer le reste de sa vie sous une fausse identité : Iouri Vassilievitch Kondratiouk. Bien vite, il revient à sa passion astronautique. Mais il ne trouve, malgré le soutien de Trotski, aucune maison d'édition prête à publier son essai. En 1929, cinq cents exemplaires en sont tirés à compte d'auteur. Accusé de sabotage au début des années 30, Kondratiouk croupit trois ans dans les geôles et les camps du Guépéou. Notre infatigable pionnier y rédige un nouvel essai, *Comment obtenir de l'énergie électrique avec du vent*. Kondratiouk ne reviendra jamais à ses travaux d'astronautique, de peur que sa véritable identité ne soit découverte. Mais son génie sera finalement reconnu. Le lendemain du triomphe de Neil Armstrong, le chef du programme lunaire américain, dans sa conférence de presse, révèle au monde stupéfait le nom

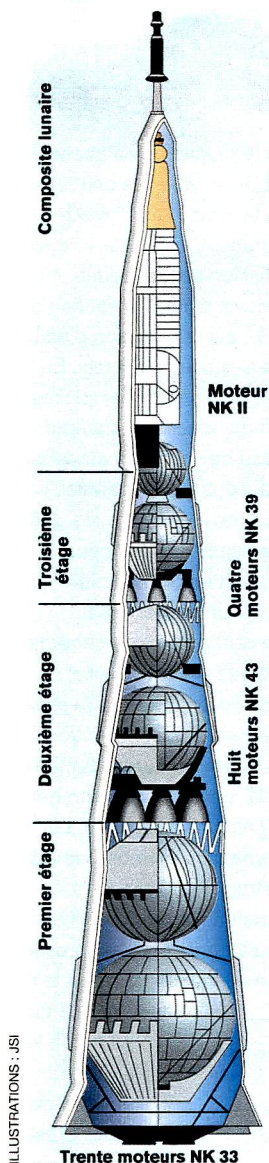
de celui à qui la NASA doit le plan de vol emprunté par Apollo. C'est à grand peine, explique-t-il, qu'un exemplaire de l'ouvrage de Kondratiouk a pu être retrouvé...



DR

cains ne sont pas en reste. En dépit de *Sputnik* et des premières initiatives soviétiques, Eisenhower avait d'abord réchigné à lancer les Etats-Unis dans une coûteuse course à l'espace. Mais, après le stupéfiant vol de Gagarine et, plus

tard, la non moins stupéfiante victoire de Fidel Castro, l'allié des Soviétiques, dans la baie des Cochons (Cuba), Kennedy décide de défier l'adversaire. Il assigne à son pays, le 25 mai 1961, une priorité nationale : « Faire atterrir un



homme sur la Lune et le ramener sain et sauf sur la Terre avant la fin de la décennie. »

A cette date, le retard américain pouvait sembler considérable, voire rédhibitoire. La NASA n'avait encore envoyé aucun astronaute autour de la Terre. Quant à envoyer un homme sur la Lune, elle

crédits. En 1965, le budget total de la NASA atteint la somme fantastique de 5,2 milliards de dollars. Dix fois plus qu'en 1960!

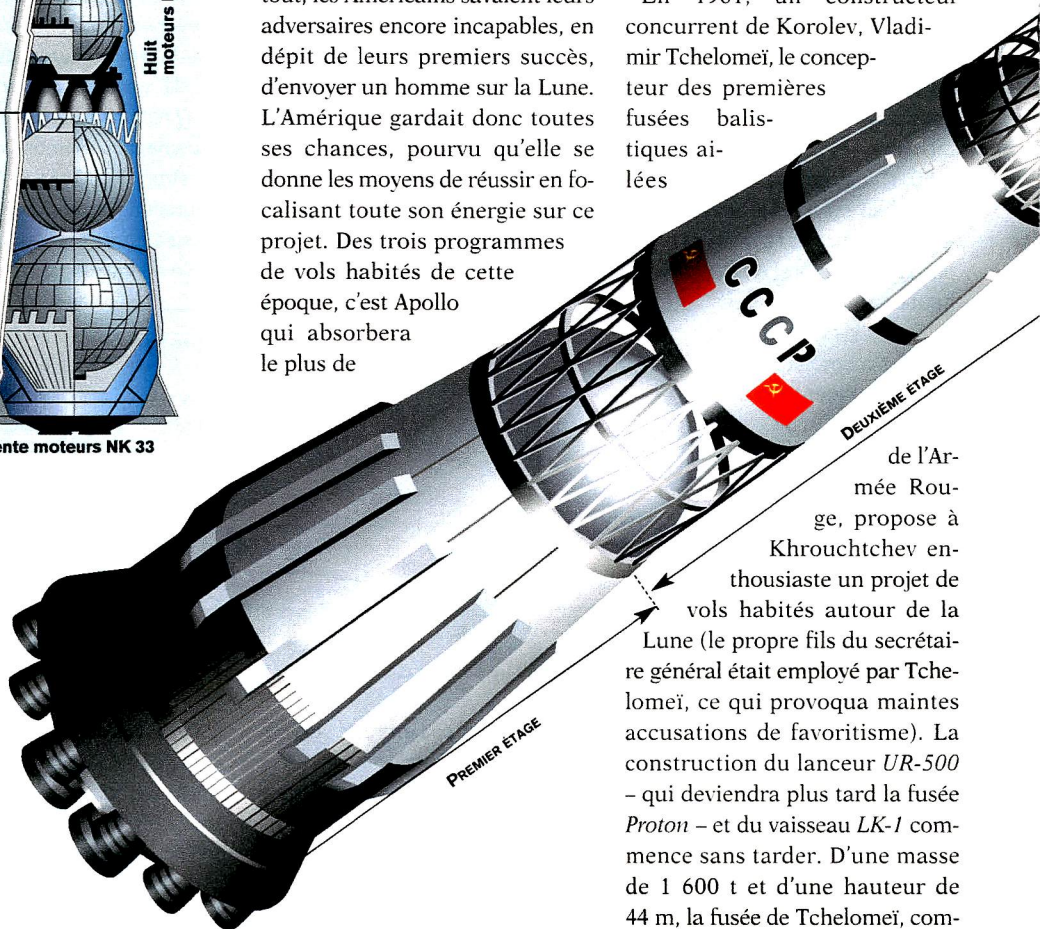
En ces années cruciales, les Soviétiques se dispersent dans plusieurs projets d'importance secondaire. Pressé par les dirigeants d'obtenir de nouveaux succès, Ko-

En 1961, le retard américain pouvait sembler rédhibitoire

n'avait encore choisi ni le lanceur ni la procédure du vol... Mais elle avait conçu dans ses grandes lignes la capsule *Apollo*, et les premiers essais de ses moteurs F1 (d'une poussée de 680 t!) étaient extrêmement encourageants. Sur-tout, les Américains savaient leurs adversaires encore incapables, en dépit de leurs premiers succès, d'envoyer un homme sur la Lune. L'Amérique gardait donc toutes ses chances, pourvu qu'elle se donne les moyens de réussir en focalisant toute son énergie sur ce projet. Des trois programmes de vols habités de cette époque, c'est *Apollo* qui absorbera le plus de

rolef envoie ses sondes – non sans difficultés – vers la Lune, Mars et Vénus. Le battage médiatique est énorme, mais l'intérêt scientifique ou technique est faible. Plus grave : entre les responsables, les conflits se multiplient.

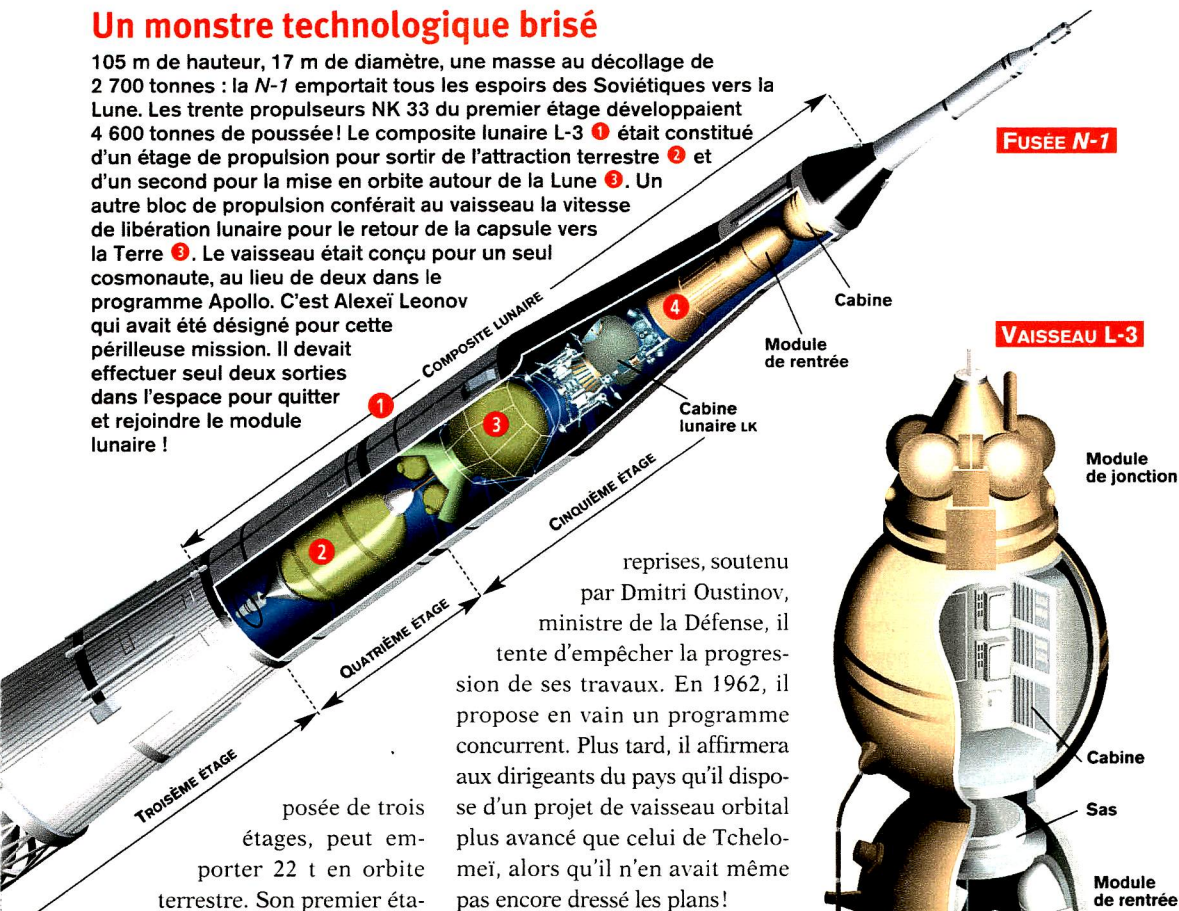
En 1961, un constructeur concurrent de Korolev, Vladimir Tchelomeï, le concepteur des premières fusées balistiques ai-lées



de l'Armée Rouge, propose à Khrouchtchev enthousiaste un projet de vols habités autour de la Lune (le propre fils du secrétaire général était employé par Tchelomeï, ce qui provoqua maintes accusations de favoritisme). La construction du lanceur *UR-500* – qui deviendra plus tard la fusée *Proton* – et du vaisseau *LK-1* commence sans tarder. D'une masse de 1 600 t et d'une hauteur de 44 m, la fusée de Tchelomeï, com-

Un monstre technologique brisé

105 m de hauteur, 17 m de diamètre, une masse au décollage de 2 700 tonnes : la N-1 emportait tous les espoirs des Soviétiques vers la Lune. Les trente propulseurs NK 33 du premier étage développaient 4 600 tonnes de poussée ! Le composite lunaire L-3 ① était constitué d'un étage de propulsion pour sortir de l'attraction terrestre ② et d'un second pour la mise en orbite autour de la Lune ③. Un autre bloc de propulsion conférait au vaisseau la vitesse de libération lunaire pour le retour de la capsule vers la Terre ④. Le vaisseau était conçu pour un seul cosmonaute, au lieu de deux dans le programme Apollo. C'est Alexeï Leonov qui avait été désigné pour cette périlleuse mission. Il devait effectuer seul deux sorties dans l'espace pour quitter et rejoindre le module lunaire !



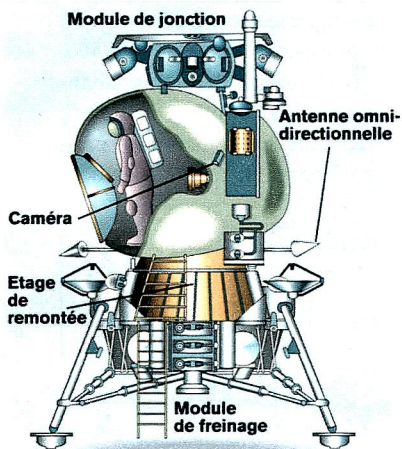
posée de trois étages, peut emporter 22 t en orbite terrestre. Son premier étage est propulsé par six moteurs Glouchko d'une poussée totale de 900 t. Mais Korolev voit en Tchelomeï un rival susceptible d'entamer sa suprématie de "constructeur principal". A plusieurs

reprises, soutenu par Dmitri Oustinov, ministre de la Défense, il tente d'empêcher la progression de ses travaux. En 1962, il propose en vain un programme concurrent. Plus tard, il affirmera aux dirigeants du pays qu'il dispose d'un projet de vaisseau orbital plus avancé que celui de Tchelomeï, alors qu'il n'en avait même pas encore dressé les plans !

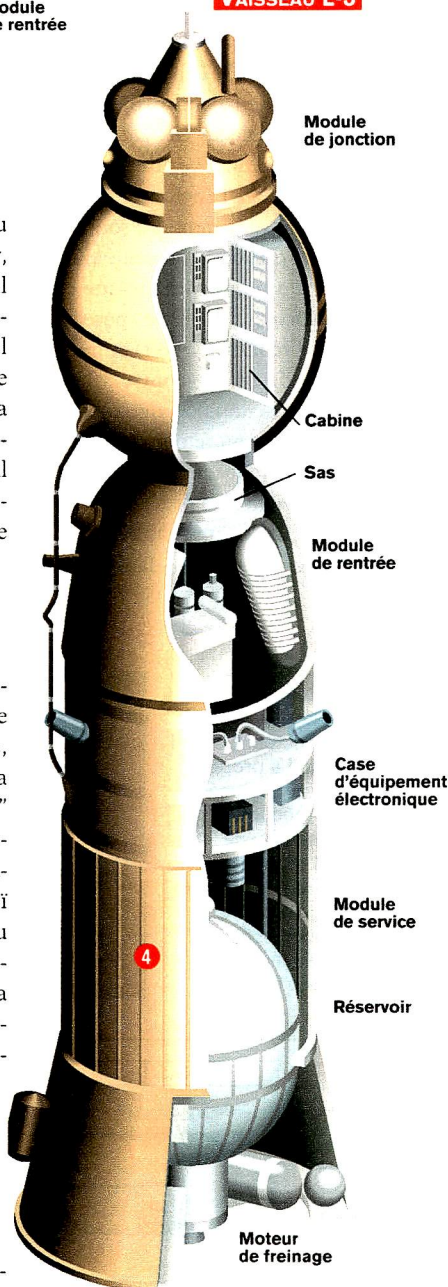
COMMENT SYNCHRONISER LA POUSSÉE DES MOTEURS ?

Entre Korolev et Glouchko, depuis l'affaire des moteurs, rien ne va plus. En dépit du bon sens, pour concevoir les moteurs de sa fusée, le "constructeur principal" fait appel à un spécialiste des réacteurs d'avion – et ancien compagnon d'internement –, Nikolai Kouznetsov. Etant donné le peu d'expérience de Kouznetsov, Korolev renonce à s'engager dans la voie de moteurs de très forte puissance. Il se contentera d'une poussée de 150 t environ.

Mais Korolev a dû aussi revoir à la hausse la puissance de sa fusée : il s'agit désormais d'emporter 95 t dans l'espace, au lieu des 50 t prévues initialement. Pas moins de trente mo-



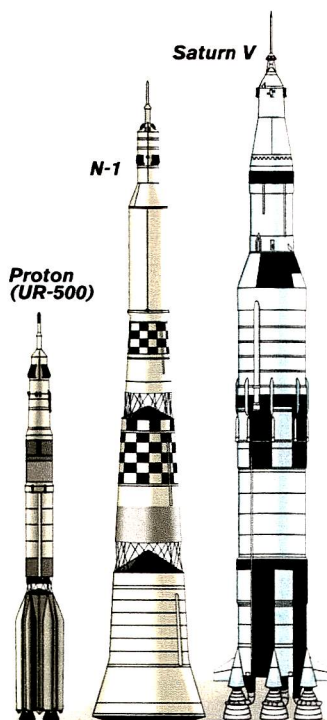
CABINE LUNAIRE LK



teurs seront donc nécessaires pour faire décoller l'engin ! Des choix aventureux dénoncés par Glouchko et Tchelomeï : comment, avec un si grand nombre de moteurs, assurer la stabilité du processus de combustion ? Et, surtout, comment obtenir une synchronisation satisfaisante de la poussée des moteurs ?

PLUS DE 640 TONNES DE POUSSÉE!

En juin 1963, Tchelomeï dévoile de son côté l'avant-projet de son nouveau lanceur *UR-700*, destiné lui aussi à envoyer des hommes sur la Lune. Tchelomeï n'a ni la sanction, ni le moindre soutien financier du gouvernement. Mais sa fusée est plus économe que celle de Korolev. Elle ne pèse que 2 300 t (contre 2 700 t) et mesure moins de 64 m (contre 105 m). Pourtant, dans le deux cas, la charge utile au retour sur terre est sensiblement identique : près de 6,5 t. Tchelomeï prévoit d'emporter deux cosmonautes sur la Lune, contre un seul dans le projet



de Korolev. L'astuce de Tchelomeï consiste à combiner plusieurs de ses fusées balistiques éprouvées : quelques *UR-200* "en paquets" pour le premier étage et une *UR-100* en guise de deuxième éta-

ge. De plus, le projet *UR-700* bénéficie du soutien de Glouchko : celui-ci s'engage à fournir des moteurs de 640 t de poussée !

Autre lanceur, autre défi à Korolev : le projet *R-56*, de Mikhail Yanguel. Grand spécialiste des mis-

Les armes de l'épopée

Aujourd'hui, seule la fusée *Proton* (baptisée, au départ, *UR-500*) est encore en service. *Saturn V* et la *N-1* ne sont plus utilisées.

siles de croisière, Yanguel ne pardonne pas au "constructeur principal", son ancien maître, d'ignorer le potentiel de son établissement de Dniepropetrovsk, en Ukraine. Composée de trois étages, la *R-56* devait être capable d'emporter deux cosmonautes sur la Lune. Mais le projet est rejeté en 1963, malgré le soutien de Glouchko.

En 1964, la course à la Lune s'accélère. Les dirigeants comprennent enfin qu'à force de se disperser, l'URSS risque d'être dépassée. Depuis janvier, la NASA procède avec succès aux essais d'une version intermédiaire du lanceur *Saturn*.

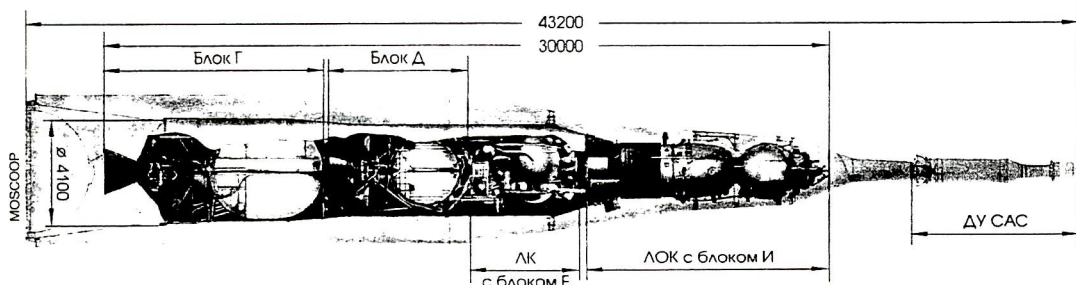
Le gouvernement soviétique fait donc du programme lunaire sa priorité spatiale absolue. En août, il est décidé que Korolev développera son lanceur *N-1*. Tchelomeï mènera à bien son programme de vols habités autour de la Lune, préalable au débarquement des cosmonautes. Mais deux mois plus tard, le renversement de Khrouchtchev par Leonid Brejnev change la donne. Tchelomeï a perdu son protecteur. Il continuera à développer son lanceur *UR-500*, mais le vaisseau *LK-1* est abandonné au profit du *L-1*, ou "*Zond*", de Korolev. Le "constructeur principal" parvient même à évincer

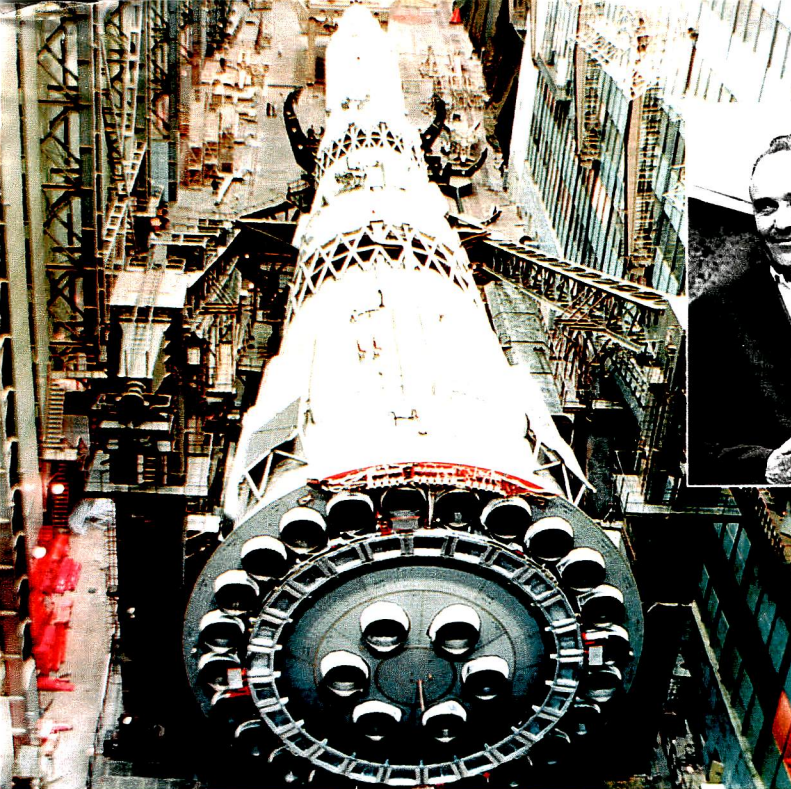
Constructeur évincé

Spécialiste des missiles de croisière, le constructeur Mikhail Yanguel a proposé d'utiliser sa fusée *R-56* (document ci-dessous) de 1 165 tonnes de poussée. Son projet fut rejeté parce qu'il nécessitait deux fusées pour aller sur la Lune.



MOSCOP





MOSCOOP



DR

Mission impossible

Sergueï Korolev, l'homme du *Sputnik*, fut chargé de construire la *N-1*. En l'absence de moteurs à hydrogène tels que ceux de la *Saturn V*, il dut utiliser trente moteurs (ci-contre) à carburant traditionnel, nettement moins puissants.

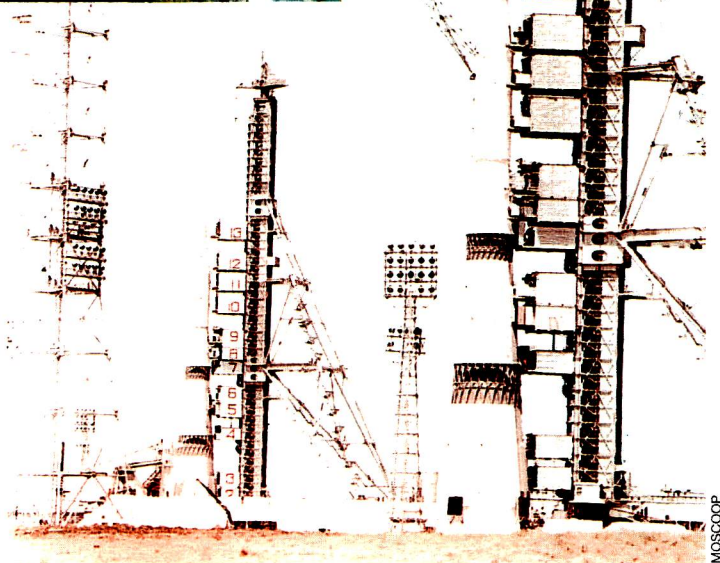
La gageure était de synchroniser autant de moteurs au décollage. Ci-dessous, deux maquettes de la fusée pour tester les équipements au sol.

Tchelomeï de la direction du programme des vols orbitaux. La voie est libre pour Korolev, mais n'est-il pas déjà trop tard ? Avec leur programme Gemini, les Américains sont en passe de devancer les Soviétiques pour les vols de longue durée, les rendez-vous en orbite et l'amarrage avec un vaisseau habité.

AUCUN ESSAI N'EST EFFECTUÉ SUR DES MAQUETTES

En dépit du décès de Korolev, en janvier 1966, le programme lunaire soviétique s'accélère. Il faut à tout prix arriver les premiers, exige Brejnev, ne serait-ce qu'une minute avant les Américains ! Dans les usines et sur le pas de tir de Baïkonour règne une épouvantable précipitation. Le successeur de Korolev, Vassili Michine, doit composer avec une bureaucratie féodale et compartimentée : près de cinq cents établissements, qui dépendent de vingt-six ministères, participent à son programme !

Faute de temps, on saute des



MOSCOOP

étapes essentielles : les trente moteurs du premier étage ne seront testés ensemble qu'au cours du premier tir de la fusée ; aucun essai n'est même effectué sur des maquettes. Quant au module lunaire du dernier étage, il sera monté dans la fusée sans avoir été testé... Pour le passage du vaisseau orbital à la capsule lunaire, rien n'est prévu : le cosmonaute (ce devait être Alexeï

Leonov), premier piéton de l'espace, aurait dû parcourir une vingtaine de mètres seul, dans l'obscurité et le vide absolu, à plus de 300 000 km de la Terre ! Seul l'esprit de sacrifice des centaines de milliers de personnes qui travaillent au projet permet de garder l'espoir de devancer les Américains.

Convaincu que Michine court à l'échec, Tchelomeï relève la tête.

« J'aurais peut-être accepté de me démettre, confie-t-il à son fidèle assistant Herbert Efremov, mais j'ai pitié pour la patrie : tout cela finira peut-être un jour où l'on vendra nos petits-enfants comme esclaves en Afrique. C'est pour éviter cela que j'ai décidé de me battre de toutes mes forces ! » Le 17 septembre 1966, à la suite des demandes insistantes de Glouchko, le ministre des Constructions générales, responsable des programmes spatiaux, constitue une commission pour apprécier le projet UR-700 de Tchelomeï.

Après dix jours d'inspection minutieuse, les experts concluent à « la justesse des choix techniques » de Tchelomeï. Son lanceur est plus simple, moins coûteux mais « plus sûr » que la fusée *N-1*. L'utilisation de moteurs déjà éprouvés permet d'emporter en orbite terrestre une charge de 135 t. Son schéma de vol optimal « augmente les chances de succès de la mission » et « permet d'envisager le débarquement sur la Lune de deux cosmonautes au lieu d'un seul » prévu dans le programme de Michine. La commission recommande d'adopter d'urgence le



DR

Le liquidateur

Valentin Glouchko, l'homme des moteurs, n'a jamais cru au projet N-1. Après les quatre échecs de la fusée, il eut la charge de liquider le programme lunaire, en 1972.

s'impatiente : le délai fixé par le président Kennedy pourra-t-il être tenu ? Mais la NASA tire les enseignements de ses échecs. Le 9 novembre 1967, le premier essai de *Saturn V* est un succès total. Moins d'un an plus tard, c'est le triomphe de la mission Apollo 8 : trois astronautes survolent la Lune et reviennent sains et saufs sur la Terre.

Au début de 1969, dans une tentative désespérée de rattraper les Américains, Michine et les siens procèdent à deux essais de leur en-

fusée (qui n'est pas étanche), Michine procède dans l'improvisation à un troisième essai. Le système de contrôle des moteurs s'arrête à la quarante-huitième seconde : *N-1* se casse au cours de sa chute. La quatrième tentative, en décembre 1972, se solde également par un échec.

Bien que Michine considère ses troisième et quatrième lancements comme des demi-succès, le gouvernement décide de mettre un terme à ce programme ruineux. « Nous avons donné à Michine tout ce qu'il demandait, dira plus tard Constantin Kolobenkov, un haut fonctionnaire du ministère des Constructions générales, davantage même qu'à Korolev. Il a tout gaspillé ! »

RECHERCHES RÉORIENTÉES VERS UNE NAVETTE SPATIALE

Nommé à la place de Michine, Glouchko ordonne de détruire les exemplaires de *N-1* destinés aux essais suivants : la démesure de l'engin et la difficulté de synchroniser ses dizaines de moteurs sont, selon lui, des vices rédhibitoires. Les recherches sont réorientées vers le projet *Energia-Bouran*, une navette concurrente de la navette américaine. De quoi rendre furieux les ex-collègues de Michine. Les médailles que distribue Glouchko ne suffisent guère à les calmer...

Aujourd'hui encore, Michine et les siens considèrent que leur lanceur était viable : « Sans les pressions incessantes et les incohérences du pouvoir, argumentent-ils, *N-1* aurait pu voler ». Et si leur programme, sur le point d'aboutir, n'avait pas été interrompu, la Russie serait aujourd'hui capable de remplir n'importe quelle mission spatiale. Telle est la version – plus émotive sans doute qu'objective – de ces « héros du travail socialiste » et autres constructeurs nostalgiques de l'épopée de Korolev. ■

« Sans la pression et les incohérences du pouvoir, la fusée aurait pu voler »

projet de Tchelomeï. Un an plus tard, il est devenu évident que Michine ne tiendra pas ses promesses. Le gouvernement ordonne à Tchelomeï de reprendre ses travaux préparatoires. Mais il est trop tard pour renverser la vapeur. A la même période, les Américains aussi sont en proie au doute. En janvier 1967, à la veille d'un essai, l'incendie du véhicule Apollo sur le pas de tir a coûté la vie à trois astronautes. En août, le report du premier essai du lanceur *Saturn V* révèle ses imperfections. L'opinion

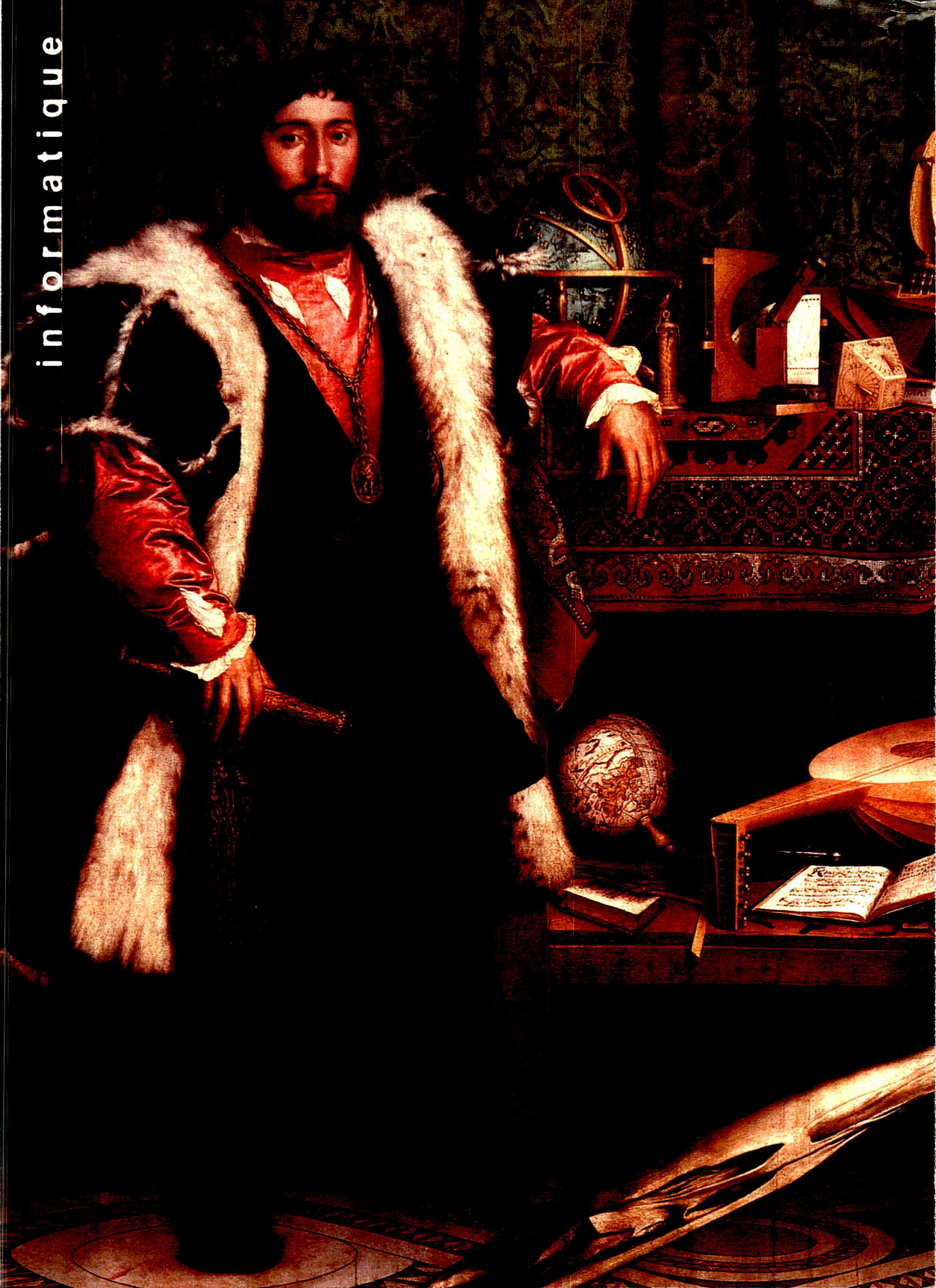
gin. Le 21 février, la *N-1* atteint 34 km d'altitude lorsqu'un des moteurs s'enflamme. Le 3 juillet, elle ne vole que neuf secondes. Quand elle retombe sur le champ de tir, l'équipage d'un hélicoptère qui vole à une soixantaine de kilomètres de Baïkonour croit qu'il s'agit du début de la troisième guerre mondiale... L'amertume et les reproches du gouvernement ont eu raison de l'enthousiasme des constructeurs, mais le programme continue. En juin 1971, après que des pluies diluviennes se sont abattues sur sa



VESTE EN COTON
AVEC 5% DE LYCRA®

UN PEU DE LYCRA® APORTE PLUS
DE CONFORT ET DE SOUPLESSE
AUX VÊTEMENTS QUE VOUS AIMEZ.
ET VOUS APORTE BEAUCOUP.

vivez
la
différence



La science à l'assaut du

piratage

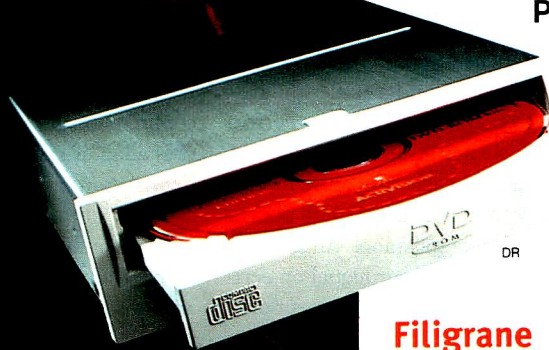
Images, musique, vidéo : l'internet
véhicule des milliers d'œuvres
que chacun peut pirater à loisir.

Pour trouver une parade
à ce pillage, des
chercheurs en
informatique
ont inventé le
"tatouage numérique".

Filigrane secret

A l'image de Hans Holbein le Jeune, qui, dans *les Ambassadeurs* (1533), a introduit une tête de mort anamorphosée – visible sous un certain angle –, on incruste aujourd'hui dans l'œuvre, un "filigrane" secret. Pour combattre le piratage facilité par les graveurs numériques.

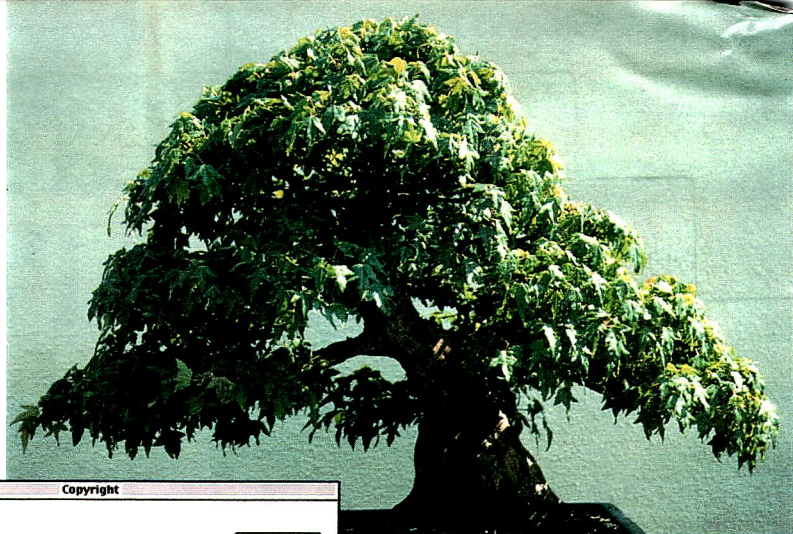
Internet menace-t-il la création artistique ? On y trouve pêle-mêle des copies illégales de *Star Wars* ou d'*Eyes Wide Shut*, des millions de photos au copyright douteux. Et la simple évocation du "réseau des réseaux" donne des sueurs froides aux responsables des maisons de disques depuis qu'un standard de fichiers musicaux, le MP3, permet de télécharger l'intégralité d'un CD. Car l'avènement de la "société de l'information" remet en cause tout un système où l'œuvre était liée au support, où l'on achetait du texte et



des images sur papier, de la musique sur disque et des films sur bande vidéo. Bien sûr, les copies étaient possibles. Mais enregistreurs et photocopieurs engendraient d'irréremédiables pertes de qualité, et il était parfois difficile de se procurer l'original que l'on voulait reproduire. Or, aujourd'hui, le développement du numérique fait que chacun peut graver ses CD sans dégradation du signal, tandis que le fulgurant développement de la compression de données (1) fait de l'internet un moyen illimité d'échanges – souvent illégaux – de musique ou de vidéo de qualité

croissante. Certes, le libre échange des œuvres de l'esprit peut être un idéal. Mais force est de constater qu'il ne permet pas la juste rémunération des artistes. Le respect des droits d'auteur s'avère dès lors nécessaire, et celui-ci impose de pouvoir retrouver l'origine d'un document, autoriser ou refuser les copies et sanctionner les fraudeurs. Mais comment contrôler l'information dans un système conçu pour que celle-ci circule sans frontières et sans limites ? Par le tatouage numérique, né du croi-

(1) La compression de données consiste à réduire, à l'aide d'algorithmes mathématiques, la taille d'un fichier informatique.




Copyright

ID Distributeur : 2056

ID Image : 1501

Attributs de l'image : Restreint, Copie interdite

Infos créateur

 Pour connaître le créateur de cette image, cliquez sur Rechercher ou bien contactez Digimarc :

URL : <http://www.digimarc.com/cgi-bin/ci.pl?2+100007+2056+1501+5>

DR

Le droit des auteurs

Pour identifier une image tatouée et connaître les droits d'auteur à respecter, il existe des logiciels tels que Digimarc. Le logiciel décrypte le tatouage et renvoie à un numéro de série (ci-contre) inscrit dans une base de données.

sement de deux domaines de recherches : le traitement du signal et la stéganographie.

INVISIBLE ET INALTÉRABLE

Branche méconnue de la cryptologie, la stéganographie (du grec *stegos*, abri, et *graphein*, écrire) consiste à utiliser un message banal pour y cacher un autre message dont seul le destinataire pourra prendre connaissance. Ainsi en va-t-il d'un dessin sur lequel on écrirait, à l'encre invisible, les noms de l'artiste et du propriétaire de l'œuvre. C'est là que réside le principe du tatouage numérique : il s'agit d'incruster, au sein même de

l'image, de la musique ou de la vidéo, un "filigrane" secret. Invisible et inaltérable, il contient diverses informations (nom de l'auteur, nombre de copies autorisées...). À l'instar des nouveaux lecteurs de DVD et des prochains standards de compression, les logiciels ou matériels adaptés savent déchiffrer ces informations à l'aide d'une clef secrète : ils autorisent ou non l'utilisateur à lire, modifier, copier une ou plusieurs fois le document. Les grandes banques d'image, elles, utilisent de puissants ordinateurs qui balaient le Net en permanence, à l'affût des œuvres tatouées mises illégalement en ligne. Sans le savoir, chacun sera confronté aux filigranes numériques dans les années à venir. Mais au fait, comment fonctionnent-ils ?

Une image numérique est com-

Tatouage élémentaire

La luminance d'un pixel (un point d'une image) s'écrit sous la forme d'une série de 0 et de 1. En modifiant la luminance de certains pixels, l'image est tatouée. Un tatouage simple, mais facile à contrer.



posée de petits points de couleur indépendants les uns des autres, appelés "pixels". Parler d'"image en noir et blanc" signifie en réalité que les pixels prennent différentes valeurs de gris, du plus clair au plus foncé, le nombre de ces niveaux de gris possibles variant d'une image à l'autre. Prenons pour commencer la photographie numérisée d'un mouton en 256 niveaux de gris, dans laquelle nous allons incruster les mots *Science & Vie*.

TROP SIMPLE POUR ÊTRE EFFICACE

Cette image a la forme d'un fichier informatique qui contient, pour chaque pixel, un nombre de huit bits (0 ou 1) indiquant son niveau de gris et appelé sa "luminance". Un pixel blanc – de luminance maximale – sera codé 11111111. Un pixel noir – de luminance nulle – s'écrira 00000000. Le chiffre le plus à droite de ces séries est appelé "bit de poids faible", car sa modification n'augmente ou ne diminue que d'un niveau de gris la luminance du pixel correspondant. Il est donc possible de détourner ce bit de sa fonction et de l'utiliser pour le tatouage. Les treize caractères *Science & Vie* que nous souhaitons tatouer dans l'image du mouton représentent donc 104 bits d'information. Inscrivons ce

texte dans les bits de poids faible de 104 pixels dont l'emplacement sur la photo est tenu secret. Leur luminance en sera très légèrement modifiée, mais cela passera inaperçu sur les centaines de milliers de pixels que contient l'image. Ça y est, la photo est tatouée ! Il suffit de connaître l'emplacement de ces pixels pour retrouver le texte caché, en lisant le bit de poids faible de chacun des 104 points utilisés. Le principe est sensiblement le même pour les images

couleur, la vidéo ou la musique : une légère modification du signal pour y incruster le filigrane, et le tour est joué.

Mais tout cela est malheureusement trop simple pour être efficace. Car la marque secrète doit résister aux transformations de l'image nécessaires à la distribu-

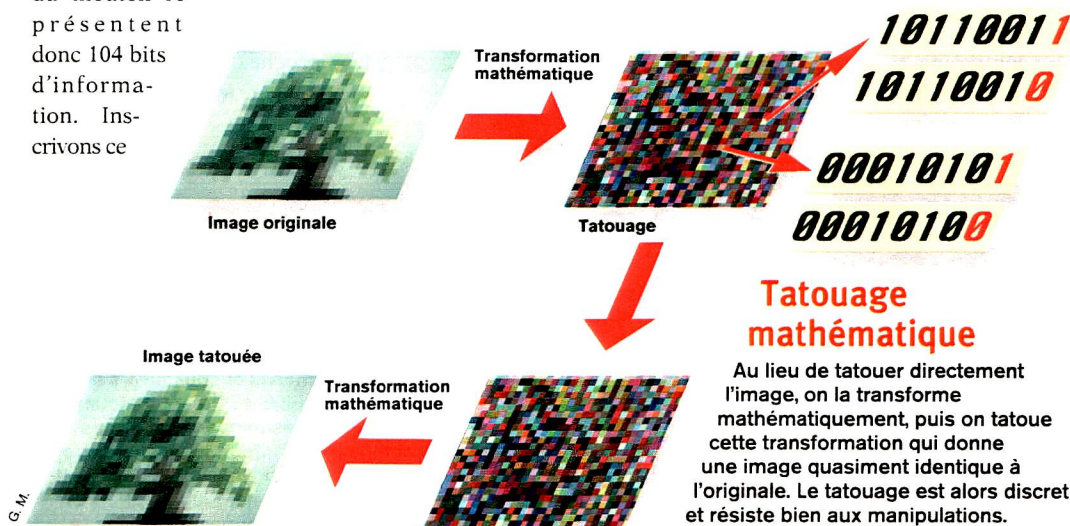


Tatouage intégral

La différence entre l'image originale et l'image tatouée est faible, et pourtant le tatouage fractal est présent dans toute l'image (la photo du milieu montre le tatouage, dont le contraste a été amplifié cent mille fois).

tion et à l'utilisation du document : une photographie tatouée doit pouvoir être successivement scannée, comprimée, téléchargée via le Web et imprimée sans qu'elle perde son filigrane. Ce dernier doit également résister aux attaques

pirates visant à détruire intentionnellement les données cachées dans l'image : changements de taille ou de résolution, recadrages, modification du contraste... et ajout d'un deuxième tatouage qui viendrait volontairement brouiller le premier ! Or n'importe quel logiciel de traitement graphique per-



met de modifier insensiblement le contraste ou la luminosité de notre mouton – et donc la luminance de chacun des pixels, détruisant ainsi le tatouage. Que faire alors pour améliorer cette technique, et combiner l'invisibilité du filigrane à sa résistance aux manipulations ?

TRANSFORMER LA GLACE EN EAU

Imaginez que l'on cherche à partir de petits copeaux de plastique transparent dans un bloc de glace. La méthode "du bit de poids faible" reviendrait à y faire une série de petits trous pour incruster les copeaux. Une autre méthode consiste à transformer la glace en eau avant d'y ajouter les morceaux de plastique, puis de retransformer l'ensemble en glace. C'est un peu l'idée des chercheurs en stéganographie : coder les données secrètes non plus dans l'image elle-même, mais dans une transformation mathématique de celle-ci, appelée son "domaine fréquentiel". On recalcule alors une image semblable à l'original, mais qui contient désormais le filigrane – sous une forme plus discrète et plus résistante, à l'instar des copeaux dans notre pain de glace.

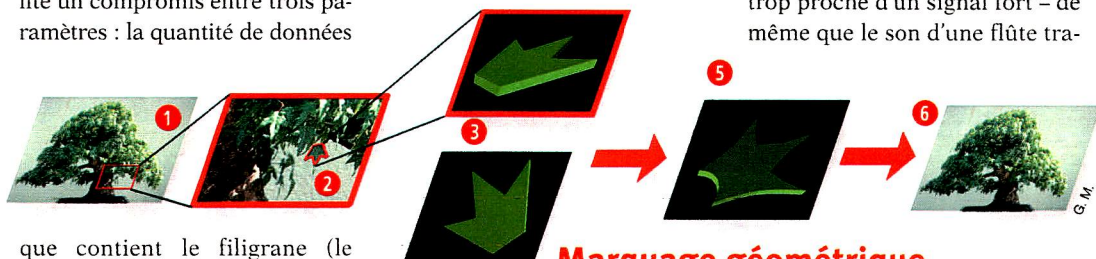
Mais cette méthode ne suffit pas non plus à rendre le tatouage invulnérable. L'opération est en réalité un compromis entre trois paramètres : la quantité de données

original. Améliorer l'un de ces paramètres revient à sacrifier le deuxième ou le troisième... ou les deux en même temps. Pour marquer un document numérique à l'aide d'un filigrane très résistant, il faudra donc limiter au maximum la quantité d'informations secrètes qu'il contient, et dégrader sa qualité visuelle ou sonore. Heureusement, les dégradations d'une

Le modèle fractal

La théorie des fractales, qui permet d'obtenir ces étranges images, est notamment utilisée pour les tatouages de fichiers.

image ou d'une musique passent plus ou moins inaperçues selon leur nature, grâce aux particularités des systèmes visuel et auditif humains. Et notamment à l'effet de masque, qui rend imperceptible un signal faible lorsqu'il est trop proche d'un signal fort – de même que le son d'une flûte tra-



que contient le filigrane (le nombre de copeaux de plastique), sa résistance aux manipulations (la difficulté à les extraire du pain de glace) et son invisibilité – c'est-à-dire la parfaite ressemblance entre le document tatoué et le document

Marquage géométrique

Dans toute image ①, il existe des formes géométriques qui se répètent à diverses échelles et sous divers angles, par exemple la forme d'une feuille ②. On peut tatouer l'image à partir d'un ensemble restreint de ces formes ③, dont chacune est accompagnée d'informations sur sa position, sa taille et son orientation ④. On modifie alors légèrement les formes isolées en introduisant le marquage ⑤. Puis on recompose l'image originale avec les formes marquées ⑥.

S. JOHNSON/PHOTOGRAM-STONE IMAGES

[illegible]

Les attaques demeurent pourtant possibles : c'est pourquoi les scientifiques travaillent à d'autres techniques de tatouage, basées sur des méthodes plus complexes et dont les applications s'avèrent prometteuses. Chercheurs à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA), Evelyne Lutton et Jacques Lévy-Véhel utilisent ainsi les outils de "compression fractale" pour améliorer la qualité des filigranes (2). Il s'agit de trouver, dans une image, une série de "similarités" – des courbes, des figures géométriques, bref, de petits éléments graphiques reproduits en plusieurs endroits du document, à diverses tailles ou sous divers angles. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, un nombre limité d'éléments graphiques suffit généralement à décrire l'image entière (comme une molécule d'ADN "définit" un animal tout entier avec un nombre limité de gènes). Chacun de ces élé-

ments doit être accompagné des formules qui indiquent les transformations à lui appliquer (déplacements, rotations, étirements...) pour recréer l'image originale. Empruntons maintenant une analogie aux sciences du vivant : pour obtenir une souris "génétiquement marquée", on prélève sur la souris d'origine une cellule dont on modifie quelques gènes sans effet sur les

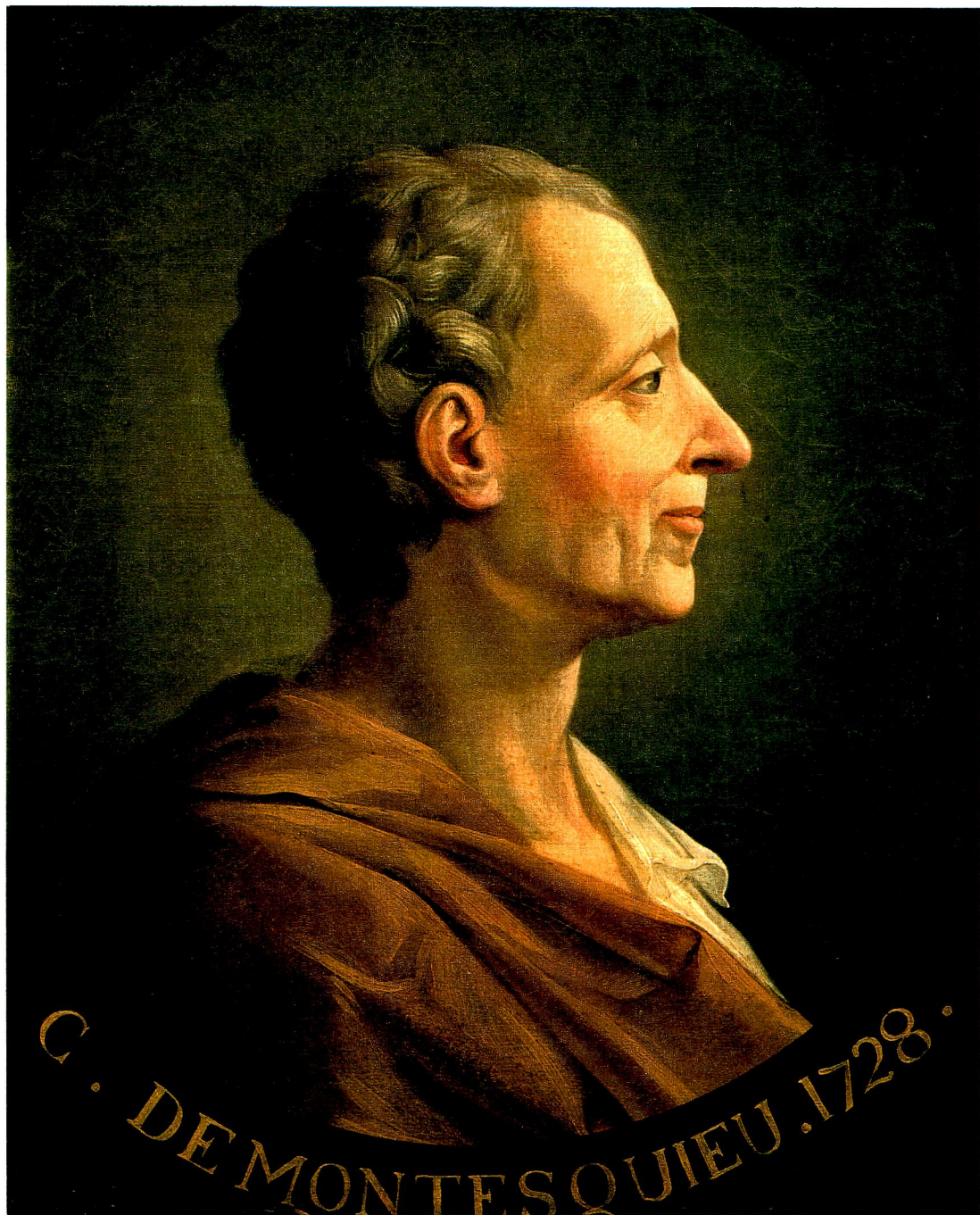
fonctions vitales. On crée ainsi par clonage une souris semblable en tous points à la première, mais portant en elle une marque indélébile. C'est un peu le principe employé par l'INRIA pour tatouer les images : en incrustant les informations secrètes dans les petits éléments graphiques découverts, elles se trouvent disséminées dans tout le document une fois celui-ci recalculé. Cette méthode de "tatouage fractal" pourrait bien améliorer considérablement la solidité du filigrane, car ce dernier n'est pas localisé mais virtuellement présent à chaque endroit de l'image. De nombreuses expérimentations seront pourtant nécessaires pour en déterminer la résistance, et personne ne sait *a priori* comment se comportera le tatouage en cas

d'importantes modifications de l'image. Car la stéganographie demeure un domaine théorique encore peu exploré. « Il n'existe pas aujourd'hui de moyens de prouver si un marquage est fiable ou non, et l'expérimentation est nécessaire, explique Louis Granboulan, chercheur en informatique à l'École normale supérieure de Paris. On pourra toujours modifier une ima-

**Sur l'internet,
des serveurs pirates
proposent des
dizaines de
milliers de titres
au format MP3,
qu'on peut librement
télécharger.
Une menace
pour l'industrie
du disque...**

- Le mieux est l'ennemi du bien.
(Montesquieu)

- Ah! Ah! Ah!
(Bouygues Telecom)





Assurément, Monsieur de Montesquieu n'aurait jamais écrit ces lignes s'il avait connu le coffret Privilège de Bouygues

Telecom. Jugez plutôt.

Le coffret Privilège, c'est avant tout un téléphone portable de toute dernière génération : le Siemens S25.

Bi-bande, écran couleur, vibreur, connexion infrarouge, organisateur, mémo vocal, doté d'une autonomie exceptionnelle de 6 jours en veille, ce concentré de technologie plébiscité par la presse spécialisée ne mesure que 117mm pour à peine 125g.

Le coffret Privilège c'est également un accès intuitif aux services Bouygues Telecom. Equipé de la nouvelle carte SIM ToolKit, ce coffret vous offre un accès privilégié aux services Bouygues Telecom directe-

ment depuis le menu de votre téléphone sans avoir besoin de composer les numéros correspondants : ExpressM@il, qui vous permet d'envoyer et de recevoir des e-mails sur votre téléphone, le kiosque des services, Scoop pour recevoir en direct l'actualité, les résultats sportifs...

Le coffret Privilège, c'est aussi bénéficiaire des nouveaux Forfaits Ultymo et Ultymo Pro : un prix par minute identique au-delà du Forfait⁽¹⁾, le report gratuit des minutes inutilisées⁽²⁾, un nouveau téléphone offert tous les 2 ans⁽³⁾ et bien d'autres avantages encore.

Le coffret Privilège c'est surtout l'accès au réseau national Son Digital Haute Résolution de Bouygues Telecom : la garantie d'une qualité d'écoute exceptionnelle, comparable à celle d'un téléphone

fixe et cela jusqu'aux 4 coins de la France (96% de la population française couverte).

Vous bénéficiez enfin d'une large couverture internationale de 70 pays. Bi-bande, le Siemens S25 vous permet de téléphoner en France (réseau DCS 1800 de Bouygues Telecom) et à l'étranger depuis les réseaux partenaires DCS 1800 et GSM 900.

Coffret Privilège : le mieux, c'est vraiment très bien.

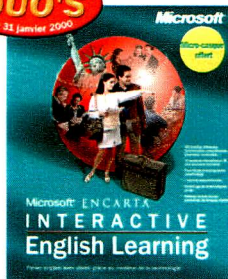
(1) Offre valable pour toute souscription d'un Forfait Ultymo de 12 mois. Appels depuis la zone de couverture, en France métropolitaine et hors numéros spéciaux. Appels vers GSM au-delà du Forfait Ultymo : 2F/min.

(2) Les minutes reportées sont utilisables uniquement le mois suivant et une fois votre temps de Forfait consommé.

(3) Pour bénéficier d'un nouveau téléphone offert tous les 2 ans dans le cadre du programme d'avantages, il vous suffit d'avoir une facture moyenne de 175 F/mois pendant 2 ans et de renouveler votre Forfait Ultymo pour une durée minimale de 18 mois.



Du 1^{er} octobre 1999
DUO'S
du 31 janvier 2000



READY? GO!* BESOIN DE RÉVISER OU D'AMÉLIORER VOTRE ANGLAIS ?
QUE CE SOIT POUR VOTRE TRAVAIL, VOS VOYAGES, VOS CONTACTS PRIVÉS
OU PROFESSIONNELS... CETTE MÉTHODE COMBINE LE MEILLEUR DE LA
PÉDAGOGIE ET DE LA TECHNOLOGIE. CONÇUE PAR DES SPÉCIALISTES DE
L'ENSEIGNEMENT DE L'ANGLAIS, ELLE VOUS PLONGE INSTANTANÉMENT
DANS DES SITUATIONS RÉELLES GRÂCE À DES VIDÉOS ET À DES UNIVERS
VIRTUELS EN 3D. ALORS, PRÊT POUR LE GRAND BAIN ?

*Jusqu'où irez-vous ?**

Microsoft®

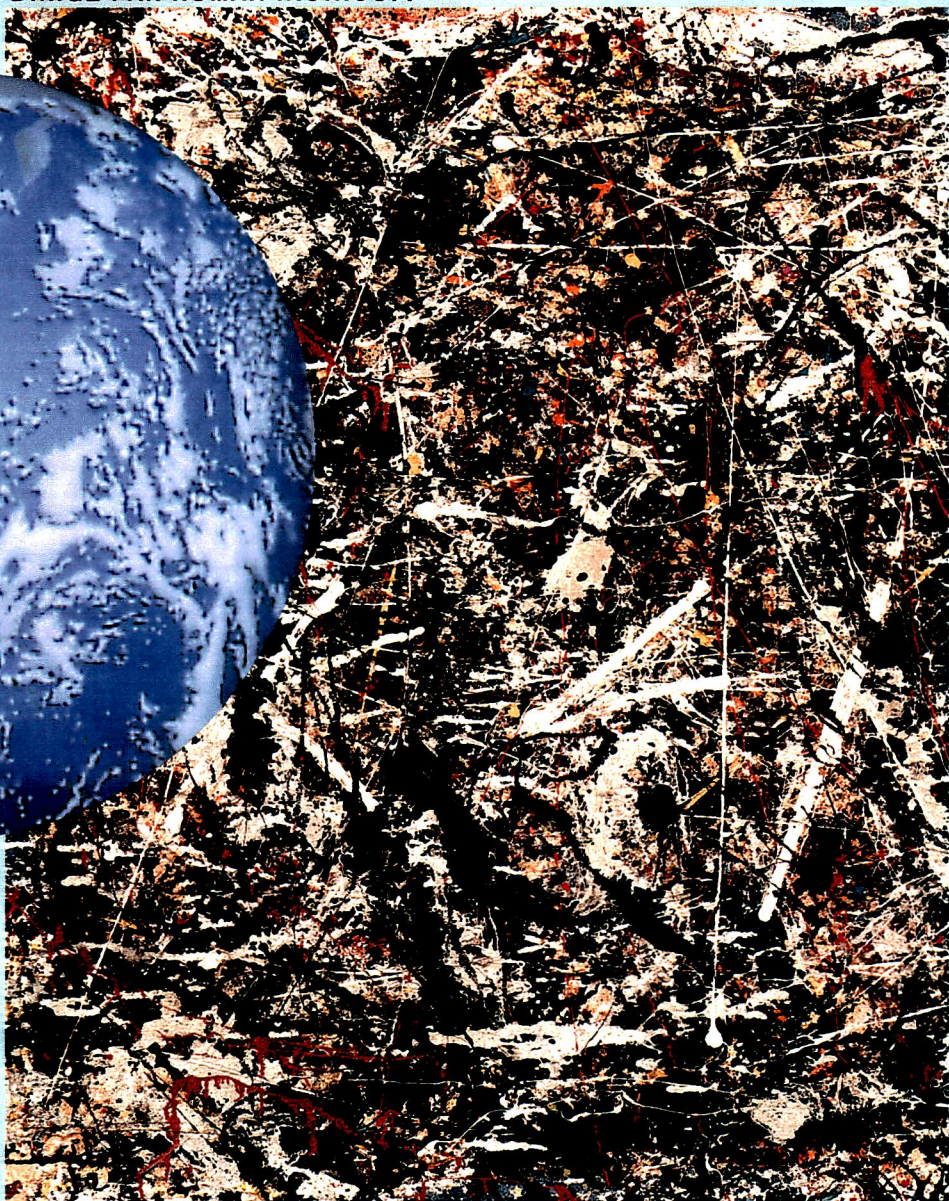
www.microsoft.com/france/eiel

Microsoft, B-327 733 484, PC Copier, Photos, © G. HARARY/PX-M. BARR

*Logiciel interactif d'apprentissage de la langue anglaise. Prêt à Partir.
Pour l'achat de ce produit 1 logiciel offert. Frais de participation
35 francs. Modalités de l'offre en magasin.

DIRIGÉ PAR ROMAN IKONICOFF

planet@



AKG PARIS/CAMERAPHOTO

Pollock fractalisé

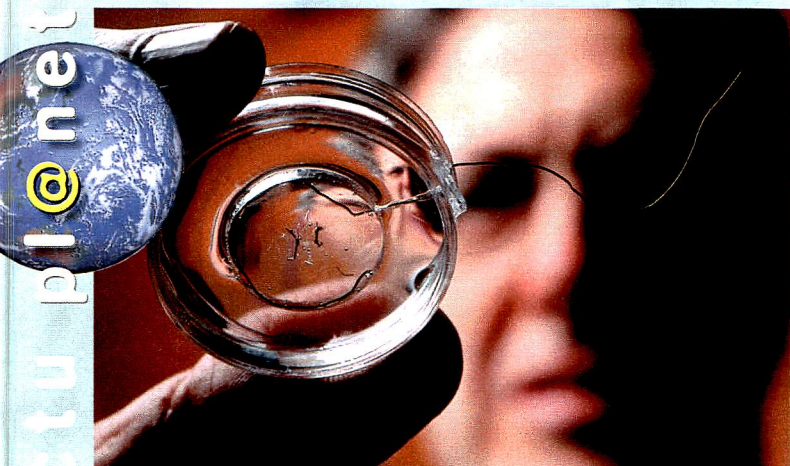


Quel est le lien entre les peintures abstraites de l'Américain Jackson Pollock (1912-1956), les fractales (ces figures qui restent identiques à elles-mêmes par changement d'échelle) et l'ordinateur? Ce dernier a permis à des scientifiques

australien de l'université de Nouvelle-Galles-du-Sud de mettre en évidence la nature fractale des œuvres de Pollock (ici, un détail d'*Alchemy*, 1947). Selon les informaticiens, elles reflètent le caractère fractal des structures de la nature. Ce qui expliquerait leur attrait visuel... R.I.

ACTUALITÉ p.144
Les dernières nouvelles du multimédia

INTERNET p.148
Chaos sur la Toile



Post-it virtuels

Et si l'internet n'était rien d'autre qu'un grand journal mural sur lequel chacun peut griffonner ses critiques ou ses réflexions ? C'est le but du logiciel gratuit Third Voice (www.thirdvoice.com) qui permet aux internautes, après

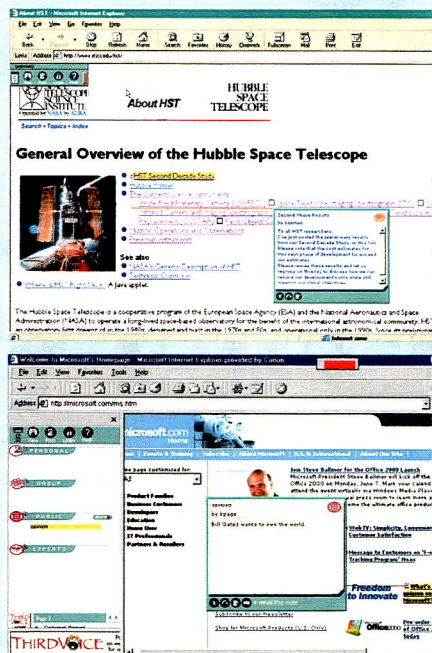
G. MEEK/GEORGIA TECHNOLOGY INSTITUTE

Sangsue cybernétique

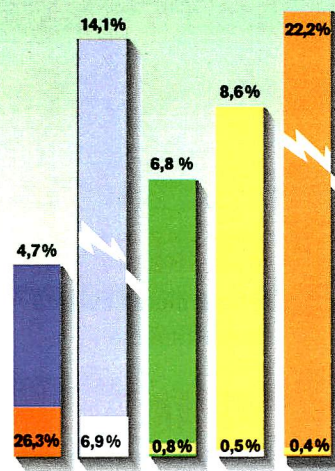


Bill Ditto, professeur au Laboratoire de chaos appliqué de l'Institut de technologie de Géorgie (États-Unis), vient de concevoir une machine à additionner dont l'élément de base est... un neurone de sangsue. Derrière cette expérience, le secret espoir de parvenir à faire travailler ensemble des puces de silicium et des cellules nerveuses. Pour l'instant, les neurones de Ditto

ne savent qu'additionner : chaque neurone peut être stimulé par une petite décharge électrique. Le stimulus se propage de proche en proche créant ainsi une dynamique typique du réseau de neurones. L'espoir est de doter l'ordinateur de la plasticité cérébrale qui lui fait défaut et qui nous caractérise, car les neurones, contrairement aux microprocesseurs, peuvent modifier leurs connexions pour augmenter leur efficacité. R. I.



2,4 % des Terriens sur le Net



Ce graphique montre la part de la population d'une région par rapport à la population mondiale (grandes barres) et la proportion d'internautes qui y vivent (sous-barres). Par ordre : les États-Unis, les pays de l'OCDE (hors États-Unis), l'Amérique latine et les Caraïbes, l'Asie du Sud-Est et le Pacifique, l'Asie de l'Est. Il y a 2,4 % de surfers dans le monde. R. I.

téléchargement dans leur ordinateur (seulement les PC), de déposer de courts textes sur n'importe quelle page Web. Chaque visiteur équipé de Third Voice voit alors apparaître ces *post-it* virtuels lorsqu'il consulte ladite page. Le principe inquiète évidemment les responsables de sites, qui y voient une atteinte à leur liberté éditoriale. M. C.

Laissez-vous envoûter...

Dans la Perse du XII^{ème} siècle,
un drame se joue :

le Sultan a été assassiné,
la Princesse enlevée et
le Prince jeté en prison.

De son amour et de sa soif
de vengeance, le Prince
tirera le courage et l'énergie
nécessaire pour venir à bout de
ses ennemis et sauver sa belle.

Une bonne dose d'action,
une pincée de réflexion
saupoudrée de passion, voici
le savant cocktail réuni dans
Prince of Persia 3D !

Prince of Persia 3D



HIT MUSIC only !*



Pour plus d'informations
www.pop3d.com
TLC Édusoft - 53, av de l'Europe
80080 Amiens - Tel : 0803 020 010



Exploration de palais immenses, de villes
mal famees et de grottes étranges.

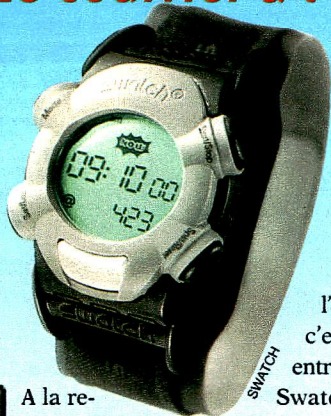


Combats au sabre, au bâton ou à l'arc
contre une multitude d'ennemis.



De nombreux pièges mortels
présents à chaque pas.

Le courrier à l'heure



A la recherche du nouveau concept qui fera mouche, l'horloger suisse Swatch s'apprête à lancer d'ici à la fin de l'année la

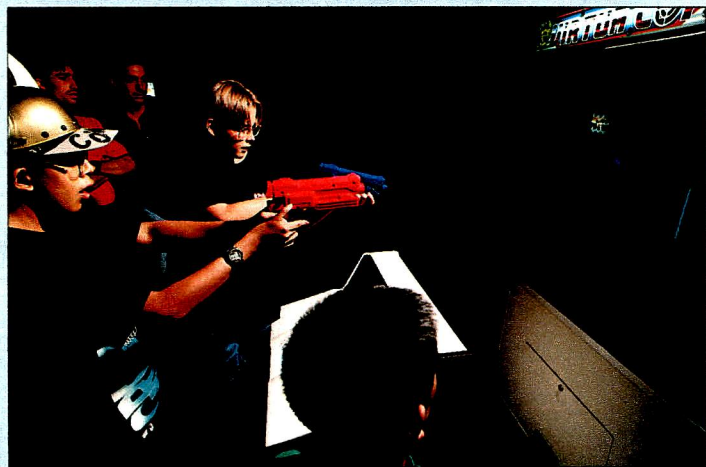
Swatch Access. Cette montre sera capable de télécharger, d'emmagasiner et d'afficher, au moment voulu par son possesseur, le courrier électronique (e-mail) reçu par l'ordinateur. Cependant, c'est le projet de fusion entre la Swatch Access et la Swatch Talk (montre téléphone) qui devrait, s'il se concrétise, mettre le courrier électronique à la portée de tous les poignets. La Swatch Access donnera également l'heure. **R. I.**

Violence et jeux vidéo



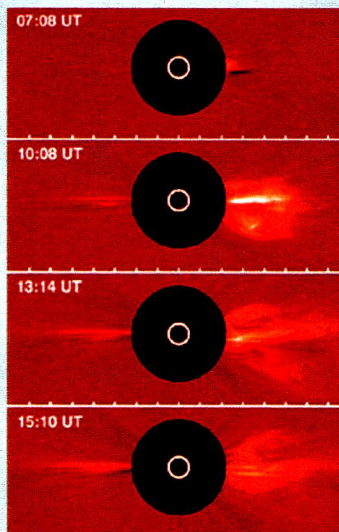
Après la fusillade dans un lycée de Littleton (Colorado, États-Unis), le 21 avril dernier, qui avait fait quinze morts, la société PC Data a procédé à une enquête d'opinion sur la violence, les jeux vidéo et la télévision, auprès de 6 305 personnes représentatives des divers milieux sociaux. Il en ressort que 57% des consomma-

teurs américains estiment que les jeux vidéo et informatiques n'encouragent pas la violence. Néanmoins, 52% d'entre eux considèrent que les parents doivent contrôler et limiter le temps que les enfants passent à jouer à des jeux vidéo violents. En revanche, une majorité des sondés (59%) pensent que la menace vient de la violence diffusée à la télévision. **R. I.**



L'autre bogue

Comme si le bogue de l'an 2000 ne suffisait pas à détraquer les instruments, voici que la Société astronomique américaine prévoit un autre bogue, de nature plus cosmique. Il



s'agit du bogue causé aux téléphones portables, aux satellites de communication et aux systèmes de transmission hertzienne par un pic d'activité du Soleil – qui se produit tous les onze ans – lequel se déclenchera en l'an 2000. Le pic se traduit par une augmentation de l'intensité des rayons solaires qui heurtent la Terre et sont de nature à perturber les ondes électromagnétiques. **R. I.**

A collaboré à cette rubrique :
Matthieu Crocq



recherche

Cassiopee

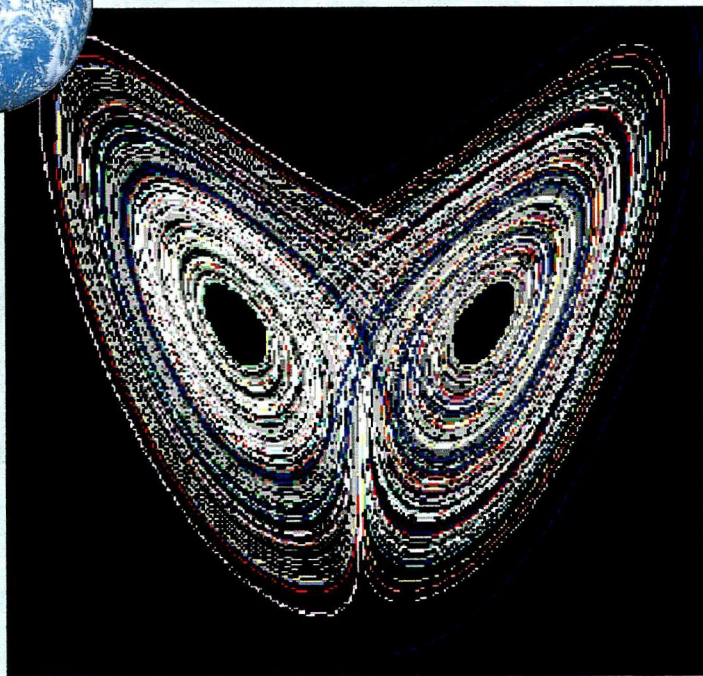
voila



Tout ce que vous cherchez est là.

Voila, c'est votre point de départ sur internet. Pour s'orienter, s'informer, communiquer, jouer, sortir et se divertir, il suffit de taper www.voila.fr. Moteur de recherche accessible à tous les internautes, voila est recommandé par Wanadoo.

Chaos sur la Toile



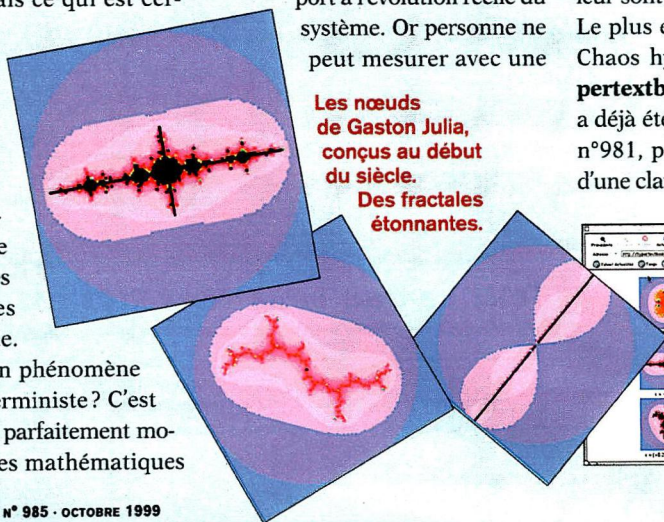
Parmi les attracteurs étranges présentés, celui de Lorenz (ci-dessus) découvert lors de l'étude d'équations destinées à prévoir le temps.



La découverte de la physique du chaos déterministe a-t-elle été une révolution scientifique au même titre que l'invention de la relativité par Einstein ou celle de la physique quantique ? Peut-être... mais ce qui est certain c'est que cette nouvelle branche de la physique a changé notre façon d'appréhender l'Univers et aussi le rapport entre les mathématiques et la physique. Qu'est-ce qu'un phénomène chaotique déterministe ? C'est un phénomène parfaitement modélisable par les mathématiques

(sous forme d'équations) mais dont on ne peut prévoir, physiquement, l'évolution. En effet toute inexactitude dans la mesure physique du phénomène à un moment donné conduit, à terme, à des résultats qui divergent par rapport à l'évolution réelle du système. Or personne ne peut mesurer avec une

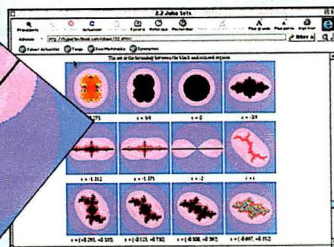
Les nœuds de Gaston Julia, conçus au début du siècle.
Des fractales étonnantes.

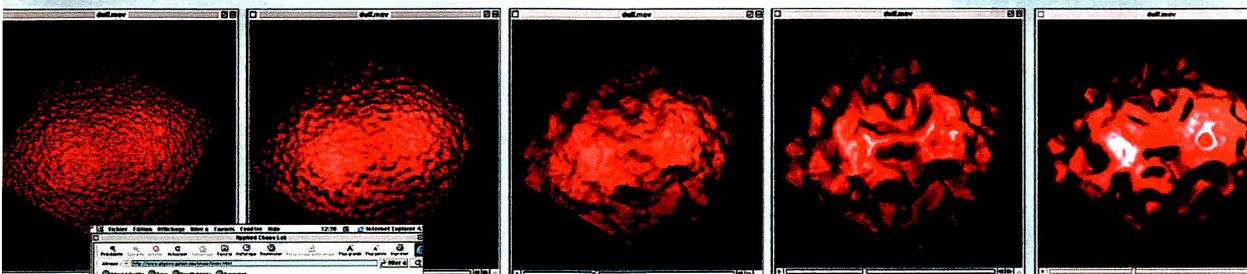


Le chaos fascine. Certains lui consacrent des sites présentant son paradoxe. L'internet permet de mieux comprendre qu'un modèle mathématique ne donne pas forcément le résultat qu'on attend.

précision absolue la valeur d'une variable physique. Un exemple : les comportements des grandes masses d'air de l'atmosphère sont connus des météorologistes grâce, notamment, à la mécanique des fluides et aux observations satellitaires. Mais il est impossible de prévoir à long terme le climat qu'il fera, par exemple, sur Paris car, pour peu qu'on ait commis une petite erreur dans la position d'une des masses d'air, le modèle calculé par l'ordinateur se mettra à diverger de plus en plus de la réalité. La grande Toile mondiale rend hommage à la physique du chaos et aux mathématiques associées (dont, notamment, les fractales) en multipliant des sites qui leur sont consacrés.

Le plus engageant de tous est le Chaos hypertextbook (<http://hypertextbook.com/chaos/>) dont il a déjà été question (*Science & Vie* n°981, p.135). D'une lisibilité et d'une clarté absolues (bien qu'il ne



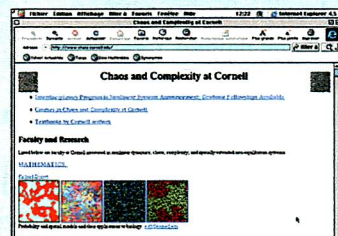


Pour tout savoir des applications pratiques de la physique du chaos, ce site offre un large choix d'archives et d'images.

s'adresse pas aux débutants), il expose en quatre grands chapitres ce qu'il faut savoir sur le sujet. Les fractales qui y sont présentées (en images et en films) sont d'une

grande beauté. Pour approfondir le sujet, le cybercurieux aura tout intérêt à visiter le site de l'Applied Chaos Lab (www.physics.gatech.edu/chaos/index.html). On y trouve des cours ("chaos control tutorial"), des films, des articles archivés, des projets de recherche, etc. Ce site est orienté vers les applications concrètes de la physique du chaos. Enfin, le site de l'université Cornell (New York) propose son *Chaos and Complexity* (www.chaos.cornell.edu/) qui traite le problème du chaos dans diverses

disciplines comme la mécanique, l'aéronautique, l'électronique, l'astronomie, l'informatique et même l'économie et la médecine.



Page d'accueil de Rick Durret cherchant à appliquer à la biologie ses recherches sur les probabilités.

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 N°1 de LA SCIENCE ET LA VIE

296 francs seulement

Oui

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

● je règle la somme de **296 francs*** seulement et je recevrai en cadeau de bienvenue le N°1 de LA SCIENCE ET LA VIE** paru en 1913.

Nom _____
Prénom _____
Adresse _____
_____ Code postal _____
Ville _____

Je choisis de régler par :

☐ chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE
☐ carte bancaire

N° _____
expire à fin _____ mois _____ année

Date et signature obligatoires

*Prix normal de vente des magazines chez votre marchand de journaux

** Délai de réception de 3 à 4 semaines, à partir du règlement de votre abonnement.

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 1999 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE METROPOLITAINE.
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 17

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

Mémoire mobile

Pouvoir sauvegarder à tout moment 40 Mo de données sur un petit disque mobile, c'est l'intérêt du nouveau support de stockage amovible de Iomega. Il ravira les utilisateurs de PC portable et les mordus de photo numérique. Pour effectuer le transfert des données, on branche le lecteur, qui tient dans la main et dispose d'une batterie rechargeable, dans l'emplacement de carte PC du portable. Lorsqu'on connecte au lecteur un petit module, le Click! Flash Memory Reader, il suffit d'y insérer la carte



CompactFlash ou SmartMedia d'un boîtier numérique pour sauvegarder les images qu'elle contient sur un disque Click! de 40 Mo. Le tout peut être accroché à la ceinture grâce à un étui en cuir. Prix du lecteur : 1 690 F (257 €).

Un concept ingénieux, particulièrement pour la photo numérique (les cartes flash de 32 Mo coûtent près de 1 000 F, le disque Click! de 40 Mo est vendu 80 F).

Une bonne carte en main

Le marché des cartes téléphoniques prépayées sans puce, qui permettent d'appeler de n'importe quel poste fixe, est en plein boom. RSL Com et Cegetel lancent respectivement la Mondial Vox et la Carte téléphonique du 7. Il faut d'abord composer le 3077 pour la carte Cegetel (3061 pour la carte Mondial Vox) puis composer le code secret de la carte (à douze chiffres) et le numéro du correspondant. Outre les tarifs intéressants proposés par ces opérateurs (de 20 à 60 % moins chers que ceux de France Télécom), l'aspect pratique est à retenir : on peut téléphoner de chez des amis, par exemple, sans leur infliger le coût de la communication. RSL Com propose plusieurs cartes, en fonction de zones géographiques (Geocall, pour les pays du Maghreb, Corsicom, pour l'île de Beauté, etc.).

Pratique et économique, même si le fait de devoir composer vingt-six chiffres peut rebuter certains utilisateurs.





Le chic du préservatif

Innover dans le domaine du préservatif, quelle gageure ! Pourtant, au terme de quatre années de recherche, la société française Loops Company a réussi à loger des préservatifs dans une petite capsule plate et ronde en plastique rigide. Chaque boîte est décorée d'un dessin fantaisie plutôt sympathique.

Le préservatif, lubrifié, est ainsi gardé bien à l'abri ; il se présente dans le bon sens lorsqu'on ouvre la boîte. Prix : le blister de six, 44,50 F (6,78 €). Vendu dans les grandes surfaces.

Une bonne précaution : la capsule est à ouverture unique.

La liberté des ondes

La MouseMan Wheel de Logitech perfectionne la gamme des souris sans fil. Ici, ce n'est pas l'infrarouge, mais la technologie des ondes radio qui a été utilisée. Elle rend la manipulation plus aisée, car elle ne nécessite pas d'aligner la souris précisément en face de l'écran, et les objets placés entre elle et l'ordinateur ne perturbent pas son fonctionnement. Prix : 400 F (61 €).



Les gauchers vont se sentir victimes de discrimination, car cette souris n'existe que pour les droitiers !

Scanner indépendant

L'ImageDeck de Microtek est le premier scanner à plat autonome. Il a été conçu en partenariat avec Iomega (le fabricant des disquettes Zip) et s'adresse aux petites structures qui ont besoin d'un poste de numérisation indépendant, car il fonctionne sans être connecté à un ordinateur et sans qu'il soit nécessaire de le paramétrer. Il suffit

de sélectionner le type de document, le support (Zip ou disquette 3,5 pouces), le taux de compression et le niveau de résolution souhaités. Les données sont sauvegardées au format JPEG. L'ImageDeck peut être connecté à une imprimante. Prix : 3 490 F (532 €).

Ce scanner, d'utilisation très simple, possède une résolution de 300 x 300 dpi (600 x 600 dpi en noir et blanc) et peut numériser des documents au format A4. Il restitue des images de qualité.



Le choix du numérique

L'appareil-photo numérique Camedia C-2000 Zoom d'Olympus se différencie de la gamme des Camedia. Il gagne en compacité et en esthétique. Le nouveau capteur CCD a une résolution de 2,1 millions de pixels. Le boîtier est doté d'une priorité à l'ouverture ou à la vitesse, et le zoom (équivalent à un 35-105 mm) a une ouverture maximale de f:2. La mesure de la lumière est pondérée, à prédominance centrale, et une mesure spot est possible. Le moteur permet des prises de vues en séquences, sauf en haute définition et sans compression. Prix : 6 000 F (914 €). Le PowerShot A50 de Canon, en aluminium, est plus compact. Son capteur de 1,3 million



de pixels procure des images dont l'équilibre des couleurs est excellent.

Il possède un micro-zoom (28-70 mm).

Prix : 4 500 F (682 €).

Deux concepts très différents. Le Camedia est un appareil de grande qualité, qui tend à intégrer les fonctionnalités d'un appareil-photo classique. Le PowerShot a été voulu comme un bloc-notes numérique, et il est effectivement d'un emploi facile et agréable. Ses logiciels créatifs permettent de créer des diaporamas, des vues panoramiques et un étonnant classement des images en "tunnel temporel", par ordre chronologique.



Les scanners de films arrivent

Jusque-là réservés à un usage professionnel en raison de leur prix, les scanners de films 35 mm (négatifs couleurs et noir et blanc et diapositives) deviennent accessibles. Le CanoScan FS 2710 de Canon possède un capteur CCD de 2720 dpi. L'échantillonnage des couleurs s'effectue sur 36 bits. Très rapide, il est compatible PC/Mac. Il traite également les films APS. Il est livré avec la version 4.0 de *PhotoShop LE*. Le PhotoSmart S20 de Hewlett Packard dispose d'une résolution optique de 2 400 dpi pour un codage des couleurs sur 36 bits. Particularité de cet appareil : il permet également de scanner des documents papier jusqu'au format 13 x 18 à la résolution de 300 dpi. L'aspect convivial a été soigné et son utilisation est très aisée. Il est livré avec *Microsoft Picture It!* 99. Prix : 5 000 F (758 €) et 3 400 F (518 €).

Le CanoScan nécessite d'installer sur son PC une carte (fournie) car l'interface est de type SCSI-2. Le PhotoSmart bénéficie d'une interface USB.

GPS au poignet

Pour tous ceux qui ont besoin d'un outil d'orientation, Casio a mis au point la première montre GPS. Son récepteur peut capter les signaux en provenance de huit satellites. En dépit de la miniaturisation (la montre est 60 % plus petite qu'un GPS classique), son cadran est assez lisible. Prix : 3 500 F (530 €).

Les marins apprécieront un GPS facilement utilisable et qui ne craint pas l'eau.





Hollywood réalise votre rêve le plus fou

10 bourses de 50 000F à gagner

**Pas la peine de vous pincer,
vous avez bien compris...**

Du 16 août au 29 février 2000, Hollywood met en jeu 10 bourses de 50 000 F pour réaliser votre rêve le plus fou. Pour savoir comment participer au concours Hollywood Dream 2000, appelez vite le **08 36 68 10 25** (touche étoile active, 2,23 F TTC la minute) ou consultez le site : **www.Hollywood-openweb.com** ou demandez le règlement complet par écrit à HOLLYWOOD DREAM/ GECIP - BP 112 - 91322 WISSOUS Cedex (remboursement de l'appel et/ou des frais de timbre, joindre un RIB).

Pour sélectionner et récompenser les 10 meilleurs projets, Hollywood a réuni un jury très fraîcheur de vivre :

Karine RUBY, 1^{ère} championne Olympique de Snow board,

Bob, animateur sur Fun Radio,

Nicolas WINCKLER, journaliste reporter et animateur TV.

D'autres artistes du monde du cinéma, de la musique et de l'image viendront compléter ce jury.

Alors rendez-vous en avril 2000 pour connaître les lauréats !

HOLLYWOOD®
Chewing Gum
FRAÎCHEUR DE VIVRE

Dreamcast, un rêve de joueur

Sa puissance est quatre fois supérieure à celle d'un Pentium II ! Pour mettre au point sa nouvelle console de jeu, Sega a fait appel au géant Microsoft et au système de traitement graphique le plus performant du moment.

En lançant la console de jeu Dreamcast, il est clair que le fabricant japonais Sega cherche à retrouver une position dominante sur le marché du jeu vidéo. En son temps, sa console Saturn n'avait pas remporté le succès escompté. Elle avait rapidement été éclipsée par une redoutable concurrente : la PlayStation de Sony.

Il semble que Sega ait tiré les enseignements de ce retentissant échec. La Saturn et la PlayStation étaient pourtant techniquement comparables, seule leur programmation différait fondamentalement. Celle de la Saturn, très particulière, était délicate. Sony avait consacré toute la puissance de ses équipes d'informaticiens à concevoir la PlayStation et, surtout, à mettre au point des outils de développement extrêmement efficaces à l'intention des

programmeurs de jeux vidéo.

Alors que le nombre de jeux disponibles pour la Saturn était restreint, la ludothèque pour la PlayStation s'enrichissait chaque semaine. Or, c'est la richesse des logiciels qui font le succès d'une console de jeu.

UNE VERSION EXCLUSIVE DE WINDOWS CE

Pour concevoir la Dreamcast, Sega n'a pas hésité à s'allier avec un partenaire qui pèse lourd sur le marché des logiciels, Microsoft. Le géant de l'informatique lui a fourni une version exclusive de son système d'exploitation Windows CE, spécialement optimisée pour exploiter au mieux les possibilités de la console. De ce fait, sa puissance de calcul n'a plus grand-chose de commun avec celle des ordinateurs de poche auxquels se destine habituellement Windows CE.

Le processeur central de la

Des jeux à foison

Dès la sortie de la console, onze jeux seront disponibles, et vingt-quatre un mois plus tard. Du jamais vu dans ce domaine...

Dreamcast a été conçu par Hitachi. Il travaille sur 128 bits et son architecture RISC lui confère une puissance de calcul de 1,4 GFLOPS (1,4 milliard d'opérations en virgule flottante par seconde), soit plus de quatre fois celle d'un Pentium II. Mais, la vocation d'une console de jeu est plus d'animer des images que de calculer la dix milliardième décimale de π . On ne s'étonnera donc pas qu'un processeur graphique vienne compléter la machine. Ici encore, Sega a donné dans la démesure. Le processeur, étudié par NEC (Nippon Electronic Corps), qui assure la gestion des graphiques 3D, est capable d'animer dans l'espace jusqu'à 5 millions de polygones par seconde. Il possède



Branchée sur le Net

La Dreamcast est dotée d'un modem intégré qui permet d'accéder à l'internet gratuitement, sans abonnement, et de jouer en ligne.

en outre une palette de plus de seize millions de couleurs. N'oublions pas que l'image tridimensionnelle des consoles de jeu ou des ordinateurs se compose de polygones animés indépendamment les uns des autres. Personnages, objets ou décors se composent donc d'une multitude de "facettes". Plus les polygones sont nombreux, plus ces facettes sont fines et, par voie de conséquence, plus l'image possède un aspect naturel). Dans ce domaine, le processeur de NEC est le plus puissant des systèmes de traitement graphique aujourd'hui disponibles sur le marché.

Les autres périphériques de la Dreamcast et ses logiciels de gestion interne semblent de la même trempe. Le générateur de musiques et de sons, par exemple, est basé sur un processeur Yamaha.

Autre caractéristique intéressante, qui explique le nom de cette nouvelle console (contraction des mots *dream*, rêve, et *broadcast*, diffusion), la Dreamcast possède un modem intégré. Celui-ci permettra à plusieurs participants de jouer en ligne mais aussi d'accéder à l'internet. Sega propose un accès gratuit et sans abonnement au réseau et, dans cette optique, a choisi

si de travailler en partenariat avec ICL et British Telecom pour l'Europe. ICL a pour charge la conception et le suivi du centre serveur Dreamcast. British Telecom est responsable de l'infrastructure du réseau européen.

CD-ROM D'UN NOUVEAU TYPE

Dans sa version de base, la Dreamcast ne possède que des manettes de jeu pour naviguer sur la Toile. Les pages Web du site seront optimisées afin de les adapter à l'ergonomie de la machine. Néanmoins, les inconditionnels du "web-surfing" pourront lui adjoindre un clavier. La console se transformera alors en terminal de consultation multimédia.

Enfin, des CD-Rom d'un nouveau type seront le support des jeux vidéo de la Dreamcast. Pour profiter, ici encore, des possibilités de cette machine, Yamaha a mis au point un nouveau lecteur haute densité, haute vitesse. Techniquement, ce format les rend difficilement piratables. En outre, ils peuvent stocker un plus grand nombre d'informations qu'un CD-Rom traditionnel et ils tournent seize fois plus vite. Cette vitesse de rotation élevée engendre une succession plus rapide des

différentes phases du jeu et améliore la fluidité des animations.

Proposée à moins de 1 800 F pour les fêtes de fin d'année, cette console n'offrira pas à Sega une marge bénéficiaire bien élevée. Pour rentabiliser ses lourds investissements, la société japonaise compte sur la vente des CD-Rom de jeux conçus selon sa norme. Pour lancer en Europe sa dernière-née, Sega a décidé d'investir 90 millions d'euros (590 millions de francs) en un an! Mais la société Sony, la grande rivale, n'est pas prête à jeter l'éponge : elle annonce déjà l'arrivée de sa nouvelle console, la PlayStation 2, une machine qui devrait apparaître au Japon à la fin de l'année. Une belle bagarre en perspective... ■



Avec

SCIENCE & VIE

découvertes

**les 8-12 ans
comprennent
le monde
en s'amusant !**



au sommaire du numéro d'octobre

POURQUOI les volcans crachent du feu ?
COMMENT se passera la vie quotidienne dans
la nouvelle station orbitale ?
Et aussi : la construction d'un château fort
comme au Moyen Âge + spécial Halloween

**Parution
6 octobre**



**SCIENCE & VIE DÉCOUVERTES, LE MAGAZINE MENSUEL
DES 8-12 ANS POUR EXPLORER LE MONDE.**

Wwe

Encyclopédie

SOUS LA DIRECTION DE JEAN-FRANÇOIS ROBREDO

XXI^e siècle

La révolution médicale

PAR PHILIPPE CHAMBON



L'ILLUSTRATION/SYGMA

L'essor de
l'immunologie p. 158

La réponse
immunitaire p. 164

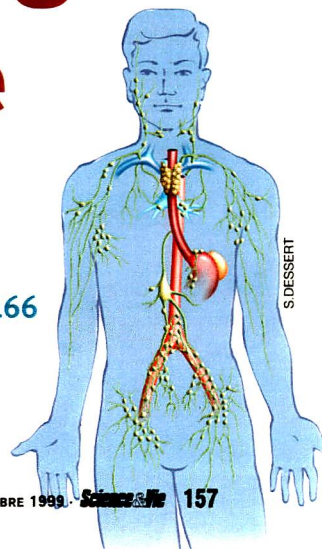
ENTRETIEN



S. CHIVET

Philippe Kourilsky p. 166

« Dresser contre les tumeurs
des cellules immunitaires
“tueuses” »



S. DESSERT

La révolution médicale

L'essor de l'im

« **C**'est dans un local "squatté" en face du Centre régional de transfusion sanguine, à Paris, que je fis l'observation qui allait décider de toute ma vie scientifique », se souvient Jean Dausset, prix Nobel de médecine 1980. Il était alors médecin transfuseur préoccupé par le déficit en globules blancs de ses malades polytransfusés. Il décide un jour de mélanger les globules blancs d'un individu sain avec le sérum d'une malade polytransfusée, victime d'une grande pénurie de cellules immunitaires. « Dans la seconde qui suit, j'eus la joie de voir se former sous le microscope d'énormes agglutinats. » Le sérum de la patiente contenait donc des anticorps dirigés contre ces globules

Prenant racine dans le XIX^e siècle, l'immunologie devient une discipline à part entière dans les années 50. Ses découvertes bouleversent le monde de la biologie et offrent à la médecine de formidables espoirs.

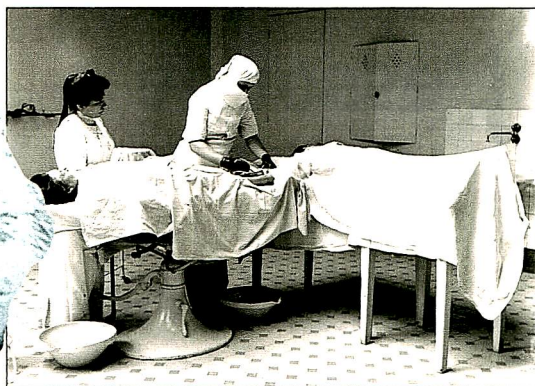
blancs étrangers. D'où proviennent-ils ?

Jean Dausset et sa petite équipe, aidés dans leurs travaux par des centaines de volontaires, mettront plusieurs années pour établir que le receveur d'une transfusion s'immunise contre les globules blancs de certains donneurs, mais de cer-

tains seulement. Le médecin-chercheur montrait ainsi, en 1958, l'existence du premier "groupe leucocytaire", le groupe MAC (initiales des trois premiers bénévoles dont les globules blancs ne se laissaient pas agglutiner par le sérum du malade).

L'étude des groupes leucocytaires donne

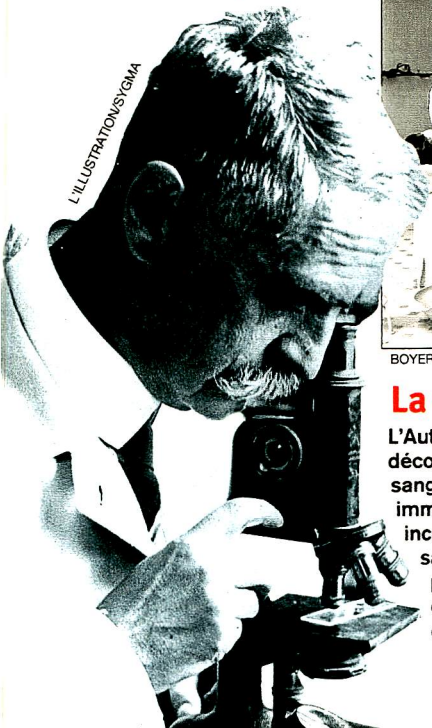
lieu à l'organisation d'ateliers de recherche qui se tiennent tous les deux ou trois ans dans diverses villes du monde où les spécialistes se retrouvent et confrontent les résultats qu'ils obtiennent sur place. Ces travaux débouchent sur la découverte du système HLA (*Histocompatibility Leucocyte Antigen*), moyen par lequel chaque cellule de l'organisme arbore à sa surface les



BOYER-VIOLETT

La voie du sang

L'Autrichien Karl Landsteiner découvre, en 1901, les groupes sanguins en observant la réaction immunitaire entre des sangs incompatibles. La transfusion sanguine (ci-dessus, pratiquée directement du donneur au receveur) devient alors plus fiable.



L'ILLUSTRATION/GMA

munologie

Le chemin des greffes

En 1952, Jean Dausset assiste à la formation d'agglutinats quand il place dans le sérum d'une patiente des globules blancs étrangers (ci-contre). Cette observation conduira à la découverte du système HLA, qui démontre la diversité biologique des hommes et régit la compatibilité des greffes.

FONDATION
J. DAUSSET/CEPH

La révolution médicale

COLUMBIA UNIVERSITY ARCHIVES



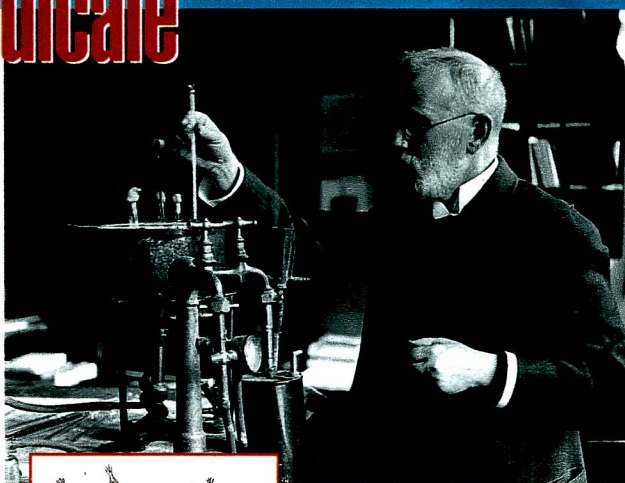
Inventions capitales

Grâce à deux inventions, l'ultracentrifugeuse de Theodore Svedberg (ci-dessous) et l'électrophorèse (mesure du poids des molécules), l'étude des anticorps devient possible. C'est Elvin Kabat (ci-dessus) qui, le premier, en fera la description, en 1937.

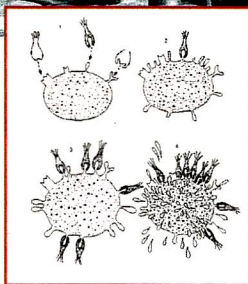
molécules caractéristiques de l'individu auquel elles appartiennent. Si on introduit dans l'organisme des cellules porteuses de molécules HLA différentes des siennes, le système immunitaire s'efforce de les éliminer. C'est le phénomène du rejet. Cette découverte permet de déterminer les critères de compatibilité pour les dons d'organes.

Cependant, l'étude des gènes responsables de la diversité des molécules HLA entreprise dans les années 70 par Baruk Benacerraf, chercheur américain d'origine vénézuélienne, montre qu'elles peuvent prendre tant de formes diverses qu'on estime à une chance sur 800 000 milliards que deux Européens aient des molécules HLA identiques (exception faite des vrais jumeaux). Ce qui oblige généralement à combattre le rejet à l'aide de substances immunosuppressives telles que la cyclosporine.

Le système HLA soulève une question inattendue : pour-quoi la nature aurait-elle mis au point un dispositif aussi complexe uniquement pour se prémunir contre les greffes, opération parfaitement artificielle ? Il s'avère que les molécules HLA permettent à l'organisme de faire la différence entre ce qui lui est propre – le "soi" – et ce qui est étranger – le "non-soi". Chaque individu est donc unique. L'immunologiste



CORBIS-BETTMANN



ACADEMIC PRESS INC

Penseur des anticorps

Au début du siècle, le Viennois Paul Ehrlich pense que l'immunité est uniquement le fait de substances, plus tard baptisées anticorps.

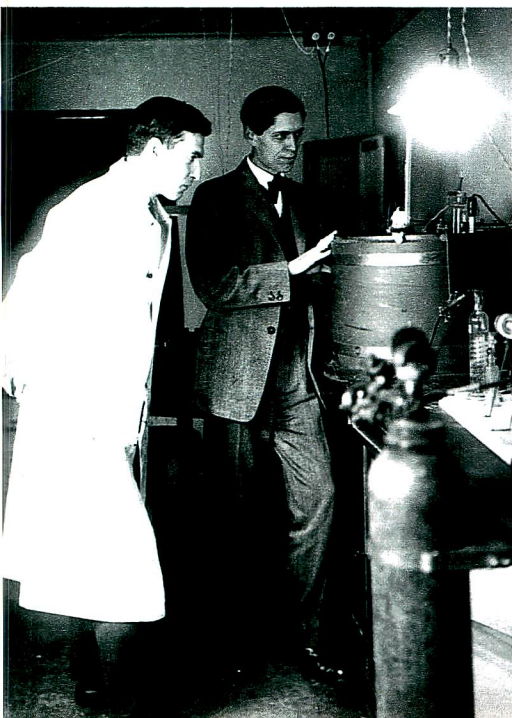
Bien avant qu'on puisse les observer, il en trace une représentation imaginaire qui apparaît encore dans les ouvrages d'immunologie d'aujourd'hui.

australien Frank Macfarlane Burnet avait eu cette idée dès 1949 : la démonstration aura pris une vingtaine d'années.

ÉCOLE FRANÇAISE CONTRE ÉCOLE PRUSSIENNE

Lorsque Jean Dausset réalise l'observation *princeps* du système HLA, l'immunologie, à peine vieille de quarante ans, est en perte de vitesse. On pense que les antibiotiques et les vaccins résoudront tous les problèmes d'infection ; la transfusion sanguine a fait d'énormes progrès grâce à la découverte des premiers groupes sanguins et du facteur rhésus par le Viennois Karl Landsteiner, en 1901 et en 1927. Le système HLA relance l'intérêt pour la discipline qui ne parviendra à élaborer la notion de système immunitaire qu'au début des années 70. Il apparaît aujourd'hui comme le dernier-né des systèmes physiologiques conçus par la biologie, aboutissement d'une aventure scientifique qui commence à la fin du XIX^e siècle.

Un jour de 1882, dans une petite maison



UPI/CORBIS-BETTMANN/
SIPA PRESS

de Messine (Italie), le zoologiste russe Elie Metchnikoff, prix Nobel 1908, a l'idée de planter des épines de rosier dans des larves transparentes d'étoiles de mer. Il constate un afflux de cellules mobiles vers la lésion, comme cela s'observe chez l'homme lorsqu'une écharde transperce la peau. Il en conclut, deux ans plus tard, que « dans l'étendue du règne animal, les activités digestives des cellules mobiles [...] servent à protéger l'organisme contre les bactéries. » Elie Metchnikoff vient de découvrir la "phagocytose", capacité qu'ont certains globules blancs – les phagocytes – d'ingérer les germes infectieux pour les détruire. Il est à l'origine de la conception cellulaire de l'immunité. Découverte fondamentale dont les pathologistes de l'époque négligent l'importance médicale, d'autant que Metchnikoff n'est pas médecin.

Le début du siècle se passionne pour un autre aspect de l'immunité, l'immunité humorale, c'est-à-dire la capacité qu'a le sang dépourvu de globules blancs de détruire spontanément les microbes. Phénomène qui explique l'efficacité des sérums antibactériens comme le sérum antidiphtérique mis au point à l'époque. Les immunologistes voient donc les anticorps, protéines du sang encore mal connues, comme la clef de voûte de l'immunité.

Deux écoles s'affrontent désormais : l'école française, émanation de l'Institut Pasteur où officie Metchnikoff, soutient l'hypothèse cellulaire, tandis que l'école prussienne, incarnée par les élèves de Robert Koch, découvreur du bacille de la tuberculose, défend l'hypothèse humorale.

Parmi les disciples de Koch, Paul

Théoricien de l'immunité cellulaire

Le Russe Elie Metchnikoff (à g.) découvre que certains globules blancs sont capables d'ingérer les microbes et de les détruire (ci-dessous, à gauche). Il s'oppose alors à Ehrlich, partisan des anticorps. Tous deux partageront le prix Nobel en 1908.

Ehrlich fonde la théorie humorale sur l'affinité chimique des anticorps pour les antigènes, molécules caractéristiques des microbes (1). Désormais, la pathologie passe au second plan, l'immunologie est dominée par l'immunochimie. On étudie les réactions provoquées par des antigènes artificiels et on tente de révéler la nature chimique des anticorps, sous l'impulsion de Michaël Heidelberger, le premier à proposer un programme de recherches rigoureux sur ces curieuses substances.

EN PÈLERINAGE À UPPSALA

Bientôt, ses émules prennent l'habitude de se rendre en pèlerinage en Suède, à Uppsala. Theodor Svedberg vient d'y mettre au point une ultracentrifugeuse, machine encore rudimentaire mais avec laquelle on peut extraire les anticorps du sérum. Ils acquièrent ainsi

.....
(1) On appelle antigène toute substance susceptible d'être reconnue par le système immunitaire. Ainsi, les molécules caractéristiques des cellules de l'organisme sont aussi des antigènes.

ROGER-VIOLETT



INSTITUT PASTEUR



La révolution médicale

une réalité tangible. C'est à ce moment qu'apparaît une nouvelle méthode de mesure – l'électrophorèse – qui détermine le poids moléculaire d'une substance en fonction de la distance qu'elle parcourt dans un gel traversé par un courant électrique. En 1937, bénéficiant de ces deux inventions capitales, un autre Américain, Elvin Kabat, décrit enfin les anticorps avec précision.

Avant même de connaître la nature exacte des anticorps, une question préoccupe les théoriciens de l'immunologie : comment se forment ces molécules défensives ? Sont-elles induites par les antigènes comme le veut la théorie dite "instructive" ? Ou bien sont-elles préformées selon la théorie "sélective" avancée par Paul Ehrlich dès le début du siècle, alors que les anticorps ne sont encore qu'une idée confuse. Une nouvelle bataille s'annonce entre les tenants de ces deux hypothèses.

MANQUE DE PREUVES

Au départ, la théorie instructive l'emporte. C'est une affaire de bon sens – en apparence : si les anticorps sont préformés, comment imaginer que l'organisme peut en produire autant qu'il existe d'antigènes, sachant que toute protéine, même artificielle, peut être antigénique ? Ce devrait donc être l'antigène qui modèle les anticorps, affirme un personnage exubérant, spécialiste des liaisons physicochimiques entre antigènes et anticorps, l'Américain Linus Pauling, futur prix Nobel de chimie (1954).

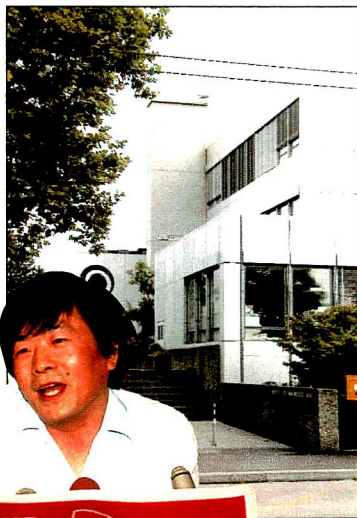
En 1941, Macfarlane Burnet doute que les anticorps soient modelés par les antigènes. Il est intrigué par la grande production d'anticorps qui succède à la prolifération des cellules immunitaires entrant en contact avec un antigène qu'elles ont déjà rencontré. Mais il manque de preuves. La théorie instructive tient toujours le haut du pavé. Jusqu'à ce que, en 1955, le Danois Niels Jerne (prix Nobel 1984), du Danish State Serum Institute de Copenhague, élabore une théorie sélective de la formation des anticorps qui finira par s'imposer : l'organisme renferme un très petit nombre d'un énorme



KEYSTONE

Ils expliquent la diversité

A l'Institut d'immunologie de Bâle (Suisse), Niels Jerne (ci-dessus) comprend comment l'organisme peut être doté d'une énorme diversité d'anticorps qui préexistent aux antigènes qu'ils pourront rencontrer. A son côté, Susumu Tonegawa (ci-dessous) parvient à expliquer comment un nombre restreint de gènes peut donner une grande diversité d'anticorps.



DR

éventail d'anticorps différents. Lorsque survient un antigène, l'anticorps dont la configuration lui est complémentaire y adhère. C'est donc l'antigène qui sélectionne les anticorps qui ont le plus d'affinité avec lui.

Éclipsées de la scène scientifique par les anticorps, les cellules immunitaires retrouvent un regain d'intérêt, mais ce n'est pas avant la fin des années 60 qu'on apprend que l'une d'entre elles, le lymphocyte, est chargée de la production des anticorps. La raison de cette conclusion tardive ? Les immunologistes ont étudié des cellules qu'ils croyaient différentes alors qu'elles sont identiques au départ mais sont observées à divers stades de leur maturation.

LES CELLULES GARDENT LA MÉMOIRE DE LEUR PREMIÈRE RENCONTRE

Entre temps, Burnet avance l'idée que l'antigène ne sélectionne pas l'anticorps en circulation dans l'organisme mais sélectionne la cellule qui porte l'anticorps à sa surface qui, dès lors, se multiplie et secrète des anticorps. La survenue d'un antigène rencontré auparavant déclenche une réaction plus forte parce que ces cellules gardent la mémoire de leur première rencontre.

La vision moderne du système immunitaire qui réconcilie immunité cellulaire et

humorale commence à prendre forme : on sait aujourd'hui que certaines cellules captent l'antigène et l'utilisent pour activer les cellules productrices de l'anticorps adapté ou pour mobiliser les cellules chargées de détruire les intrus ou les cellules infectées par les virus.

Il reste cependant un problème crucial : si les anticorps préexistent aux antigènes, il faut que chaque anticorps soit synthétisé à partir d'un

gène. Or, le génome humain est trop petit pour contenir autant de gènes qu'il existe d'anticorps. Cette épineuse question sera élucidée par Susumu Tonegawa, en 1976, à l'Institut d'immunologie de Bâle (Suisse). Ce qui lui vaudra le prix Nobel, en 1987. Le chercheur japonais explique la diversité des réponses immunitaires par la combinaison de multiples fragments d'un nombre restreint de gènes, fragments à partir desquels les cellules immunitaires peuvent synthétiser quelque 10^{20} molécules d'anticorps différentes.

Le travail de Tonegawa vient compléter les bases génétiques de l'immunité déjà décrites par Baruk Benacerraf pour le système HLA. C'est aussi à cette époque que l'on comprend que la réponse immunitaire est à la fois activation de certaines catégories de cellules et inhibition d'autres, et que, même en l'absence d'antigène extérieur, le système possède un comportement propre qui le maintient dans un état d'équilibre dynamique, que décrit Niels Jerne. On découvre aussi que les cellules immunitaires sécrètent des substances chimiques grâce auxquelles elles modifient à distance le comportement de leurs consœurs. L'inventaire de ces "cytokines" – interleukines, interféron... – n'est d'ailleurs pas encore terminé aujourd'hui.

EN COMPÉTITION AVEC LA VIROLOGIE

L'immunité cellulaire confirme son retour sur le devant de la scène en 1976, quand l'Australien Peter Doherty et le Suisse Rolf Zinkernagel, prix Nobel 1996, révèlent que, pour détruire une cellule infectée par un virus, les lymphocytes T doivent reconnaître à la fois les molécules du soi (HLA) et l'antigène viral présent à la surface de cette cellule.

Cette vague de découvertes des années 70 marque la montée en puissance de l'immunologie dont on espère désormais qu'elle fournira à la médecine des solutions à tous ses problèmes, de la transplantation au cancer, en passant par les maladies auto-immunes. L'immunologie commence à attirer d'autres disciplines : on recherche des



Ils réhabilitent les cellules

En décrivant la façon dont agissent les globules blancs, Peter Doherty et Rolf Zinkernagel rendent un rôle primordial à l'immunité cellulaire, et ouvrent une voie nouvelle à l'immunothérapie.

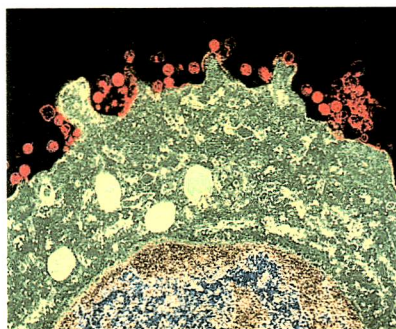
AFP

modèles mathématiques, on interprète le système immunitaire selon la théorie de l'information; la cybernétique s'en mêle. L'extraordinaire complexité du système immunitaire fascine.

C'est alors que survient le sida, première maladie infectieuse dont le nom (syndrome immuno-déficitaire acquis) est donné par l'immunologie. La jeune discipline se trouve soudain face à un défi considérable : elle se doit de trouver la parade à "son" virus, microbe diabolique qui n'épargne aucune composante du système immunitaire. L'immunologie est désormais engagée dans une compétition farouche avec la virologie qui, pour l'instant, arrive en tête avec le succès encore relatif des trithérapies.

.....

POUR EN SAVOIR PLUS : *Le Dernier Langage de la médecine. Histoire de l'immunologie de Pasteur au sida*, Anne-Marie Moulin, PUF.



SCIENCE PHOTO LIBRARY

Le défi du sida

Le virus du sida (en rouge) sabote les défenses de l'organisme. Face au VIH, l'immunologie doit relever son deuxième défi thérapeutique après celui du cancer.

La révolution médicale

La réponse immunitaire

Immunité naturelle...

Quand des microbes pénètrent dans l'organisme, diverses cellules immunitaires se précipitent pour les détruire. Elles sont aidées par le complément, un système d'enzymes du sérum. Cette première ligne de défense n'est pas spécifique de l'agresseur...

Polynucléaires

Macrophages

Complément

Cellules tueuses

Bactérie

... ou adaptative

Tandis que l'immunité naturelle défend l'organisme sans grand discernement, l'immunité adaptative, plus complexe, élabore une réponse spécifique. Il existe de multiples interactions entre ces modes de défense. L'immunité adaptative conserve la mémoire des agressions infectieuses.

Lymphocyte Th1

La défense se mobilise

Lorsque les lymphocytes T4 évoluent en lymphocytes Th1, ils activent les macrophages.

L'antigène, un microbe "digéré"

Les cellules dendritiques ingèrent les microbes, découpent leurs protéines et exhibent les morceaux - les antigènes - à leur surface dans un présentoir moléculaire appelé CMH II.

Montée en puissance

Lorsque les lymphocytes T4 évoluent en lymphocytes Th2, ils favorisent la prolifération des lymphocytes B porteurs des anticorps adaptés à l'antigène.

Anticorps

Antigène bactérien

Lymphocytes B

Cellule dendritique

Bactérie

Virus ou bactérie intracellulaire

Le germe rencontre les anticorps

Ce sont les antigènes du germe qui sélectionnent les lymphocytes B porteurs des anticorps correspondants.

Mort d'une cellule

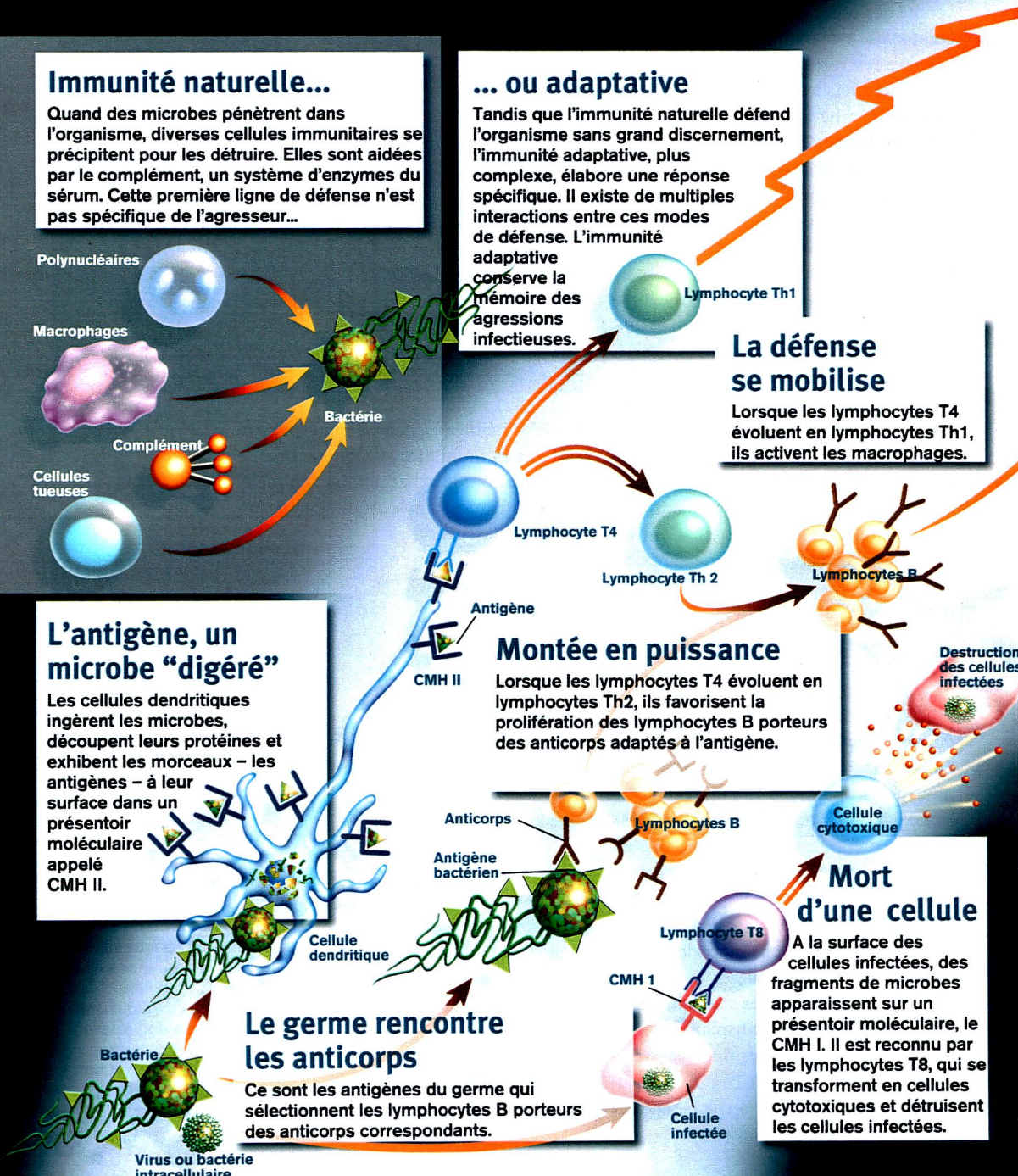
A la surface des cellules infectées, des fragments de microbes apparaissent sur un présentoir moléculaire, le CMH I. Il est reconnu par les lymphocytes T8, qui se transforment en cellules cytotoxiques et détruisent les cellules infectées.

Lymphocyte T8

CMH I

Cellule infectée

Destruction des cellules infectées

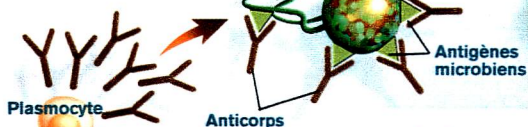
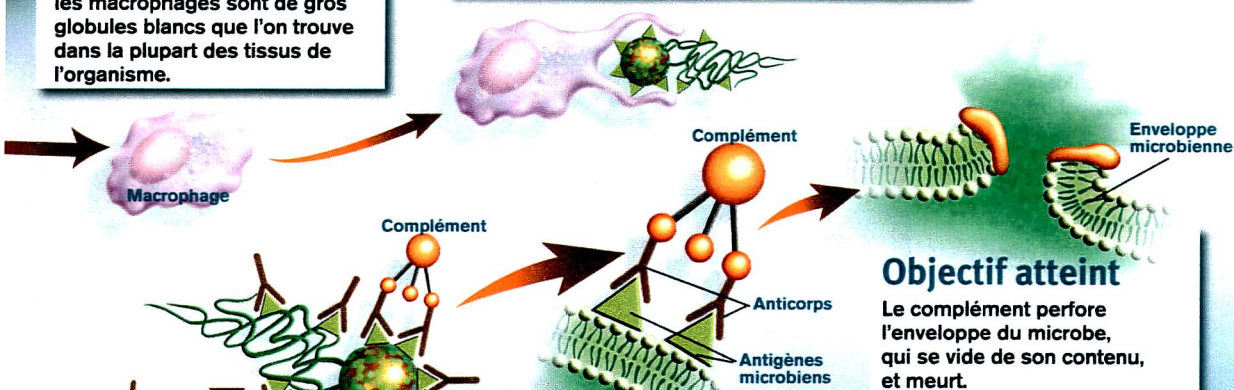


Les gros bras de l'immunité

Stimulés par les cytokines émises par les lymphocytes Th, les macrophages sont de gros globules blancs que l'on trouve dans la plupart des tissus de l'organisme.

L'attaque des macrophages

Les macrophages migrent vers le site de l'infection. Ils "phagocytent" et détruisent ainsi les microbes, qu'ils soient libres ou déjà captés par des anticorps.

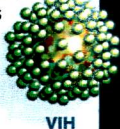


Les anticorps se multiplient

Les lymphocytes B se transforment en plasmocytes, qui sécrètent dans la circulation sanguine une grande quantité d'anticorps.

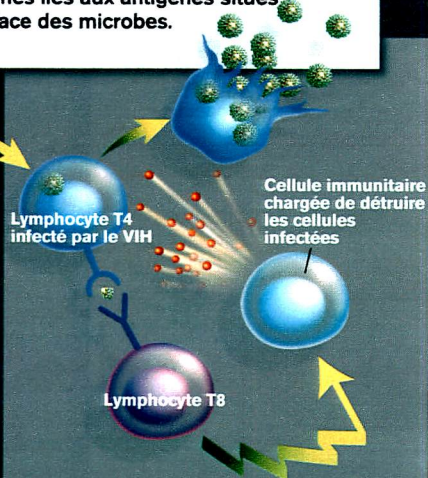
Antigènes pris au piège

Les anticorps se fixent sur les antigènes des microbes, ce qui empêche ceux-ci d'adhérer aux cellules de l'hôte, ou les transforment en cibles pour les phagocytes et pour le complément.



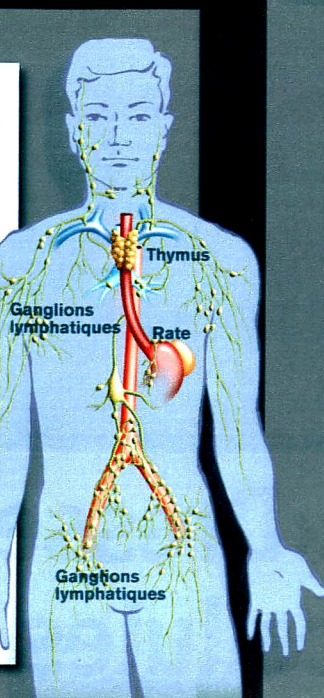
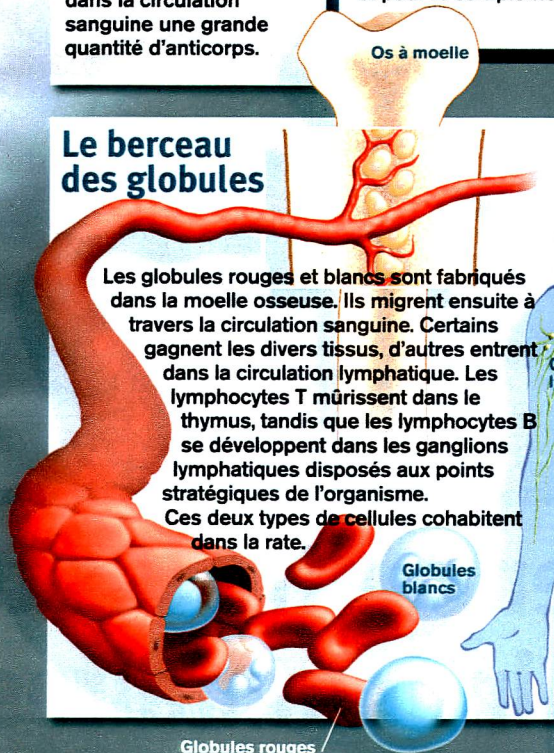
L'étau du complément

Le complément se lie aux anticorps, eux-mêmes liés aux antigènes situés à la surface des microbes.



Le berceau des globules

Les globules rouges et blancs sont fabriqués dans la moelle osseuse. Ils migrent ensuite à travers la circulation sanguine. Certains gagnent les divers tissus, d'autres entrent dans la circulation lymphatique. Les lymphocytes T mûrissent dans le thymus, tandis que les lymphocytes B se développent dans les ganglions lymphatiques disposés aux points stratégiques de l'organisme. Ces deux types de cellules cohabitent dans la rate.



Effet pervers

Le virus du sida (VIH) infecte, notamment, les lymphocytes. Ceux-ci sont détruits par la prolifération du virus, mais aussi par les cellules immunitaires chargées d'éliminer les cellules infectées. Les défenses s'effondrent et laissent le champ libre à de nombreux agents pathogènes qui auraient été facilement éliminés dans des conditions normales.

La révolution médicale

PARCOURS

1942 : naît le 22 juillet à Boulogne-Billancourt.

1964 : diplômé de l'Ecole polytechnique de Paris.

1966 : entre au CNRS comme stagiaire de recherche.

1970 : docteur ès sciences.

1972 : entre à l'Institut Pasteur.

1980 : directeur d'unité de recherche Pasteur-INSERM (Immunologie fondamentale et appliquée).

1998 : membre de l'Académie des sciences.



PROPOS
RECUEILLIS
PAR PHILIPPE
CHAMBON,
PHOTOS
SOPHIE CHIVET

« Dresser contre les tu cellules immunitaires



**Philippe
Kourilsky**

Pour Philippe Kourilsky, directeur de l'unité "Immunologie fondamentale et appliquée" à l'Institut Pasteur, les orientations de la recherche sur le système immunitaire ouvrent la voie à de nouvelles stratégies thérapeutiques. Le cancer et les maladies dues à des virus – telles que le sida –, à des bactéries ou à des parasites seront leur champ d'application...

Science & Vie : Un nouveau regard sur le système immunitaire apporte de grands espoirs dans la lutte contre les infections, contre les maladies auto-immunes, et même contre les cancers...

Philippe Kourilsky : L'immunologie s'intéresse aux défenses de l'organisme contre les microbes et cherche à comprendre comment les vaccins favorisent cette réaction. Elle a montré que l'organisme dispose d'un système immunitaire qui réagit aux infections selon deux modes : d'une part, il fabrique des molécules – les anticorps – capables de piéger les microbes qui pénètrent dans l'organisme ; d'autre part, il dispose de divers types de cellules – les globules blancs – qui détruisent les cellules infectées ou les microbes eux-mêmes.

Au départ, on s'est surtout intéressé aux anticorps parce qu'ils sont plus faciles à dé-

Sida : les vaccins prometteurs stimulent la réponse cellulaire

celer et à caractériser. C'est le moyen de défense que stimulent la plupart des vaccins. Mais l'échec des tentatives d'immunisation contre le virus du sida a poussé les immunologistes à s'intéresser de plus près à l'aspect cellulaire de l'immunité, car il permet d'éliminer les microbes même lorsqu'ils se cachent au cœur des cellules. C'est pourquoi, désormais, les vaccins les plus prometteurs contre ce virus sont ceux qui stimulent la réponse cellulaire.

Cette nouvelle orientation de l'immunologie a ouvert un immense champ de recherches sur la façon dont les milliards de cellules immunitaires d'un organisme communiquent entre elles, échangent des signaux et se reconnaissent lorsqu'elles entrent en contact.

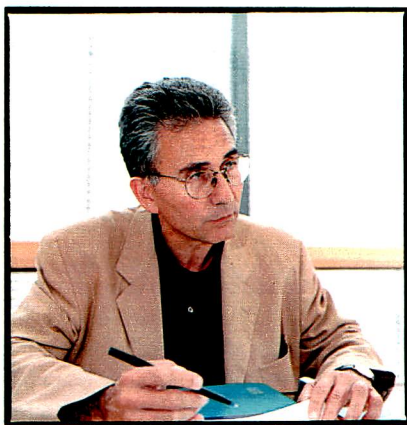
S & V : L'un des enjeux de l'immunologie est donc de comprendre comment

**meurs des
"tueuses"»**

La révolution médicale

La fièvre des découvertes

Les découvertes en immunologie sont si nombreuses que leurs applications thérapeutiques se heurtent, en pratique, à la difficulté de mettre en place un nombre d'essais cliniques suffisant.



ces cellules entrent en action...

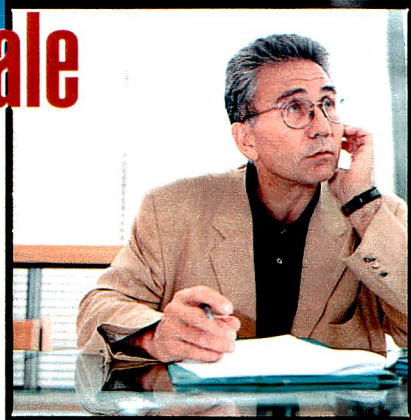
Ph. K. : Actuellement, les feux de la science sont braqués sur une catégorie de cellules très particulières – les cellules dendritiques –, qui ont pour mission d'informer le système immunitaire sur les caractéristiques des microbes présents dans l'organisme. Certaines sont particulièrement douées pour mobiliser les ressources du système immunitaire contre les virus, les bactéries et les parasites. On espère donc trouver les moyens de les stimuler pour mettre au point des vaccins plus efficaces ou pour en concevoir de nouveaux qui nous protégeront contre des germes face auxquels nous sommes encore démunis.

Un effort de recherche considérable porte aussi sur ce qui se passe à l'intérieur des cellules immunitaires quand elles captent les molécules qu'elles rencontrent dans leur environnement. Lorsqu'on aura compris comment cela fonctionne, on pourra songer à découpler, à orienter ou à supprimer telle ou telle réaction.

S & V : On parle beaucoup des essais d'immunothérapie du cancer. Est-ce une voie d'avenir de la cancérologie?

Ph. K. : Après dix ou quinze ans d'es-

sais peu fructueux, on parvient aujourd'hui à traiter, au stade expérimental, certains cancers du côlon à l'aide d'anticorps dirigés contre les cellules tumorales. Une autre approche consiste à dresser contre les tumeurs des cellules immunitaires dites "tueuses". Toute la difficulté consiste à identifier la cible, autrement dit, à découvrir les molécules – les antigènes – qui caractérisent les cellules cancéreuses. Cette tâche progresse rapidement grâce à l'analyse exhaustive du génome humain, et notamment des gènes qui s'expriment dans les cellules cancéreuses.



S & V : Les "cellules tueuses" seront-elles plus efficaces que les anticorps?

Ph. K. : Il est trop tôt pour le dire. La plupart des essais cliniques doivent être initialement menés sur des patients incurables, dont le système immunitaire est souvent en très mauvais état. C'est seulement ensuite que ces essais peuvent se poursuivre sur des patients moins gravement atteints. Mais, déjà, quelques résultats sont intéressants.

S & V : Dans quelles situations interviendra l'immunothérapie?

Ph. K. : Elle pourra intervenir lorsque la tumeur a produit des métastases, car l'immunothérapie inonde tout l'organisme, comme le fait la chimiothérapie, mais on peut espérer qu'elle s'appliquera aux cellules cancéreuses plus spécifiquement que les traitements classiques, donc qu'elle sera moins toxique. Cependant, je pense que la voie d'avenir est la mise en œuvre de l'immunothérapie avant que les cellules cancéreuses s'échappent de la tumeur ou avant qu'elles aient eu le temps de susciter des métastases. Dans ce cas, on envisage de commencer par extraire la tumeur par chirurgie, puis de vacciner contre les métastases.

S & V : Comment concevoir un tel vaccin?

Ph. K. : C'est toujours la question de l'identification des cibles. Il existe une très grande variété d'antigènes associés aux cellules cancéreuses, mais ils sont malheureusement peu spécifiques et peu nombreux. Il est très encourageant qu'une équipe belge dirigée par Thierry Boon ait découvert des antigènes communs à divers types de tumeurs. Cela laisse entrevoir des vaccins thérapeutiques qui auraient un spectre d'action assez large.

S & V : Quels sont les tendances de la recherche sur les maladies auto-immunes ?

Ph. K. : Actuellement, on découvre – ou on soupçonne – des composantes infectieuses inattendues dans de nombreuses maladies. Par exemple, la bactérie *Helicobacter pylori* est impliquée dans 90% des ulcères de l'estomac; un rétrovirus serait en cause dans la sclérose en plaque; un agent infectieux inconnu jouerait son rôle dans le diabète; un virus de type herpès serait impliqué dans l'arthrite rhumatoïde... Ce ne sont pas toujours des certitudes, mais les indices convergent. Ces agents infectieux provoqueraient une inflammation – réaction immunitaire normale – qui évoluerait de façon excessive vers la destruction des tissus.

S & V : Cela laisse-t-il entrevoir de nouvelles stratégies thérapeutiques ?

Ph. K. : Agir contre les maladies auto-immunes paraît très compliqué dès lors qu'elles sont une manifestation du manque de tolérance de l'organisme à l'égard de ses propres composants. L'une des grandes questions qui animent notre discipline est de comprendre pourquoi notre organisme contient tant d'anticorps dirigés contre lui-même, qui sont pourtant inoffensifs, sauf dans certaines maladies auto-immunes. Mais, si la maladie résulte d'une suractivation des défenses en présence d'un agent étranger, on peut tenter de freiner cette activité délétère. L'es-

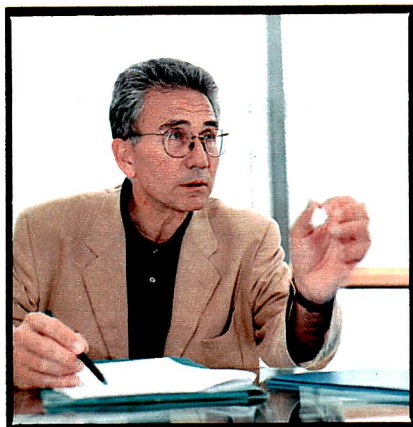


On envisage d'extraire les tumeurs, puis de vacciner contre les métastases

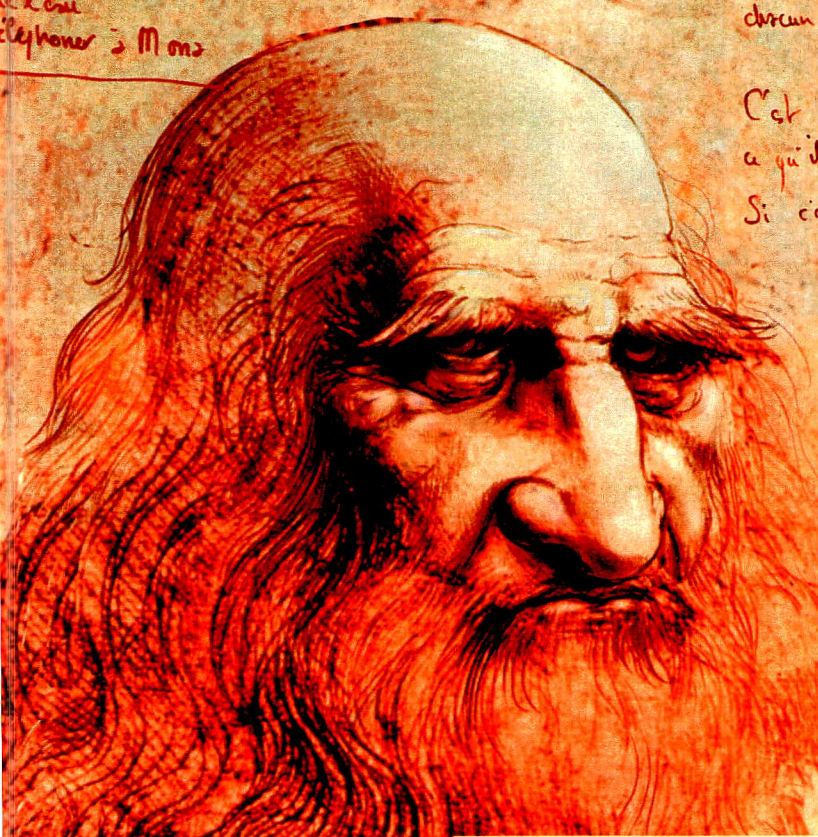
poir viendra peut-être du côté de l'allergologie, qui cherche à inhiber la réaction spécifique aux allergènes. L'inhibition de l'immunité peut aussi éviter la suractivation immunitaire mortelle qui risque de survenir lors d'une septicémie.

S & V : L'immunologie ferait-elle exception à la règle selon laquelle la médecine découvre d'abord le traitement et comprend éventuellement après coup comment ça marche ?

Ph. K. : Comme d'autres domaines de la biologie, l'immunologie est entrée dans une phase où les découvertes sont si nombreuses que nous pouvons concevoir de manière plus rationnelle une foule de nouvelles stratégies thérapeutiques. Cette richesse est telle qu'elle se heurte au nombre restreint d'essais cliniques qu'on peut conduire simultanément, parce qu'ils coûtent chers et que le nombre de patients disponibles n'est pas infini. ■



Pour découvrir tout ce que Léonard n'a pas découvert... abonnez-vous à SCIENCE & VIE.



226
francs
seulement

SCIENCE & VIE, le plaisir de savoir.

Bulletin d'abonnement à SCIENCE & VIE

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

Oui

Je m'abonne à SCIENCE & VIE pour 1 an soit 12 mensuels.

● Je règle la somme de **226 francs*** seulement.

Nom

Prénom

Adresse

Code postal

Ville

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 adresser un signal indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

Je choisis de régler par :

☐ chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE
☐ carte bancaire

N°

expire à fin mois année

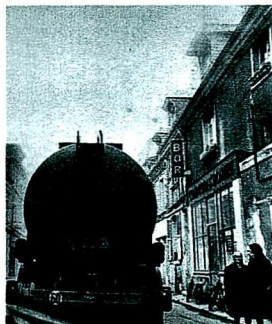
Date et signature obligatoires

* Au lieu de 276 francs prix normal de vente des magazines chez votre marchand de journaux.
OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 1999 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE METROPOLITAINE.
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 17 17. Vous pouvez également vous abonner sur internet : www.abomag.com, sur minitel en tapant 3615 ABON (1,23 F/min) et vous recevrez en cadeau avec votre abonnement à 11 N°+ 4 HS le numéro 1 de Science & Vie

RC PARIS B 572 134 773

SV 985

Il y a 25 ans



Sécurité nucléaire mal assurée

Si le transport de liquides inflammables est signalé à l'attention du public, celui des matériaux radioactifs ne fait l'objet d'aucune mention. Ce n'est pas le seul problème soulevé par le nucléaire, en France : en effet, EDF vient de commander à Westinghouse (Etats-Unis) des centrales à eau légère qui présenteraient des défaillances sur le plan de la sécurité.



OCTOBRE 1974

Entre ce "Mirage" F-1 (français) et le "Cobra" (américain), le cœur de l'OTAN balance. Certains pays membres veulent remplacer leurs vieux avions F-104, ce qui représente un marché de plus de 18 milliards de francs. La France et les Etats-Unis sont en concurrence...

TOUS DROITS RÉSERVÉS



Embryons congelés

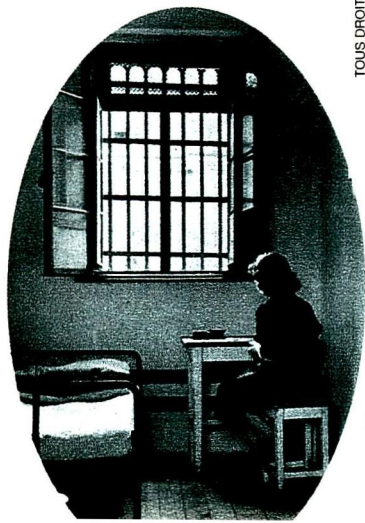
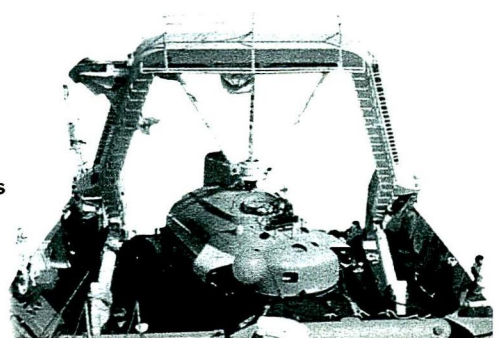
La souris blanche n'est pas la vraie mère des cinq souriceaux noirs. On a laissé les embryons se diviser jusqu'à huit cellules au sein de leur mère génétique. Puis ils ont été retirés et congelés à - 196 °C pendant deux cent douze jours avant d'être réimplantés dans l'utérus de la mère porteuse.

A la découverte du Rift

Le *Cyana*, sous-marin français de l'opération Famous (French-American Mid-Ocean Survey) explore le Rift, à 600 kilomètres au sud-ouest des Açores. Son bras télémanipulateur permet de remonter jusqu'à 50 kg d'échantillons de roches dont l'étude permettra peut-être de confirmer l'hypothèse de la dérive des continents.

L'organisme en prison

La femme en détention, privée des stimulations de la vie quotidienne, peut voir ses règles disparaître. Ce phénomène n'a rien d'exceptionnel : selon les physiologistes, toute incarcération agresse le système nerveux, déclenche des troubles endocriniens et modifie l'activité des glandes surrénales de façon indélébile.



Le ciel du mois

PAR YVES DELAYE



Andromède à l'œil nu

DR

La grande galaxie d'Andromède : c'est ce mois-ci qu'on peut l'observer dans les meilleures conditions.

Octobre est la période de l'année où il est possible d'observer dans les meilleures conditions l'un des joyaux célestes : la grande galaxie d'Andromède.

Si, par un ciel bien sombre, loin de toute lumière parasite, la galaxie d'Andromède est visible à l'œil nu, ce n'est pourtant qu'au début du XVII^e siècle qu'elle apparaît dans les annales d'observations.

A partir de là, tous les astronomes l'étu-

dieront mais, pour la plupart, ils ne feront guère d'hypothèses quant à sa nature. Jusqu'au début du XX^e siècle, il y aura deux écoles. Pour les uns, andromède fait partie de notre Galaxie et, pour les autres, c'est un objet extérieur, appelé alors "nébuleuse spirale".

En 1917, aux Etats-Unis, on termine la construction du télescope de 254 centimètres de diamètre de l'observatoire du mont Wilson. A cette époque, c'est le plus grand du monde. Un jeune

ASTRES ET LUNE EN OCTOBRE

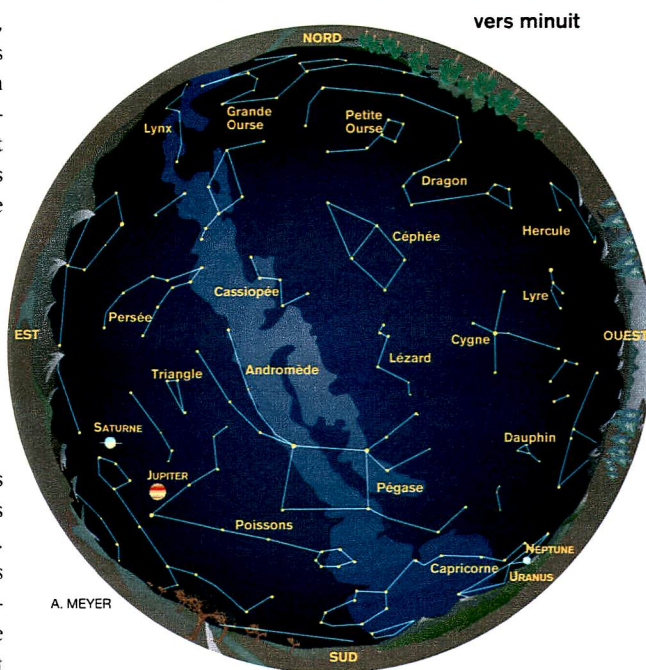
astronome de 28 ans, Edwin Hubble, utilise cet instrument pour scruter les galaxies. En 1923, il parvient enfin au résultat tant attendu. Les photographies, dont la technique a largement progressé entre temps, montrent sans équivoque que la galaxie d'Andromède n'est pas un nuage de gaz mais qu'elle est constituée d'étoiles. C'est à cette date que les "nébuleuses spirales" deviennent des galaxies à part entière !

DES GALAXIES SATELLITES, CHACUNE COMPOSÉE DE 1 MILLION D'ÉTOILES

La galaxie d'Andromède (qu'on appelle aussi M 31) a quatre petites galaxies satellites, dont deux sont visibles avec des instruments de moyenne puissance. Beaucoup plus petites, avec des diamètres de 2 500 à 5 500 années-lumière, elles rassemblent chacune environ 1 million d'étoiles. Elles tournent autour de M 31, tandis que celle-ci tourne sur elle-même en 90 millions d'années au centre et 200 millions d'années sur les bords.

Le repérage de la galaxie d'Andromède est facile. Le "chemin" classique pour la localiser consiste à partir du grand carré de Pégase. Le coin supérieur droit de ce carré est constitué par l'étoile Alpha d'Andromède (la constellation). A l'est d'Alpha, voici Delta, puis Beta à peu près dans le même prolongement. De Beta, en montant vers le nord, se trouvent alors successivement deux étoiles, Mu et Nu. M 31 se situe juste à côté de Nu. Ce mois-ci, en milieu de nuit, M 31 est presque au zénith.

Les jumelles sont l'instrument idéal pour observer cette galaxie. En effet, son diamètre apparent étant d'environ 3 degrés, seules les jumelles ont un champ de vision suffisant pour permettre de voir la galaxie en entier. Le télescope ou la lunette, en raison de leur champ restreint, ne montreront, même à faible grossissement, qu'une partie de la galaxie. Le spectacle reste toutefois fabuleux. Il est alors possible de noter les contours du noyau de la galaxie et l'esquisse de ses bras spiraux. ■



LES PLANÈTES

Mercury

Bien que basse sur l'horizon ouest, elle est repérable dans le ciel du soir au cours des trois premières semaines.

Vénus

Elle est visible le matin à l'est, toujours resplendissante.

Mars

toujours présente en soirée plus de trois heures après le coucher du Soleil.

A rechercher au sud-ouest, en dessous d'Ophiucus.

Jupiter

C'est le 23 que la planète géante est en opposition, période idéale pour l'observer. Elle est visible toute la nuit.

Saturne

De mieux en mieux observable, elle suit Jupiter, à l'horizon est.

LES GRANDS RENDEZ-VOUS

Du 5 au 8

la Lune flirte avec Vénus au-dessus de l'horizon, à l'aube.

Vendredi 8

Très fin croissant de Lune au petit matin, vers l'est.

Samedi 9

Maximum de l'essaim de météores des Draconides.

Lundi 11

En soirée, un fin croissant de Lune surplombe Mercure.

Vendredi 15

En soirée, la Lune et Mars sont au plus près.

Lundi 18

La Lune se trouve entre Uranus et Neptune. Beau rapprochement en soirée.

Jedi 21

Maximum de l'essaim d'étoiles filantes des Orionides.

Lundi 25

Rapprochement de la Lune avec Jupiter en soirée.



L'envolée belle

PRO PILOT 99

Bien que l'éditeur prenne soin de préciser sur la boîte que ce logiciel de pilotage n'est destiné ni à préparer au brevet de pilote ni à remplacer un entraînement, il s'agit pourtant bien de cela : une initiation de qualité aux problèmes du pilotage des avions de tourisme. Du Beechcraft Bonanza à hélice au Cessna Citation à réaction, le joueur a le choix entre de beaux engins aux caractéristiques de vol différentes (ce qui en fait tout l'intérêt). La version actuelle – entièrement en français – se distingue de la précédente – en anglais – par des pay-

sages, des éclairages et des rendus de nuages particulièrement saisissants. Elle offre surtout la possibilité de voyager parmi quatre mille trois cents terrains de l'Europe de l'Ouest et des Etats-Unis, donc de planifier ses vols avec les données exactes des terrains en autorisant des navigations GPS. N'oublions pas non plus les sons, si réalistes qu'ils ont obtenu un prix aux Etats-Unis. Pour les passionnés de simulation et d'aviation, ce logiciel de qualité deviendra bientôt indispensable. Une réussite.

.....

Sierra, 399 F (60,83 €), deux CD-Rom, pour PC.

Pur plaisir

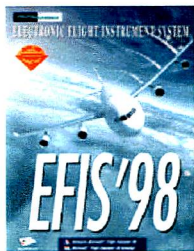
Fluidité de jeu
et rendu des images.



Un successeur bien élevé

ELECTRONIC FLIGHT INSTRUMENT SYSTEM 98

Disons-le tout de suite, cet *add-on* (comme on dit en bon français) de *Flight Simulator* de Microsoft n'est pas destiné aux novices, car il faut déjà avoir une bonne pratique de la navigation aérienne pour être capable de l'utiliser. Développé sur la base du système électronique de navigation de l'Airbus (dont il reproduit fidèlement la planche de bord), il permet de programmer et de gérer n'importe quel vol dès que l'on a entré les



données des aéroports de départ et d'arrivée. Plus de huit mille procédures sont possibles en vol aux instruments IFR sur plus de cinq mille routes aériennes ! En mode multijoueur sur l'internet – comme dans la réalité – il met en œuvre le nouveau système TCAS de contrôle du trafic aérien et d'évitement de collision en reconnaissant les appareils des autres joueurs. Une grande première. Les amateurs éclairés se passionneront pour *EFIS'98*.

.....

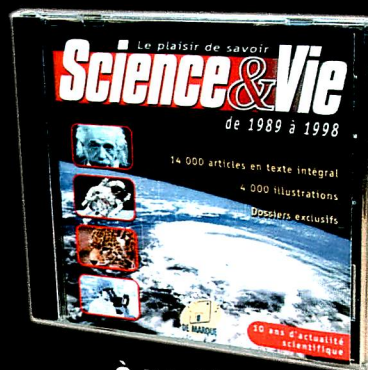
Ubi-Soft/PapaTango, 399 F (60,83 €), pour PC.

Offre spéciale **RENTRÉE**

**Une base de données unique
et exclusive : 10 ans de progrès
scientifiques et techniques vus
au travers des archives de Science & Vie**

**Ce CD-Rom des dix ans de
Science & Vie contient :**

- 14 000 articles dans leur intégralité
- 120 numéros
- 11 grands dossiers consacrés aux thèmes scientifiques majeurs de la décennie
- Un outil de navigation performant et convivial



**à partir de
199 francs***

à compléter puis à retourner,
accompagné de votre règlement à l'adresse suivante :

• Pour l'Europe à SCIENCE & VIE - Service VPC
1, rue du Colonel-Pierre-Avia 75503 Paris Cedex 15 - France

• Pour le continent américain à DE MARQUE
917 mgr Grandin, bureau 200, Sainte-Foy (Québec) Canada G1V 3X8

OUI je vous commande le CD-Rom des 10 ans d'archives de SCIENCE & VIE.

(Cochez la formule retenue ci-dessous)

☐ Je suis déjà abonné(e) à SCIENCE & VIE et je bénéficie donc du tarif de 199 francs ttc qui m'est réservé (50,50 \$ canadiens pour le continent américain).

☐ Je ne suis pas encore abonné(e) à SCIENCE & VIE. J'ai bien noté que le CD-Rom des 10 ans de SCIENCE & VIE me coûtera la somme de 249 francs ttc (63,20 \$ canadiens pour le continent américain).

Nom _____
Prénom _____
Adresse _____
Code postal _____ Ville _____

• Je vous adresse mon règlement, libellé à SCIENCE & VIE pour l'Europe ou bien libellé à DE MARQUE pour le continent américain (**):

☐ chèque postal ☐ carte bancaire N° _____

Expire le : _____

Date et signature obligatoires

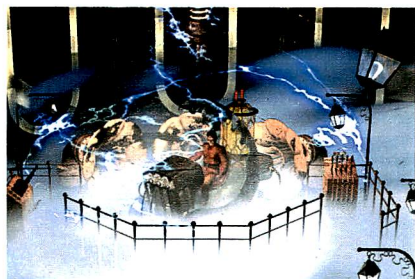
(*) le tarif normal de vente du CD-Rom est de 249 francs. Le tarif préférentiel de 199 francs est réservé aux seules personnes déjà abonnées à SCIENCE & VIE. (**) achats et livraisons dans le reste du monde, nous consulter au 33.1.46.48.47.17.

Configurations requises : PC 486 (Pentium recommandé) - lecteur CD 8 Mo de RAM - Windows 3.1 ou ultérieur - Macintosh - lecteur CD 12 Mo de RAM (16 recommandé) - Mac OS 7 ou ultérieur.
Attention : la présente offre est limitée aux seuls stocks existants de CD-Rom. Offre valable jusqu'au 15/01/2000. Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données personnelles vous concernant contenues dans nos systèmes informatiques. 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 et si possible votre numéro d'abonné. Le présent CD-Rom contient les articles parus dans SCIENCE & VIE entre 1989 et 1998. La responsabilité de l'éditeur du magazine se limite à la livraison en Europe du CD-Rom. Le service après vente du CD-Rom est assuré par DE MARQUE - Téléphone pour l'Europe: 0.800.91.32.91. Téléphone pour le continent américain: 1.800.458.9143
E-mail: support@demarque.com. Délais de livraison: 4 semaines. La souscription à cette offre implique l'acceptation de tous ses termes.

Dans 8 000 ans...

LA MACHINE À EXPLORER LE TEMPS

Reprenant librement le thème du célèbre roman de H.G. Wells *la Machine à explorer le temps*, ce CD-Rom convie le joueur à des aventures qui le transportent dans un avenir éloigné de 8000 ans. Dès son arrivée dans le futur, Wells, le héros, est entraîné dans des tempêtes temporelles dont il est



lui-même la cause. Le joueur doit tenter de le ramener dans son époque, en gérant successivement pièges et énigmes pour rétablir la cohérence du temps. D'un point de vue plus

technique, ce jeu se distingue par une extraordinaire fluidité des personnages en 3D et des décors précalculés grâce au procédé Omni 3D. Un bon divertissement sur le thème du temps.

.....
Cryo, pour PC. À paraître en novembre.

Tous en selle

L'ENCYCLOPÉDIE DU CHEVAL

Notre pays possède environ cinq cent mille chevaux appartenant à cinq races dites "de sang", quatre races étrangères, treize de poney et neuf de trait. Un million de personnes, dans plus de quatre mille cinq cents centres équestres, pratiquent le cheval en France. Cette encyclopédie unique en son genre leur est destinée. Quatre grands chapitres – reconnaître, observer, comprendre et monter son cheval – exposent pratiquement tout ce qui concerne la plus noble conquête de l'homme : l'anatomie de l'animal, les allures, la reproduction, etc. L'aspect culturel



NOUS AVONS AIMÉ "Clic & Go"

Cette nouvelle série économique rendra bien des services aux utilisateurs de l'informatique. Parmi les premiers titres publiés, nous avons retenu et apprécié :

ACCÉLÉRER ET OPTIMISER VOTRE ORDINATEUR

Ou comment personnaliser le bureau et accélérer les fonctions de Windows 98.

WINDOWS 98 FACILE

Tout pour s'initier pas à pas à Windows 98 et apprendre à se servir efficacement de son PC.

PERMIS DE BATEAU FACILE

Pour préparer le permis A de bateau en révisant toutes les règles de navigation maritime nécessaires.

SUPER JEU D'ÉCHECS 3D

Une bonne initiation en six niveaux de difficulté.

2200 CARTES DE VISITE

On en a toujours besoin. Rien de plus simple à réaliser soi-même pour peu que l'on dispose d'une imprimante.

.....
GT-Interactive, 99 F (15,09 €) chaque CD-Rom, pour PC.

et économique du cheval n'est pas oublié. Nous avons particulièrement apprécié le spectaculaire cheval en 3D que l'on peut "modéliser" à sa guise en choisissant sur une palette couleur, robe et crinière.

.....
Emme Interactive-AFASEC, 299 F (45,58 €), pour PC/Mac.

Abonnez-vous aux **CAHIERS DE SCIENCE & VIE**

et découvrez
l'histoire des sciences
pour
149 francs.

*Saint
Thomas
d'Aquin*

Newton

Descartes



Bulletin d'Abonnement

à compléter et à retourner avec votre règlement à l'ordre des CAHIERS DE SCIENCE & VIE sous enveloppe affranchie à :
Service Abonnement - 1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris cedex 15.

OUI

Je m'abonne aux CAHIERS DE SCIENCE & VIE
et je choisis la formule suivante :

Cochez les cases de votre choix

- ☐ **1 AN - 6 NUMEROS** pour **149 francs** au lieu de 192 francs*
soit 43 francs d'économie
et recevez en cadeau la reliure des Cahiers de Science & Vie**

● Je choisis de régler par :

- ☐ chèque bancaire ou postal à l'ordre des CAHIERS DE SCIENCE & VIE
☐ carte bancaire

N°

expire à fin mois année

Date et signature obligatoires

Nom

Prénom

Adresse

Code postal Ville

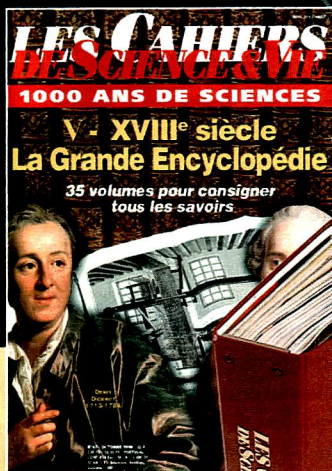
Offre valable jusqu'à fin 1999 pour un premier abonnement livré en France métropolitaine
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 17 (*) Prix de vente normal chez votre marchand de journaux

**Prévoir un délai de réception de 4 à 6 semaines et dans la limite des stocks disponibles.

En application de l'article L 27 de la loi du 6/01/1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande
et sont exclusivement communiquées au destinataire la traitant. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectifica-
tion auprès d'Excelsior. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient communiqués ultérieurement.

SV 985

HC PARIS B 572 134 773



VOTRE CADEAU

Cette superbe reliure
au logo des Cahiers de Science & Vie
vous permettra de classer vos magazines.



Le temps est changeant



LA SAGA DES CALENDRIERS ou le Frisson millénariste

Jean Lefort

Le 31 décembre 1999, nous serons aussi le 22 tèvèth 5760 de l'ère juive, le 23 ramadan de l'année 1420 de l'hégire, le 18 décembre 1999 selon le calendrier julien, le 10 nivôse de l'an 209 pour les révolutionnaires obstinés, et à un an du III^e millénaire de l'ère chrétienne.

Appellations contrôlées

Décembre, tèvèth, ramadan : pour le même mois, des noms différents selon le calendrier de référence.

Lunaires, solaires ou luni-solaires : l'auteur a recensé pas loin de vingt calendriers utilisés au cours des temps, selon les pays, les cultures, les civilisations, les religions. Intérêt purement anecdotique, dira-t-on, simple curiosité. Voire...

Si notre calendrier civil, le calendrier solaire grégorien, est employé dans le monde entier et donne apparemment satisfaction, il n'est pourtant pas le seul en usage.

Le calendrier juif, luni-solaire, compte 12 années de 12 mois et 7 années de 13 mois. Le calendrier musulman est un calendrier lunaire de 12 mois de 29 ou 30 jours, où les années comprennent 354 jours (années "communes") ou 355 jours (années "abondantes"), selon un cycle de trente ans contenant 11 années abondantes. Il règle nombre d'aspects de la vie des fidèles, fixant notamment le début du ramadan.

En outre, notre calendrier, assez complexe (365 jours, avec une année de 366 jours 97 fois en quatre siècles, c'est-à-dire tous les quatre ans, à l'exception des années séculaires non divisibles par 400), est entaché d'inexactitudes par rapport à

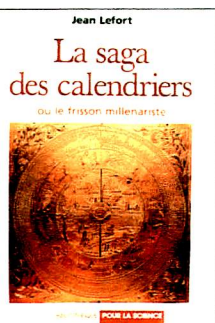
lui-même, puisque, de 532 à 1582 de notre ère, c'est le calendrier julien (365 jours, avec une année de 366 jours tous les quatre ans) qui fut en vigueur. Ainsi, dans sa forme actuelle, notre calendrier n'a-t-il pas

2000 ans, mais guère plus de 400. Et, si on le rattache aux précédents, ceux de la Rome antique, qui n'ont été que légèrement modifiés (calendrier romain, d'abord lunaire, puis luni-solaire, puis purement solaire sous Jules César), il a beaucoup plus de 2000 ans...

Jean Lefort, professeur de mathématiques à Colmar et animateur à l'Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques de Strasbourg, nous livre, on l'aura compris, une encyclopédie du temps envoûtante, fascinante, qui donne quelque peu le vertige, parce qu'elle conduit à se demander où nous en sommes exactement.

Un livre d'une rigueur toute mathématique, très riche en illustrations et en tables de concordance, qui possède une dimension éminemment philosophique.

Gérard Morice



Pour la science, 192 p., 140 F (21,34 €).

Le propre de l'homme

DES ORDINATEURS INTELLIGENTS ?

Louis Millet

Il émane de ce petit livre une certaine colère. Louis Millet mène un combat farouche contre un « redoutable adversaire » qui tend à « éliminer ce que nous entendons par "esprit" et [...] à réduire ce qu'il persiste à appeler "pensée" à une combinatoire vide de sens ».

Ce redoutable adversaire est un monstre à plusieurs têtes : scientifiques, matérialistes, tenants de la thèse de l'intelligence artificielle... Et l'auteur ne se contente pas d'une seule arme pour le terrasser : biologie cérébrale, philosophie et linguistique, entre autres, sont mises à contribution.

Dans quel but ? Démontrer que l'homme, malgré les considérables progrès techniques et informatiques, ne peut être comparé à une machine, si performante qu'elle soit. Lui seul est dépositaire d'une intelligence et d'un "esprit". De lui seul on peut dire qu'il pense. Il s'agit donc de contrer les assimilations hâ-

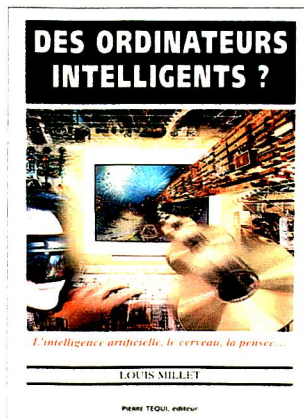
tives entre cerveau humain et ordinateur, en définissant le "propre de l'homme" et ce qui constituerait son essence.

Les découvertes effectuées dans le domaine neurologique, la faculté qu'a l'être humain de comprendre, de s'interroger, d'inventer et de ressentir, la façon dont le langage fonctionne font partie des éléments sur lesquels s'appuie

Louis Millet pour démon-

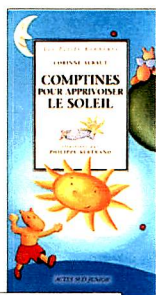
trer la spécificité de l'espèce humaine. Ses arguments sont convaincants, même s'il faut faire la part des choses entre les idées probantes et les convictions personnelles de l'auteur.

Hélène Salvy



Pierre Téqui éditeur, 128 p., 58 F (8,80 €).

Pour en connaître un rayon



COMPTINES POUR APPRIVOISER LE SOLEIL

Corinne Albaut

LE SOLEIL À PETITS PAS

Michèle Mira Pons

On a du mal à les considérer comme des documentaires – ce que sont pourtant ces deux livres écrits pour les enfants. Consacrés à l'astre du jour, ils s'inscrivent dans le cadre du programme pédagogique "Vivre avec le Soleil" dirigé par l'association Sécurité solaire pour l'Organisation mondiale de la santé. Le contenu scientifique est parfaitement rigoureux et la quantité d'informations assez surprenante. L'originalité de la démarche tient au fait que ces ouvrages ne ressemblent en rien à des brochures. Il s'agit de livres drôles, vivants, bien écrits.

Le premier, un recueil de comptines joyeusement illustrées, s'adresse à de tout jeunes

enfants en âge d'aller en maternelle. Il cultive le goût pour le rythme des mots et le jeu avec les rimes. Mine de rien, sans s'étendre, il aborde des notions comme le système solaire, les éclipses, les UV, le mélanome, non sans une certaine poésie. Et rappelle les bonnes habitudes à prendre lorsqu'on s'expose au soleil.

Le Soleil à petits pas intéressera des lecteurs qui fréquentent l'école primaire. Après quelques brèves notions d'astronomie et des sciences de la Terre, il décrit les grands types de rayons solaires, le processus de photosynthèse, avant de passer en revue les dangers que représente le soleil pour l'organisme. Il fourmille d'exemples concrets et s'achève par un quiz solaire, pour bien enfoncer le clou.

Isabelle Bourdial

.....

Actes Sud Junior, 66 p., 39 F (5,95 €).

Actes Sud Junior, 50 p., 59 F (8,99 €).



Heureux mariage
Entre pédagogie
et poésie.

La vie devant soi

AU DIABLE LA VIEILLESSE

Dr Jean-Pierre Willem

Avec les progrès de la biologie moléculaire, on connaît maintenant, dans les grandes lignes, les causes de la sénescence. C'est la condition nécessaire pour mettre au point de nouveaux traitements susceptibles d'y remédier, mais aussi pour faire le tri entre les thérapeutiques vraiment efficaces et celles qui ne le sont pas. Homme de science et de terrain (il a parcouru le monde pendant quarante ans en tant que médecin humanitaire), le Dr J. P. Willem est bien placé pour faire le point sur le sujet.

Après avoir développé les différentes théories sur les mécanismes du vieillissement, il évoque les différentes possibilités dont on dispose pour prolonger, autant

que faire se peut, la vie. Le régime alimentaire est primordial. Celui des Hounzas, par exemple, un peuple du nord de l'Inde particulièrement résistant aux maladies et vivant très vieux, offre curieusement de nombreuses similitudes avec le régime méditerranéen, bien connu des diététiciens. L'auteur rejette les remèdes fallacieux comme les cellules fraîches du Pr Paul Niehans, réputées pour faire rajeunir, qui, en réalité, sont inefficaces et de surcroît dangereuses. Un livre plein de bon sens et bourré de conseils judicieux.

Pierre Rossion

.....

Editions du Dauphin, 360 p., 139 F

(21,19 €).

Bon choix

Ecarter les
remèdes fallacieux.



SCIENCE & VIE

HORS SÉRIE

Chaque numéro de
SCIENCE & VIE HORS SÉRIE
vous invite à entrer au cœur d'un
domaine de l'actualité scientifique avec
une variété de photos et d'explications,
une diversité de schémas
et de développements.

N° 208 SEPTEMBRE 1999

SCIENCE & VIE

HORS SÉRIE

NUTRITION

Le rôle des gènes

VIN

Les bienfaits
d'une molécule

TENDANCE

Qu'est-ce qu'un
produit bio ?

ALIMENTATION

Faut-il avoir
peur de
manger ?



25 F - 180 FB - 7,50 FS - 3,500 BY - PORTUGAL 2000 PNB LTD - 490 PNB
45 DH - 7.000 L - SCAN 5.50 - Editora / Publicações 2011 - 11.70 RPT

EN VENTE PARTOUT

Et une KRO qui
marche,
une.



KRO
LA BIÈRE.

BIÈRE. 4,7% ALC. VOL. L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ, CONSOMMEZ AVEC MODÉRATION.