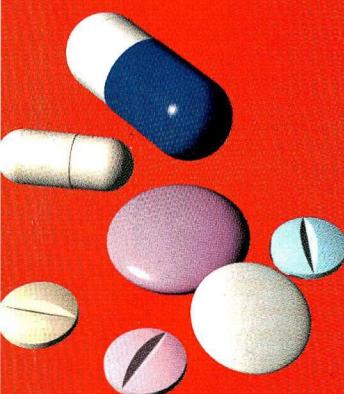


Science & Vie

Mensuel n° 978 - mars 1999

www.science-et-vie.com

ENQUÊTE
EXCLUSIVE
MÉDICAMENTS



■ Comment l'intérêt des malades passe après celui de l'industrie pharmaceutique

■ Comment notre Sécurité sociale finance les laboratoires américains

T 2578 - 978 - 23,00 F



EINSTEIN ET LE BIG BANG

On connaît enfin le destin de l'Univers

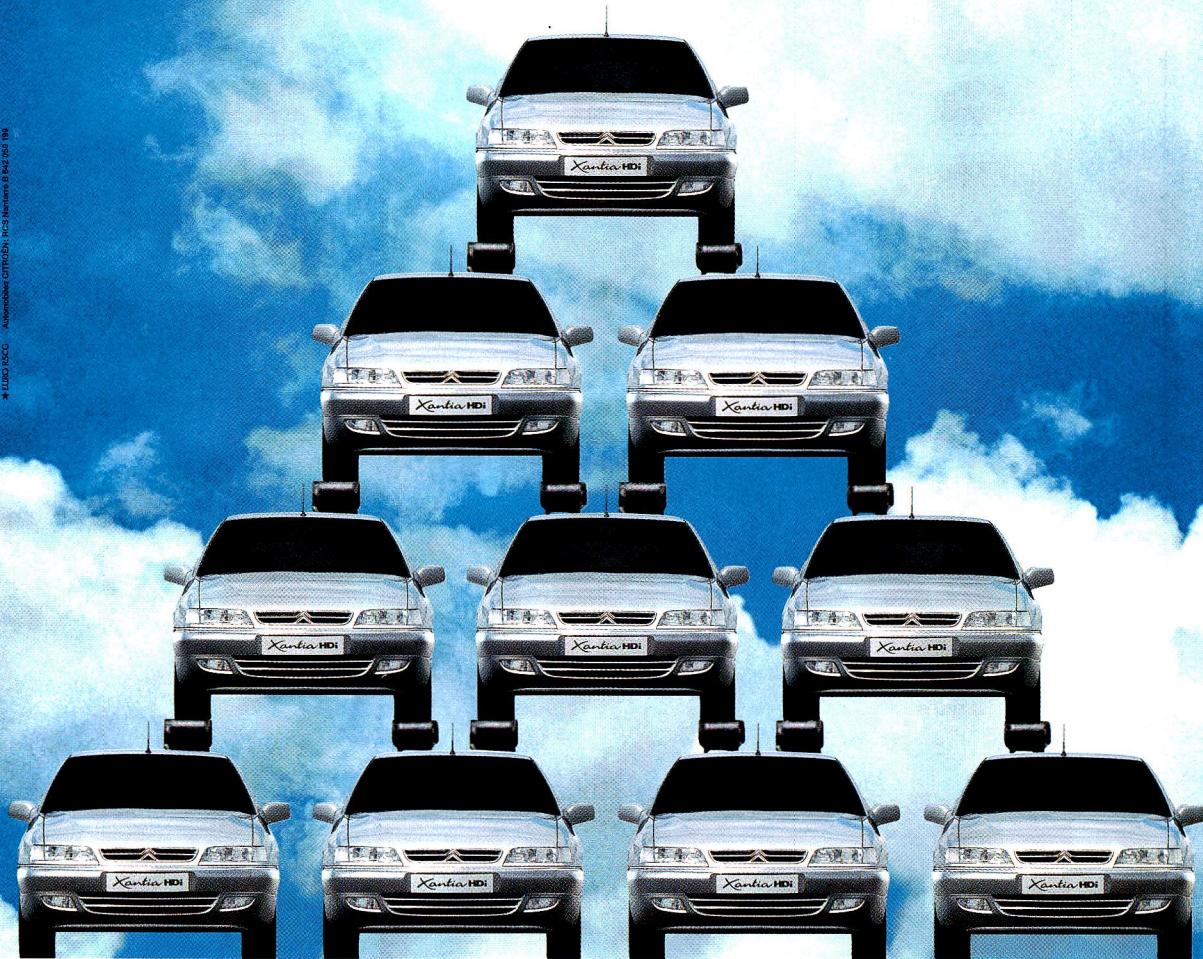


XX^e
siècle

165 FB - 7,5 FS - \$can 4.95 - 850 Ptas -
Portugal Cont 720 Esc - 40 Dh - 3,500 DT -
6 500 L - Réunion/Antilles/Guyane 28 F -
1220 XPF

N° 8 : Histoire de la Terre
avec Xavier Le Pichon

DU HAUT DE CETTE PYRAMIDE,
UNE RÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE VOUS CONTEMPLÉ.

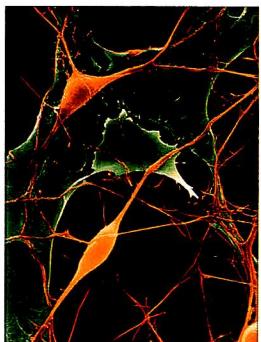


**NOUVELLE XANTIA À MOTEUR DIESEL
INJECTION DIRECTE HAUTE PRESSION - HDI**

LE MEILLEUR ÉQUILIBRE ENTRE TENUE DE ROUTE ET PERFORMANCES. VOUS CONNAISSEZ DÉJÀ XANTIA POUR SA TENUE DE ROUTE EXCEPTIONNELLE ET SA SUSPENSION À HAUTEUR CONSTANTE. DÉSORMAIS, VOUS POURREZ ÉGALEMENT L'APPRÉCIER POUR SON TOUT NOUVEAU SYSTÈME D'INJECTION DIRECTE HAUTE PRESSION. LE HDI. VÉRITABLE RÉVOLUTION, LA NOUVELLE TECHNOLOGIE «COMMON RAIL» DU MOTEUR DE LA XANTIA HDI SE CARACTÉRISE PAR UNE INJECTION DIRECTE À HAUTE PRESSION QUI OPTIMISE ET MAÎTRISE LA DISTRIBUTION DU CARBURANT. IL EN RÉSULTE UNE CONSOMMATION FORTEMENT RÉDUITE DE 21%⁽¹⁾, UNE FORCE ET UNE SOUPLESSE EXEMPLAIRES DU MOTEUR À BAS RÉGIME ET UNE DIMINUTION IMPORTANTE DE 18%⁽²⁾ DES ÉMISSIONS DE CO₂... SI VOUS PENSIEZ CONNAÎTRE XANTIA, IL VA FALLOIR TOUT RÉAPPRENDRE.

 **CITROËN XANTIA**

L'homme maître du vivant



On a transformé
des cellules de cerveau
en cellules sanguines
en les faisant régresser
à un stade embryonnaire.

Voici que l'homme vient de faire produire du sang par des cellules de... cerveau ! Cette prouesse, réalisée par des chercheurs italiens et canadiens sous la direction du Pr Angelo Vescovi, de l'Institut national de neurologie à Milan, a permis de changer la destinée d'une lignée cellulaire ; des cellules de cerveau, spécialisées dans des fonctions nerveuses, se sont respécialisées en cellules souches, productrices de cellules sanguines. Les cellules de cerveau ont donc fait marche arrière, pour revenir à un stade embryonnaire. Les scientifiques disent alors que les cellules de cerveau sont devenues "totipotentes".

Ce résultat est plus important que le clonage de la brebis Dolly réalisé en 1997, et ce pour deux raisons, l'une scientifique, l'autre médicale. Dans le processus qui a permis d'obtenir Dolly, la totipotence n'a joué que sur un noyau seul, prélevé sur une cellule de glande mammaire, puis introduit dans un ovule, préalablement dénoyauté. Dans l'expérience de l'équipe d'Angelo Vescovi, elle est intervenue sur des cellules entières.

Les perspectives médicales sont extraordinaires : la fabrication de cellules sanguines à partir d'autres cellules devient envisageable. Les applications sont illimitées : traitement des leucémies graves, des anémies, des syndromes d'immunodéficience (qui affectent les cellules sanguines)... Et même de l'aplasie myéloïde, une maladie dans laquelle les trois lignées cellulaires du sang (hématies, leucocytes et plaquettes) sont fortement réduites. Enfin, dans l'avenir, la production de cellules nerveuses à partir d'autres cellules permettrait le traitement des paraplégies et des tétraplégies.

Mais surtout, au travers de cette découverte extraordinaire, le règne animal, que l'on croyait rigide, se révèle finalement aussi souple que le règne végétal. On ne peut encore en évaluer toutes les conséquences.

S & V

Sommaire

n° 978 • mars 1999

1 rue du Colonel-Pierre-Avia
75503 Paris Cedex 15
Tél. : 01 46 48 48 48
Fax : 01 46 48 48 67
Adresse Internet :
<http://www.science-et-vie.com>
E-mail : svmens@excelsior.fr

Recevez *Science & Vie* chez vous.

Vos bulletins d'abonnement se trouvent pp. 41 et 163.

Organigramme p. 7.

CD-Rom AOL collé p. 97.

Diffusion France métropolitaine avec abonnés.

Couverture : Halsman/AFP



HALSMAN/AFP



62

■ C'est la France qui fournira le vaisseau spatial chargé de rapporter sur Terre, en 2005, des échantillons du sol martien.



86

■ Chez certaines espèces, les oiseaux adoptent couramment des poussins qui ne sont pas les leurs. Altruisme ou stratégie subtile ?

Le plaisir de savoir Science & Vie

Forum

Actualité

Image du mois	10
Recherche	12
Environnement	28
Technologie	36
Médecine	42

En couverture

Einstein et le big bang	47
L'étrange constante qui gouverne l'Univers	48
L'ultime épreuve de la relativité générale	56

Découvertes

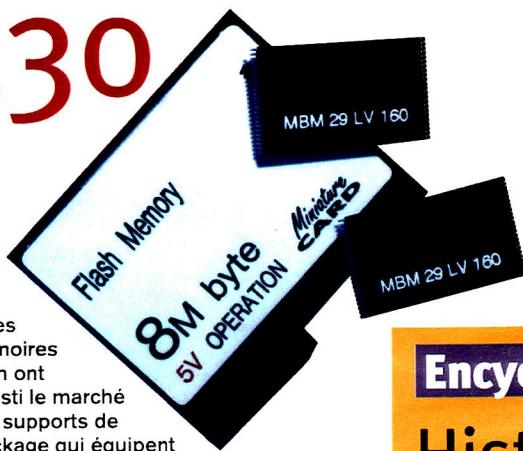
Astronautique	
Pour quelques cailloux martiens	62
Météorites	
De l'or tombé du ciel	70
Hydrologie	
Les caprices du Rhin deviennent prévisibles	84
Ethologie	
Manchot cherche poussin à adopter	86
Chimie	
Van Gogh a perdu ses roses	90
Pharmacologie	
Razzia sur le vivant	92



99

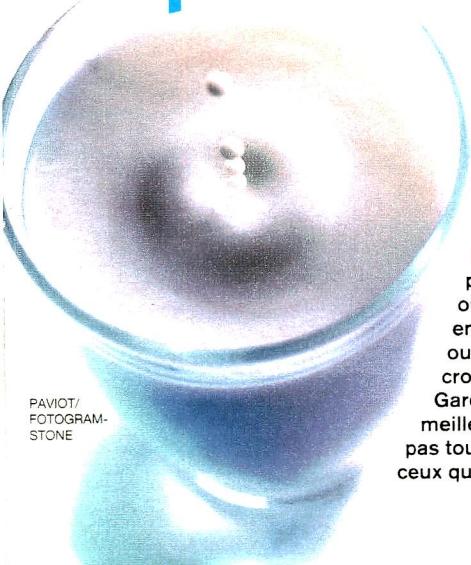
■ Pour l'industrie pharmaceutique, la loi du marché prime sur l'intérêt des malades.

130



■ Les mémoires flash ont investi le marché des supports de stockage qui équipent les appareils à usage domestique. Mais d'autres technologies pointent leur nez...

140



PAVIOT/
FOTOGRAM-
STONE

■ Lait pasteurisés ou stérilisés, enrichis ou "de croissance"... Gare ! Les meilleurs ne sont pas toujours ceux que l'on croit.

Enquête : médicaments	99
La rentabilité à tout prix	100
La face cachée des essais cliniques	110
Des prescriptions sous influence	117

Pl@net

Actualité du multimédia	125
La guerre des mémoires	130
CD-Rom	134
Internet	136

Conso

Actualité	138
Le lait est-il toujours du lait? ..	140

Encyclopédie xx^e siècle

Histoire de la Terre

149

Quand la Terre a fait peau neuve	150
Les pièces du puzzle	156
Xavier Le Pichon : «Nous suivons les mouvements des plaques par satellite» ..	158

Loisirs

Rétro	
Il y a 85 ans	162
Le ciel du mois	164
Livres	166

LES VOITURES D'OCCASION,
CE N'EST PAS PARCE QU'ELLES
SONT PROPRES QU'ELLES SONT

BIEN ENTRETIENUES.





Aujourd'hui, avec le contrat "Tranquillité Norauto", Norauto garantit les voitures d'occasion des particuliers.

Acheter une voiture d'occasion à un particulier peut facilement tourner mal. Et, si l'on vend sa voiture, il vaut mieux se préserver d'éventuels problèmes avec l'acheteur. C'est pourquoi Norauto crée la première garantie automobile transmissible entre particuliers. Vous êtes vendeur ? Avec "Tranquillité Norauto" votre véhicule pourra bénéficier d'une garantie d'un an ou 20 000 km. transmissible à l'acheteur. Vous êtes acheteur ? Vous achetez en toute confiance une voiture garantie par Norauto après le contrôle de plus de 150 points. "Tranquillité Norauto", le contrat qui facilite la vente des voitures d'occasion entre particuliers.

Pour en savoir plus.

N° sur **0 801 137 137**



Forum

disparus

La fertilité du déluge

Selon deux chercheurs américains, le fameux débâcle a bien eu lieu vers 7500 ans. Mais ce cataclysme fut bénéfique : chassant les premiers agriculteurs au-delà de la mer Noire, il aurait favorisé l'essor de l'agriculture.



L'origine du déluge « Il est dommage que votre article "La fertilité du déluge" [Science & Vie n° 974, p. 116] ignore les travaux du Pr André Capart, décédé en avril 1991, professeur à l'université de Louvain et directeur du muséum d'histoire naturelle de Bruxelles, écrit le Père Edouard-Marie, de Notre-Dame-de-Rimont, à Fley (Saône-et-Loire). [...] Chargé de l'étude des côtes (à des fins qui n'étaient pas exclusivement civiles...), il a navigué dans le monde entier pour les sonder. La connaissance qu'il en a tirée lui a permis de retracer une histoire très précise des variations du niveau des eaux [...]. Si le lac que fut la mer Noire fut submergé, ce n'est pas par l'eau de la Méditerranée : c'est dans l'autre sens qu'eut lieu l'écoulement.

Selon André Capart, le niveau de l'eau a monté subitement de 4 m, là et ailleurs, à cause de la partition du glacier fennoscandinave qui a libéré, vers 6700 avant notre ère, à cause d'un processus global de réchauffement, quelques millions de mètres cubes d'eau [...]. La ligne de crête du massif ancien de la Fennoscandie se situant en Norvège, c'est vers l'est que se déversa l'essentiel des eaux libérées. Or il n'y a pas d'obstacle entre la Finlande et la mer Noire qui, sauf au nord, est entourée de montagnes. La plaine russe fut inondée et la vague, butant sur les bords de la cuvette, fut suffisamment forte pour éléver d'un coup le niveau d'eau du lac de la mer Noire très au-dessus de la Méditerranée, au niveau du graben de Sakariah, un goulet parallèle au Bosphore et situé plus haut que ce dernier. [...] »

Cette analyse fort judicieuse d'André Capart, auteur de *l'Homme et les Déluges* (Havez, Bruxelles, 1986) a eu en effet la faveur des scientifiques mais, selon Gilles Lericolais, de l'Ifremer, elle est remise en cause par les découvertes des américains William Ryan et Walter Pitman exposées dans notre article.

Le virtuel au poil
« Dans l'article "De l'animation dans l'ordinateur" [Science & Vie n° 975 p. 132], vous indiquez que les techniques d'images de synthèse ne parviennent pas encore à animer une chevelure ou un pelage, écrit M. Bruno Vasta de Pau (Pyrénées-Atlantiques). Pourtant, il existe des logiciels qui réalisent ces effets. Notamment une extension (plug-in) de

3D-Studio Max, appelée Hair, qui a servi à animier la chevelure d'une poupée Barbie modélisée en 3D pour les besoins d'une publicité [...]. Ces systèmes réclament, il est vrai, énormément de temps puisqu'ils doivent calculer la déformation de chaque cheveu, son mouvement en fonction de celui du personnage. [...] Il n'est donc pas encore possible de mettre en scène une meute de Ma fidèle Lassie. [...]»

L'animation des cheveux, poils d'animaux et autres matières souples en images de synthèse est effectivement en pleine évolution. De nouvelles extensions de logiciels apparaissent régulièrement sur le marché. Par exemple, la dernière version du logiciel de création Maya contient le module intégré Maya Cloth, qui simule remarquablement bien les mouvements de vêtements sur les acteurs de synthèse.

**TOUTE LA BOURSE
EN DIRECT**
profitez des tarifs MODULO*
3615
1000 ACTIONS

* 30 % de réduction du lundi au vendredi
de 9 h à 17 h, le samedi à partir de 12 h
et les dimanches et jours fériés

OPTION FINANCE
2,23 F la minute



Pigeon vole... « Fidèle abonné de votre revue, j'ai lu avec intérêt l'article sur les vitesses comparées des animaux et des systèmes inventés par l'homme [Science & Vie n° 971, p. 100], écrit M. Antoine Reille, de Paris, agrégé de sciences physiques. [...] L'analyse des résultats des courses de pigeons voyageurs - travail auquel je me suis livré quand j'étais maître-assistant à l'université Paris VI - montre que ces oiseaux peuvent rentrer à leur pigeonnier à une vitesse de croisière de plus de 100 km/h, sur des distances dépassant 300 ou 400 km. Cela peut se vérifier dans les archives des sociétés colombophiles, qui se doivent de tenir des registres très précis des performances de leurs oiseaux, compte tenu des sommes engagées par des parieurs lors de chaque concours. [...] Le faucon pèlerin peut piquer à plus de 150 km/h, tandis que l'aigle, même en piqué, ne doit guère dépasser 50 km/h. [...]»

La mesure de la vitesse en vol des oiseaux n'est pas

aisée, et les chiffres varient d'un ouvrage à l'autre. Selon nos sources, la vitesse du pigeon "moyen" est de 60 km/h. L'aigle peut atteindre 160 km/h et le faucon pèlerin 350 km/h.



a sexualité des limaces

« Y-a-t-il des mâles et des femelles chez les limaces ? demande

Mireille Marie-Aure Machacek, de

La Ravoire (Savoie). Car j'ai vu un soir, vers minuit, deux limaces tigrées s'accrocher à un mur à l'aide de leur substance gluante, et se laisser pendre tout en descendant et en s'enroulant l'une contre l'autre. Cela a duré environ dix minutes. Puis elles ont sorti chacune une sorte de trompe transparente qui s'est allongée. Celles-ci se sont aussitôt enroulées. A la fin, cela ressemblait à une petite méduse qui se contractait et se rétractait. [...]»

De fait, les limaces sont hermaphrodites, tout comme les escargots. Elles ont un organe, l'atrium, où débouchent les appareils génitaux mâle et femelle. Lors de l'accouplement, fort bien observé, il se produit soit l'échange, soit simplement le don des spermatozoïdes qui seront stockés avant la fécondation.

Le plaisir de savoir

Science & Vie

Publié par Excelsior publications SA.

Capital social : 11100000 F.

Durée : 99 ans.

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

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

E-mail : svnews@excelsior.fr

Adresse Internet : <http://www.science-et-vie.com>

Adresse télégraphique : Sienvie Paris.

Principaux associés : Yveline Dupuy, Paul Dupuy.

DIRECTION, ADMINISTRATION

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

RÉDACTION

Redacteur en chef : Jean-René Germain, assisté d'Elisabeth Latsague. Redacteurs en chef adjoints : Jean-François Robredo, Didier Dubrana, Gérard Morice. Chef des informations : Isabelle Bourdial. Secrétaire général de la rédaction : Norbert Régina. Secrétaire de rédaction : Françoise Sergent, Agnès Marillier, Jean-Luc Glock. Chefs de rubrique : Philippe Champon, Germain Chambost, Roman Ikonicooff. Redacteurs : Renaud de La Taille, Pierre Rossion, Marie-Laure Moinet, Henri-Pierre Penel, Hélène Guillermot, Christelle Celarié. Conception graphique : Nathalie Baylaucq. Direction artistique : Gilles Moine. Maquette : Lionel Crooson, Valérie Samuel. Service photo : Anne Levy. Documentation/Internet : Marie-Anne Guffroy. Site internet : Jean François Robredo assisté de Christelle Celarié. 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

Véronique Bouhour, Valérie Greffoz, Leïla Haddad, Philippe Henarejos, Pierre Kohler, Christophe Labbe, Géraldine Magnan, Maricelle Mayo, Olivia Recasens, Véronique Rochewsky, Nicole Routier, Zoran Spasevski.

RELATIONS EXTÉRIEURES

Michèle Hilling, Nadine Berditschewsky.

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

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

PUBLICITÉ

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

A NOS LECTEURS

Renseignements : Monique Vogt, tél. : 01 46 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'abonnement sur simple demande téléphonique au 01 46 48 47 17. Aux Etats-Unis et au Canada : Periodica Inc. - C.P. 444, Outremont, Québec, Canada H2V 4R6. En Suisse : Naville, case postale 1211, Genève 1, Suisse. En Belgique : Press-Abonnements, avenue des Volontaires, 1160 Bruxelles. Autres pays : nous consulter.

A NOS ABONNÉS

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





Quelle énergie pour demain ? « Je lis dans *Science & Vie* [n° 974, p. 184] que le passage au surgénérateur ne se fera qu'au-delà de 2050, [...] quand les ressources seront en voie d'épuisement, écrit M. André Colas, de Sainte-Nathalène (Dordogne). Il s'agit, si j'ai bien compris, des énergies fossiles : gaz naturel, charbon, pétrole... Cinquante ans, c'est demain, c'est la moitié de la vie d'un homme du xx^e siècle... Avant, sans doute, les prix commenceront à augmenter. Le nucléaire, malgré ses inconvénients, sera-t-il inévitable ? [...] »

C'est toute la difficulté des prévisions. Il suffit de voir l'évolution du prix du pétrole, qui est tombé à moins de 10 dollars le baril à la fin de l'année dernière. Les progrès de la technologie et l'ouverture de domaines miniers jusque-là inexplorés (voir *Science & Vie* n° 976, p. 103, "L'or noir du fond des mers") accroissent des réserves qu'on croyait voir s'éteindre à l'aube du siècle prochain. Les politiques énergétiques en Europe sont aussi l'objet de débats passionnés, elles étaient à l'ordre du jour de la Commission de la science et de la technologie du Conseil de l'Europe, lors de sa dernière réunion, le 26 février dernier à Paris.

Droit de réponse Affaire Prokiad (suite)

Suite à notre commentaire du droit de réponse publié à la demande de la société Laboratoires Prokiad (n° 976), celle-ci, qui a jugé bon de porter l'affaire devant le tribunal correctionnel de Grasse, nous demande de faire paraître ce nouveau droit de réponse. En total désaccord avec les affirmations exposées dans ce texte, Excelsior Publications, société éditrice de *Science & Vie*, réserve ses arguments au tribunal.

« Les commentaires dont votre revue assortissent le droit de réponse à votre éditorial de novembre 1998 réitèrent en substance certaines des causes du précédent droit de réponse, et appellent les précisions suivantes.

C'est de manière diffamatoire, dont il pourra être demandé compte devant les tribunaux, que votre Revue

réitere sous une forme différente son allégation fausse de supercherie ; ce n'est évidemment pas une fois sur deux, ce qui signifierait son innocuité, que la méthode SELNAS parvient à programmer le sexe d'un enfant à naître, mais dans des proportions expérimentalement vérifiées de 97%.

Des contrôles administratifs effectués tant par la Direction de la Concurrence et de la Répression des Fraudes des Alpes Maritimes que par la D.R.A.S.S. de Marseille ont déterminé l'absence de supercherie. Un test de validation opéré auprès de 100 couples français ayant acquis le procédé pré-conceptionnel SELNAS en juillet 97 a été validé par un assistant de la chaîne de télévision américaine ABC News en marge d'un récent reportage.

Nous récusons également toute contestation de la compétence scientifique de Monsieur Patrick SCHOUN, découvreur de la méthode ; bien qu'indépendant, il n'en est pas moins chercheur scientifique formé, compétent et reconnu. Il a déposé un certain nombre de bre-

vets. Il est précisément à la pointe de la recherche sur la polarité des gamettes domaine qui a donné lieu sur le plan international au cours de l'année 1998 à des avancées considérables. (*Le Figaro*, le 18/12/98 page « Scientifique » en co-opération avec la revue « *Science* »).

Il n'y a pas lieu d'insister sur la prétendue invalidation de ces recherches par le centre de Roscoff de l'Université de Paris VI, lequel travaille... sur les poissons, et n'a donc aucune qualité pour récuser un phénomène propre à l'homme ou aux mammifères.

De nombreux travaux ont d'ores et déjà été publiés en Russie, aux U.S.A., au Japon sur les différences électriques des spermatozoïdes et sur la possibilité de les séparer par l'électrophorèse.

- *Nature* N°329 Koltzoff et Veraschroeder

- U.S.P.S.O.V.R. *Biology* - Tome 42 Artificial control of sex in the progeny of mammals.

- Department of Biology University of Tokyo N°9307 Ishijima Sa, Mohri H.

Les Laboratoires Prokiad prennent bonne note de l'impatience de la revue *Science & Vie* de relayer les publications en cours sur le sujet qui ne manqueront pas d'intervenir à court terme à l'initiative de différents spécialistes mondiaux de la reproduction humaine qui actuellement portent l'intérêt à la méthode SELNAS.

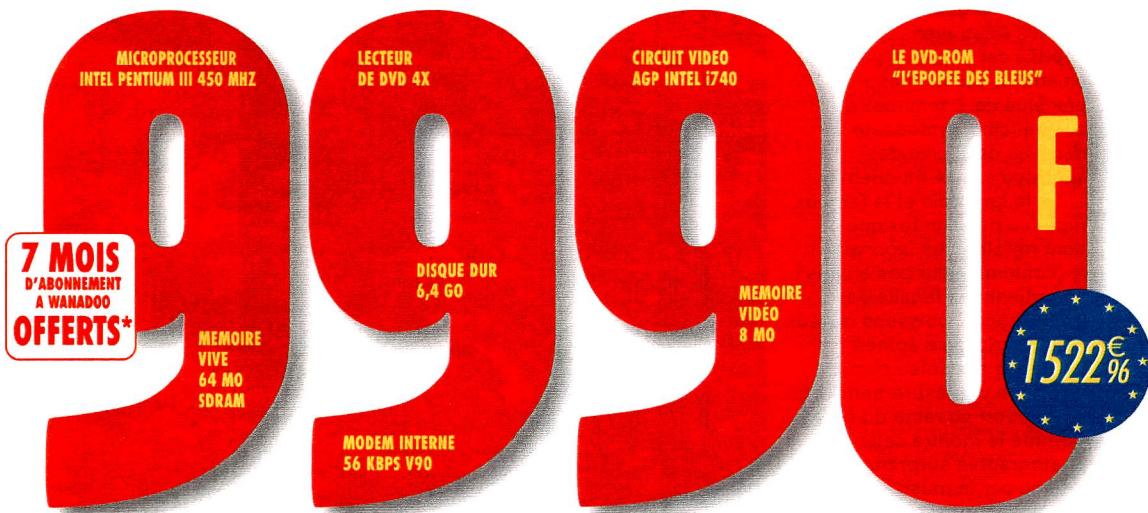
Enfin, les Laboratoires Prokiad persistent à considérer, en application pure et simple de la loi française et du droit communautaire, que la méthode américaine dite de coloration des spermatozoïdes, d'ailleurs interdite en France, représente une manipulation génétique, les lecteurs de la revue pouvant en cette exceptionnelle occasion observer que la qualification d'une attitude « bien peu scientifique » peut être étonnamment réversible. ■

Carrefour, c'est le moment.



PENTIUM® III est une marque d'INTEL CORPORATION

NOUVEAU PROCESSSEUR PENTIUM® III 450 MHz



750 /MOIS AVEC LA CARTE PASS

*Avec une carte Pass autorisée à 15 000 F exemplaire pour un achat de 9990 F -

14 mensualités de 750 F + 1 dernière de 487.45 F. Coût total du crédit

(hors assurance facultative) : 10987.45 F - TEG : 1.24% / mois soit 14.88% l'anné

Abonnement annuel Carte Pass option compétition immédiate : 45 F / option compétition

difère : 70 F (sous réserve d'acceptation du dossier par S2P)

Rendez-vous à l'Espace Services Financiers de votre magasin.

Offre réservée aux personnes physiques et majeures. Carte Pass diffusée par les Pavillons Pass

S2P SA ou capitale de 456 803 800 Frs, 1 place Copernic - 91051 Evry Cedex -

RCS Evry B 313 811 515

Avec Carrefour
je positive!

A PARTIR DU 26 FEVRIER 1999.

3000 micro-ordinateurs disponibles. MS NET PIII 450 DVD 17"

Garantie 1 an par enlèvement à domicile.

Assistance téléphonique 7j/7 de 9 h à 22 h pendant 1 an.

*Sous réserve d'un abonnement de 12 mois à Wanadoo en connexion illimitée

(hors coût des communications locales), soit 5 mois payants à 95 FFTC/mois.

Voir conditions dans l'emballage du « Pack Bienvenue exclusif Carrefour ».

IMAGE DU MOIS



Le poisson qui regarde les étoiles

Electric Stargazer, c'est ainsi que les Australiens ont baptisé cet étonnant poisson électrique qui ne mesure pas plus de 7 centimètres et vit à faible profondeur dans les eaux chaudes subtropicales. A mi-chemin entre la baudroie et le fameux *fugu* (ce poisson毒ique dont raffolent les Japonais), le "contempler des étoiles" appartient à la famille des uranoscopes, poissons osseux à tête hérissee d'épines. La sienne est dotée d'une mâchoire démesurément large par rapport au reste du corps. Comme le montre cette photographie surprenante, primée par le muséum britannique d'histoire naturelle, il passe l'essentiel de son existence camouflé dans le sable à attendre ses proies, qu'il attrape en agitant son appendice caudal. J.-R. G.

F. BAVENDAM/BIOS





Lorsque la lumière passe à travers un prisme classique (ci-contre), elle est ralentie. Si elle traverse un obstacle par effet tunnel, sa vitesse augmente...

Plus vite que la lumière

PH. HABIB/TONY STONE IMAGES

**On a enfin trouvé quelque chose qui va plus vite que la lumière : c'est la lumière.
Un effet quantique "boosterait" les photons.**

En observant la course de deux photons (particules de lumière), l'un dans le vide et l'autre passant à travers un miroir diélectrique (constitué de plusieurs couches plus ou moins opaques), Raymond Chiao, de l'université de Californie à Berkeley, a fait une découverte étonnante, qu'il a relatée en détail à Anaheim.

Contre toute attente, le photon ayant traversé le miroir est arrivé le premier, atteignant une vitesse 1,7 fois supérieure à celle de son jumeau dans le vide!

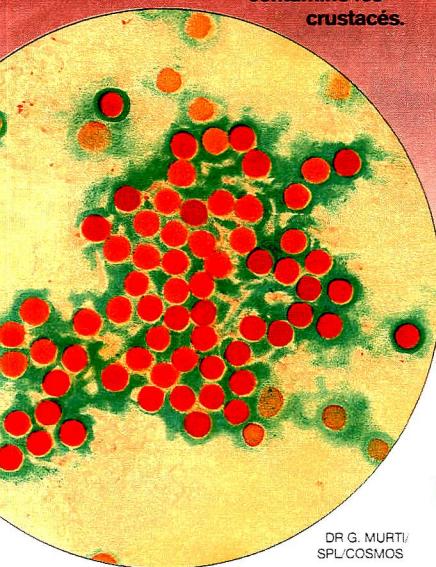
Comment cela a-t-il été possible ? Le photon qui a traversé le miroir n'obéissait pas aux lois de la mécanique classique, mais à celles de la mécanique quantique. En effet, lorsque certaines régions restent classiquement interdites aux particules (quand la barrière d'énergie qu'elles doivent franchir est trop grande), la mécanique quantique les autorise à passer à travers l'obstacle : c'est l'effet tunnel. Ce phénomène est notamment à l'origine des réactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil, et qui lui permettent de briller. Mais

jusqu'à l'expérience de Raymond Chiao, personne ne connaissait la vitesse de l'effet tunnel.

Cette découverte viole-t-elle la théorie de la relativité restreinte d'Einstein ? « Non, répond Raymond Chiao, car l'effet tunnel est un phénomène incontrôlable, qui ne se produit pas systématiquement. » Ces travaux aideront peut-être à élucider le rôle du temps dans la mécanique quantique. V. G.

Les échos de cette double page ont été réalisés par nos envoyées spéciales à Anaheim (Californie), au congrès annuel de l'AAAS (American Association for the Advancement of Science).

Au gré des vagues,
le virus de l'hépatite A
contamine les
crustacés.



SANTÉ

L'océan contagieux

Si l'océan est le berceau de la vie, il est aussi un vecteur important de maladies. Chaque année, de plus en plus de virus y sont découverts, provoquant, chez les consommateurs de crustacés, diarrhées, gastro-entérites, méningites ou hépatites A. Selon des études menées dans le golfe du Mexique par Juan Rose, de l'université de Floride du Sud, les virus peuvent parcourir jusqu'à 35 mètres par heure. Pendant El Niño, fin 1997, des virus d'origine humaine ont ainsi été transportés sur plus d'un kilomètre et demi, le long des côtes de Floride, contaminant des zones de récolte de crustacés.

V. G.

GÉNÉTIQUE

TOP CHRONO

■ Un jour pour une levure, moins d'une semaine pour un ver, de trois à six mois pour une drosophile : c'est le temps qu'il faudra bientôt à Craig Venter pour déchiffrer leur génome. Engagé dans la course au séquençage humain, le généticien américain de la Celera Genomics Corp s'est vanté d'être en mesure de tenir ces délais records dans moins d'un trimestre, dès l'achèvement de ses nouvelles



J. MC DONNEL/SIPA PRESS

installations. Il a aussi déclaré être capable de créer de toutes pièces une nouvelle bactérie.

I. B.

LINGUISTIQUE

Le squelette caché des langues

La grammaire est-elle innée ? Cette suggestion, développée par le linguiste Noam Chomsky dans les années 60, se vérifie peu à peu. Guglielmo Cinque, de l'université de Venise, a ainsi révélé l'existence d'un squelette commun à 500 langues et dialectes. Cette structure consiste en un ensemble de règles de construction des phrases qui ne résulterait pas des contraintes imposées par une communication orale. Elle découlait, au contraire, de la prédisposition de l'être humain à parler, et serait masquée par des disparités linguistiques superficielles. Une autre étude présentée à Anaheim par Mark

Baker, de l'université Rutgers (Nouveau-Brunswick), montre que deux langues aussi différentes en apparence que l'anglais et le mohawk, parlé par une tribu de la confédération iroquoise, présentent en réalité des analogies profondes.

I. B.

Ces jeunes Anglais accueillant, en 1929, un chef mohawk, ne se doutaient pas que leur langue présentait des analogies avec celle parlée par leur hôte indien.



HULTON-GETTY/FOTOGRAF-STONE

RECHERCHE

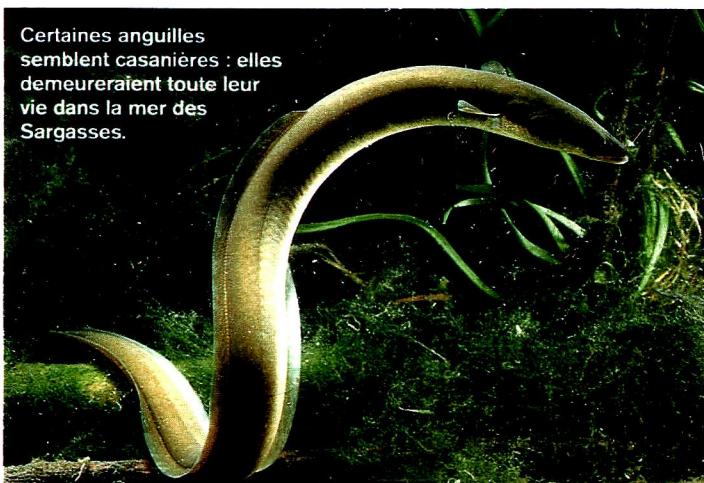
ZOOLOGIE

Anguilles sédentaires

Après leur naissance dans la mer des Sargasses, un certain nombre d'anguilles choisirait de rester vivre en mer plutôt que de remonter les rivières, révèlent des chercheurs de l'université de Tokyo. Généralement, les anguilles de l'Atlantique vivent dans les rivières pendant une dizaine d'années, et, une fois adultes, migrent dans la mer des Sargasses, où elles se reproduisent puis finissent leurs jours. Six jours après la ponte, les larves montent en surface et se laissent porter vers les eaux continentales.

Or les scientifiques ont découvert chez plusieurs anguilles une quantité importante de strontium, un élément chimique que l'on trouve en abondance chez les poissons marins. Ce qui implique

Certaines anguilles semblent casanières : elles demeurerait toute leur vie dans la mer des Sargasses.



PH. GARGUIL / BIOS

qu'elles sont restées en mer. Mais pour l'instant, les cas sont si peu nombreux que les scientifiques ne peuvent pas encore généraliser leurs observations.

M.-S. G.

ASTRONOMIE

NEAR AU REPÈCHAGE

■ Le 20 décembre dernier, la sonde américaine *NEAR* (Near Earth Asteroid Rendez-vous) a manqué sa satellisation autour de l'astéroïde Eros, but de son voyage. La manœuvre a échoué parce qu'un moteur censé freiner la sonde a refusé de s'allumer. L'engin a donc poursuivi sa course, passant le 24 décembre à 4100 km de sa cible. Les scientifiques en ont profité

pour prendre quelques clichés à faible résolution qui révèlent la forme générale d'Eros. La sonde et l'astéroïde évoluent autour du Soleil sur des trajectoires très voisines. Aussi, le 3 janvier, la NASA a effectué une manœuvre qui rendra la satellisation possible en février 2000. Le programme scientifique prévu aura donc bien lieu, mais avec un an de retard.

P. H.



DR

Au lieu de se satelliser autour d'Eros, *NEAR* a continué sa route, prenant, à la sauvette, ces images de l'astéroïde.

BIOLOGIE

Alerte aux obnis

“Objets biologiques non identifiés” : ce terme, inventé par Luc Montagnier, co-découvreur du virus du sida, désigne des nanobactéries. Décelées par une équipe finlandaise dans des sérum de bovins, elles mesurent 0,2 micromètre et sont donc cinq fois plus petites que les bactéries connues. Elles pourraient gagner l'organisme humain par l'alimentation. On ignore si ces “obnis” sont pathogènes mais les Finlandais supposent qu'ils pourraient jouer un rôle dans la formation des calculs rénaux et avoir un lien avec la sclérose en plaques et les maladies cardio-vasculaires.

G. M.

Le rat et le radon

Les radiobiologistes disposent de nouveaux outils pour étudier l'apparition des cancers induits par des radiations. Auparavant, les expériences portaient surtout sur les rayonnements X et gamma; désormais, on dispose d'accélérateurs capables d'irradier des cellules avec des particules alpha d'énergie bien déterminée. Les alpha, très énergétiques, peuvent provoquer des lésions de gravité très variable selon les cellules et les tissus traversés. Le principal facteur d'irradiation alpha est

CEA

le radon : issu de l'uranium et du radium contenus dans la croûte terrestre, ce gaz est responsable de la moitié de la radioactivité naturelle que nous absorbons. Une fois inhalé, le radon peut se fixer dans l'appareil respiratoire, où il se désintègre en éléments émetteurs alpha. Pour estimer le risque biologique de ces irradiations et leur incidence sur les cancers pulmonaires, les chercheurs pratiquent aussi des expériences *in vivo*, sur des rats auxquels ils font inhale le radon.

H. G.



Poumon de rat ayant inhalé du radon.

naturelle que nous absorbons. Une fois inhalé, le radon peut se fixer dans l'appareil respiratoire, où il se désintègre en éléments émetteurs alpha. Pour estimer le risque biologique de ces irradiations et leur incidence sur les cancers pulmonaires, les chercheurs pratiquent aussi des expériences *in vivo*, sur des rats auxquels ils font inhale le radon.

H. G.

LE CENTRE DE GRAVITÉ DE L'EURO

■ Le centre géographique des 11 pays ayant adhéré à l'euro se trouve dans le Cher, sur la commune de Blancafort. C'est ce qu'a calculé l'IGN (Institut géographique national) à partir de fichiers issus de la numérisation des cartes aéronautiques. Le "point de gravité" de la zone de la monnaie unique, estimé avec une



Au centre de la zone euro, Blancafort.

précision de 200 m, est situé par un heureux hasard dans le canton d'Argent-sur-Sauldre... I. B.

MPME/IGN

La filière du konjac

Quel est cet additif, E 425, qui apparaît dans la nouvelle directive de l'Union européenne sur les additifs autres que les colorants et les édulcorants? De la poudre de konjac, ou glucomannane, un polysaccharide extrait du tubercule d'une plante tropicale commune en Asie, *Amorphophallus rivieri*.

A l'instar des xanthanes, carraghénanes et autres colloïdes, cette aracée a des effets épaisseur, gélifiant, "texturant" et asséchant. Elle figurera donc dans de nombreux aliments industriels : desserts, produits allégés, charcuterie, pain de mie, viennoiseries...

En tant que fibre, cette poudre ma-

gique a des vertus médicamenteuses pour les diabétiques et les personnes qui ont un problème de cholestérol. Elle a aussi de multiples applications industrielles.

Face à la promesse d'un marché croissant et pour garantir une qualité constante, sept sociétés s'efforcent de mettre en place, avec l'aide financière de la Commission, une filière européenne du konjac. Ce qui implique, en particulier, d'entreprendre des recherches pour sélectionner la meilleure variété et pour adapter sa culture à nos latitudes.

M.-L. M.



R. KÖNIG/JACANA

Le tubercule de cette curieuse plante tropicale asiatique fournit une poudre dont les vertus, en particulier son pouvoir épaisseur, intéressent l'industrie alimentaire comme additif dans de multiples produits.

RECHERCHE



TÉLÉDÉTECTION

Déetecter les bateaux pollueurs

On commence à relier les taux de certains polluants atmosphériques aux mesures de radiations obtenues par satellite. Jusqu'à maintenant, les satellites américains d'observation atmosphérique de la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) détectaient simplement les traces laissées dans l'atmo-

sphère par les bateaux à moteur.

En effet, ces traces, matérialisées par des traînées nuageuses composées de nombreuses et très fines gouttelettes d'eau, émettent de très forts rayonnements (en blanc sur l'image). Cette condensation est produite par les polluants relâchés par les navires comme le dioxyde de soufre ou les composés organiques volatiles.

S. H.

DÉMOGRAPHIE

BAISSE DE LA NATALITÉ EN AFRIQUE

- Rwanda : 6,2 enfants par femme en 1992, au lieu de 8,5 en 1983 ; Ghana : 5,5 en 1993, contre 6,4 en 1988 ; Sénégal : 6 en 1992, pour 6,6 en 1988... (*Population et sociétés*, INED, septembre 1998).

La baisse de la fécondité en Afrique noire est amorcée. L'adoption de pratiques contraceptives, la scolarisation des femmes et la baisse de la mortalité infantile expliqueraient ce phénomène.

Ch. C.

MUSÉE

La science s'explore

Ça fume, ça vole, ça flotte à l'Explor@dome.

Cet espace de découverte et d'expérimentation de la science et du multimédia a ouvert ses portes au mois de décembre dernier au Jardin d'acclimatation, à Boulogne-Billancourt. Objectif : faire découvrir la science en proposant des expériences surprenantes.

Les enfants comme les adultes expérimentent d'abord et lisent ensuite l'explication du phénomène qu'ils ont testé.



DR

35 manipulations s'articulent autour de trois thèmes : les illusions optiques, le chaos et les turbulences, et les mathématiques. Les visiteurs pourront ainsi approcher une tornade, assister à la création des dunes sous l'effet du vent, faire rouler des roues carrées, construire une arche sans colle, ou bien encore tester l'art du camouflage. Les plus impatients peuvent dès maintenant effectuer des petites expériences d'optiques sur le site internet : <http://www.explor@dome.fr>

Ch. C.

Internet ? Wanadoo tout simplement



Les engagements Wanadoo
vous simplifient Internet :

- Des abonnements adaptés à vos besoins et le coût des communications au tarif local

95^F TTC*/mois = Wanadoo illimité

45^F TTC*/mois = Wanadoo 3 heures
(*hors coût des communications téléphoniques locales)

- Une page d'accueil conviviale et des rubriques en français pour simplifier vos recherches sur Internet.

Rubriques sport, voyage, culture...

- Une assistance téléphonique pour répondre à toutes vos questions

Du lundi au samedi de 9h00 à 21h00

- 10 Mo d'espace pour créer vous-même votre site sur le Web

- 5 adresses électroniques personnalisées par abonnement

5 personnes envoient et reçoivent indépendamment leurs messages

GRATUIT*

1 mois

d'abonnement illimité

POUR DÉCOUVRIR INTERNET

*Offre d'abonnement Internet avec accès gratuit en connexion illimitée le 1^{er} mois, hors coût des communications téléphoniques locales.
Offre non cumulable

Demandez votre kit Wanadoo :

PRIX APPEL LOCAL

N°Azur 10 801 105 105

- 3615 Wanadoo (0,85 F TTC/minute) • www.wanadoo.fr
- Grandes surfaces, magasins spécialisés et Agences France Telecom



France Telecom

RECHERCHE

HALIEUTIQUE

Pêcheurs et bergers

La pêche du thon à la canne, peu rentable dans sa forme traditionnelle, semblait vouée à disparaître. Mais les thoniers canneurs de Dakar ont développé depuis quelques années une technique qui a accru considérablement les rendements, malgré la diminution du nombre de bateaux et la concurrence des thoniers senneurs (pêchant au filet), très présents dans cette partie de l'Atlantique. Ils "apprivoisent" les bancs de thons. Au lieu de partir chaque matin à leur recherche, les pêcheurs les maintiennent en permanence autour de leur bateau durant toute la saison de pêche. La nuit, les thons sont naturellement attirés sous la coque des navires. Le jour, les hommes déplacent les

Ces pêcheurs réussissent à maintenir en permanence les bancs de thons autour de leurs bateaux. Résultat : une augmentation notable des prises.



PCAYREF/IRD

embarcations qui exerce un rôle attractif permanent sur les poissons.

Les scientifiques de l'IRD (Institut de recherche pour le développement) qui ont cherché à mieux

comprendre cette stratégie de pêche, plaident en sa faveur. Elle permet la survie d'une activité économique fragile au Sénégal. De plus, elle respecte les recommandations internationales sur l'exploitation raisonnable des ressources océaniques puisque les poissons sont pêchés un par un et que les espèces non voulues sont rejetées à la mer.

J. Z.

DÉMOGRAPHIE

RECENSEMENT ET PAPY-BOOM

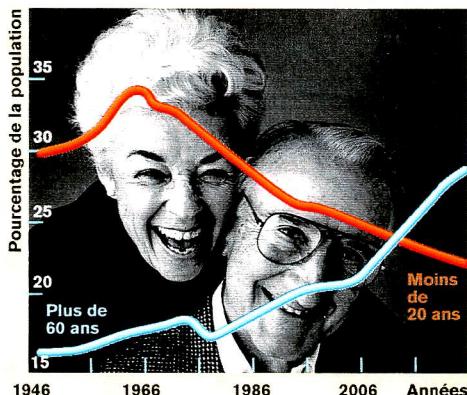
■ C'est en 2010 que le nombre des plus de 60 ans dépassera, en France, celui des moins de 20 ans, selon les prévisions de l'INED (Institut national d'études démographiques). Ces données devraient être validées par le recensement que lance

l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques), le 8 mars prochain. Cette opération de grande envergure est la trente-troisième depuis 1801. Dans toutes les communes de l'Hexagone, des agents

recenseurs recueilleront des informations précises sur chaque individu.

M.-S. G.

Conséquence inévitable du baby-boom de la fin des années 40 : un papy-boom soixante ans plus tard...



EXPOSITION

Interdit de ne pas toucher...

... Telle est la devise de nouvelles salles de découvertes, baptisées « Ebulliscience ». La première ouvre ses portes à Vaulx-en-Velin (Rhône) avec le lait comme champ d'expérimentation. La curiosité scientifique y est excitée par les manipulations, comme dans la méthode pédagogique « la main à la pâte », parrainée par Georges Charpak. M.-L.M.

BAYER ET LES MATERIAUX



Nos matériaux sont présents dans tous les objets volants (identifiés) !

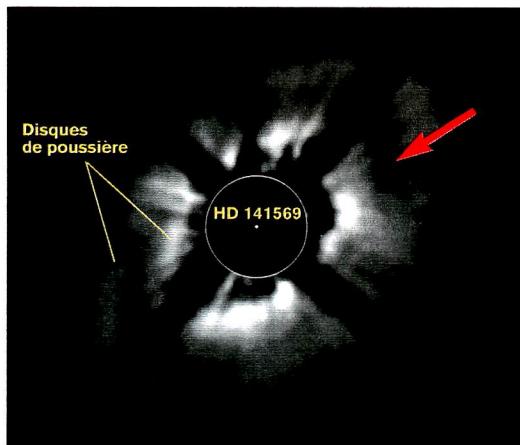
Que vous embarquiez sur une planche ou dans un avion, que vous rouliez sur des rails ou sur l'autoroute, Bayer est toujours présent. Avec des matériaux économiques en énergie comme en poids, des capitonnages et des rembourrages de siège toujours plus confortables, des peintures aussi performantes qu'écologiques... En alliant compétitivité et respect de l'environnement, les nouvelles technologies de Bayer ouvrent déjà la voie au transport de demain. Pour en savoir plus, contactez-nous : Bayer S.A. -CEM- Publicité Centrale ref. «OVI» 49-51, quai De Dion Bouton 92815 Puteaux Cedex. Internet : <http://www.bayer.com>

Bayer



ETRE COMPETENT,
C'EST AUSSI ETRE RESPONSABLE

Planètes trahies par la poussière

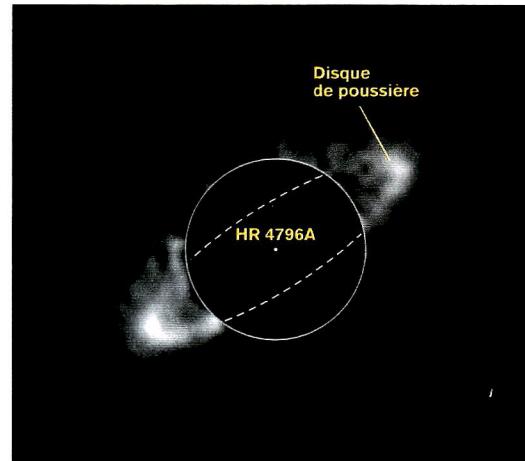


Le télescope spatial *Hubble* vient de dévoiler les disques de poussière qui entourent deux modestes étoiles. Leur étude semble révéler la présence de planètes massives.

Jusqu'ici, HD 141569 et HR 4796A étaient deux obscures étoiles des constellations de la Balance et du Centaure. Observées dans les années 80 par le satellite *IRAS*, elles présentaient un excès de rayonnement infrarouge indiquant la présence probable d'un disque de poussière autour d'elles. En pointant le télescope spatial *Hubble* sur ces astres distants de 320 et 220 années-lumière, les astronomes américains ont bien vu ces disques mais ils ont également remarqué qu'ils possédaient des "vides" ne s'expliquant facilement que par la présence de planètes massives en leur sein.

HD 141569 est une étoile trois fois plus massive que le Soleil qui a accompli seulement 1% de son existence. Son disque, d'un diamètre de 75 milliards de kilomètres (13 fois le

L'occultation des étoiles par un coronographe permet d'observer les disques de poussière qui les entourent.



DR

diamètre de l'orbite de Neptune) se compose de deux anneaux séparés par un espace (flèche rouge) que l'on peut comparer à la division de Cassini dans les anneaux de Saturne (un vide, découvert au XVII^e siècle par Jean-Dominique Cassini, qui se situe entre les anneaux A et B). Il a vraisemblablement été créé par l'action gravitationnelle d'une planète. L'anneau interne avait été décelé par le télescope Keck en juin dernier, mais il a fallu les détecteurs de *Hubble* pour découvrir le se-

cond, plus éloigné et plus froid.

HR 4796A possède au contraire un simple anneau très mince de 17 unités astronomiques de diamètre. Le reste de son disque semble avoir été balayé par des planètes massives. L'étoile n'est âgée que de 10 millions d'années, ce qui tend à confirmer que la formation de planètes est un phénomène très rapide. De plus, ce disque mille fois moins lumineux que l'étoile est d'une couleur rouge-gris, qui n'est pas celle des poussières interstellaires. Il pourrait donc être constitué de fragments issus de collisions entre petites planètes primordiales. P. H.

Hawaï midi, Paris minuit... Banque Directe ouvre jour et nuit.

"Je me simplifie la vie"

Vous effectuez 24h/24 toutes vos opérations bancaires sans jamais vous déplacer et sans attendre. Et pour cela, vous choisissez le moyen qui vous convient le mieux (téléphone, Internet ou Minitel), sans abonnement.

"Je gagne de l'argent"

Vos virements, vos prélèvements et vos petits découverts autorisés sont gratuits. Vous bénéficiez des tarifs parmi les moins chers du marché. Et en plus, votre compte vous rapporte.

"J'obtiens sans délai les meilleures réponses"

Vos demandes sont traitées en temps réel par des Conseillers décisionnaires. Pour tous vos projets spécifiques, des spécialistes vous conseillent et vous proposent les produits les mieux adaptés à votre situation personnelle.

GRATUIT

votre Carte Visa Internationale

Découvrez vite Banque Directe

0801 032 032

www.banquedirecte.fr

Pour en profiter,
indiquez le code PC1LJ

Pour bénéficier de votre Carte Visa Internationale (à choix immédiat ou différé ou choix gratuit) la 1^{re} année, devenez client de Banque Directe. Offre non cumulable avec d'autres promotions. Banque Directe se réserve le droit de refuser l'ouverture d'un compte 0801 032 032, tout d'un coup local.

OUI, je souhaite en savoir plus sur Banque Directe

Mme Mlle M.

Nom _____

Prénom _____ Né(e) le _____

Adresse _____

Code Postal _____ Ville _____

Tel. _____

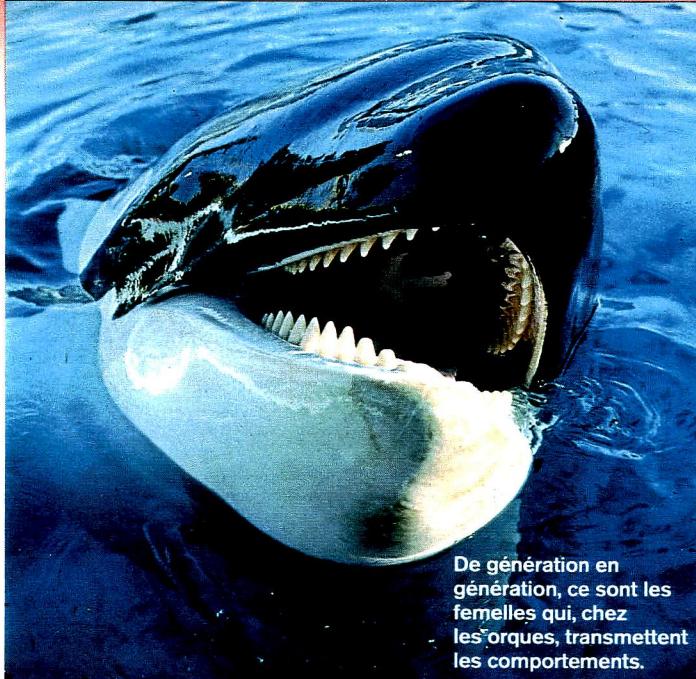
Renvoyez ce coupon sans affranchir à Banque Directe
Libre Reponse N° 20058 - 75742 Paris cedex 15
ou faxez-le au 01 40 67 32 01.

PC1LJ

"Banque Directe"

La banque directe de Rambas

RECHERCHE



De génération en génération, ce sont les femelles qui, chez les orques, transmettent les comportements.

Y. GLADU JACANA

ZOOLOGIE

Des cétacés très cultivés

Selon le chercheur canadien Hal Whitehead, de l'université Dalhousie, à Halifax (Nouvelle-Ecosse), la culture des cétacés – définie comme un comportement appris et transmis de génération en génération – pourrait être liée à leur évolution (*Science*, 27 novembre 1998).

Le scientifique a d'abord étudié les chants de plusieurs orques et cachalots, qui communiquent à l'aide de phrases musicales distinctes d'un groupe à l'autre. A partir d'échantillons cutanés, le chercheur a ensuite analysé leur patrimoine génétique.

En comparant ces données, Whi-tehead a découvert que les cétacés qui partagent le même "dialecte" ont également un fragment d'ADN identique, contenu dans les mito-

chondries, organites qui fournissent l'énergie aux cellules. Or, seule la mère transmet son ADN mitochondrial à ses descendants. Le dialecte se transmettrait donc par la même voie : dans ces sociétés matriarcales, c'est la mère qui enseignerait le chant à ses petits.

En outre, parmi les cachalots et les orques, Whitehead a observé une diversité de l'ADN mitochondrial très inférieure à celle des cétacés qui ne vivent pas en sociétés matriarcales. Des simulations sur ordinateur lui ont permis de montrer que seule la transmission d'un caractère culturel peut expliquer cette perte de diversité génétique. Grâce au chant et, probablement, à d'autres comportements enseignés par leur mère, ces cétacés survivraient mieux.

G. M.

PALÉONTOLOGIE

Un pliosaure dans le port

Des géologues amateurs viennent de découvrir près du Havre les restes fossilisés d'un pliosaure, grand reptile marin du Crétacé (de - 130 millions à - 65 millions d'années) doté d'une puissante mâchoire aux dents aiguisees. Cette trouvaille paléontologique – la plus importante depuis un siècle en Haute-Normandie, selon l'archéologue Jean-Pierre Watté, du muséum du Havre – n'est pas fortuite. Ses inventeurs, Marc Maréchal, Jean-Pierre Debris et Gilles Lepage, membres de la Société géologique de Normandie, savaient où et quand chercher. Au siècle dernier, la grande digue construite pour abriter le port du Havre n'existe pas.

Les courants marins balayaient la côte, mettant à nu de nombreux Aujourd'hui, la digue bloque les sédiments apportés par les courants.



Les dents de la mer du Crétacé.

Mais, au pied du cap de la Hève, son influence ne se fait pas sentir. A cet endroit, on exploitait de l'argile, de la terre à brique et du calcaire, roches idéales pour la conservation des fossiles. Les géologues ont attendu qu'une tempête découvre cette couche pour explorer la zone. Avec succès... M.-S. G.

ULTRATONE POURQUOI?

L'achat d'un appareil de gymnastique est une décision importante. Il est donc normal que vous vous posez, au préalable, un certain nombre de questions.

ULTRATONE est le créateur et le leader mondial de l'électro-stimulation musculaire, inventée par Herman Schaefer en 1965. Des millions d'appareils produits depuis près de 35 ans lui ont permis d'acquérir un savoir-faire unique dans les domaines les plus variés de la médecine, de l'esthétique et du fitness.

Tout comme un exercice physique, ULTRATONE imite et simule les impulsions du cerveau d'une façon naturelle, contractant et relaxant les muscles à un rythme contrôlé, régulier et agréable. Il fonctionne de la façon suivante :

LA FORME DE COURANT UTILISÉE EST ULTRAWAVE OU SCHAEFER STROM.

LE SIGNAL ULTRATONE ULTRAWAVE EST UN SIGNAL :

A pente raide = EFFICACITÉ. Plus le front d'une impulsion est raide, plus le



Les Champions du Monde 98 de Football utilisent ULTRATONE

début est brusque, plus elle est efficace et surtout confortable.

A durée optimale = CONFORT. Impulsion de durée suffisante pour être efficace et suffisamment brève pour être confortable.

A moyenne nulle = INNOVUITÉ. Les impulsions bidirectionnelles à moyennes nulles ne présentent aucun effet électrolytique. Donc pas de risque de brûlure.

LES PROGRAMMES PHYSIOSEQUENTIELS SONT UNIQUES A ULTRATONE : Successions de phases diverses dans le même programme qui permettent d'atteindre différents aspects corporels : peaux, tissus adipeux, circulation, muscles et système lymphatique.

29, rue des Favorites
75015 PARIS
Tél. : 01 45 31 39 69
Fax : 01 45 31 19 34
www.mondial-innovation.com



Vente au développement du secteur paramédical et esthétique 1998

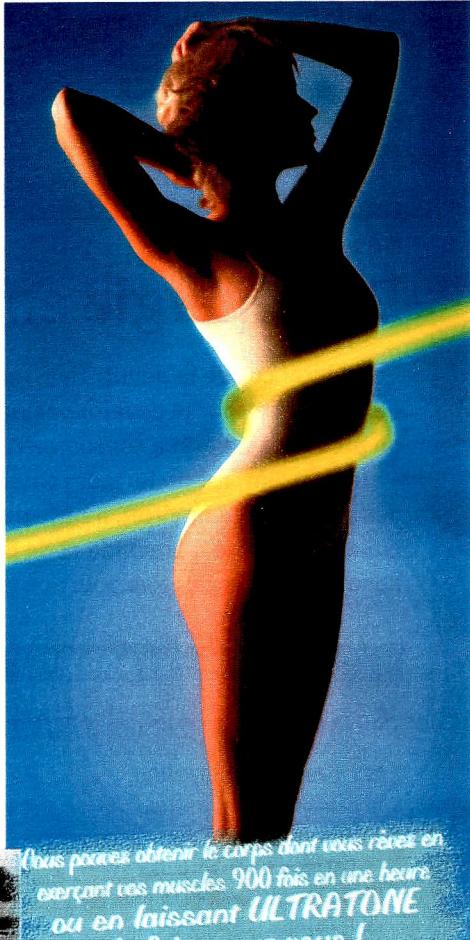
La Grande Avancée Technologique du 3^{ème} Millénaire

Remise en forme exceptionnelle
Beauté
Elegance
Jeunesse

ULTRATONE offre des appareils spécifiques des systèmes évolutifs ouverts à toutes les recherches scientifiques du futur.

Des systèmes très, très puissants sous une forme miniaturisée.

Un savoir faire scientifique en évolution permanente, c'est l'assurance de résultats excellents, dès aujourd'hui et c'est l'assurance de bénéficier des progrès scientifiques au cours des années à venir, sans changer votre appareil.



Vous pouvez obtenir le corps dont vous rêvez en exerçant vos muscles 900 fois en une heure ou en laissant ULTRATONE le faire pour vous !



Les références importantes des recherches scientifiques et médicales sont les bases de la confiance solide que ULTRATONE obtient dans le monde entier.

ULTRATONE est doté des plus hautes distinctions médicales MDD 0301

VENTE EN PHARMACIES ET MAGASINS MÉDICAUX

DEMANDE DE DOCUMENTATION

à retourner à MONDIAL INNOVATION DELATEX
29, rue des Favorites - 75015 PARIS

NOM : PRENOM :

ADRESSE :

C.P. :

VILLE :

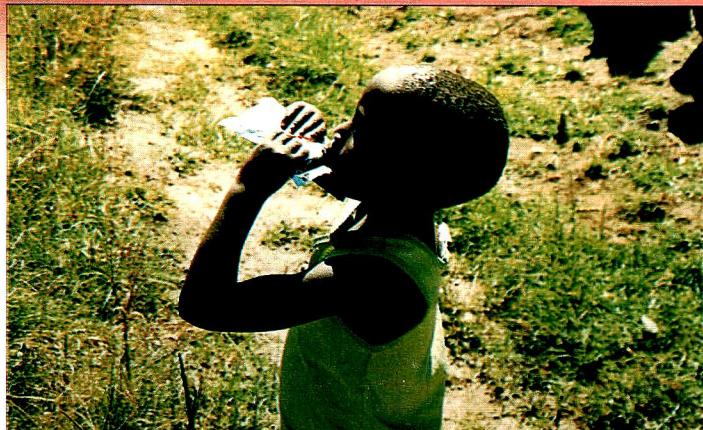
TEL :

Votre date d'anniversaire :

Ces informations resteront confidentielles.

Conformément à la loi informatique et libertés n° 78-17 du 6 Janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant.

RECHERCHE



SAUQUET/NUTRINET

DÉVELOPPEMENT

De l'énergie en berlingot

Pour lutter contre la dénutrition, un chercheur de l'Institut de recherche pour le développement a mis au point un produit lacté prêt à consommer sans adjonction d'eau – qui, souvent, est un facteur contaminant dans les zones déshéritées. Plumpy'Nut, à base de poudre de lait et d'un mélange de pâte d'arachide et de poudre de lactosérum, apporte 540 kilocalories pour 100 grammes.

M.-L. M.

TÉLÉDÉTECTION

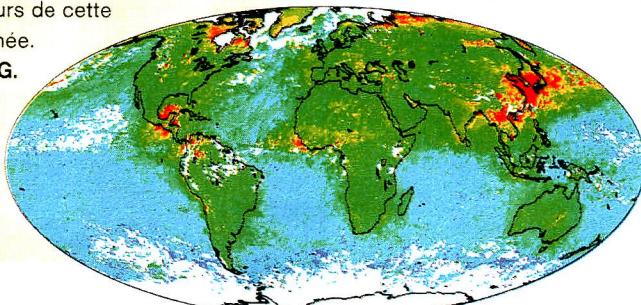
ATMOSPHÈRE SOUS HAUTE SURVEILLANCE

■ Lancé le 17 août 1996, le satellite japonais Adeos (Advanced Earth Observation Satellite) emportait plusieurs instruments destinés à observer l'atmosphère, dont Polder (Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances), construit par le CNES et le CEA, qui détecte et analyse la lumière réfléchie par notre planète. De ces informations, on a pu déduire le contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère, la manière dont

les nuages absorbent ou réfléchissent la lumière, ou encore le taux et le type des aérosols – autant de facteurs essentiels dans l'étude des changements climatiques. Le satellite Adeos a subi en juin 1997 une avarie de panneau solaire qui a mis ses instruments définitivement hors d'usage, mais un second Polder devrait être mis sur orbite au cours de cette année.

H. G.

Les aérosols, qui apparaissent en jaune et en rouge, sont aussi bien d'origine naturelle qu'artificielle : poussières désertiques, suies des feux de savane, pollutions...



ENQUÊTE

Quelle place pour la recherche française ?

En 1997, la France a consacré 2,3% de son produit intérieur brut (PIB) à la recherche et au développement. Ce chiffre, extrait du rapport européen sur la science et la technologie, la situe au cinquième rang mondial, derrière la Suède, le Japon, les Etats-Unis et la Suisse. Dans l'Union européenne, elle partage la première place avec l'Allemagne, devant le Royaume-Uni, 2,1%, et l'Italie, 1%.

Dans l'*Index des citations scientifiques*, établi par l'Institut américain d'information sur la science, on remarque toutefois que les articles scientifiques français ne représentent que 5,2% des publications mondiales. La France se classe ainsi au cinquième rang, loin derrière les Etats-Unis qui signent, à eux seuls, 34,6% des publications.

Ch.C.

Ont collaboré à cette rubrique : Christelle Célarie, Marie-Sophie Germain, Valérie Greffoz, Hélène Guillemot, Sophie Hoguin, Philippe Henarejos, Géraldine Magnan, Marie-Laure Moinet, Julie Zürn.



« NOUVELLE BANQUE, NOUVELLE BANQUE, ET POURQUOI PAS SUR INTERNET PENDANT QUE VOUS Y ÊTES ? »

Justement oui. Nous avons créé une banque sur Internet (<http://interactif.creditlyonnais.fr>). Car elle vous permet plus d'autonomie. Avec Crédit Lyonnais Interactif, vous pouvez consulter vos comptes, effectuer des virements entre eux ou en faveur de tiers, télécharger vos opérations dans un logiciel de finances personnelles quand bon vous semble.



CREDIT LYONNAIS

NOUS VOUS DEVONS UNE NOUVELLE BANQUE

Verglas, froid, neige, le temps dans les prochains jours n'est visiblement pas prêt de changer. A nouvelles optiques et un volant multifonction* qui vous permet de conserver à tout moment les



Aucune amélioration prévue. Bien entendu, nous ne



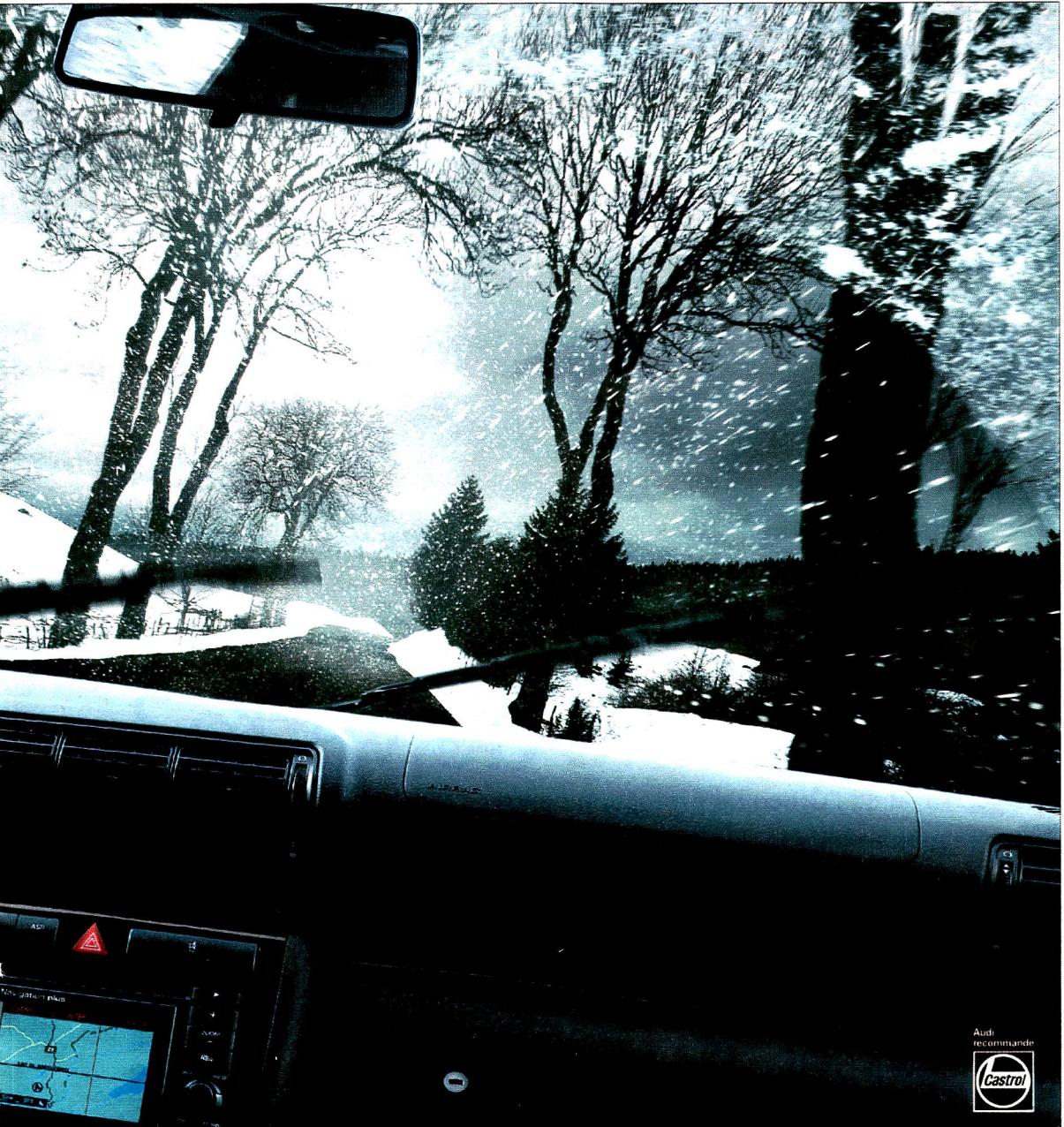
Retrouvez votre concessionnaire Audi

0 897 177 000

N°Indigo 0 803 08 9000

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

L'inverse, l'Audi A4 a connu quelques évolutions notables : par exemple, un nouveau châssis, de mains sur le volant. Au fait, si ça peut vous rassurer, dites vous bien que la météo peut se tromper.



*Modèle présenté : Audi A4 Pack Plus, volant multifonction de série et GPS en option

2002

parlions que du temps.

Nouvelle gamme Audi A4.

Audi recommande




Audi



TAVERNIER/FREA

Faut-il avoir peur de la laine de verre ?

Avec l'aval de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants, Isover recycle des déchets à très faible activité radioactive dans la laine de verre. Une pratique contestable...

La nouvelle a fait l'effet d'une bombe : la société Isover, une filiale de Saint-Gobain, vend de la laine de verre radioactive...

En 1995, la SEPR, autre filiale de Saint-Gobain, a produit des matériaux réfractaires à base (notamment) de zirconium. Cette industrie génère 8000 t par an de déchets à "très faible activité", qui contiennent des traces de thorium, d'uranium et de radium. Avant qu'un arrêté préfectoral de 1996 ne l'interdise, ces déchets étaient stockés dans des décharges de classe II. Pour "écouler" ces résidus encom-

brants, Saint-Gobain a ensuite décidé, avec l'autorisation de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI), de les intégrer dans de la laine de verre.

Le seuil maximal de radioactivité de celle-ci, très faible (200 Bq/kg), est inférieur aux limites autorisées et ne menace en rien la santé publique. La radioactivité naturelle (granite, boues...) dépasse par endroits largement ce seuil. Néanmoins, cette politique inquiète la Commission de recherche et d'information indépendante sur la radioactivité (CRII-RAD). « Il est inquiétant qu'on dissème ainsi des

produits radioactifs sur l'ensemble du territoire », déclare sa présidente, Corinne Castanier. « Ce stockage diffus risque d'augmenter le "bruit de fond" radioactif général. »

La CRII-RAD s'inquiète aussi du dernier communiqué de l'OPRI, qui indique qu'un produit dont l'activité massique est inférieure à 500000 Bq/kg n'est soumis à aucune autorisation pour sa mise sur le marché. On peut s'étonner qu'un seuil aussi élevé s'applique à des produits grand public. Enfin, la CRII-RAD souhaiterait que le taux de radioactivité de ces derniers soit clairement mentionné sur l'emballage. Si l'OPRI avait les mêmes exigences, Isover aurait probablement choisi une autre filière pour "valoriser" les déchets de la SEPR... H.-P. P.

Les chants d'amour de la morue (*Gadus morhua*) perturbent la navigation en Norvège.



SUNSET

ICHTYOLOGIE

L'écho des morues

Selon une étude de l'institut de recherche de la Défense norvégienne, les sous-mariniers sont les victimes des morues en rut. En effet, pendant la saison des amours, les mâles émettent, toutes les quatre-vingt-dix secondes, un grognement destiné à attirer leurs partenaires. Ces millions d'appels à la reproduction brouillent les ondes émises par les sonars des sous-marins, qui se trouvent dans l'incapacité de communiquer leur position. Il est donc déconseillé de s'aventurer dans les eaux norvégiennes de février à mars... M.-S. G.

HERPÉTOLOGIE

Mort sans héritiers

Le dernier spécimen anglais de grenouille d'eau de Norfolk (*Rana lessonae*) vient de mourir sans avoir assuré sa descendance.

Ce mâle de 7 ans, unique représentant en Angleterre d'une espèce décimée par la pollution et par l'agriculture, vivait dans un endroit tenu secret. Un important programme de sauvegarde avait été mis en place par des experts du gouvernement et par une société de distribution d'eau. Neuf femelles suédoises de la même espèce devaient être mises en présence du vieux mâle afin de tenter de perpétuer l'espèce. M.-S. G.



T. GENT/ENGLISH NATURE

ETHOLOGIE

La parade fatale de l'araignée-loup

■ Pour séduire leur belle, les araignées-loups mâles jouent du tam-tam en frappant leur abdomen contre des feuilles séchées. Mais, selon des chercheurs finlandais, cet art n'est pas sans risque pour leur survie. Ce "tambourinage" est en effet très coûteux en énergie – davantage que le fait de se déplacer.

Les mâles à gros abdomen sont les moins habiles à cet exercice.

En essayant de concurrencer leurs minces congénères, plus agiles, ils dépensent deux fois plus d'énergie, ce qui accroît considérablement leur taux de mortalité. M.-S. G.

L'araignée-loup mâle s'épuise pour séduire la femelle.

P. LORNE/JACANA



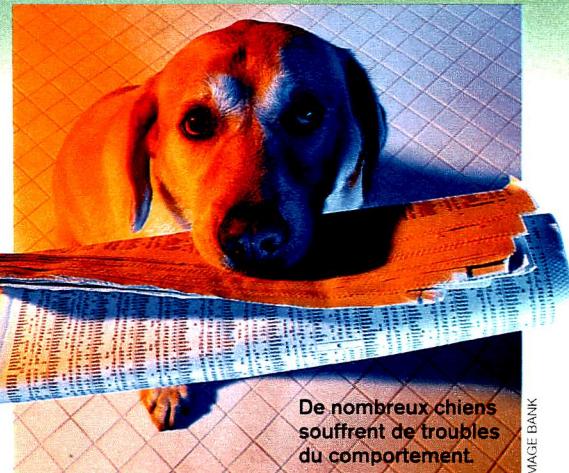
ENVIRONNEMENT

ETHOLOGIE

Les animaux malades des hommes

Selon le vétérinaire britannique David Coffee, les animaux de compagnie sont victimes de la cruauté des hommes. Les chiots sont arrachés à leur mère avant le sevrage. Une fois adultes, les chiens se retrouvent dans une famille où leur place hiérarchique n'est pas clairement définie, alors que ce sont

des animaux sociaux de meute. Les chats, félin territoriaux et chasseurs nocturnes, deviennent obèses et perdent leur instinct de prédateur. Et, pour finir, tous ces animaux sont parfois victimes de



De nombreux chiens souffrent de troubles du comportement.

IMAGE BANK

"mutilations sexuelles". « Pour comparer, c'est comme si l'on vous castrait à l'âge de 12 ans », commente David Coffee dans le *Sunday Times*...

Les animaux n'arrivent même plus à réconforter les personnes malades. Ainsi, les chiens utilisés comme "auxiliaires" dans les maisons de retraite sont beaucoup moins efficaces qu'on ne le pensait, selon une étude de Caroline Blanc, du Département de la santé publique, à l'université Paris VII. Désorientés par la pluralité des "maîtres" dans l'établissement, les chiens présentent des problèmes d'obéissance. Déboussolés, ils deviennent boulimiques ou dépressifs. Une aubaine pour le laboratoire pharmaceutique qui vient de commercialiser un anti-dépresseur pour chiens destiné à lutter contre "l'angoisse de séparation". Mais, si l'animal traité ne fait plus pipi sur la moquette, il fera peut-être partie des 20 % de malheureux qui vomissent, victimes des effets secondaires...

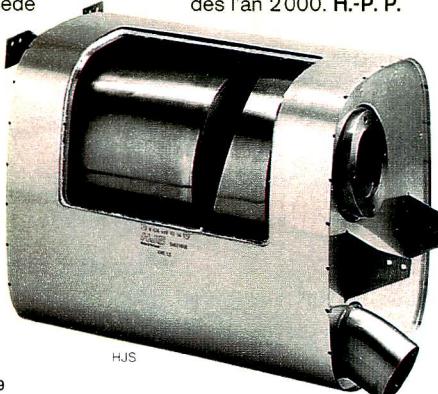
M.-S. G.

ENERGIE

DES DIESELS PROPRES

■ Le CRT (Continuous regenerating trap), ou piège à régénération continue, mis au point par la société allemande HJS, est un pot d'échappement dont l'élément "actif" est une matière microporeuse. Ses microalvéoles retiennent les particules polluantes les plus fines issues de la combustion du gazole. Pour éviter l'enracinement de ce filtre, le CRT détruit les particules retenues au fur et à mesure de leur accumulation, par simple chauffage. Le plus grand secret est gardé sur ce procédé d'autorégénération. D'une efficacité supérieure à celle des pots catalytiques, le CRT réduit de 97 % l'émission de particules polluantes. Il s'adapte sur tout moteur diesel sans

aucune modification. Seule contrainte, le gazole doit posséder une teneur en soufre quasiment nulle. Véhicules industriels et bus seront les premiers à profiter du CRT. Il est déjà testé à Paris et à Lyon sur des véhicules de collecte des déchets ménagers. A Brest, trois bus l'utilisent également. Les constructeurs s'intéressent de très près à ce procédé. Renault serait déjà en tractations avec HJS. PSA étudie un procédé concurrent qui pourrait équiper les Peugeot-Citroën à moteur diesel dès l'an 2000. H.-P. P.



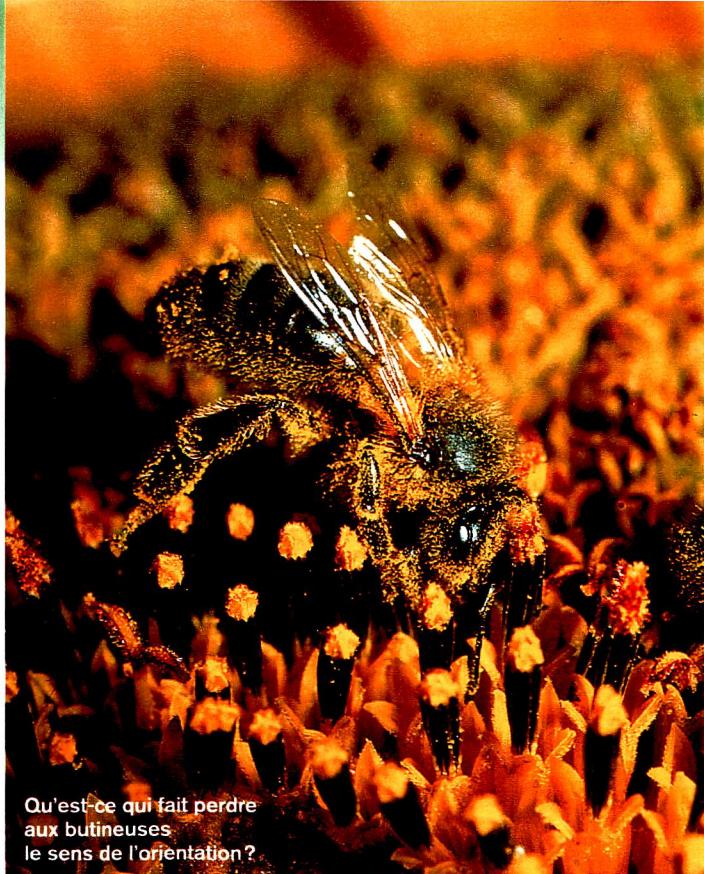
Au cœur de ce pot d'échappement, un filtre microporeux.

Science & Vie
www.science-et-vie.com
sur Internet

Plastique dégradable

Le plastique biodégradable à un prix raisonnable, c'est peut-être pour demain, grâce à des polyesters de la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA). Ces derniers possèdent des propriétés très proches de celles du plastique dérivé du pétrole, avec un avantage non négligeable : au bout de quelques mois, ils se dégradent naturellement en eau et en dioxyde de carbone. Ces polyesters sont synthétisés par des bactéries. En introduisant dans le génome *d'Arabidopsis thaliana* (une plante très utilisée par les généticiens en raison de la simplicité de son patrimoine génétique) les gènes responsables de cette synthèse, l'équipe du professeur Yves Poirier, de l'université de Lausanne, a réussi à faire produire par la plante un PHA. Les chercheurs travaillent désormais sur des PHA présentant des caractéristiques physiques différentes. Ils tentent également de faire produire ces polyesters par des plantes d'intérêt agronomique telles que le tabac ou la pomme de terre.

S. J.



J.-P. THOMAS/JACANA

ECOTOXICOLOGIE

Les abeilles perdent la boussole

Conclusions mi-figue, mi-raisin du Comité de pilotage mis en place au printemps 1998 pour éclaircir le mystère des abeilles qui ne retournent pas à la ruche (*Science & Vie* n° 965, p. 29, et n° 968, p. 6).

Le présumé coupable était Gaucho, un insecticide systémique à base d'imidaclorpid, commercialisé depuis 1993 par la société Bayer en enrobage des semences de tournesol. Les apiculteurs sont convaincus que cet insecticide subsiste jusqu'à la floraison et fait perdre aux abeilles leur sens de

l'orientation. Les études en laboratoire et sur le terrain sont parvenues à des résultats contradictoires. En laboratoire, de faibles doses ont eu des effets sublétaux significatifs sur les abeilles; sur le terrain, on n'a pas pu démontrer une relation de cause à effet.

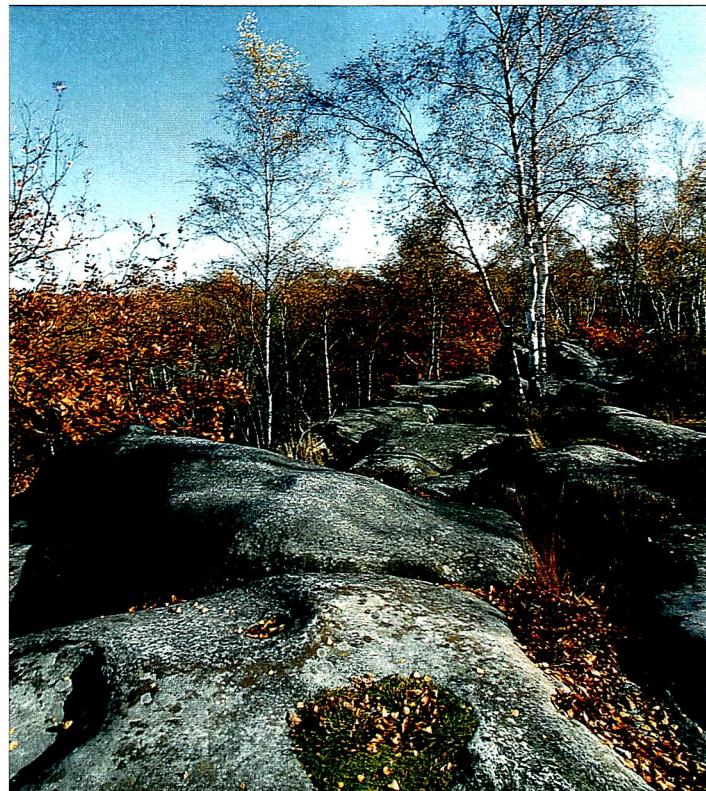
Dans le doute, le ministère de l'Agriculture a décidé le 15 janvier la suspension provisoire des ventes de Gaucho-tournesol et commandé une enquête destinée à traquer d'autres facteurs potentiels : virus, fongicides, produits de traitement des ruches, etc. M.-L. M.

Fontainebleau, forêt de paradoxes

Déjà promu "réserve de la biosphère" par l'UNESCO, ce site d'une diversité et d'une richesse exceptionnelles pourrait être classé parc national.

Fin mars, le groupe de réflexion présidé par Jean Dorst, directeur honoraire du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), remettra son avis sur le classement envisagé de la forêt de Fontainebleau en parc national.

Site classé depuis 1965, ce massif forestier hétérogène se trouve également depuis le 10 décembre 1998 au centre d'un vaste territoire (30 000 hectares de forêts et 40 000 ha agricoles) promu "réserve de la biosphère" par l'UNESCO, dans le cadre de son réseau Man and Biosphere (MAB). C'était la dixième fois que ce label était attribué en France. Un cadeau d'anniversaire à l'Union internationale de conservation de la nature (UICN), qui fêtait ses 50 ans à l'ermitage de Franchard, en plein cœur de la forêt. C'est en effet à Fontainebleau que siégea en octobre 1948 l'assemblée fondatrice de cette Union, en hommage à la première réserve naturelle créée dans monde (en 1853), sous le nom de "série artistique", à l'instigation des peintres de Barbizon.



27 000 hectares de forêts, de plaines sableuses, de mares et de rochers.

Le massif est également en passe de devenir "forêt de protection", ce qui en limiterait le mitage et la dégradation. Le jeu en vaut la chandelle. Entre 42 et 147 m d'altitude, cette plaine de 27 000 ha, couverte de forêts domaniales (21 000 ha) et privées, offre une diversité de paysages étonnante : monts et gorges, chaos rocheux et plaines sableuses, platières et mares. Lieu de prédilection de grimpeurs passionnés, elle sait absorber discrètement plus de treize millions de

visiteurs par an – qui méconnaissent sans doute ses richesses et ses milliers d'espèces admirablement saisies *in situ* par la caméra d'Alain Devez (*Fontainebleau, forêt de paradoxes*, cassette CNRS, ONF, MNHN).

M.-L. M.

Ont collaboré à cette rubrique : Marie-Sophie Germain, Stéphanie Jacquard, Marie-Laure Moinet, Henri-Pierre Penel,



MOZAÏC

www.mozaic.credit-agricole.fr

Trop de
sites
rasoirs?

Essayez
celui-là
pour voir

MOZAÏC
ECOMOZAÏC
CLUBMOZAÏC
EXTRAMOZAÏC

LE D-CLICK JEUNE POUR S'OUVRIR AU MONDE
DE L'ARGENT SANS SE DÉCONNECTER DU RESTE

Essayez www.mozaic.credit-agricole.fr, vous y trouverez trois entrées différentes pour rebondir selon vos envies ou vos besoins. Ecomozaïc, une mine de données pour s'y retrouver facilement en économie. Clubmozaïc, pour profiter de tous les avantages de votre carte Mozaïc et de conseils pratiques pour votre argent. Et pour vous dégourdir la tête, les jambes et partager nos passions, Extramozaïc. **Trois sites en un, c'est unique !**



L'IMAGINATION
DANS LE BON SENS



RENAULT elf

modèle présenté Laguna II



laguna 2: Assistance permanente par satellite "Système Odysline".

Imaginez que toutes les routes de France soient un jour jalonnées, pour votre sécurité, de bornes d'arrêt d'urgence tous les mètres. Eh bien, dites vous que c'est fait : Laguna peut désormais être équipée du système Odysline. En appuyant simplement sur les boutons de votre terminal Odysline, vous êtes localisé par satellite selon la couverture du réseau GSM et vous bénéficiez à tout moment sur toute



à France d'une assistance médicale en cas d'urgence, d'un dépannage ou encore d'un service de guidage. Sur Paris et région parisienne, Odysline vous propose aussi un service d'informations de trafic. Et en cas d'accident, Odysline déclenchera même automatiquement l'alerte. Odysline sera votre véritable ange gardien sur les routes. L'assistance disponible en option sur toute la gamme VF et VU sauf Express, Trafic, Twingo, Megane compact et Bluecup. <http://www.odysline.com>



RENAULT
LES VOITURES
À VIVRE

Vous ne devriez accepter de voyager qu'en laguna.

TECHNOLOGIE

PAR GERMAIN CHAMBOST



D. BARBER/AP/BOOMERANG

Ce navire, atelier d'assemblage et poste de contrôle pour le tir, transporte la fusée jusqu'à la plate-forme *Odyssey* (ci-dessous).

Le Kourou de l'océan

La fusée commerciale Zenit va être lancée depuis un pas de tir inédit : une ancienne plate-forme pétrolière, au milieu de l'océan Pacifique.

Ce mois-ci, le premier lancement d'une fusée commerciale Zenit va avoir lieu, d'une base flottante, en plein océan Pacifique.

La fusée, d'origine ukrainienne et russe, devait être lancée l'été dernier. Mais le gouvernement américain a interrompu le déroulement du programme, qui réunit, au sein du consortium Sea Launch, Boeing et des industriels russes, ukrainiens et norvégiens. Les autorités de Washington reprochaient à

Boeing d'avoir transféré des données sensibles. Boeing a écopé d'une amende de 10 millions de dollars avant d'être autorisée à poursuivre sa coopération.

La base de lancement est constituée d'une ancienne plate-forme pétrolière qui opérait en mer du Nord, baptisée *Odyssey*, et d'un navire, le *Sea Launch Commander*, atelier d'assemblage pour les fusées et les satellites et poste de contrôle pour le tir. La plate-forme et le navire ont été aménagés dans des chantiers



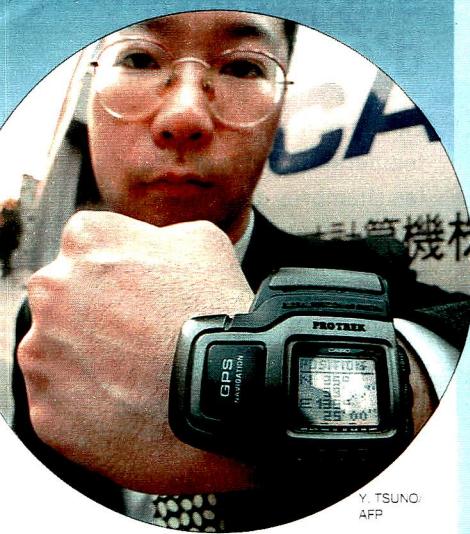
D. LOVETSKY/AP/BOOMERANG

russes, avant d'être acheminés en Californie et de rejoindre le Pacifique. Cette base permet d'effectuer le tir en étant le plus proche possible de l'équateur.

La fusée et sa charge sont transférées du navire sur la plate-forme. Après séparation, les flotteurs de la plate-forme sont remplis d'eau, ce qui permet d'obtenir une stabilité parfaite. *Zenit* est alors positionnée à la verticale, pendant que le navire s'éloigne à 5 km pour commander à distance le compte à rebours et contrôler le lancement.

Le consortium Sea Launch se targue d'avoir enregistré à ce jour dix-huit contrats fermes de lancement et dix options.

Le système GPS du Protrek fait appel à 27 satellites.



Y. TSUNO/ AFP

NAVIGATION

GPS au poignet

La société japonaise Casio a mis au point le Protrek, un prototype de système de navigation par satellites GPS (*Global Positioning System*) qui s'adapte au poignet de l'utilisateur comme une montre. D'un poids de 148 g, ce récepteur fournit en coordonnées géographiques la position du lieu de réception. Les marins, les pilotes d'avion, les automobilistes, les randonneurs, etc., peuvent en tirer des éléments de navigation. Casio estime le prix de vente de cet appareil à 430 dollars, soit environ 2 500 F.



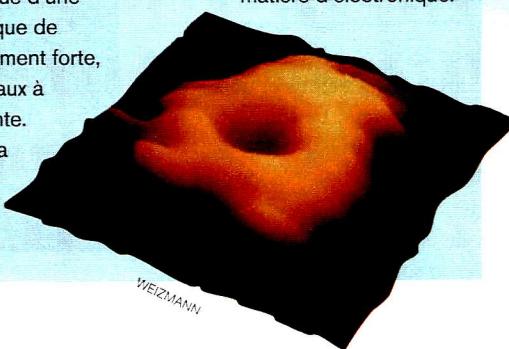
E. BALAY/AP/BOOMERANG

ÉLECTRONIQUE

TRANSISTOR MINIATURE

Des chercheurs de l'Institut Weizmann (Israël) sont parvenus à fabriquer un transistor bipolaire cinq fois plus petit que le plus petit transistor de ce type. Sa largeur totale est de 50 nanomètres (nm), et la partie centrale mesure moins de 20 nm. Il est constitué d'une couche hémisphérique de conductivité relativement forte, encadrée de matériaux à conductivité différente. La conductivité de la

partie centrale a été modifiée par apport d'atomes dopants, que l'un des chercheurs israéliens, Shachar Richter, a disposé dans une direction particulière. La réalisation de ce transistor est fort intéressante pour étudier les limites de la miniaturisation en matière d'électronique.



ESPIONNAGE

Jouet indiscret

Les employés de la National Security Agency (NSA) ont reçu consigne de ne pas apporter sur leur lieu de travail un jouet qui fait fureur aux Etats-Unis, le Furby. Le jouet est en effet bourré de puces électroniques et de capteurs infrarouges. Il parle, dort, émet des borborygmes, et réagit à tout ce qui l'entoure. Donc aux conversations...

qu'il détecte grâce à des capteurs sonores et qu'il enregistre. La NSA étant capable d'intercepter les communications entre les pays, les entreprises et les individus du monde entier, on imagine le nombre de secrets qu'un innocent Furby pourrait répéter à haute voix...

Un jouet innocent, qui enregistre si bien les conversations...

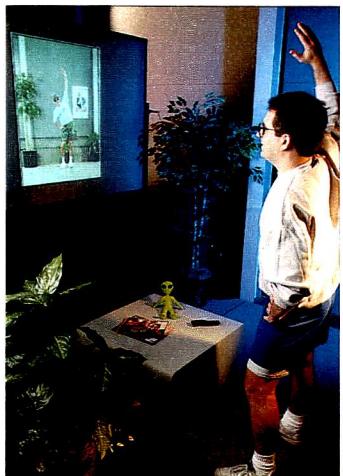
TECHNOLOGIE

EXERCICES PHYSIQUES

Professeur virtuel

Exécuter des exercices physiques, pouvoir les comparer à ceux d'un professeur virtuel qui prodigue encouragements et conseils, telles sont les possibilités offertes par le système PAT. Personal Aerobics Trainer. Mis au point par James Davis, inventeur au Massachusetts Institute of Technology, le PAT utilise des caméras, des écrans et un éclairage infrarouge. Le tout est relié à un ordinateur.

L'utilisateur choisit la séquence de déroulement des exercices qu'il veut effectuer. Il se place face à un écran sur lequel un professeur virtuel exécute des exercices qu'il doit reproduire. Des sources infrarouges éclairent la scène et dessinent la silhouette de l'exécutant sur un autre écran, derrière lui. Cette silhouette est elle-même filmée par une caméra. Le mouvement est numérisé, puis analysé par l'ordinateur qui le compare à ceux du professeur virtuel. Le recours aux images permet de projeter sur écran, par exemple en traits rouges, sur la silhouette du sujet, les limites des mouvements à ne pas dépasser.



WEB CHAPHELI

Le système PAT est basé sur un enseignement virtuel à la carte.

Afin d'améliorer le réalisme du système, le professeur virtuel peut aussi encourager de la voix l'"élève", ou lui signaler les fautes qu'il peut commettre.

James Davis travaille sur un prototype qui indiquera le rythme cardiaque du sujet. L'utilisateur bénéficiera d'indications précises pour exécuter chaque exercice. Compte tenu de son coût, le PAT est pour l'instant réservé aux clubs de remise en forme.

MOTEURS A RÉACTION

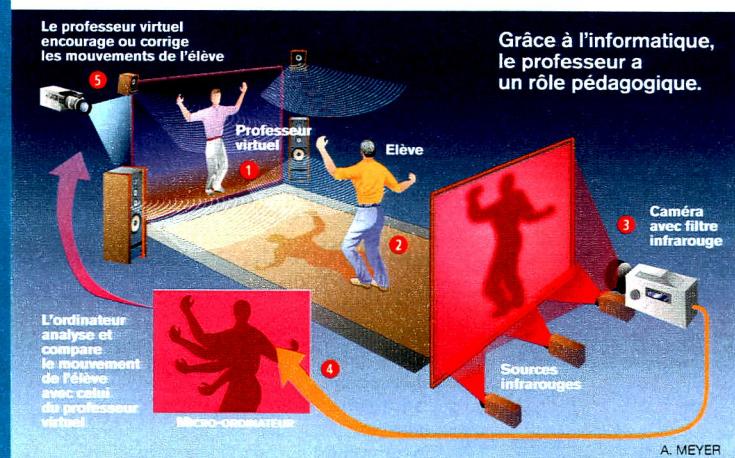
Supplément d'économie

En augmentant la température qui règne dans les chambres de combustion des réacteurs, on peut diminuer leur consommation. Une température plus élevée procure un meilleur rendement énergétique. La société allemande Krupp VDM a mis au point un alliage qui permet d'augmenter la température de combustion, le Nicrotan, à base d'aluminium, de chrome, d'yttrium et de tantale. Le gain de consommation est de 1%.

ALIMENTATION

Jambon numérique

Le Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts (Cemagref), en partenariat avec des industriels, a mis au point une méthode d'évaluation de la qualité des jambons frais par vision numérique, sans contact avec le produit. Acquises en temps réel sur la chaîne d'approvisionnement, les images sont ensuite analysées. On détermine ainsi automatiquement les critères de qualité (épaisseur du gras et couleur).



NOUVEAU

NEAU Acceptez le CD-ROM Multimédia*
ENCYCLOPÆDIA UNIVERSALIS
EN ESSAI DE 15 JOURS, CHEZ VOUS



- La plus grande encyclopédie française sur CD-ROM Multimédia

- 48 millions de mots

- 4 000 auteurs
de niveau international



- Moteur de recherche d'une puissance phénoménale.
 - Guides dynamiques de recherche.
 - Musée intelligent de 300 chefs-d'œuvre.
 - Atelier démonstratif de 2 000 dessins.
 - Atlas interactif de 400 cartes.

Plus loin encore ! L'extension sur Internet vous permet d'accéder au site de l'Encyclopædia Universalis ou à d'autres sites encyclopédiques.

CD-ROM UNIVERSALIS VERSION 4

4600-1601-00-000

BON D'ESSAI SANS RISQUE

OUI, envoyez-moi par la poste le nouveau CD-ROM Multimédia Universalis Version 4 pour un essai de 15 jours chez moi, sans le moindre engagement d'achat. Joignez aussi le tapis de souris Universalis en cadeau si je renvoie ce Bon dans les 8 jours.

Je joins mon dépôt de garantie de 120 F par chèque bancaire ou postal à l'ordre du CFL-Encyclopædia Universalis. Si après 15 jours d'essai chez moi je ne suis pas totalement convaincu, je vous renverrai le CD-ROM Multimedia Universalis par la poste, **sans frais**, complet dans son emballage d'origine, en utilisant l'étiquette adhésive de port gratuit jointe au CD-ROM. Mon dépôt de garantie de 120 F me sera alors intégralement remboursé et le tapis de souris Universalis restera à moi en cadeau définitif.

Autrement, je conserverai le CD-ROM Multimédia Universals au prix spécial de lancement de 1980 F seulement. Je pourrai alors profiter des avantageuses conditions de crédit (par exemple, 85 F par mois pendant 24 mois) qui me seront proposées avec l'envoi du CD-ROM, étant entendu que mon dépôt de garantie de 120 F sera déduit du prix du CD-ROM.

Vous m'envoyez alors le magnifique CD-ROM Le Louvre en cadeau.

je choisis: PC Mac iMac Date _____ Signature _____

je choisis : Té Mac II Mac Date Signature : _____

Mme Nom, prénom
Melle
N° Rue/Av/Bd

Ville.....
Géographie

Géographie et urbanisme à la France métropolitaine

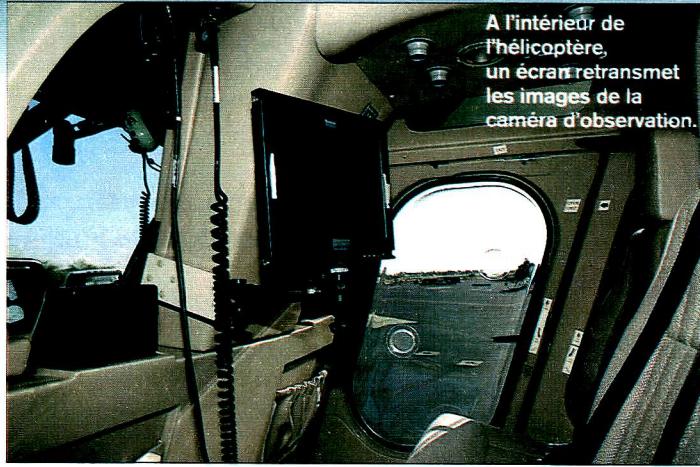
À renvoyer dans les 8 jours sous enveloppe non affranchie

A renvoyer dans les 8 jours sous enveloppe non affranchie :
CEI - Encyclopædia Universalis | Libre Réponse 941-75 75851 PARIS CEDEX 17

INTERNET : <http://www.universalis.fr>

INTERNET : <http://www.universalis-cni.fr>

TECHNOLOGIE



F. LERT

POLICE

Vision continue

La police des frontières américaine utilise depuis de nombreuses années, à bord de ses hélicoptères, des systèmes de vision infrarouge pour surveiller les zones frontalières. Grâce à un hélicoptère équipé d'un nouveau dispositif, le mécanicien navigant voit ses possibilités d'observation net-

tement accrues. Sans ôter ses jumelles de vision nocturne, il peut se pencher à l'intérieur de l'appareil et observer, sur un écran plat, les images fournies par la caméra embarquée. Auparavant, il devait ôter ses jumelles pour regarder l'écran, ce qui entraînait une discontinuité dans l'observation.

F. L.

TÉLÉPHONIE

LE COMBINÉ DANS L'ATTACHÉ-CASE

■ Ericsson vient de réaliser un prototype de téléphone mobile qu'il n'est pas nécessaire de porter à l'oreille pour converser, car l'appareil peut rester dans le sac à main, la poche, ou l'attaché-case. Une liaison radio

assure le relais entre un minuscule écouteur, un micro miniature

et le téléphone. Ce système, adaptable sur les téléphones mobiles existants, devrait être commercialisé dès cette année. La numérotation sera bientôt réalisable par commande vocale, et non plus par clavier. Des microphones adaptables sur la gorge des utilisateurs sont à l'étude. A plus long terme, il deviendra possible de dicter des messages électroniques d'une voiture, ou de recevoir des signaux indiquant, par exemple, que l'alarme de son domicile n'est pas branchée.



D. GALAND

AUTOMOBILE

Essence ininflammable

Un bidon plein d'essence placé dans le coffre de la voiture constitue pour certains automobilistes une réserve de sécurité.

Mais c'est aussi un risque d'explosion. La société Spare Tank Emergency Fuel a mis sur le marché américain un carburant qui est pratiquement ininflammable. Ce carburant, dérivé du pétrole, est dépourvu de la plupart des produits volatiles qui entrent dans la composition des essences habituelles. Il ne s'enflamme que lorsqu'il atteint une température de 43 °C, et à condition d'être mis directement en présence d'une flamme. Inconvénient,

son prix de vente :

40 dollars le gallon, soit environ 60 F le litre. En outre, son manque de volatilité le rend inapte au démarrage des moteurs. En cas de panne sèche, les tuyauteries du circuit de carburant d'un véhicule contiennent assez de carburant pour lancer le moteur. Après quoi, la température de ce dernier ayant augmenté, le carburant ininflammable prend le relais et l'alimente normalement.

Science & Vie
<http://www.science-et-vie.com>

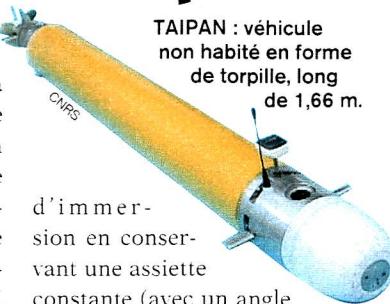
sur Internet

EXPLORATION SOUS-MARINE

Le robot des profondeurs

L'utilisation de véhicules non habités est une nécessité pour des explorations à grande profondeur ou sur de longues distances. TAIPAN est un véhicule d'exploration créé par le Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier (CNRS), en collaboration avec la société CNIM (Construction industrielle de la Méditerranée). Léger (30 kg), TAIPAN (*Torpedo for Active Inspection, Piloting and Autonomous Navigation*) est un engin en forme de torpille, long de 1,66 m, d'un diamètre de 15 cm. Il est propulsé par un moteur électrique.

La distance qu'il peut parcourir ne dépasse pas 25 km. Il peut changer



TAIPAN : véhicule non habité en forme de torpille, long de 1,66 m.

d'immersion en conservant une assiette constante (avec un angle de tangage nul), être équipé de diverses charges utiles et effectuer des mesures physico-chimiques, des prélèvements d'eau, des photographies, ou des relevés bathymétriques. Cependant, de telles données n'ont de valeur que si la position où elles sont recueillies est connue avec précision. TAIPAN utilise la navigation à l'estime,

complétée par le GPS qui fournit une position à cinq mètres près. Mais le GPS oblige l'engin à revenir en surface afin de pouvoir capter les signaux des satellites. Un autre moyen de positionnement est à l'étude : il s'agit une mesure de distance par rapport à des balises acoustiques. Toutefois, la zone d'action de TAIPAN est dans ce cas plus ou moins limitée au secteur d'implantation des balises. Les équipes du CNRS travaillent actuellement à améliorer l'autonomie énergétique et la précision de la navigation à l'estime.

A participé à cette rubrique : Frédéric Lert.

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 pourrez 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.



D. STRUTHERS/FOTOGRAM-STONE

Sida : nouvelle idée de vaccin

Un nouveau projet de vaccin contre le virus du sida sera-t-il capable de provoquer une réponse immunitaire efficace ?

La plupart des essais de vaccination contre le VIH utilisaient jusqu'ici la gp120, protéine de la surface du virus qui lui sert à se lier aux cellules qu'il infecte. Malheureusement, si l'injection de cette protéine induisait bien la production d'anticorps, ceux-ci ne parvenaient à neutraliser que des virus de laboratoire, sensiblement différents des virus sauvages. Les chercheurs de l'équipe de Jack Nunberg (université du Montana, Etats-Unis) ont pensé que, puisque la gp120 change plusieurs

fois de forme quand elle se lie aux récepteurs de la cellule infectée, peut-être découvre-t-elle plusieurs sites immunogènes à cette occasion. Ils ont donc fabriqué des cellules porteuses du complexe gp120-récepteurs saisis en cours de liaison et les ont injectées à des souris transgéniques porteuses des récepteurs humains. Les résultats de cette expérience sont spectaculaires : les souris sont protégées contre toutes sortes de VIH. Pour l'instant, ces cellules ne peuvent être utilisées chez l'homme sans danger, mais, si l'on parvient à pu-

rifier le complexe gp120-récepteurs, il est possible que l'on détiennent enfin un moyen efficace de protéger contre le VIH.

La recherche avance aussi du côté du traitement. Les travaux de Adita Vocero-Akbani (université de Washington à Saint Louis, Etats-Unis) visent à utiliser une protéine qui détruit les seules cellules infectées. Elle n'agit en effet qu'en présence de la protéase du VIH, enzyme responsable de la formation de nouveaux virus. Les essais n'ont pas encore eu lieu *in vivo*. **Ph. C et P. R.**

NEUROLOGIE

Une victoire sur la chorée de Huntington



CEA/SHFJ

Des singes atteints d'une affection neurologique, similaire à la chorée de Huntington chez l'homme, ont récupéré leurs fonctions cognitives et motrices, après qu'on leur eut greffé dans le cerveau des neurones d'embryons de la même espèce (flèches sur la photo). Cette prouesse, réalisée par une équipe médicale du CEA d'Orsay, permet d'envisager une stratégie semblable pour l'homme.

P. R.

CANCÉROLOGIE

L'amputation évitée

Un traitement associant immunothérapie (facteur de nécrose tumorale) et chimiothérapie, a été testé, pour la première fois, à l'institut Gustave-Roussy (Villejuif). Cette thérapeutique, appliquée aux sarcomes et aux mélanomes, permet d'éviter l'amputation dans plus de huit cas sur dix.

P. R.

PHARMACOLOGIE

LES PROMESSES DU HOUX

■ Cette plante contient des substances qui pourraient être utilisées contre le cancer. Des chercheurs de l'Institut de technologie de Galway-Mayo (Irlande) ont isolé des saponines des racines du houx. Ces composés, aussi présents dans le soja, ont déjà prouvé leur efficacité contre le cancer. Mais les saponines du houx sont chimiquement liées à un sucre ce qui faciliterait leur



G. THOUVENIN/JACANA

pénétration dans les cellules. L'écorce du houx, elle, contient une grande quantité (20 %) de triterpènes, substance actuellement testée contre le cancer de la peau.

S. J.

ÉPIDÉMIOLOGIE

Avantages aux grands

■ Les hommes de petite taille sont plus souvent défavorisés physiquement et socialement que les grands. C'est le résultat d'une enquête britannique portant sur 7 500 hommes adultes pendant dix-sept ans. 75 % des petits (moins de 1,65 m) étaient des

travailleurs manuels, contre 41 % des grands (plus de 1,75 m). Les petits étaient aussi, pour près de la moitié, des fumeurs, contre un tiers des grands.

Enfin, les gros buveurs et les cardiaques se rencontraient davantage chez les petits.

P.R.

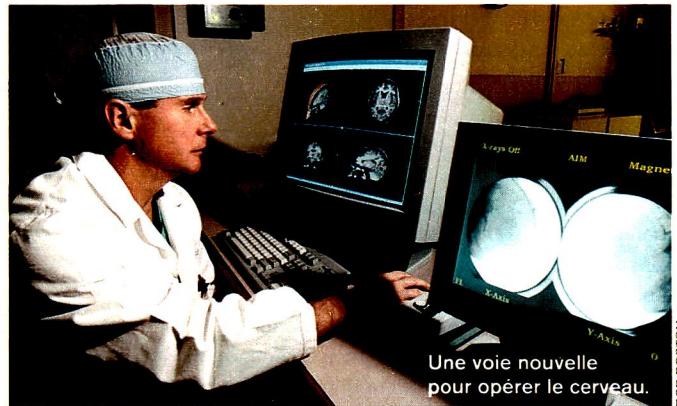


COLLECTION VOLLET

Charles de Gaulle, un homme grand, au grand destin.

CHIRURGIE

UN AIMANT DANS LA TETE



PSYCHOSOMATIQUE

Le stress du privatisé

L'insécurité de l'emploi nuit à la santé. En quatre ans, de la première rumeur de privatisation à la vente effective, les six cents fonctionnaires d'une administration britannique ont vu monter leur taux de cholestérol, tandis que les accidents cardiaques augmentaient de 60 %.

Ils délaissaient les exercices physiques, prenaient du poids, dormaient plus de neuf heures par nuit et ont divorcé ou se sont séparés plus que ceux qui n'étaient pas menacés de privatisation.

Ph. C.

Comment intervenir dans le cerveau sans détruire les tissus placés sur le chemin des instruments chirurgicaux? Ralph Dacey (Washington university medical school) teste un système très prometteur. Il s'agit d'introduire dans le cerveau un conduit souple portant à son extrémité un aimant de la taille d'un grain de riz. L'aimant est guidé par des supraconducteurs situés autour du crâne. Il peut ainsi contourner les zones sensibles, ce qui n'est pas toujours possible avec les instruments classiques. Lorsque le lieu d'intervention est atteint, on retire l'aimant mais on laisse le conduit en place. On peut alors l'utiliser pour y glisser des instruments chirurgicaux miniaturisés ou pour injecter des médicaments.

P. R.

NEUROLOGIE

Vrai bruit contre faux bruit

Les acouphènes, ces bruits "intérieurs" d'origine neurologique que perçoivent certaines personnes, peuvent devenir très gênants. Aujourd'hui introduite en France, une méthode appliquée en Grande-Bretagne parvient à améliorer sensiblement 80 % des acouphènes dits essentiels, ceux qui ne sont pas la conséquence d'une affection identifiée. La Tinnitus retraining therapy (TRT) associe l'utilisation d'un générateur de bruit blanc – comme le souffle d'un poste de radio – et une prise en charge psychologique.

Diffusé à un niveau plus faible que celui des acouphènes, le bruit blanc réduit l'hypersensibilité du centre cérébral de l'audition du patient. Le degré de conscience des acouphènes diminue alors.

La prise en charge psychologique, elle, vise à réduire l'anxiété du patient. Il semble que la simple compréhension du phénomène et de son caractère bénin, suffit, bien souvent, à donner des résultats.

Ph. C.



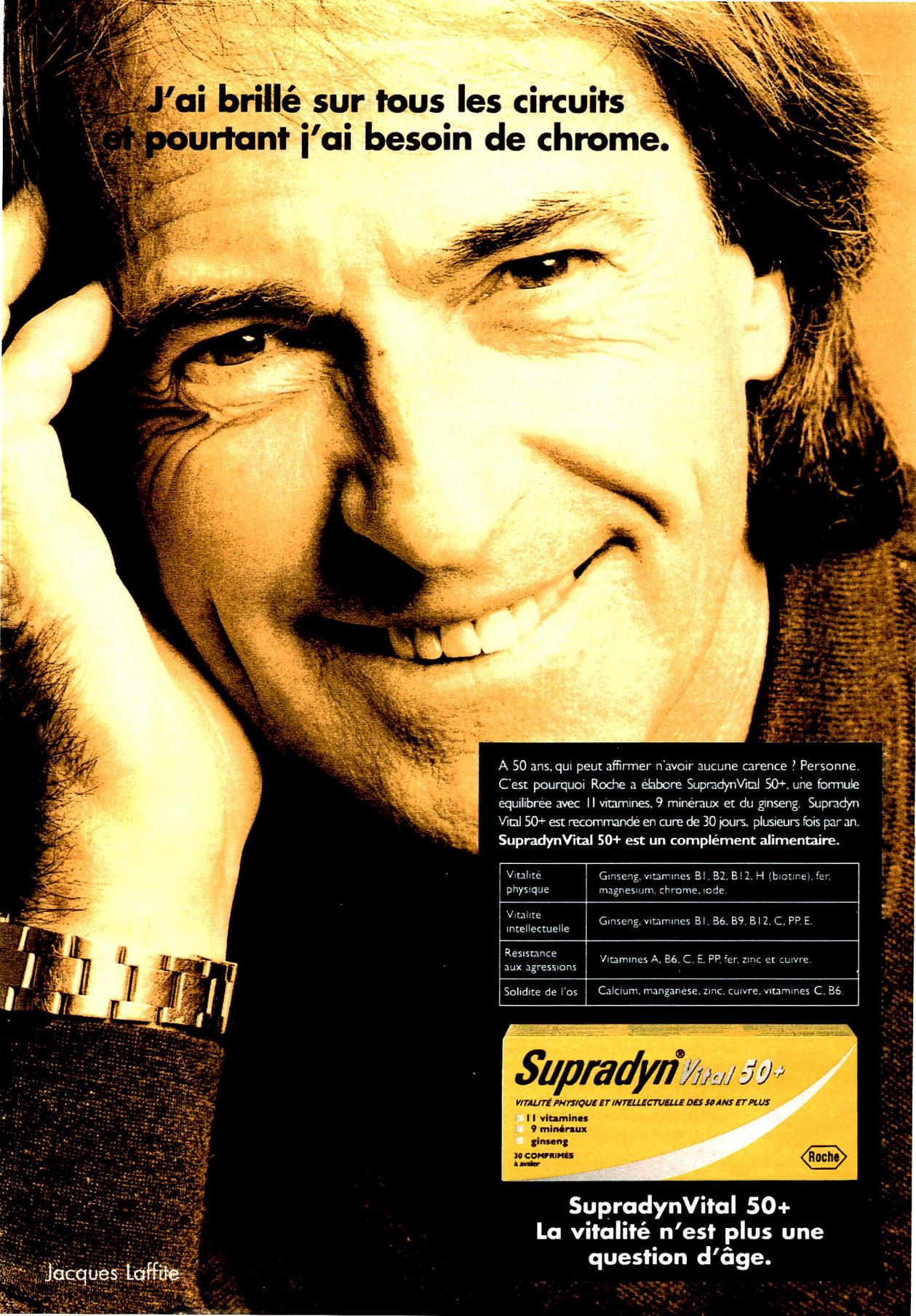
P. FORGET/EXPLORER

NUTRITION

Fast-food pour dénutris

Un nouvel aliment "prêt à consommer", préparé à partir de produits lactés enrichis en vitamines et minéraux, associés à de la pâte d'arachide, vient d'être mis au point (IRD et société Nutrisset). Il est destiné aux populations dénutries des pays en voie de développement. Plusieurs dizaines de tonnes ont déjà été distribuées au Soudan, Tchad et Sahara occidental. P. R.

Ont collaboré à cette rubrique :
Stéphanie Jacquot,
Pierre Rossion.



**J'ai brillé sur tous les circuits
et pourtant j'ai besoin de chrome.**

A 50 ans, qui peut affirmer n'avoir aucune carence ? Personne. C'est pourquoi Roche a élaboré SupradynVital 50+, une formule équilibrée avec 11 vitamines, 9 minéraux et du ginseng. Supradyn Vital 50+ est recommandé en cure de 30 jours, plusieurs fois par an.
SupradynVital 50+ est un complément alimentaire.

Vitalité physique	Ginseng, vitamines B1, B2, B12, H (biotine), fer, magnésium, chrome, iodé.
Vitalité intellectuelle	Ginseng, vitamines B1, B6, B9, B12, C, PP, E.
Résistance aux agressions	Vitamines A, B6, C, E, PP, fer, zinc et cuivre.
Solidité de l'os	Calcium, manganèse, zinc, cuivre, vitamines C, B6.



**SupradynVital 50+
La vitalité n'est plus une
question d'âge.**

Jacques Laffite



SEULE LA RÉALITÉ DÉPASSE L'IMPRESSION



IMPRIMANTES HP DESKJET
www.hp.com/go/drops
www.hp-expo.com/fr

hp HEWLETT
PACKARD
Expanding Possibilities™

*HP. Et tout devient possible

Contrairement aux apparences, cette chaussure n'a pas d'odeur. Cette image d'un étonnant réalisme a été concue avec le plus avancé des procédés d'impression jet d'encre disponibles à l'heure actuelle : la technologie de superposition des couleurs HP PhotoREt II. En générant jusqu'à 30 fois plus de teintes, elle affine la palette des couleurs, à la manière d'un artiste peintre. Avec des teintes de couleur les plus incroyables, vous obtenez une qualité photo extraordinaire, même sur papier ordinaire. Ceci est d'autant plus impressionnant que cette qualité est obtenue à une vitesse où d'autres imprimantes jet d'encre ne peuvent imprimer qu'en noir et blanc. Rien ne peut l'égalier. Sauf la réalité, bien sûr !

Einstein et le big bang

On connaît enfin le destin de l'Univers

Il a fallu attendre plus de quatre-vingts ans pour vérifier une des plus étonnantes prédictions d'Einstein : l'existence de la constante cosmologique.

Comme viennent de le montrer deux équipes d'astronomes, non seulement elle existe mais, en plus, elle gouverne le destin de l'Univers.

Seconde bonne nouvelle du ciel pour le génie : la relativité générale a été définitivement sacrée.

PAR VALÉRIE GREFFOZ

L'étrange constante qui gouverne l'Univers p. 48

L'ultime épreuve de la relativité générale p. 56

en couverture



Einstein

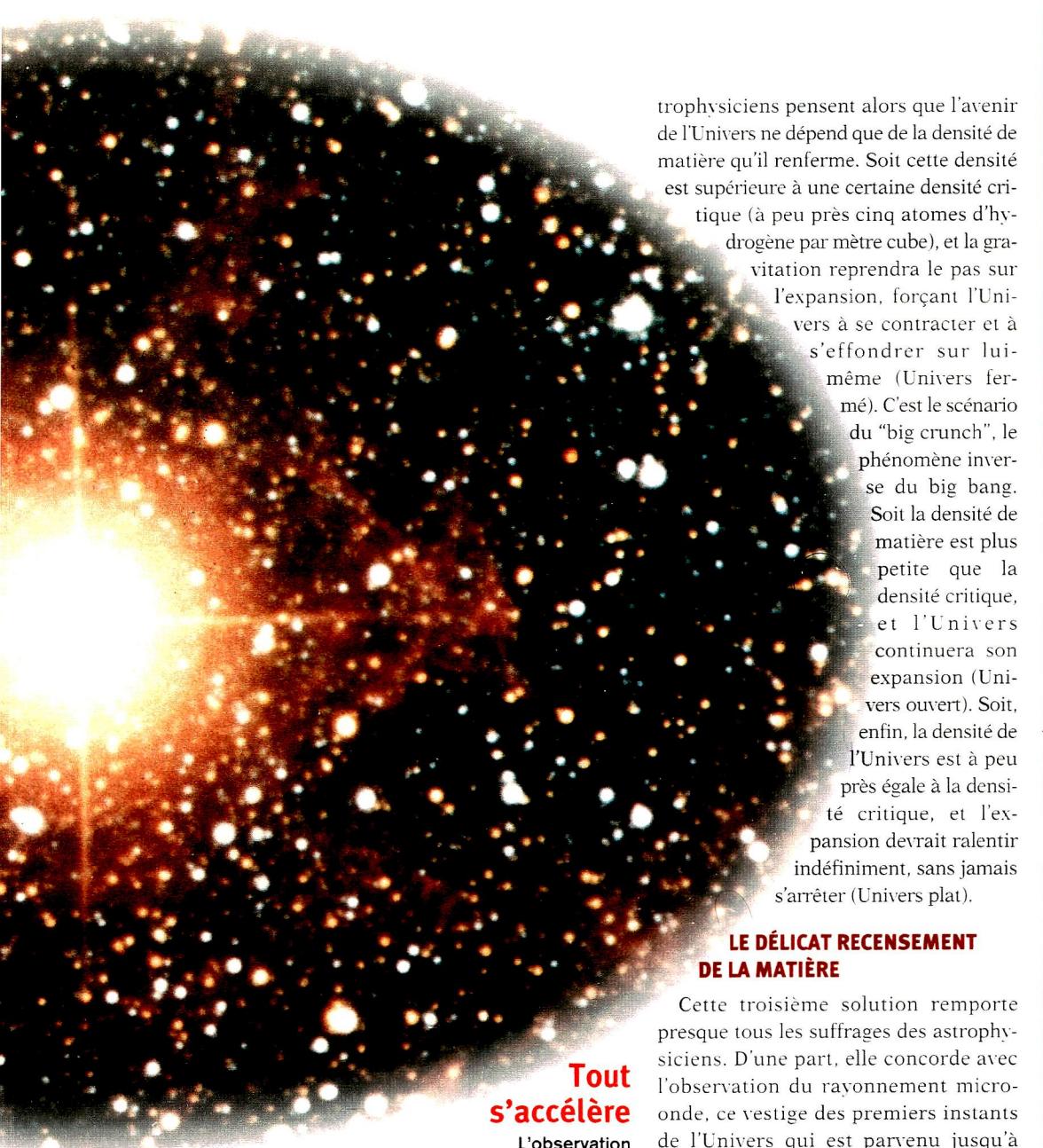
L'étrange constante qui gouverne l'Univers

Grâce à l'observation d'étoiles extrêmement brillantes à plus de sept milliards d'années-lumière, les astrophysiciens nous dévoilent aujourd'hui le destin de l'Univers. Einstein avait raison lorsqu'il prévoyait une force capable de combattre la gravitation et de disperser les étoiles.

Tout ce que les scientifiques connaissaient de l'Univers appartenait à son passé : né du big bang, il avait d'abord été très dense et très chaud et n'avait cessé depuis de s'étendre et de refroidir. Mais, sur son avenir, aucune certitude, aucune preuve. Jusqu'à cette année 1998, que les astrophysiciens ne sont pas prêts d'oublier.

Depuis le début du mois de janvier et

jus-
qu'aux
tous derniers
jours de décembre, le
destin de l'Univers s'est peu à
peu dévoilé au rythme des publica-
tions scientifiques de deux équipes : le
Supernova cosmology project, dirigé
par Saul Perlmutter du Lawrence Berke-
ley National Laboratory (Californie), et le High-z SN search team,
mené par Brian Schmidt de l'Austral-
ian National Observatory (Australie).
Les deux équipes, constituées chae-
cune d'une vingtaine de chercheurs de
toutes nationalités, sont arrivées à
la même conclusion : l'Univers n'a
pas fini de s'étendre, et, contrairement
à ce que l'on pensait, son expan-



Tout s'accélère

L'observation des supernovae (ci-dessus 1987A), ces explosions d'étoiles aussi lumineuses qu'une galaxie, ont permis aux astrophysiciens de mesurer l'expansion de l'Univers. A leur grande surprise, celle-ci serait en train de s'accélérer.

sion serait mê-

me en train de s'accélérer!

Il existerait donc bien une énergie mystérieuse, comme Einstein l'avait suggéré en 1917, capable de surpasser les effets de la gravitation, qui, elle, tend à rapprocher les galaxies et à freiner l'expansion. Quelle est donc cette énergie invisible et antigravitationnelle qu'Einstein avait appelée la "constante cosmologique" et que les astrophysiciens avaient, depuis longtemps, laissé de côté?

Revenons au tout début de l'histoire, il y a une petite dizaine d'années. Tous les as-

trophysiciens pensent alors que l'avenir de l'Univers ne dépend que de la densité de matière qu'il renferme. Soit cette densité est supérieure à une certaine densité critique (à peu près cinq atomes d'hydrogène par mètre cube), et la gravitation reprendra le pas sur l'expansion, forçant l'Univers à se contracter et à s'effondrer sur lui-même (Univers fermé). C'est le scénario du "big crunch", le phénomène inverse du big bang. Soit la densité de matière est plus petite que la densité critique, et l'Univers continuera son expansion (Univers ouvert). Soit, enfin, la densité de l'Univers est à peu près égale à la densité critique, et l'expansion devrait ralentir indéfiniment, sans jamais s'arrêter (Univers plat).

LE DÉLICAT RECENSEMENT DE LA MATIÈRE

Cette troisième solution remporte presque tous les suffrages des astrophysiciens. D'une part, elle concorde avec l'observation du rayonnement microonde, ce vestige des premiers instants de l'Univers qui est parvenu jusqu'à nous. Et, d'autre part, elle est en accord avec la théorie de l'inflation, scénario favori des cosmologistes, selon lequel l'Univers aurait subi une phase d'expansion accélérée au tout début de son existence, passant de la taille d'une tête d'épingle à celle de dix fois notre galaxie en une fraction de seconde.

Seulement voilà, comment connaître la densité de matière de l'Univers? La matière visible, c'est-à-dire les étoiles et les galaxies, est dérisoirement faible et ne peut, à elle seule, mener à un effondrement de l'Univers de type big crunch. Et,



Einstein

L'intuition

Dès 1917, Einstein avait eu l'intuition qu'il existait une énergie capable de compenser la gravitation, et d'éloigner les étoiles.

Quatre-vingts ans plus tard, cette "constante cosmologique" est enfin mesurée par les astrophysiciens.

S'il existe une matière sombre (neutrinos, particules super-symétriques), comment la quantifier, puisque, par définition, on ne la voit pas ? La seule solution consiste donc à calculer la vitesse de l'expansion en observant la fuite des galaxies.

Pour cela, les astrophysiciens ont découvert de précieux indicateurs : les supernovae de type 1a. Ces étoiles, qui ont atteint la fin de leur vie explosent de façon si violente qu'elles deviennent, l'espace de quelques semaines, aussi lumineuses qu'une galaxie entière. Il est donc très facile de les repérer, même si elles sont distantes de plusieurs milliards d'années-lumière. De plus, elles explosent en émettant toujours la même quantité de lumière. En mesurant cette luminosité, les astrophysiciens peuvent en déduire la dis-

tance de la supernova : moins ils reçoivent de lumière, plus elle est éloignée.

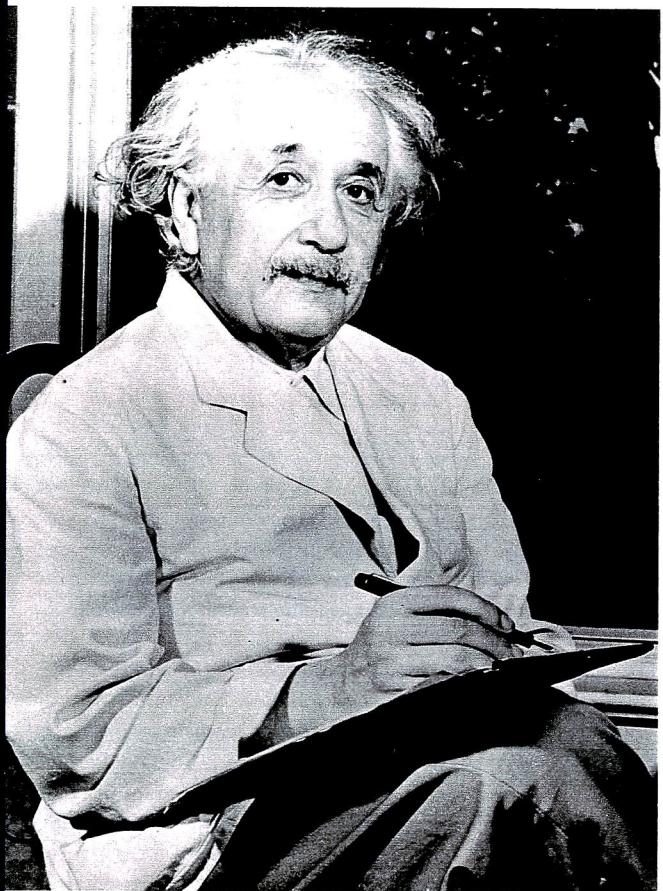
Comme les supernovae sont des phénomènes extrêmement rares (il en explose environ une par galaxie et par siècle), les chercheurs ont dû mettre au point une méthode qui leur permette d'en observer à coup sûr. Pierre Astier, du Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies à Jussieu a rejoint, depuis quelques mois, l'équipe du Supernova cosmology project. Il explique leur méthode d'observation : « Le but du jeu est de prendre le plus de clichés possibles des zones peu lumineuses du ciel, pendant les deux ou trois nuits où nous disposons d'un télescope. Puis nous reprenons les mêmes images trois semaines plus tard, et nous les comparons. »

10 000 GALAXIES SOUS SURVEILLANCE

Avec une centaine de clichés, les astrophysiciens surveillent à peu près 10 000 galaxies, et发现 à coup sûr une dizaine de supernovae. Dès qu'elles sont repérées, les chercheurs enregistrent leur courbe de luminosité pour être certains qu'ils ne se sont pas trompés. Ils observent également leur spectre, afin d'obtenir une seconde mesure de leur éloignement. En effet, lorsqu'une étoile s'éloigne de nous, sa lumière nous parvient avec une longueur d'onde plus grande que la longueur d'onde d'origine. Plus le spectre de l'étoile est décalé vers le rouge (redshift), plus elle s'éloigne vite, et donc plus elle est distante de nous.

Grâce aux premières données récoltées, l'équipe du Supernova cosmology project a commencé à calculer, à l'aide des équations de la relativité, la densité de matière de l'Univers. Et les chercheurs ont obtenu un résultat complètement aberrant : une densité de matière négative ! Or il y a bien de la matière dans l'Univers, nous sommes d'ailleurs là pour en témoigner ! Les astrophysiciens avaient-ils oublié un terme dans leurs équations ? Il est vrai qu'ils n'avaient pas pris la peine d'inclure la constante cosmologique. Mais cela faisait longtemps qu'aucun astrophysicien ne s'en préoccupait plus.

Cette constante cosmologique, aussi ap-





La contradiction

En observant la fuite des galaxies (ci-dessus NGC 1232), Hubble montra, en 1929, que notre univers n'était pas statique, comme le pensait Einstein, mais qu'il ne cessait, au contraire, de s'étendre.

CALTECH/CIEL & ESPACE

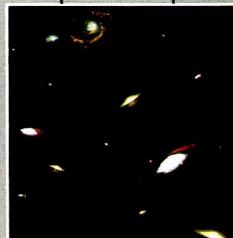
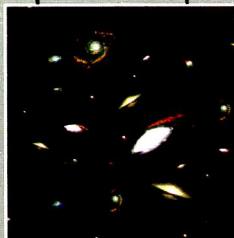
pelée "énergie du vide", était née en 1917 des réflexions d'Einstein. A l'époque, il était persuadé que l'Univers était statique. Il avait introduit la constante dans son équation de la relativité générale pour compenser l'effet de la gravitation, et éviter qu'il ne s'écrase sur lui-même. Quand l'astrophysicien Hubble, en 1929, montra, grâce à ses observations, que l'Univers était en expansion, la constante n'avait plus de raison d'être. Einstein la considéra alors comme la plus grosse "bourde" de sa vie, et elle tomba en disgrâce.

Et voilà que cette mystérieuse constante, soixante-dix ans plus tard, revient sur le devant de la scène. En l'incluant dans leurs équations, les astrophysiciens ont

Einstein

LE DESTIN DE L'UNIVERS

15 milliards d'années d'expansion



A sa naissance, lors du big bang, l'Univers était très dense et très chaud. Depuis, il se dilate et refroidit : il est en expansion. La distance qui sépare deux galaxies (facteur d'échelle) augmente constamment.

Les trois scénarios sans constante cosmologique

L'évolution de l'Univers ne dépend que de la densité de matière qu'il renferme.

AUJOURDHUI
(15 MILLIARDS D'ANNÉES)

1 UNIVERSE FERMÉ

Si la densité de matière est supérieure à une certaine densité critique (5 atomes d'hydrogène par mètre cube), la gravitation reprend le pas sur l'expansion. L'Univers se contracte et s'effondre sur lui-même. Il se produit alors un "big crunch", phénomène inverse du big bang.

Big crunch

Big bang

Expansion ralentie

2 UNIVERSE PLAT

Si la densité de l'Univers est à peu près égale à la densité critique, l'expansion ralentit indefiniment, sans jamais s'arrêter.

FACTEUR D'EXPANSION DE L'UNIVERS

$$\frac{R''}{R^2} - \frac{k}{R^2} = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3}$$

L'équation de la relativité générale

G = constante de gravitation

R = facteur d'échelle (distance entre deux galaxies)

ρ = densité de matière

λ = constante cosmologique

k donne le signe de la courbure

Si $\lambda = 0$ et $k = 1$, l'Univers est fermé (big crunch) – scénario 1.

Si $\lambda = 0$ et $k = 0$, l'Univers est plat (c'est l'hypothèse favorite des physiciens) – scénario 2.

Si $\lambda = 0$ et $k = -1$, l'Univers est ouvert – scénario 3.

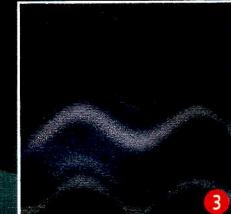
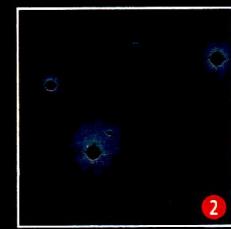
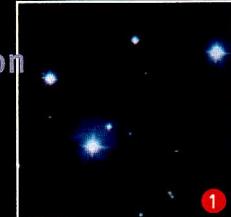
Si $\lambda > 0$, l'Univers est en expansion accélérée – nouvelle hypothèse.

Les étapes d'une expansion accélérée

Aujourd'hui, les étoiles brillent grâce à des réactions nucléaires qui ont lieu dans leur cœur ①.

Dans vingt milliards d'années, toutes les étoiles auront épuisé leur combustible, elles mourront ②.

Dans 10^{33} années, les éléments qui constituent la matière devraient se désintégrer : il ne resterait que de la lumière. L'expansion de l'Univers serait alors exponentielle ③.



Expansion infinie

Big bang

3 UNIVERS OUVERT

Si la densité de matière est plus petite que la densité critique, l'Univers continue son expansion à l'infini.

Le nouveau scénario avec constante cosmologique

L'évolution de l'Univers dépend non seulement de la densité de matière qu'il renferme, mais aussi de la densité d'énergie du vide (ou constante cosmologique).

Expansion exponentielle

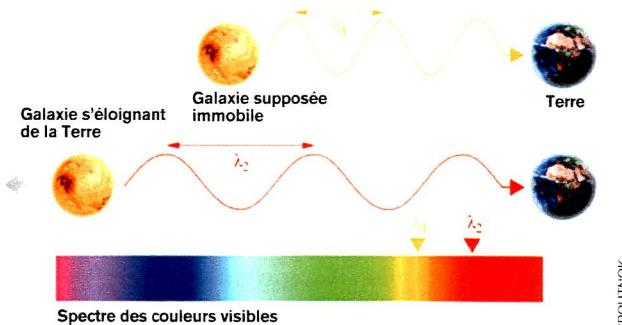
Big bang

UNIVERS PLAT, EXPANSION ACCÉLÉRÉE

Les effets de la densité d'énergie du vide – deux fois plus grande que la densité de matière – surpassent ceux de la gravitation, et les galaxies s'écartent. L'expansion de l'Univers s'accélère indéfiniment.



Einstein



Repérage galactique

Au fur et à mesure qu'une galaxie s'éloigne de nous, sa vitesse augmente et sa lumière arrive sur Terre avec une longueur d'onde (λ) de plus en plus grande. Dans le spectre des couleurs visibles, la couleur de la galaxie nous parvient donc décalée vers le rouge. Plus ce décalage (redshift) est grand par rapport à la longueur d'onde de référence, plus la galaxie est loin de nous.

enfin obtenu des résultats qui n'étaient plus aberrants. Mais, à la fin de leurs calculs, nouvelle surprise : l'expansion de l'Univers n'était pas en train de ralentir, mais bien au contraire de s'accélérer ! Car la constante cosmologique représentait une densité d'énergie deux fois plus importante que la densité d'énergie de la matière !

30 % DE MATIÈRE, 70 % D'ÉNERGIE

Cela voudrait dire que la matière – celle des chaises et des tables comme celle des étoiles – ne représenterait qu'une petite partie de ce que renferme l'Univers, à peine 30 % de son contenu. Le reste, c'est-à-dire environ 70 %, existerait sous la forme d'une énergie invisible, qui tend à dilater l'Univers. Celui-ci devrait donc continuer son expansion indéfiniment.

Le 1^{er} janvier 1998, l'équipe du Supernova cosmology project publiaient dans la revue *Nature* l'étude détaillée de la supernova la plus lointaine jamais observée. Cette étoile a explosé il y a sept milliards d'années, alors que l'Univers avait environ la moitié de son âge !

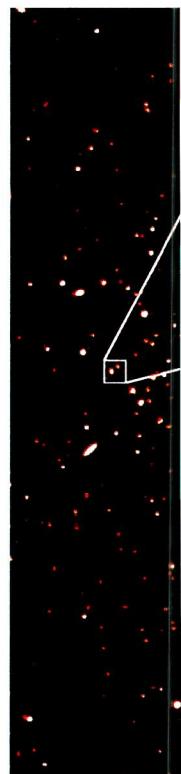
Au fil des mois, le nombre de supernovae découvertes est devenu si élevé que les astrophysiciens ont décidé de leur donner des surnoms. En octobre dernier, l'équipe a pointé le télescope Keck II (à Hawaii) sur une supernova qui semble avoir explosé il y a 10 milliards d'années. Saul Perlmutter l'a baptisée Albinoni, du

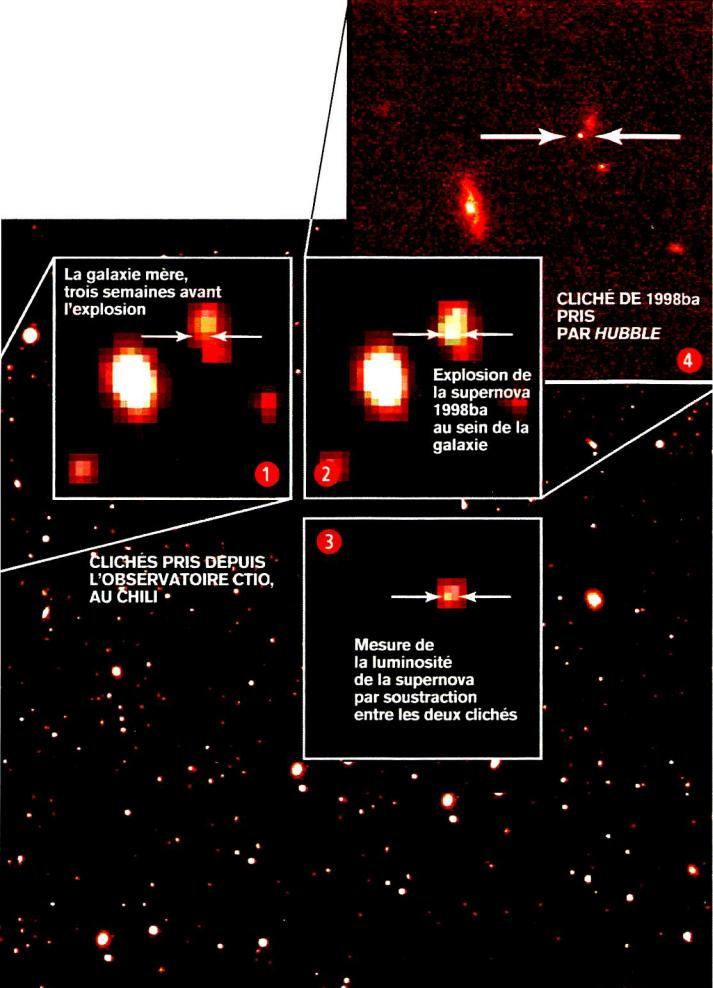
nom du compositeur italien (1671-1750), ce qui est tout de même plus facile à retenir que SN 1998eq ! En décembre, 42 supernovae avaient été étudiées.

Pendant ce temps, Brian Schmidt et le High-z supernova team concluaient eux aussi que l'expansion de l'Univers était en train de s'accélérer. Les dix supernovae qu'ils avaient étudiées se trouvaient à des distances de 10 à 15 % plus grandes que ce qui était prévu avec une théorie sans constante cosmologique. « Longtemps, les deux équipes ne se sont pas parlé, se souvient Pierre Astier. Elles ont utilisé des logiciels différents, des méthodes de photométrie concurrentes, des supernovae distinctes. Et, finalement, elles sont arrivées à la même conclusion. » Visiblement, ces résultats ne sont donc pas le fruit du hasard.

Dans le monde de l'astrophysique, cette découverte a provoqué la stupeur. À chaque nouvelle conférence sur le sujet, Saul Perlmutter et Brian Schmidt sont assaillis de questions. Lors du dernier colloque d'astrophysique de l'année, le XIX^e Texas Symposium, qui s'est tenu à Paris en décembre, ils ont répondu ensemble aux interrogations des astrophysiciens. Nombreux sont ceux qui voulaient trouver une faille dans les résultats. Quelles erreurs auraient-ils bien pu commettre ?

Peut-être les supernovae ont-elles évolué avec le temps ? Dans ce cas, les plus lointaines n'émettraient pas exactement la même quantité de lumière que les plus proches. « Pour être certain que les supernovae soient les mêmes, il faudrait en prendre une sur notre dos et la transporter à sept milliards d'années-lumière ! » plaisante Pierre Astier. Plus sérieusement, il poursuit, « les astrophysiciens sont pratiquement certains que les supernovae n'ont pas évolué, car leurs spectres sont remarquablement identiques. »





tées par les deux équipes d'astrophysiciens. Mais, pour affiner leurs données et supprimer définitivement tout risque d'erreur, il leur faudra étudier entre 500 et 1000 supernovae.

Du côté des théoriciens, ces résultats expérimentaux sont plutôt bien accueillis. D'une part, ils diminuent l'importance de la matière : il n'est donc plus la peine de chercher de grandes quantités de matière noire pour expliquer le comportement de l'Univers. D'autre part, considérer la constante cosmologique comme nulle posait de réels problèmes théoriques. Jean Iliopoulos, physicien au département de physique théorique de l'École normale supérieure, confirme : «En tant que théoriciens, le fait que la constante cosmologique ait une valeur ne nous choque pas. Nous avons maintes fois tenté de prouver qu'elle était nulle, et nous n'y sommes jamais arrivés. Toutefois, il faut rester prudent sur les valeurs trouvées, car ce travail expérimental est encore préliminaire.»

LES FLUCTUATIONS DU VIDE

Mais, si cette constante cosmologique existe bel et bien, quel est le phénomène qui se cache derrière elle ? Pour le moment, personne ne le sait vraiment. Les physiciens interprètent la constante cosmologique comme une densité d'énergie du vide (voir *Science & Vie* n°970, p. 55). Cette notion peut paraître étrange pour un profane, mais les spécialistes s'en accommodent fort bien. Jean Iliopoulos précise : «Il faut bien comprendre que le mot "vide" en physique veut dire "sans matière", mais pas forcément "sans rien du tout"». Et Pierre Astier de compléter : «Même dans une zone où il n'y a pas de matière, le simple fait qu'il pourrait y en avoir suffit pour "fabriquer" de la constante cosmologique. Cette probabilité de présence de particules crée des fluctuations du vide qui sont mesurables.»

L'un des enjeux de la physique des prochaines décennies sera donc de comprendre comment cette énergie du vide peut surpasser la gravitation et entraîner l'Univers dans une expansion infinie. Saul Perlmutter et Brian Schmidt, eux, sont déjà retournés à leur télescopes. ■

Naissance d'une supernova

Trois semaines avant l'événement, le télescope de l'observatoire CTIO (au Chili) ne détecte que la galaxie ①. Puis c'est l'explosion : la supernova, qui sera baptisée 1998ba, devient aussi brillante que sa "mère" ②. Sa luminosité peut être calculée par soustraction entre les deux clichés ③. Le télescope spatial Hubble a lui aussi réalisé un cliché de 1998ba ④, dont la finesse est dix fois supérieure à celle des photos prises depuis la Terre.

La lumière des supernovae aurait-elle pu être affaiblie par le gaz contenu dans leur galaxie de naissance ? Si une supernova est masquée par sa galaxie, nous le savons immédiatement, car son spectre varie légèrement. Plusieurs étoiles ont été abandonnées car elles n'avaient pas la bonne couleur», confirme Pierre Astier.

La lumière des supernovae aurait-elle pu être amplifiée par des lentilles gravitationnelles disséminées dans l'Univers ? En effet, d'après la théorie de la relativité générale d'Einstein, les objets très massifs peuvent déformer l'espace au point de dévier la lumière vers eux, et devenir des "lentilles gravitationnelles". Mais Pierre Astier exclut aussi cette éventualité : «Il faudrait beaucoup de lentilles gravitationnelles pour modifier de façon significative la luminosité des supernovae. Et cela ne correspond pas à la densité de matière que l'on observe.» Toutes les incertitudes semblent avoir été méticuleusement écar-



Einstein

L'ultime épreuve de la relativité générale

La théorie de la gravitation d'Einstein a toujours résisté aux tests qui la mettaient en doute.

Les physiciens la poussent aujourd'hui dans ses derniers retranchements en vérifiant ses prédictions sur des phénomènes très violents, à la limite de notre galaxie.

Depuis plus de quatre-vingts ans, elle décrit la chute des pommes et le mouvement des étoiles avec une précision inégalée. Depuis qu'Einstein, un jour de 1916, a finalisé ses équations, la théorie de la relativité générale n'a pas pris une ride. Il y quelques mois, elle a été soumise à un ultime test : Pouvait-elle prévoir le mouvement d'un objet situé aux confins de notre galaxie, un pulsar binaire (deux étoiles à neutrons en rotation l'une autour de l'autre) découvert, il y a vingt-cinq ans, à 30 000 années-lumière de notre planète ? La réponse vient d'être donnée par l'astrophysicien Michael Kramer, du Max Planck Institut für radioastronomie de Bonn (Allemagne) : les plus infimes déviations du pulsar PSR 1913+16 concordent avec la théorie d'Einstein.

La ronde du pulsar

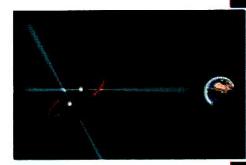
La relativité générale prévoyait que les pulsars binaires (systèmes de deux étoiles à neutrons) ne tournaient pas toujours dans le même plan. Effectivement, l'astrophysicien Michael Kramer vient d'observer que l'axe de rotation du pulsar PSR 1913+16 se décalait légèrement dans le temps.

Et pourtant, nombreux sont les physiciens qui ont tenté de trouver des faiblesses à cette théorie de la gravitation. Parmi eux, le Français Thibault Damour, professeur à l'Institut des hautes études scientifiques, et l'Américain Joseph Taylor, co-découvreur du fameux pulsar binaire PSR 1913+16 qui lui valut le prix Nobel en 1993. Pour ces deux physiciens, la théo-

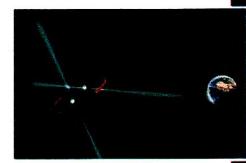
Prédiction vérifiée



En 1940, le pulsar binaire PSR 1913+16 est invisible depuis la Terre : les deux faisceaux d'ondes radio qu'il émet ne sont pas dirigés vers nous.



En 1974, Joseph Taylor découvre le pulsar : les axes des faisceaux ont pivoté, et l'un d'eux est alors dirigé vers la Terre. Pour nous, la luminosité du pulsar est maximale.



Depuis, sa luminosité diminue et, en 2025, PSR 1913+16 aura complètement disparu de notre champ de vision.

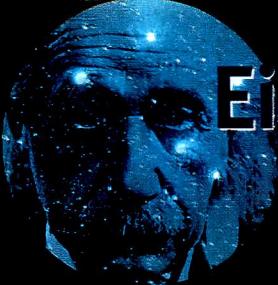
rie de la gravitation d'Einstein est forcément incomplète, car elle aboutit à des impasses.

A Newton, qui voyait la gravitation comme une force instantanée attirant deux corps l'un vers l'autre, Einstein répondit qu'elle se propageait à une vitesse finie et infranchissable : celle de la lumière. Il expliqua la gravitation comme une déformation de l'espace-temps. Un peu comme un ballon, posé sur un coussin, creuse ce dernier, toute masse crée un champ gravitationnel qui courbe l'espace-temps autour d'elle. Si l'on dépose une balle de ping-pong sur le coussin, celle-ci tombera

ineluctablement vers le ballon, comme si elle était attirée par lui. De la même manière, la Lune "tombe" vers la Terre, et la Terre "tombe" elle-même vers le Soleil.

Mais la relativité générale possède deux inconvénients majeurs : elle reste pour l'instant incompatible avec la seconde grande théorie physique du xx^e siècle, la mécanique quantique, qui règne sur le monde de l'infiniment petit (voir *Science et Vie* n°977, p. 39). Et surtout, elle se heurte à ses propres prévisions, aux phénomènes physiques qu'elle engendre à l'intérieur des trous noirs.

Ces étoiles particulières, véritables monstres prévus la relativité générale (mais encore jamais observés), sont si massifs qu'ils se sont effondrés sur eux-mêmes sous l'effet de la gravitation. Le plus petit trou noir pèse 10 fois la masse du Soleil, alors que son rayon ne dépasse pas 30 km, environ la taille de Paris. L'espace autour d'eux est si déformé que même la lumière, irrésistiblement attirée,

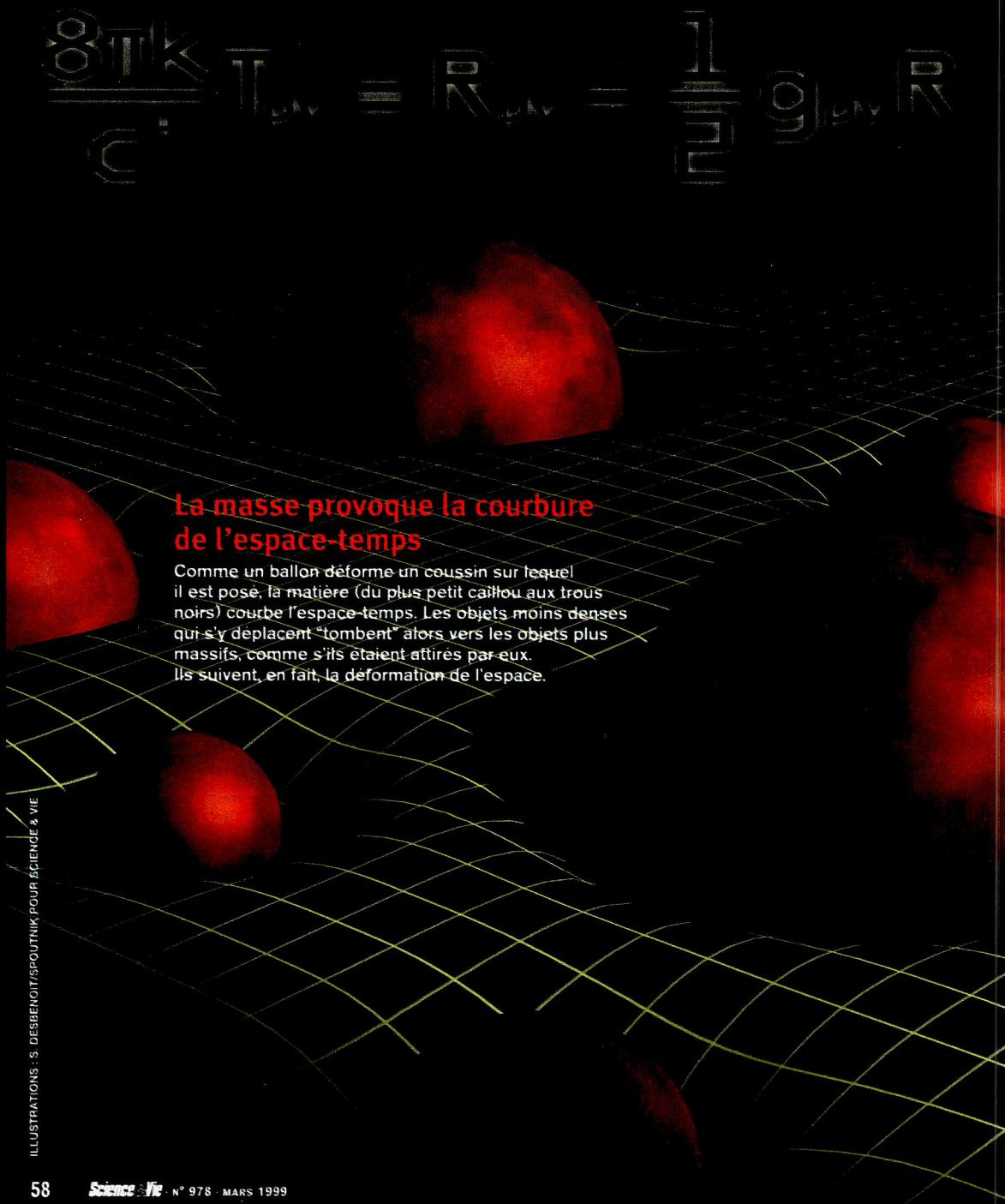


Einstein

UN ESPACE

Masse ou énergie

Courbure



La masse provoque la courbure de l'espace-temps

Comme un ballon déforme un coussin sur lequel il est posé, la matière (du plus petit caillou aux trous noirs) courbe l'espace-temps. Les objets moins denses qui s'y déplacent "tombent" alors vers les objets plus massifs, comme s'ils étaient attirés par eux. Ils suivent, en fait, la déformation de l'espace.

Sous influence

L'équation d'Einstein

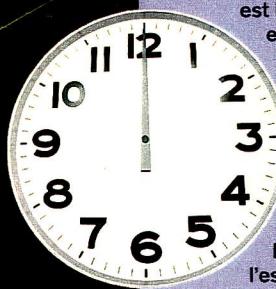
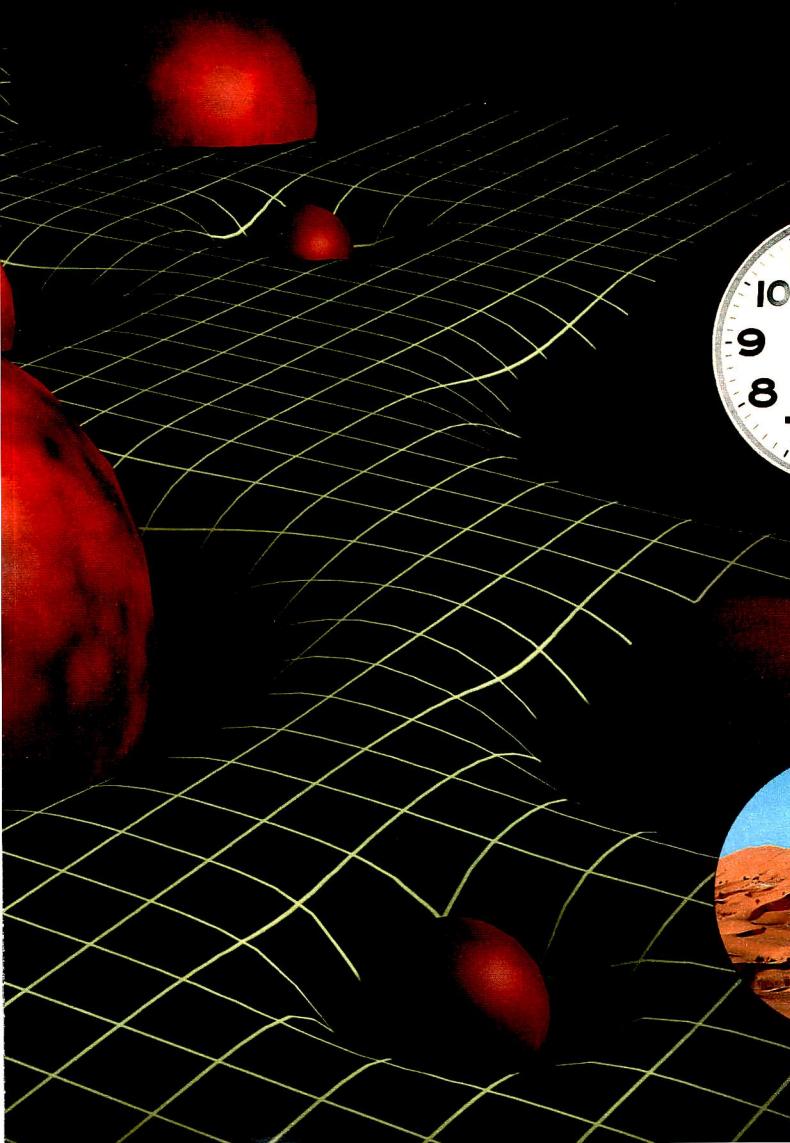
Cette équation, au centre de la théorie de la relativité générale, décrit la gravitation comme une déformation de l'espace-temps. La masse ou l'énergie (terme de gauche) équivaut à une courbure de l'espace-temps (terme de droite).

$$T_{\mu\nu} = \text{tenseur d'énergie-impulsion}$$
$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R = \text{tenseur d'Einstein}$$



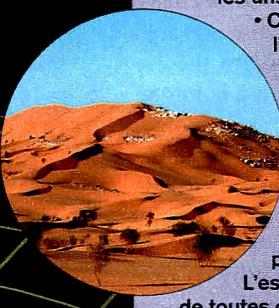
LA THÉORIE DE LA GRAVITATION (NEWTON, 1687)

- La gravitation est une force qui attire deux masses l'une vers l'autre. Ainsi une pomme tombant d'un arbre est attirée par la Terre, et la Terre tournant autour du Soleil est attirée par l'astre.
- La force de gravitation est instantanée. Elle est proportionnelle au produit des deux masses, et inversement proportionnelle au carré de leur distance.
- L'espace préexiste à la matière.



LA RELATIVITÉ RESTREINTE (EINSTEIN ET POINCARÉ, 1905)

- La vitesse de la lumière dans le vide est égale à 300 000 km/s, et cette limite est infranchissable.
- Matière et énergie sont équivalentes selon la célèbre formule $E = mc^2$, où E est l'énergie, m la masse, et c la vitesse de la lumière dans le vide.
- Espace et temps sont intimement liés : l'Univers a donc quatre dimensions (les trois dimensions de l'espace plus celle du temps). Elles constituent l'espace-temps.



LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE (EINSTEIN, 1916)

- Toute masse courbe l'espace autour d'elle. Les objets se déplacent dans cet espace courbe, et "tombent" les uns vers les autres.
- Cette modification de l'espace-temps par la matière se déplace à la vitesse de la lumière.
- L'espace n'existe pas de façon absolue. Chaque corps le modifie et crée de ce fait sa propre géométrie. L'espace est la somme de toutes ces géométries.

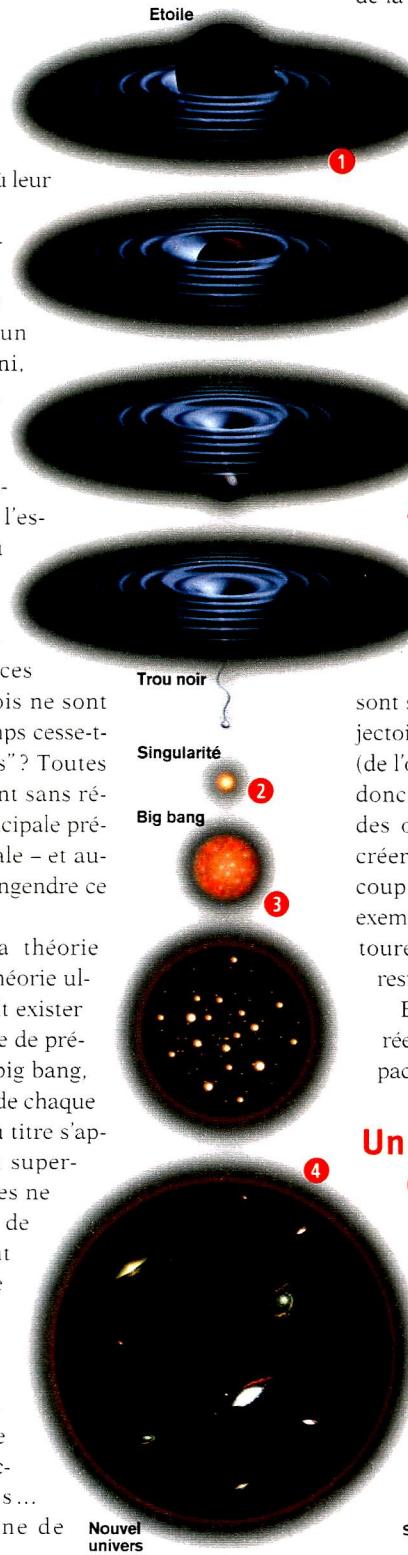


Einstein

ne peut plus s'en échapper, d'où leur nom de trous noirs.

Mais les problèmes théoriques surviennent lorsqu'on entre à l'intérieur : « Au centre d'un trou noir, il n'y a pas un point, mais un espace infini », explique Thibault Damour. Dans cet espace, le temps s'arrête en chaque point. Il se produit un big crunch, c'est-à-dire une contraction de tout l'espace, phénomène inverse du big bang qui a donné naissance à notre Univers ». Seulement voilà, la physique a horreur de ces singularités, de ces murs au-delà desquels ses lois ne sont plus valables. Pourquoi le temps cesse-t-il d'exister ? Y a-t-il un "après" ? Toutes ces questions gênantes restent sans réponse. Même le big bang, principale prédition de la relativité générale – et aujourd'hui accepté par tous – engendre ce type d'interrogations.

Pour Thibault Damour, la théorie d'Einstein n'est donc pas la théorie ultime de la gravitation : « Il doit exister une théorie plus riche, capable de prédire ce qui a eu lieu avant le big bang, et ce qui se passe à l'intérieur de chaque trou noir. » La prétendante au titre s'appelle théorie des cordes (ou supercordes). Selon elle, les atomes ne seraient plus des points mais de petites cordes qui vibreraient dans l'espace. Cette théorie permettrait d'unir à la fois la gravitation, la mécanique quantique, et toutes les autres forces (électromagnétique, nucléaire forte, et nucléaire faible). Une bien belle perspective pour les physiciens... Mais pour l'instant, aucune de



ses prédictions n'a jamais été observée.

En revanche, la plupart des prévisions de la théorie d'Einstein ont bien été vérifiées. A commencer par la déflexion de la lumière lorsqu'elle passe au voisinage du Soleil. Vérifiée par Arthur Eddington en 1919 lors d'une éclipse du Soleil, cette déflexion vient d'être affinée au dix-millième près par Irwin Shapiro et son équipe du Center for astrophysics de Harvard (Massachusetts). De même, l'orbite de la Lune autour de la Terre répond parfaitement aux prédictions de la relativité générale, au millième près.

A L'ÉPREUVE DES CHAMPS GRAVITATIONNELS INTENSES

Pourtant, ces vérifications ne satisfisaient pas Thibault Damour. Car, dans notre système solaire, les champs gravitationnels sont si faibles que leurs effets sur la trajectoire des planètes sont infinitésimaux (de l'ordre du cent-millionième). Il fallait donc tester l'efficacité de la théorie sur des objets plus lointains, capables de créer des champs gravitationnels beaucoup plus intenses. Les trous noirs, par exemple, modifieraient l'espace qui les entoure de 100 %. Mais pour l'instant, ils restent encore spéculatifs.

En revanche, il existe des objets bien réels et très massifs, qui déforment l'espace avoisinant d'environ 40 % : les pul-

Un nouvel univers dans chaque trou noir ?

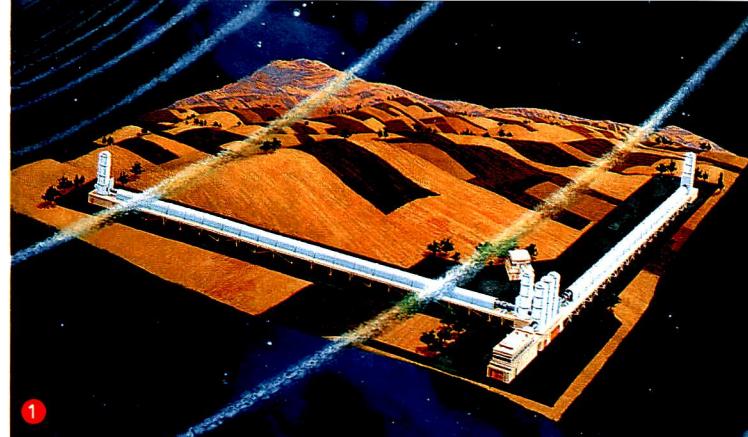
Un trou noir ① est une étoile si massive qu'elle s'effondre sur elle-même sous l'effet de la gravitation, créant une singularité ② – un "big crunch", phénomène inverse du big bang. Selon le physicien Thibault Damour, cette singularité pourrait engendrer un big bang ③, et donner ainsi naissance à un nouvel univers ④. Notre propre Univers serait donc peut-être issu d'un trou noir situé dans un premier univers.

sars binaires. Ces véritables phares de l'Univers sont de formidables horloges de précision pour tester la relativité générale.

Un pulsar binaire est en effet un couple d'étoiles à neutrons très massives, qui tournent rapidement l'une autour de l'autre. Ces "boules de neutrons" émettent un faisceau d'ondes radio qui tourne à la même vitesse qu'elles. A chaque fois qu'il est dirigé vers nous – toutes les soixante millisecondes environ – nous recevons un signal. Tout comme nous verrions la lumière d'un phare qui nous arriverait, périodiquement, dans les yeux. Selon la théorie d'Einstein, l'attraction entre les deux étoiles n'est pas instantanée, ce qui a pour effet de raccourcir leur période orbitale : elles tournent donc de plus en plus vite. Dès 1982, Thibault Damour a calculé cet effet, puis les observations de Joseph Taylor l'ont vérifié au millième près.

Mais l'ultime vérification, à paraître dans *the Astrophysical Journal*, a été réalisée en août dernier par un astrophysicien allemand, Michael Kramer. Dès 1974, Thibault Damour et Remo Ruffini, son collaborateur de l'époque, avaient prédit que le pulsar découvert par Joseph Taylor n'allait pas rester éternellement visible. D'après la relativité générale, son axe de rotation devait changer de direction. Cela voulait dire qu'un jour, le pinceau d'ondes sortirait de notre ligne de visée, et nous ne verrions plus rien. Et, en effet, Michael Kramer vient de constater que le signal commençait à faiblir. Selon ses calculs, le pulsar était invisible avant 1940. Lorsqu'il a été découvert, en 1974, son signal était alors maximal, et en 2025, il aura complètement disparu.

Toutes les vérifications expérimentales ont montré que la relativité générale suffisait à expliquer les phénomènes les plus variés, du mouvement de la Lune à la rotation des pulsars. Faut-il encore essayer de vérifier expérimentalement une autre théorie, plus complète, comme celle des cordes ? « Oui, répond sans hésiter Thibault Damour. Dans trois ou quatre ans, deux grands interféromètres terrestres,

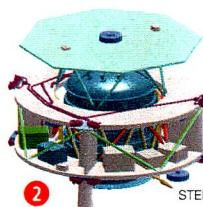


1

MANCHU/CIEL & ESPACE

Les deux rendez-vous du XXI^e siècle

Dans quatre ans, le grand interféromètre européen Virgo ①, construit près de Pise, en Italie, tentera d'entendre des ondes gravitationnelles émises par les trous noirs. Puis en 2004, un satellite devrait emporter le dispositif STEP ②, afin de vérifier le principe relativiste de la chute des corps. Avec ces deux tests, la théorie d'Einstein sera définitivement sacrée.



2

l'un européen, Virgo, et l'autre américain, Ligo, seront prêts à recueillir les premiers signaux des trous noirs prévus par la théorie : les ondes gravitationnelles. Et puis, il reste un test fondamental de la gravitation à réaliser : celui de la chute des corps. » Einstein expliquait ce concept en utilisant l'image d'un ascenseur : si vous êtes dans un ascenseur dont le câble lâche, alors vous tombez avec la même accélération que lui. La théorie des cordes dit, au contraire, que l'accélération d'un objet varie suivant sa masse et sa nature.

EN CHUTE LIBRE

« Nous pourrions envoyer, à bord d'un satellite qui tournerait autour de la Terre, un petit dispositif comprenant deux objets différents, libres de leurs mouvements, explique Thibault Damour. » En effet, si le satellite est en orbite, c'est en quelque sorte qu'il "tombe" sur la Terre, et donc les deux corps tombent aussi. « Si l'un des corps se déplace par rapport à l'autre, alors il tombe plus vite, et il faudra modifier la théorie de la gravitation. Si aucun ne bouge, nous aurons vérifié la théorie d'Einstein avec une précision un million de fois supérieure à celle permise par les tests actuels. Ce qui sera un bond en avant exceptionnel. »

Si tout se passe bien, le projet STEP (Satellite test of the equivalence principle), réalisé par la NASA, l'ESA, et le CNES, devrait s'envoler avec son satellite en 2004. La théorie d'Einstein résistera-t-elle à cette nouvelle épreuve ? Réponse dans cinq ans. « Toutefois, ajoute Thibault Damour, même s'il faut modifier la relativité générale, ces changements seront infimes. » Difficile d'ébranler un monument. ■

Pour quelques cailloux martiens

En 2005, pour la première fois, des échantillons du sol martien seront rapportés sur Terre. C'est la France qui fournira le vaisseau chargé de récupérer la collecte et de la convoyer jusqu'à nous.



④

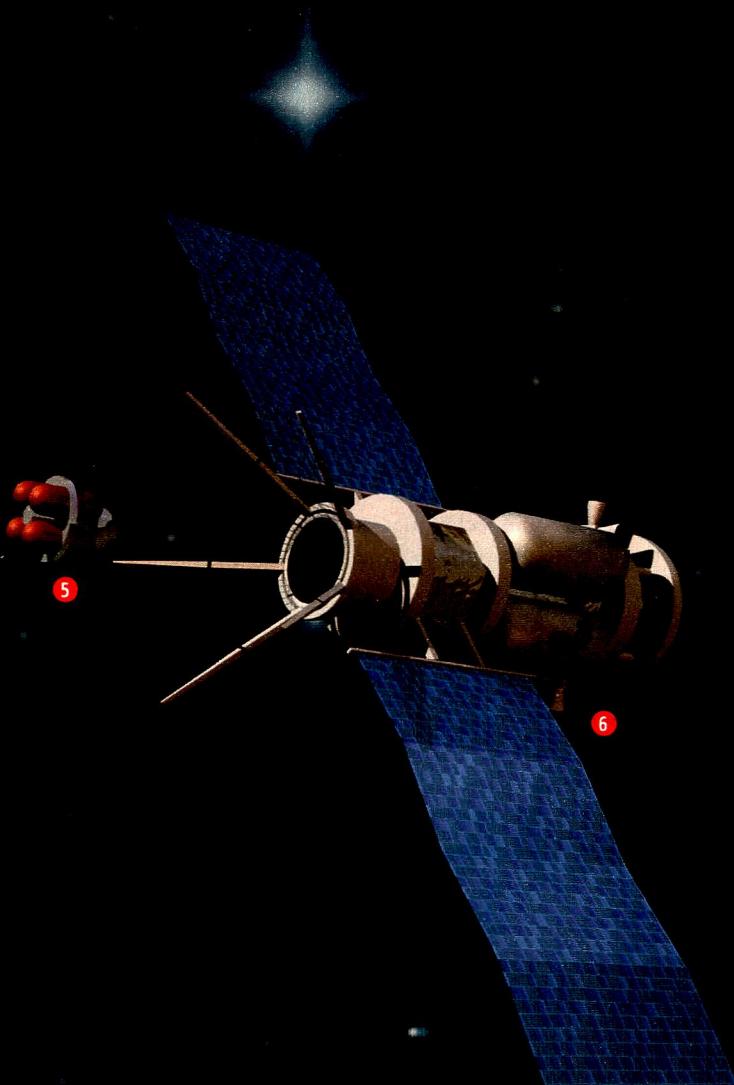


Après la perte accidentelle du vaisseau automatique *Mars Observer* en août 1993, la NASA avait annoncé qu'elle saisirait chaque "fenêtre martienne" pour expédier vers la planète rouge deux nouvelles sondes. En effet, pour des raisons de mécanique céleste, tous les deux ans s'ouvre une période de quelques semaines favorable aux lancements vers Mars.

Et la cadence est tenue. Après *Mars Global Surveyor* et *Mars Pathfinder* fin 1996, viennent de s'élancer *Mars Climate Orbiter* et *Mars Polar Lander*, respectivement les 11 décembre 1998 et 3 janvier 1999. En 2001, 2003 et 2005, d'autres salves de deux missions, chaque fois plus ambitieuses, partiront arracher quelques secrets à ce monde voisin. Simultanément, l'Agence spatiale européenne (ESA) s'est engagée dans l'exploration martienne avec une sonde, *Mars Express*, dont le départ est programmé pour 2003. Enfin, la France, par l'intermédiaire du CNES (Centre national d'études spatiales), a fait une entrée en lice remarquée avec une participation déterminante aux missions américaines de collecte et de retour d'échantillons prévues pour 2005.

Avec cette armada de vaisseaux automatiques, l'exploration de Mars entre dans sa phase intensive. Et, bien qu'aucune agence spatiale ne l'évoque ouvertement cette fois, il se pourrait qu'elle débouche plus vite que prévu (à partir de 2013) sur l'envoi d'un premier équipage humain sur la planète rouge...

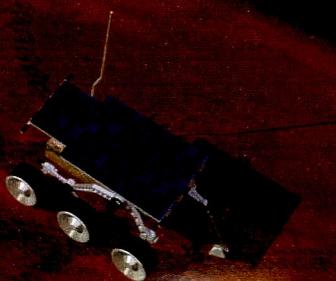
Mars Climate Orbiter aura pour tâche, dès son arrivée en septembre prochain, d'étudier le climat martien depuis une orbite



Un voyage en deux temps

En 2003, un vaisseau ① se posera sur Mars; il libérera un robot mobile ② chargé de collecter des échantillons du sol.

Ceux-ci seront déposés dans une capsule qui sera elle-même placée dans une mini-fusée prévue pour satelliser les précieux cailloux. Deux ans plus tard, une mission similaire aura lieu ③. Et une nouvelle mini-fusée ④ satellisera une deuxième capsule d'échantillons ⑤. Alors un vaisseau automatique français ⑥ viendra récupérer les deux capsules pour les conduire sur Terre.



quasi polaire à 400 km d'altitude. Comme sur *Mars Global Surveyor*, déjà en orbite martienne depuis l'été 1997, une caméra couleur fournira des images permettant d'observer le sol et les nuages de l'atmosphère de Mars. Un second instrument, déjà embarqué sur la défunte *Mars Observer* enregistre les profils de températures de l'atmosphère ainsi que la présence de vapeur d'eau du sol jusqu'à 80 km d'altitude.

« Mars est intéressante parce, dans le passé, elle a ressemblé à la Terre », dit François Forget, spécialiste de climatologie martienne au laboratoire de météo dynamique (CNRS), à Paris. Comprendre son climat actuel est la première des

choses à faire pour comprendre son climat passé – dont de nombreuses informations nous sont déjà données par la géologie. Certains modèles de météo terrestre ont d'ailleurs déjà pu être améliorés en comparant les observations des deux planètes. »

UNE TRAJECTOIRE LIÉE À LA DENSITÉ DE L'ATMOSPHÈRE

En outre, la compréhension du climat et de l'atmosphère martiens revêt une importance particulière pour les futures missions d'exploration. Certaines sondes circuleront, en effet, leur orbite par aérofreinage, comme l'a fait *Mars Global Surveyor*. Une technique qui consiste à freiner l'engin de

manière à lui faire baisser le point le plus haut de son orbite en lui faisant frôler les hautes couches de l'atmosphère. Or, il est apparu qu'en fonction de la météo la densité de la haute atmosphère peut varier et modifier sensiblement la trajectoire du vaisseau.

Quant à *Mars Polar Lander*, ce module d'atterrissement de 615 kg se posera à proximité de la calotte polaire sud en décembre prochain, c'est-à-dire à la fin du printemps martien. Comme *Mars Pathfinder*, elle entrera directement dans l'atmosphère comme un boulet de canon, sans satellisation préalable. Mais cette fois, point d'air bag pour amortir la chute : la NASA aura recours à des rétrofusées. Auparavant, deux grosses sphères métalliques seront larguées et iront se fixer dans le sol. Leur partie inférieure est sensée s'enfoncer de 2 m sous la surface et analyser les roches. Les données

Objectif Mars

Tous les deux ans, lors de la « fenêtre martienne », des sondes seront lancées vers la planète rouge, pour des études essentiellement climatiques et minéralogiques. Certaines se poseront, d'autres resteront en orbite. Dès 2005, des échantillons de sol seront expédiés vers la Terre, l'opération sera renouvelée en 2009 et en 2015.

Années

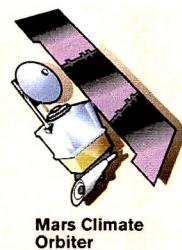
1998 et 1999

2001

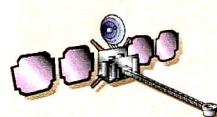
2003

2005

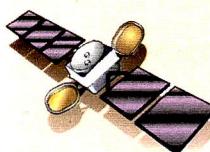
EN ORBITE AUTOUR DE MARS



Mars Climate Orbiter



Mars Surveyor Orbiter



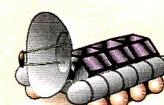
Mars express



Micro-mission (satellite de télécommunication)

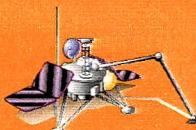


Vaisseau rapportant des échantillons

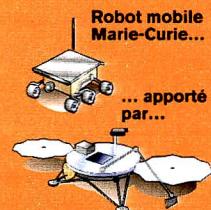


Micro-mission (satellite de télécommunication)

SUR LE SOL MARTIEN



Mars Polar Lander

Robot mobile Marie-Curie...
... apporté par...

... Mars Surveyor Lander

Robot collecteur d'échantillons
... apportés par...
Fusée Mini-MAV

... un module de surface

Robot collecteur d'échantillons
... apportés par...
Fusée Mini-MAV

... un module de surface

ainsi mesurées seront transmises à la Terre par l'intermédiaire de *Mars Global Surveyor*.

Le module principal quant à lui, prendra des clichés de paysages martiens totalement inconnus. Il est muni d'un bras mécanique qui lui permettra de collecter des échantillons et de déterminer notamment s'ils contiennent du CO₂ ou de la glace. Enfin, un lidar, de fabrication russe, effectuera des tirs laser vers le ciel de manière à fournir des informations sur la quantité de poussière contenue dans l'atmosphère.

Mars Polar Lander aura cessé d'émettre depuis plus d'un an lorsque deux nouvelles sondes décolleront pour la même destination en mars et avril 2001. Au programme, *Mars Surveyor Orbiter*, dont le but sera de faire de la minéralogie de surface à haute résolution depuis son orbite, et un module très ressemblant à *Mars Polar*

Lander, appelé *Mars Surveyor Lander*. Il devait initialement emporter avec lui un robot mobile sur roues – un rover – d'un gabarit supérieur à *Sojourner* qui avait exploré les environs du point d'atterrissement de *Mars Pathfinder* en 1997. En fait, il déployera le modèle de rechange de *Sojourner*, baptisé *Marie-Curie*, qui effectuera une mission identique.

échantillons sur Terre. Mais cette mission n'a de sens que par rapport aux lancements prévus en 2005. En effet, la France doit alors fournir et lancer le vaisseau automatique qui ira chercher les échantillons collectés et qui les ramènera sur Terre.

Initialement, la NASA avait envisagé dès 2001 l'envoi d'une station de surface qui aurait libéré un gros

La connaissance du climat martien permet d'améliorer les modèles de météo terrestre

La grande offensive terrienne vers Mars commencera véritablement en 2003. Non seulement l'Europe entrera dans la danse avec un satellite chargé de parfaire la connaissance minéralogique de la planète, mais en plus les Etats-Unis lanceront leur première mission destinée à rapporter des

rover de 100 kg baptisé Athéna. Ce dernier aurait parcouru au moins 10 km tout en collectant des roches. Une fois son exploration terminé, il aurait attendu qu'un nouveau module lancé en 2005 vienne se poser juste à côté de lui, récupérer les échantillons et redécoller à destination de la Terre.

2007

2009

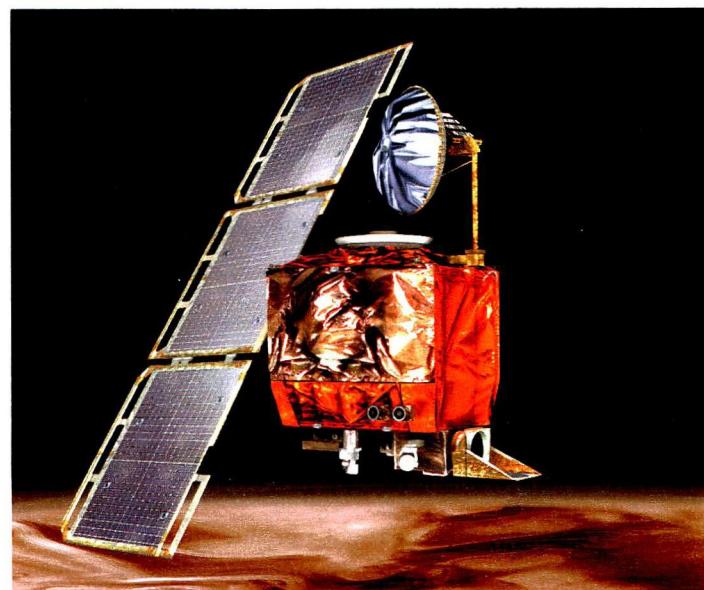
2011

2013



Mais cela supposait une très grande précision d'atterrissement, ce qui rendait la mission très complexe... Ce qui se traduisait aussi par un dépassement des coûts pour la NASA. « Dès 1993, le CNES a été abordé par la NASA en vue de fournir une fusée Ariane 5 à 800 millions de francs pour l'un de ces lancements, rappelle Francis Rocard, responsable de l'exploration planétaire au CNES. Mais la France ne voulait pas se cantonner à la seule fourniture de la fusée. Nous avons donc étudié un programme comportant un satellite autour de Mars. » Les choses en sont restées là jusqu'à ce que la NASA revienne à la charge et qu'à l'été 1998 naîsse le nouveau concept de retour d'échantillons.

La station au sol de 2003 déployera bien un rover de type Athéna. Mais au lieu de s'éloigner de 10 km, il effectuera plusieurs petits trajets à quelques dizaines de mètres du module et reviendra à chaque reprise livrer sa récolte de roches. Une fois complète, celle-ci sera placée à bord d'une capsule qui une petite fusée baptisée Mini-MAV (pour Mini-Mars Ascent Vehicle) ira satelliser sur une orbite martienne circulaire à 600 km d'altitude. « Le Mini-MAV est très rustique, précise Francis Rocard. Il utilise une tech-



Parti en éclaireur

En septembre, Mars Climate Orbiter, satellisé autour de la planète rouge, commencera à recueillir des données sur son atmosphère et sur son évolution climatique. Une connaissance indispensable aux futures manœuvres d'aérocapture que devront effectuer certaines sondes.

contenant 200 g d'échantillons. »

Une fois satellisée autour de Mars, la capsule attendra que son vaisseau de retour lui soit envoyé. Celui-ci, donc entièrement construit par la France, sera lancé en 2005 par une fusée Ariane 5. Le

fera donc office de bus en récupérant en orbite les deux capsules, celle de 2003 et celle de 2005. Mais l'opération se révèle difficile. « Si pour satelliser le vaisseau de retour on choisit une technique classique de freinage à l'aide d'un moteur, l'ensemble sera trop lourd et même Ariane 5 ne pourra pas envoyer les deux sondes vers Mars, note Francis Rocard. Nous avons donc opté pour une technique encore jamais expérimentée autour de Mars : l'aérocapture. Elle consiste tout simplement à réaliser la satellisation par un freinage de la sonde dans l'atmosphère de Mars. »

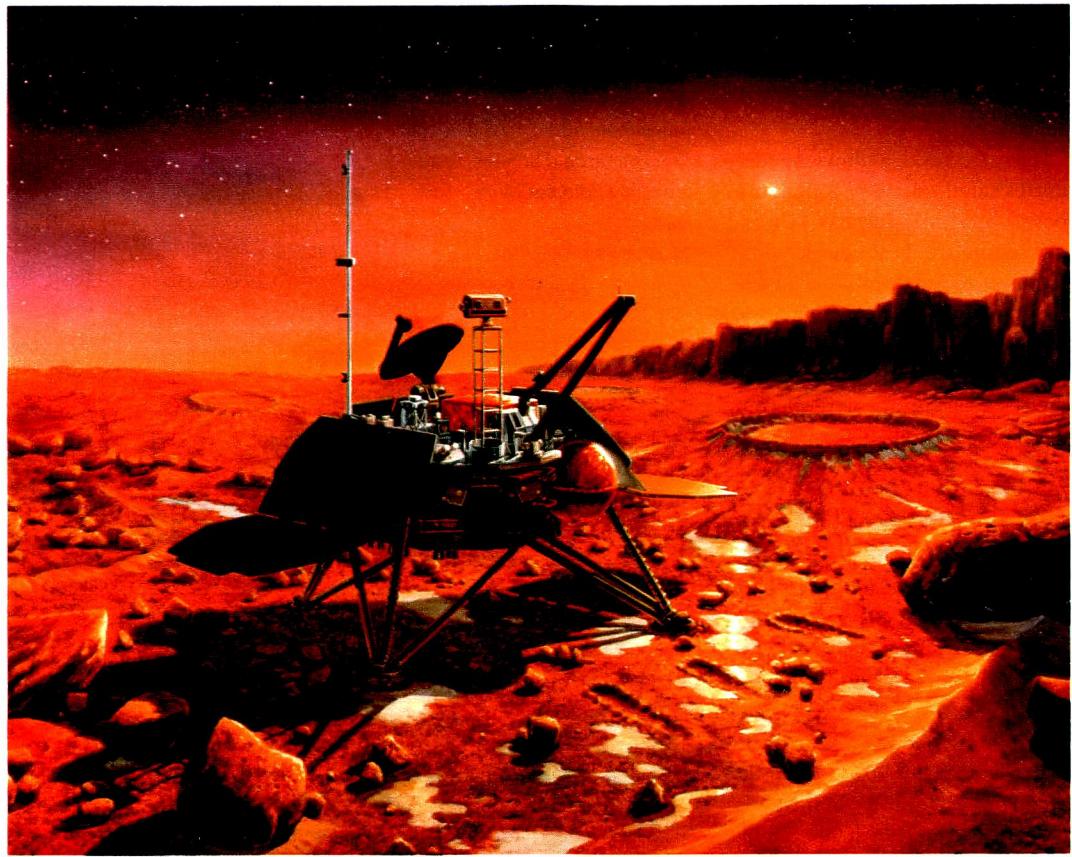
Jusque-là, seul *Mars Global Surveyor* a eu l'occasion de se frotter à l'atmosphère martienne. Et encore cela n'était-il juste que pour circuler sur son orbite, la capture ayant été réalisée par un allumage de moteur. La France fait par conséquent le pari de réussir du premier coup une manœuvre jamais tentée par une agence spatiale. Lors du deuxième lancement d'Ariane 5, le 21 octobre 1998, le succès de l'expérience de rentrée atmosphérique pilotée automatiquement de la capsule ARD a montré que l'ESA et le CNES avaient les moyens de

La France parie de réussir du premier coup une manœuvre jamais tentée

nologie mise au point dans les années 60 par la marine américaine. La fusée se compose de trois étages à poudre dont la stabilisation est assurée par une rotation de la fusée sur elle-même. En revanche, elle ne dispose pas de contrôle d'attitude, ce qui laissera une incertitude sur les paramètres exacts de l'orbite sur laquelle elle placera la capsule de 3 kg et 35 cm de diamètre

lanceur européen, capable d'expédier 5,2 t vers Mars, emportera également avec lui un second module de surface américain identique à celui de 2003 et dont la mission sera en tous points la même. Il se posera, déployera un rover qui collectera des roches et expédiera celles-ci en orbite martienne à l'aide d'un Mini-MAV.

Le vaisseau de retour français



JPL

Lancé vers les espaces glacés

Le vaisseau *Mars Polar Lander* ne se posera pas directement sur la glace permanente de la calotte polaire sud, mais en bordure, sur une zone qui, chaque hiver, se recouvre de gel. Ce sera le premier vaisseau à "atterrir" à de si hautes latitudes sur Mars.

maitriser cette technique qui permettra à la mission de 2005 de gagner une masse de 700 kg.

Si l'aérocapture par un passage en rase-mottes entre 50 et 80 km d'altitude est réussi, encore faudra-t-il gagner un second pari : circuleriser l'orbite à 600 km d'altitude au cours du premier aérofreinage. Il ne manquera plus alors qu'à retrouver les deux capsules d'échantillons. La sonde *Mars Express*, déjà en orbite, aura permis de déterminer exactement la trajectoire des deux containers, soit par repérage optique, soit par radio, soit par les deux. Alors, par de petites corrections, le vaisseau de retour s'approchera successivement de chaque

sphère et les gobera littéralement au moyen d'une sorte d'entonnoir. Un dispositif mécanique ou magnétique évitera tout rebond en cas de rencontre un peu brutale. Puis, par la mise à feu d'un moteur, le vaisseau prendra le chemin du retour sur Terre qu'il atteindra en mai 2008. «La rentrée dans l'atmosphère se fera directement, comme pour les capsules Apollo de retour de la Lune, indique Francis Rocard. L'atmosphère freinera l'engin à 300 km/h et celui-ci viendra percuter le sol à la manière d'une météorite soit en Australie, soit dans le désert de l'Utah.»

Une fois récupérées, les roches martiennes seront mises en qua-

rantine afin d'éviter toute contamination par des organismes inconnus. Puis elles seront stockées, vraisemblablement en France et aux Etats-Unis, où elles resteront à la disposition des scientifiques du monde entier qui feront des propositions d'expériences.

A cette époque, l'exploration de Mars aura déjà considérablement progressé. La sonde *Mars Express* aura complété les cartographies établies précédemment. «Outre l'imagerie haute résolution, cette sonde disposera d'un spectro-imager sans équivalent qui fournira la composition minéralogique du sol, affirme Jean-Pierre Bibring, de l'institut d'Astronomie spatiale, à Orsay. Alors que les instruments de *Mars Global Surveyor* n'ont que 4 km de résolution, celui-ci atteindra les 300 m ponctuellement et 1 km pour une couverture globale.

Une résolution suffisante pour détecter la présence éventuelle de carbonates, ce qui confirmerait l'existence d'une ancienne atmosphère dense de CO₂.»

Mars Express, à l'inverse des autres satellites, ne se contentera pas d'observer la surface. « Un radar permettra de sonder la sous-sol jusqu'à 1 km de profondeur à la recherche de liquide et de glace », poursuit Jean-Pierre Bibring. Et, peut-être, à quelques centaines de mètres de la surface se révéleront des niches favorables à la vie...

MARS CERNÉE PAR UNE CONSTELLATION DE SATELLITES

L'exploration de Mars ne s'arrêtera pas en si bon chemin, en 2005. La NASA et le CNES envisagent déjà sérieusement d'autres missions de retour d'échantillons similaires jusqu'à 2013. Le CNES avance un budget de 2,5 milliards de francs jusqu'en 2012, date du deuxième retour d'échantillons (collectés en 2007 et 2009). Simultanément, la NASA est intéressée par une opportunité offerte par Ariane 5. En effet, la plate-forme qui soutient les satellites commerciaux dans la coiffe peut accueillir, pourvu que les capacités en masse du lanceur ne soient pas déjà atteinte, 8 petits « passagers clandestins » de 100 kg ou 4 de 200 kg et les expédier vers Mars. Si ces charges utiles sont soumises aux contraintes des satellites principaux dont les propriétaires payent le prix fort pour le lancement, la formule présente l'avantage d'être économique : 18 millions de francs pour un module de 200 kg.

Or, la NASA, y voit une occasion d'encercler Mars d'une constellation de satellites de communication, et ce dans un seul but : préparer l'arrivée d'un équipage humain. Déjà, des ingénieurs planchent sur le projet. Car, dans trois ans, les dépenses de développe-

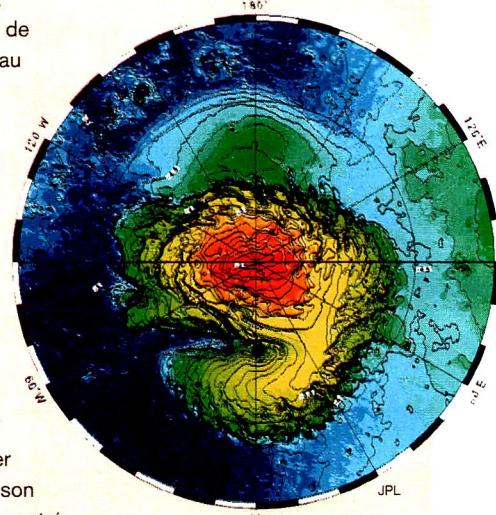
A LA RECHERCHE DE L'EAU NON GELÉE

■ Les astronomes en sont quasiment sûrs : il y a plus de trois milliards d'années, l'eau coulait à flots sur Mars, sans doute au point d'avoir formé des mers.

A la suite de la dispersion de l'atmosphère, cette eau n'a pu se maintenir à l'état liquide. S'est-elle réfugiée sous forme de glace dans la calotte polaire nord ? Les relevés effectués par *Mars Global Surveyor* semblent indiquer que non. En effet, grâce à son altimètre laser, la sonde a montré que l'épaisseur de glace dans cette région était en moyenne de 1 000 m, avec des maxima à 3 000 m. Par ailleurs, cette calotte surplombe les terrains avoisinants par un front d'escarpements

d'environ 1 000 m de hauteur. Le volume de cette calotte constituée essentiellement d'eau glacée est donc compris entre 1,2 million à 1,7 million de km³, ce qui ne représente qu'environ 1 % de l'eau jadis présente sur Mars. Par comparaison, ce volume équivaut à peine à 4 % de celui occupé par la glace en Antarctique.

La question de l'eau martienne reste par conséquent entièrement



Etablie par *Mars Global Surveyor*, cette carte donne les altitudes de la calotte polaire nord de Mars. En rouge, le points les plus élevés, en bleu, les plus bas.

ouverte. Si une partie a pu s'échapper lentement dans l'espace au cours des milliards d'années qui se sont écoulées, il en reste peut-être de grandes quantités dans le sous-sol, sous forme de pergélisol. C'est cette question que va tenter de trancher la sonde européenne *Mars express*, dont le départ est programmé pour 2003.

Gilles Dawidowicz
Philippe Henarejos

ment de la station spatiale internationale vont diminuer. Le budget étant constant, de nouveau grands projets pourront voir le jour. Et Mars figure en bonne place. Un programme utilisant de la technologie éprouvée pourrait démarrer en 2013 par l'envoi d'un cargo à propulsion ionique sur Mars. Il serait rejoint avant 2018 par un équipage de 6 hommes et un autre cargo de sécurité.

A l'aide de rovers, les astronautes exploreront Mars pendant six mois et reviendront sur Terre dans un habitat réduit, décollant après avoir fabriqué sur place son carburant, à la manière du LEM lunaire. Le module américain de 2001 pourrait d'ailleurs contenir une expérience de fabrication de carburant à partir de roches martiennes... Histoire de se tenir prêts... ■

Histoire

Découvertes

GASTRONOMIE

Explorez les Terres secrètes de France en naviguant sur les rivières et les canaux...

CROWN BLUE LINE, une flotte de plus de 480 bateaux entièrement équipés et aménagés tout confort ; 32 modèles faciles à piloter, conçus pour recevoir de 2 à 12 personnes.

EXEMPLE TARIF 99
LE MODELE "RIVIERA"
[POUR 6 PERSONNES]
DE 5480F À 9790F
LA SEMAINE SUIVANT LES PÉRIODES

30^e ANNIVERSAIRE CROWN BLUE LINE

CATALOGUE ET TARIF 99 DISPONIBLES GRATUITEMENT A VOTRE AGENCE DE VOYAGE OU EN RENVOYANT CE BON A DECOUPER A L'ADRESSE CI-DESSOUS.

CROWN BLUE LINE
1er LOUEUR DE BATEAUX FLUVIAUX EN FRANCE

LOCATION SANS PERMIS

**Le Grand Bassin - BP 1201 - 11492 Castelnau-d'Agde Cedex - France
 Tel. (33) 04 68 94 52 72 - Fax (33) 04 68 94 52 73
<http://www.crown-blueline.com> - Email Address : boathols@crown-blueline.com**

De l'or du



Un marché prospère

En deux ans, la multiplication des collectionneurs privés a triplé le prix des météorites (ici, à Prague, un vendeur propose des tectites, roches vitreuses que l'on trouve, notamment, en Bohême).

tombé ciel

L'engouement pour les météorites mobilise collectionneurs et savants. Leur valeur scientifique le dispute à leur valeur marchande : certaines de ces pierres tombées du ciel atteignent des prix... astronomiques !

In'est que 9 heures du matin et le soleil écrase déjà la ville étalée au milieu des cactus du désert de Sonora, bordé par deux chaînes de montagnes mauves. Nous sommes à Tucson (Etats-Unis), à une centaine de kilomètres de la frontière mexicaine, et partout à travers la ville la même scène se répète : les chambres d'une dizaine de motels, toutes louées pour la circonstance, se transforment en boutiques improvisées, tandis que sur les lits juste réfaits, des vendeurs éalent leur marchandise. Ce qu'ils vendent ? Des milliers de cristaux multicolores, disposés sur les couvre-lits, les tables de chevet et les chaises. Au tout début, les amateurs de beaux

cailloux se rassemblaient une fois par an dans une station-service de la périphérie. Le pompiste fermait boutique le temps du "mineral show", pour permettre aux vendeurs d'étaler leurs pierres sur les bidons d'huile transformés en étals improvisés. Cette rencontre annuelle n'ayant cessé de prendre de l'importance, les exposants, venus maintenant des cinq continents, se sont finalement répartis dans plusieurs hôtels, et payent très cher leur chambre-boutique : 15 000 F pour la durée de la foire.

Les météorites, à l'origine, n'intéressaient pas grand monde, à l'exception d'un gamin qui avait grandi là, et dont les parents – des émigrés tchèques – faisaient déjà commerce de minéraux... Robert Haag a 12 ans lorsque Armstrong et Aldrin mettent le pied sur la Lune. Peu après, le jeune homme découvre une météorite exposée dans un planétarium : c'est le coup de foudre. Quinze ans plus tard, ce chasseur de météorites est devenu le plus grand collectionneur privé de pierres célestes. Sa collection rassemble deux tonnes de matière cosmique ! C'est en grande partie grâce à lui que la foire aux minéraux de Tucson s'est étendue aux météorites. Le lieu était sans doute prédestiné : quand les troupes confédérées y débarquèrent, en 1856, elles découvrirent dans l'échoppe d'un maréchal-ferrant une curieuse enclume partiellement enfoncée dans le sol. C'était en fait une sidérite (1) de 686 kg trouvée dans les environs !

Ce nouveau marché suscite en tout cas de nouvelles passions. On

(1) Météorite constituée de fer et de nickel.



A. CIFOUICHL & ESPACE

Un collectionneur de poids

Passionné depuis l'âge de 12 ans, l'Américain Robert Haag a réuni la plus importante collection privée de pierres célestes (2 tonnes !).

peut expliquer cet engouement par le fait que le marché des cristaux est proche de la saturation, alors que les météorites sont plus rares, plus originales. Et surtout, elles font rêver. Il y a quelques années, on pouvait en trouver à 13 F le kilogramme ! Aujourd'hui, les plus ordinaires valent toujours 13 F, mais... le gramme ! Les pierres du ciel sont ainsi devenues un bon in-

vestissement, et peu de placements se bonifient aussi rapidement. « Investir dans une Allende (2), c'est mieux qu'un Livret d'épargne ! », assure Alain Carion, qui tient boutique dans le quartier de l'Île-Saint-Louis, à Paris. Il a été le premier à vendre des météorites en France. La multiplication des collection-

(2) Météorite tombée en 1969, au Mexique.

ELLES ATTISENT LA CONVOITISE DES TRAFIQUANTS

■ La convoitise que suscitent les météorites commence à provoquer des vols. Pour la seule année 1998, pas moins d'une dizaine de météorites, expédiées en recommandé avec valeur déclarée, ont disparu en Allemagne, en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis. Sur Internet, les marchands lésés lancent des appels en décrivant les pièces volées, et

promettent une récompense. Ces vols n'affectent pas seulement les envois postaux. En juillet 1998, le conservateur d'un musée du Colorado a découvert ainsi que quatre météorites manquaient dans la vitrine d'exposition ; pour masquer leur absence, la vitrine avait été réorganisée. Lors de l'effondrement de l'URSS,

la dispersion des collections des musées, qui concernent aussi bien les météorites que les minéraux, a aussi attisé les convoitises. Lydie Touret, conservateur du musée de minéralogie de l'Ecole des mines, à Paris, reconnaît avoir reçu des propositions de la part de confrères des pays de l'Est qui, après la chute du Mur de Berlin, avaient tendance à confondre leur

propre collection avec celle du musée ! Interpol lance régulièrement des avis sur des pièces de valeur qui passent frauduleusement d'un pays à l'autre. Les trafiquants russes veulent être payés en espèces, et en dollars, ce qu'aucun musée ne saurait accepter. Il reste alors le marché des collectionneurs privés...



Le "mineral show"

A Tucson, en Arizona, la foire aux minéraux réunit un nombre croissant de vendeurs et d'acheteurs, en provenance du monde entier. Toutes les chambres des hôtels de la ville sont réquisitionnées pour le "mineral show".

neurs privés – ils sont aujourd’hui plus de cinq mille dans le monde – a fait grimper les prix, qui ont pratiquement triplé en deux ans. Le véritable collectionneur cherche à acquérir des spécimens qui ont une histoire. C'est le cas, par exemple, de la météorite de Peekskill, petite ville de la banlieue de New York où une chute s'est produite en octobre 1992. Il s'agit d'une chondrite ordinaire qui se vend 15 F le gramme. De sa masse totale de 12 kg, on pouvait en tirer 200 000 F. Mais comme cette pierre du ciel a percuté une voiture, dont elle a traversé le coffre, sa propriétaire a pu en tirer le double! La voiture, une Chevrolet Malibu, est devenue du même coup une pièce de collection, rachetée 60 000 F alors qu'elle valait tout juste 2 000 F...

Tout ce qui concerne de près ou de loin les impactères (cratères de météorites) a également la cote, surtout depuis que l'on relie la dis-

parition des dinosaures à un gigantesque impact cosmique survenu voici 65 millions d'années, et que le cinéma a exploité ce thème de la rencontre entre notre planète et un astéroïde. De ce point de vue, la France est plutôt favorisée : dans le département de la Haute-Vienne, se trouve le site de Rochechouart. Cette commune de 4 000 habitants, à 40 kilomètres à l'ouest de Limoges, est située au

« Investir dans une Allende, c'est mieux qu'un livret d'Epargne ! »

bord d'un gigantesque cratère d'impact d'une vingtaine de kilomètres de diamètre, aujourd'hui complètement effacé par l'érosion. Trois chercheurs, Didier Devaux, Guy Tamain et Raphaël Blank, de l'université Pierre-et-Marie Curie (Paris VI), viennent de s'apercevoir

que l'impact a été encore plus apocalyptique qu'on ne le pensait, car le cratère primaire se trouve au centre d'une mégastructure multiannulaire extrêmement dense de 200 km de diamètre. Ils ont égale-

ment découvert un autre cratère de 300 km de diamètre entre Montluçon et Bizeauville, dans l'Allier (voir carte). L'impact de Rochechouart remonte à 200 millions d'années, à une époque où l'Atlantique n'avait pas encore commencé à s'ouvrir. Les roches

n'en ont pas moins gardé la trace du cataclysme.

Les brèches de Rochechouart, qui ont notamment servi à construire l'église et le château, se ramassent encore dans quelques carrières des environs. Alain Carion a compris qu'il pouvait exploiter l'histoire extraordinaire attachée à cette roche et ne s'étonne pas d'en vendre – à Tucson et ailleurs – 2 000 F le kilogramme, en rejetant d'avance toute accusation de pillage : « De la brèche de Rochechouart, il y en a des milliards de tonnes qui disparaissent sous des gravats. Il serait dommage de ne pas valoriser ça ! » De la même façon, il s'intéresse à la "suérite", mélange de granite et de gneiss fondus à haute température et violemment comprimés par

l'impact d'un autre bolide cosmique. Celui-là s'est abattu sur la Bavière, à Nördlingen, à 70 km au nord d'Ulm, il y a 15 millions d'années. Un morceau de suérite se vend 50 F sur place, au musée de la ville... et 1 400 F à la foire de Tucson !

Associées

aux impactites (roches produites par la chute d'une météorite), il y a aussi ces météorites particulières que sont les tectites (3). On ne les trouve qu'en une demi-douzaine de zones bien délimitées : en Bohême, au Texas et en Géorgie, en Côte-d'Ivoire, en Australie et dans le Sud-Est asiatique. Elles ressemblent à l'obsidienne, verre naturel d'origine volcanique, mais se trouvent loin de tout volcan. Le plus étrange, c'est qu'elles ont subi une double fusion, par une température supérieure à 1 700°, ce qui explique qu'elles soient uniquement vitreuses, sans le moindre cristal.

LES TECTITES ONT LONGTEMPS ÉTÉ UN MYSTÈRE

Les tectites, étudiées pour la première fois par Darwin en 1844, sont longtemps restées un mystère. Les scientifiques ne comprenaient pas comment ces pierres vitreuses, noires ou vertes, truffées de bulles d'air, striées de fines crevasses sinuées et ponctuées de microcratères, avaient pu subir une double vitrification. On imagina même un moment qu'elles provenaient de la Lune, mais l'analyse des roches lunaires ra-

Spécialiste et savant

Alain Carion a été le premier à vendre des météorites en France. Il a trouvé une météorite dans le sud tunisien, dont l'analyse a permis d'écartier l'hypothèse controversée selon laquelle la météorite ALH84001, examinée par la NASA, recelait des micro-organismes martiens.



F. RENOIR

(3) Roches vitreuses résultant de la fusion de roches terrestres projetées dans l'atmosphère sous le choc d'une météorite, et retombées à grande distance de l'impact.

ménées lors des missions Apollo écarta cette hypothèse. On a finalement compris leur origine en associant la curieuse structure annulaire de Nördlingen aux "moldavites", des tectites épargnées à 300 km de là, dans le sud de la Bohême.

Autre impactite, proche et pourtant différente des tectites (car il n'a subi qu'une seule fusion) : le verre lyrique, dont l'origine est tout aussi énigmatique. Il s'agit de fragments translucides, jaune clair, datés de 29 millions d'années. Peut-être un astéroïde a-t-il vitrifié le socle en grès de cette région, en formant un lac de verre fondu qui se serait ensuite fragmenté et dispersé avec l'érosion.

Revenons-en aux météorites proprement dites. Les revendeurs qui alimentent le marché se multiplient. En France, jusqu'à tout récemment, on ne connaissait guère qu'Alain Carion. Ce physicien de formation, spécialiste des lasers militaires et titulaire d'un certificat d'astrophysique, décida un jour de vivre pleinement sa passion des minéraux et des fossiles. Les météorites étaient le prolongement naturel. Alain Carion se rend à Tucson plusieurs fois par an et passe le quart de son temps aux Etats-Unis, où il trouve un marché pour ses météorites et ses impactites. Il vend ainsi de la "suévite de Nördlingen" et de la "brèche de Rochechouart" dans toutes les grandes foires aux minéraux du monde.

Marc Labenne, dans l'Oise, est quant à lui à la fois chasseur et grossiste en météorites. Elles sont pour lui une affaire de famille : ses deux fils parcouruent aussi le monde à la recherche des pierres venues du ciel. A eux trois, ils ont apporté un flot de nouveaux échantillons intéressants, alors que la plupart des autres prospecteurs revendent des météorites déjà connues et répertoriées, qui n'ont plus guère d'intérêt pour les scientifiques. Sur les 974 nouvelles météorites récoltées l'an dernier,

(le plus important d'Europe), ou de Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges, qui fait référence pour la France. La majorité des vendeurs de météorites (on en compte une vingtaine) se trouvent aux Etats-Unis. Pour l'Europe, les deux principaux ont pignon sur rue à Hanau, en Allemagne, et dans le canton de Glarus, en Suisse. En France, on trouve essentiellement Alain Carion et la famille Labenne

Pour traquer la météorite, les chasseurs les mieux équipés font rouler deux véhicules 4 x 4 de

La Terre reçoit une centaine de météorites de plus de 10 kg par an

232 – une sur quatre – ont été trouvées par la famille Labenne, essentiellement au Sahara. Ils en gardent une bonne partie pour leur collection personnelle, qui compte 400 pièces. Le reste est disponible pour les collectionneurs privés, une petite fraction étant réservée aux échanges avec les laboratoires des musées.

ON TRAQUE LES MÉTÉORITES AVEC DES 4 X 4

Les Labenne traitent leurs affaires surtout par Internet – sur un site (<http://www.labenne-meteorites.com>) partagé avec d'autres "dealers" – et en parcourant les grands salons spécialisés : ceux de Tucson et de Denver aux Etats-Unis, mais aussi celui de Munich

front, à 10 m d'intervalle pour ratisser à 5 km/h une bande de sable. Ils utilisent aussi une balise GPS pour localiser les sites, et permettre un ratissage systématique sans repasser deux fois au même endroit... Un simple détecteur de métal permet de trouver facilement les sidérites et la plupart des aérolithes, qui contiennent toujours un peu de fer; seules les achondrites ne peuvent être repérées de cette façon. Très performants, les trois Français ont déjà récolté plus de 250 kg de météorites.

Cela n'a rien d'étonnant : la Terre reçoit par an 30 000 météorites d'un poids supérieur à 100 gr et une centaine de plus de 10 kg. Certes, trois sur quatre tombent au fond des océans, et celles qui aboutissent



FILLES DES ASTÉROÏDES

■ On est quasiment certain aujourd'hui que les météorites sont des fragments d'astéroïdes, ces petites planètes qui circulent entre les orbites de Mars et de Jupiter. L'énorme gravité de cette planète provoque régulièrement des effets de fronde gravitationnelle sur certains de ces astéroïdes, qui se placent alors sur des orbites plus elliptiques. Leurs nouvelles orbites les conduisent à percuter d'autres astéroïdes et à pénétrer dans le système solaire intérieur. Ces collisions se produisent à une vitesse relative suffisante pour entraîner une fragmentation partielle. Des morceaux plus ou moins gros circulent alors sur des orbites susceptibles de croiser celle de la Terre. On a calculé que si la vitesse de pénétration dans notre atmosphère est supérieure à 22 km/s, l'énergie cinétique est suffisante pour que l'"étoile filante" ainsi créée soit entièrement

détruite pendant sa traversée. En deçà de cette vitesse, il reste de la matière en fin de combustion, et la météorite atteint la surface de notre planète. On a déduit le lien des météorites avec les astéroïdes grâce à l'étude de leurs éléments orbitaux, de leur spectre de réflectivité et de leur temps d'irradiation cosmique. Pour quatre chutes de météorites, l'orbite a pu en effet être reconstituée. Leur entrée dans l'atmosphère a été photographiée en plusieurs points. Dans tous les cas, le point d'origine (aphélie) de

chaque orbite se situe en plein dans la ceinture d'astéroïdes. Le spectre réflectif, lui, concorde parfaitement avec celui d'un certain nombre d'astéroïdes. Enfin, l'étude de la durée d'exposition aux radiations cosmiques montre que ces météorites ne sont exposées que depuis peu de temps par rapport à leur âge (50 millions d'années), ce qui implique une fragmentation relativement récente.

Pendant la formation du proto-

d'années "seulement", sont apparus des embryons planétaires, et 100 millions d'années plus tard les planètes avaient atteint leur taille définitive. Les chondrites, très peu transformées depuis leur formation au tout début du système solaire, sont la mémoire des conditions qui régnaient aux premiers instants de la formation du système solaire. En comparant la composition chimique des chondrites à celle du Soleil, on constate en effet que la répartition des éléments (hormis les gaz) est identique. Avec elles, les chercheurs ont sous la main des échantillons de la nébuleuse d'où sont issus le Soleil et les planètes. Leur valeur scientifique est donc considérable. Toutes les autres météorites, en revanche, sont "différenciées", c'est-à-dire que le matériau qui les constitue

a subi des transformations thermiques au sein de corps-parents, et s'est décanté en couches de compositions chimiques distinctes. Les eucrites, par exemple, proches des basaltes terrestres, sont riches en éléments minéraux et pauvres en éléments métalliques : ce sont des échantillons de la croûte d'un astéroïde, tandis que les sidérites, métalliques, constituées de fer et de nickel, proviennent du noyau. La comparaison des compositions chimiques et isotopiques de toutes les météorites collectées a permis d'identifier seulement 60 corps-parents.



Soleil, les grains de poussière de la nébuleuse initiale se sont transformés en chondres, à l'occasion d'une fusion suivie d'un refroidissement brutal. Les météorites les plus primitives sont donc celles qui présentent des chondres, globules métalliques d'environ 1 mm de diamètre, formés par collage des grains de poussière de la nébuleuse solaire. Cet épisode se situe à 4,56 milliards d'années dans le passé. Puis, la coagulation des grains a formé des sortes de grélons, qui eux-mêmes se sont amalgamés par collage. Après 8 millions



B. EGGLERON/CIEL & ESPACE

sur la terre ferme sont rapidement dégradées par l'érosion, enfouies par les labours, ou recouvertes par la végétation. Les chasseurs cherchent donc les météorites là où elles sont le moins perturbées : les déserts. Le fond clair du sable, l'absence de végétation et une moindre érosion permettent de repérer plus facilement les taches sombres des météorites. Même ensevelies, elles sont détectables.

En toute logique, plus on multiplie le temps de recherche et le nombre d'observateurs, et plus on

en trouve... à condition cependant d'avoir le coup d'œil, qui vient avec l'expérience. Dans le désert, on peut théoriquement en trouver une pour chaque centaine d'hectares prospectés.

ACCUSÉS D'ÊTRE DES « CONTREBANDIERS »

Une expérience menée aux Etats-Unis, avec une centaine d'élèves d'un collège à qui l'on a demandé de ratisser une vaste zone en marchant à deux mètres les uns des autres pendant une journée entière, a per-

mis de trouver trois météorites ! Une personne seule peut donc espérer en trouver une en deux cents heures de recherche.

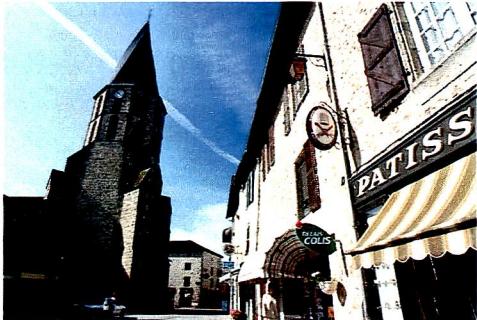
Au Mexique, Robert Haag a lancé un appel au micro d'une radio locale, et a ainsi pu récupérer plusieurs dizaines de kilogrammes de la météorite d'Allende. La zone de chute, qui ne couvre pas moins de 150 km², avait pourtant été passée au peigne fin dans les semaines qui suivirent les impacts. Au Nigéria, ce sont les enfants d'une école qui, pendant des jours, ont

Au temps des cataclysmes

Cette vue d'artiste montre l'impact d'un astéroïde sur la Terre. De gigantesques cratères, tels que celui de Rochechouart, en France, témoignent de cette époque cataclysmique, il y a 200 millions d'années.

méthodiquement ratissé une zone qu'il leur avait indiquée.

Il faut bien reconnaître qu'à l'origine le milieu scientifique ne voyait pas d'un bon œil les chasseurs et les vendeurs de météorites que René Pellas, chercheur au Muséum d'histoire naturelle, qualifia même de « contrebandiers », les accusant de dilapider un patrimoine naturel de valeur. Les chercheurs, cependant, ne peuvent être partout, alors que les amateurs de météorites sont d'excellents prospecteurs. Ils permettent aux premiers de mettre la main sur des spécimens qu'ils n'auraient jamais trouvés sans cela. « Les scientifiques ont besoin de nous, et réciproquement », n'hésite pas à dire Marc Labenne. Ils y gagnent parce que, grâce aux chasseurs de météorites, ils reçoivent, sans engager



E. PERRIN/CIEL & ESPACE

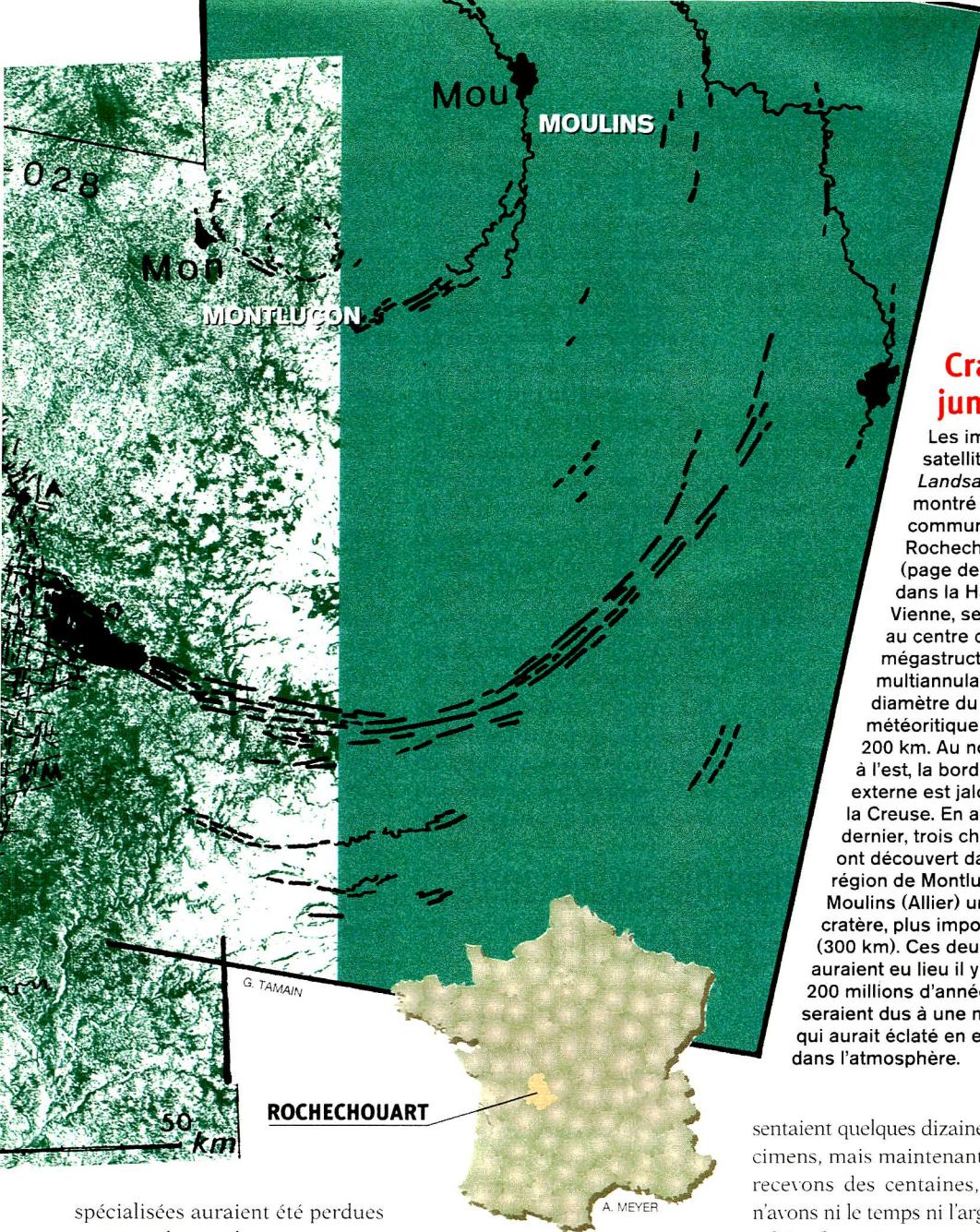
de coûteuses expéditions, un large éventail de pierres célestes, dans lequel ils dénichent de temps à autre des pièces rares susceptibles de faire avancer leurs connaissances. Les prospecteurs, pour leur part, sont gagnants, dans la mesure où les scientifiques authentifient et analysent leurs trouvailles, donnant de la valeur à ces météorites! Au moment de sa découverte, une météorite n'est en effet qu'un caillou, et c'est l'expertise qui déterminera sa véritable identité, donc sa valeur. En principe, lorsqu'une météorite est apportée au Muséum ou dans un la-



boratoire pour analyse, ce dernier en garde un fragment en guise de défraîtement. S'il souhaite en acheter davantage, il devra généralement le payer entre 3 et 50 F le gramme. Une pièce exceptionnelle peut coûter jusqu'à 500 F le gramme, jamais au-delà.

Claude Perron, chercheur au Muséum d'histoire naturelle de Paris, regrette que cet engouement pour les météorites ait fait grimper les prix : « Les collectionneurs ne

les voient qu'à travers leur valeur marchande, qui peut dépasser 1 000 F le gramme. Quel labo peut se le payer? Les belles pièces deviennent beaucoup trop chères pour que nous puissions les acquérir. Nous ne pouvons plus suivre... Elles partent alors dans des collections privées, et certaines finiront sur un dessus de cheminée, perdues pour la science... ». « Il est vrai, tempère-t-il, que celles ramenées des déserts par les chasseurs



Cratères jumeaux

Les images du satellite *Landsat 2* ont montré que la commune de Rochechouart (page de gauche), dans la Haute-Vienne, se trouve au centre d'une mégastructure multiannulaire. Le diamètre du cratère météoritique est de 200 km. Au nord-est et à l'est, la bordure externe est jalonnée par la Creuse. En août dernier, trois chercheurs ont découvert dans la région de Montluçon-Moulins (Allier) un autre cratère, plus important (300 km). Ces deux impacts auraient eu lieu il y a 200 millions d'années et seraient dus à une météorite qui aurait éclaté en entrant dans l'atmosphère.

spécialisées auraient été perdues pour tout le monde. »

Claude Perron reconnaît ainsi que les chasseurs de météorites, et l'équipe Labenne en particulier, font un bon travail : « Il faut bien que quelqu'un aille les chercher, ces météorites, et nous les apporte. Car, malheureusement, nous n'avons pas les moyens de monter des expéditions. Mais tous ne sont pas aussi sérieux, et certains ramassent leurs trouvailles sans relever la position exacte, ou mélan-

gent des échantillons. Des choses très intéressantes vont ainsi se disperser dans la nature... »

DU FER MÉTÉORITIQUE DANS LA TOMBE DE TOUTANKHAMON

Il reste que si les chercheurs ont besoin des "chasseurs" de météorites, cela soulève deux problèmes, apparus à mesure que cette coopération s'intensifiait : « Au début, explique Claude Perron, ils nous pré-

sentaient quelques dizaines de spécimens, mais maintenant nous en recevons des centaines, et nous n'avons ni le temps ni l'argent pour y faire face. Le temps, parce que nous ne sommes pas suffisamment nombreux, et l'argent, parce qu'une analyse complète est coûteuse. De plus, nous ne pouvons pas consacrer tous les crédits que nous alloue le CNRS à faire de la classification. Il faut aussi faire de la science... »

Collectionner, soit. Mais n'est-il pas choquant de "saucissonner" des météorites ou de les monter en pendentifs ? Un morceau entier vaut moins que la somme de ses

parties, ce qui explique que les négociants préfèrent les couper en lamelles. Il y a aussi une raison esthétique : il faut avoir vu une palasite, incrustée de cristaux d'olivine, finement tranchée pour en apprécier toute la beauté. Alain Carion ne voit là rien de choquant. Tout dépend cependant de la météorite en question : « Si c'est une Gibéon (4) parfaitement connue, dont on possède des centaines de tonnes, cela permet au contraire de sensibiliser tous ceux qui ne soupçonnent pas encore la beauté et l'intérêt de ces pierres. Car nous avons aussi un rôle éducatif à jouer. En revanche, s'il s'agit d'une Zagami, censée provenir de Mars, c'est scandaleux ».

Que dire maintenant des météorites – il s'agit toujours de sidérites – définitivement dénaturées pour avoir servi à confectionner des coupe-papier (comme cela a été fait avec des morceaux du Me-

der des pouvoirs magiques fut forgé à partir d'une météorite tombée en 1621. Cet intérêt tient au fait que le fer des météorites est natif, donc inaltérable, alors que le fer terrestre est toujours oxydé, et finit par rouiller.

Les météorites peuvent s'acheter soit complètes, soit en fragments, ou en tranches polies. Elles se vendent au poids selon leur type (une sidérite étant plus courante qu'une chondrite carbonée) et leur histoire. Elles ont plus de valeur si on les a vues tomber que si on les a trouvées. Elles ont encore plus de valeur si elles proviennent d'un site prestigieux, comme ceux de Laigle, dans l'Orne, ou d'Ensisheim, en Alsace. Le premier correspond à une chute survenue en 1803, à partir de laquelle les scientifiques ont fini par admettre que des pierres pouvaient tomber du ciel. Le second est le lieu d'impact d'une météorite de 130 kg, la plus

A la classification classique, on préfère aujourd'hui une répartition évolutive, qui oppose les matériaux non transformés (météorites primitives), à ceux qui ont subi une transformation thermique.

CHONDRITES

Ordinaires

Dites H (high), L (low), ou LL (amphotérites), selon leur teneur en fer. Exemple : météorite de Laigle (Orne).

Carbonées

Elles renferment jusqu'à 5% de carbone, et sont désignées par deux lettres (CI, CM, CV, CO) selon la ville de celle qui sert de référence (O = Ornans, en France). Exemple : météorites d'Allende (Mexique) (type CV) et d'Orgueil (type CI) (Tarn-et-Garonne).

Enstatites (ou chondrites E)

Très rares. Elles présentent la plus forte teneur métallique (jusqu'à 35%) et pourraient être des fragments de la planète Mercure.

ACHONDRITES

La distinction se fait selon leur teneur en calcium, la moyenne étant de 4%. Quelques-unes (une douzaine dans chaque cas) viennent de la Lune et de Mars.

SIDÉRITES

Alliage de fer et de nickel en proportion variable, avec un peu de cobalt.

Octahédrites

Les plus nombreuses. Elles sont particulièrement riches en nickel (de 6 à 12%). Exemple : la météorite de Canyon Diablo (elle a creusé le Meteor Crater, en Arizona).

Le prix des météorites oscille entre 1,50 F et 6 000 F le gramme !

teor Crater) (5), ou des fonds de montre comme ceux que fabriquent par exemple les sociétés SML, en Suisse, ou Starborn, aux Etats-Unis ? Ces montres, dont le cadran est réalisé dans du Gibéon, sont vendues 9 500 F. Pour un couteau, il faut compter 3 500 F. Là encore, la critique peut être nuancée par le fait que cette utilisation à des fins domestiques ne date pas d'aujourd'hui : une dague en fer météoristique a ainsi été trouvée dans la tombe du pharaon Toutankhamon. Ce fer fut également utilisé en Chine, et aux Indes, où un couteau censé possé-.....

(4) Météorite métallique, trouvée en 1838, en Namibie.

(5) Célèbre cratère d'impact en Arizona, large de 1,6 km et profond de 250 m.

grosse dont la chute ait été observée en Occident. Un fragment de 10 g de celle-ci se vend 20 000 F !

Il n'existe donc pas un "cours" de la météorite comme il y a un cours de l'or. Le prix oscille entre 1,50 F et près de 6 000 F le gramme ! Les plus petits fragments peuvent ne peser qu'une fraction de gramme, et une météorite entière dépasse rarement 250 g. Au-delà, même pour un type courant, sa valeur approche en effet les 10 000 F ; elle n'est donc plus à la portée d'un collectionneur moyen.

Les moins chères sont les sidérites, à commencer par celles qu'on trouve à Odessa (Texas) et autour du Meteor Crater : elles se vendent moins de 2 F le gramme. Trois fois plus chères, les Gibéon de Nami-

CLASSIFICATION ÉVOLUTIVE

Hexahédrites

Composées surtout de kamacite, minéral riche en fer. Elles correspondent au noyau d'un astéroïde.

Ataxites

Elles possèdent plus de 16% (jusqu'à 40%) de nickel et sont presque entièrement constituées de taenite, minéral riche en nickel. Exemple : la météorite de Hoba (Namibie), la plus grosse connue (55 tonnes).

Les octahédrites et les hexahédrites présentent des bandes brillantes entrecroisées. Plus ces bandes sont larges, plus long a été le refroidissement, plus faible est la teneur en nickel, et plus on est proche du centre du corps-parent.

AÉROLITHES

Riches en silicates.

HED (Howardite-Eucrite-

Diogénite)

Elles proviennent probablement de l'astéroïde Vesta. Les eucrites sont des échantillons d'une lave qui s'est écoulée à la surface d'un astéroïde, tout en étant différentes des basaltes terrestres. Les diogénites, pauvres en calcium, ont probablement cristallisé à partir d'un magma en profondeur.

Aubrites (ou "enstatite achondrites")

Elles sont supposées provenir d'astéroïdes de type E, mais pourraient aussi provenir de Mercure. On en connaît moins de vingt exemplaires.

Ureilites

Origine encore énigmatique. Elles renferment du carbone,

sous forme de graphite, ou de lonsdaléite (minéral rare et pur, proche du diamant, mais avec une structure cristalline différente).

SIDÉROLITHES

Elles proviennent de la frontière entre le noyau et l'écorce d'un astéroïde.

Pallasites

Matrice de nickel-fer présentant des cristaux d'olivine incrustés.

Mésosidérites et Iodranites

Cristaux d'olivine inclus dans une matrice de fer et de nickel. Ce sont les plus belles.

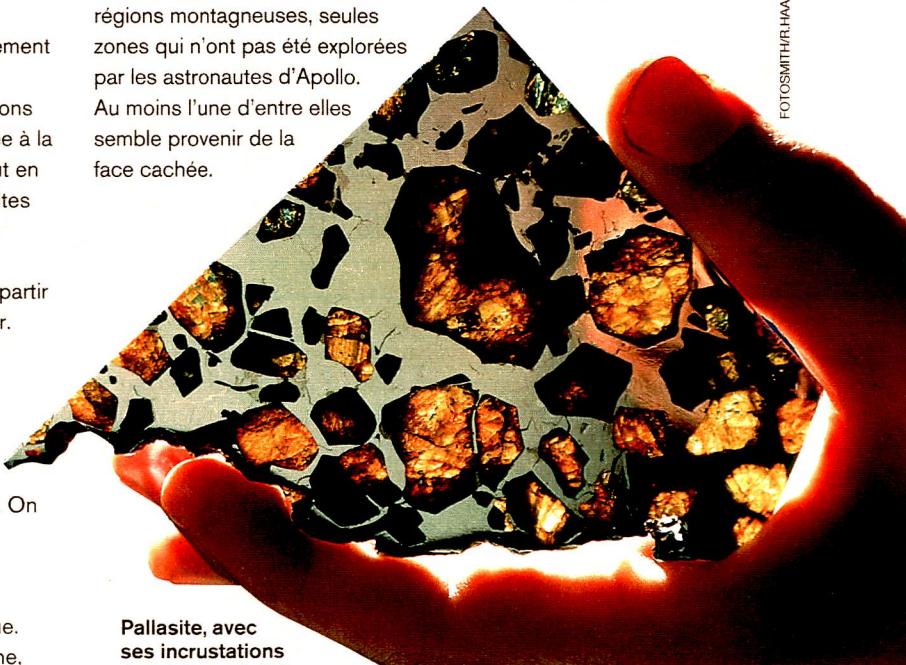
MÉTÉORITES LUNAIRES

Toutes, sauf une (Calcalong Creek, en Australie) proviennent de l'Antarctique. Ce sont des brèches éjectées à la suite d'un violent impact sur le sol lunaire. Certaines proviennent des régions montagneuses, seules zones qui n'ont pas été explorées par les astronautes d'Apollo. Au moins l'une d'entre elles semble provenir de la face cachée.

MÉTÉORITES MARTIENNES

Elles présentent toutes des âges de cristallisation relativement récents (moins de 1,4 million d'années). La moitié de celles qui sont connues viennent de l'Antarctique. Elles sont classées en trois sous-groupes : Shergottites (de Shergotty, Inde), Nakhrites (de Nakhla, Egypte) et Chassignites (de Chassigny, France, où la première fut trouvée, en 1815, dans la Marne).

La célèbre météorite de Zagami (trouvée en 1962, au Nigéria) est une Shergottite, mais ALH84001, ramenée d'Antarctique, forme un sous-groupe propre. Cette météorite, qui a défrayé la chronique lorsqu'on pensa y avoir trouvé des micro-organismes fossiles, a cristallisé il y a plus de 4 milliards d'années.



Pallasite, avec ses incrustations de cristaux d'olivine.

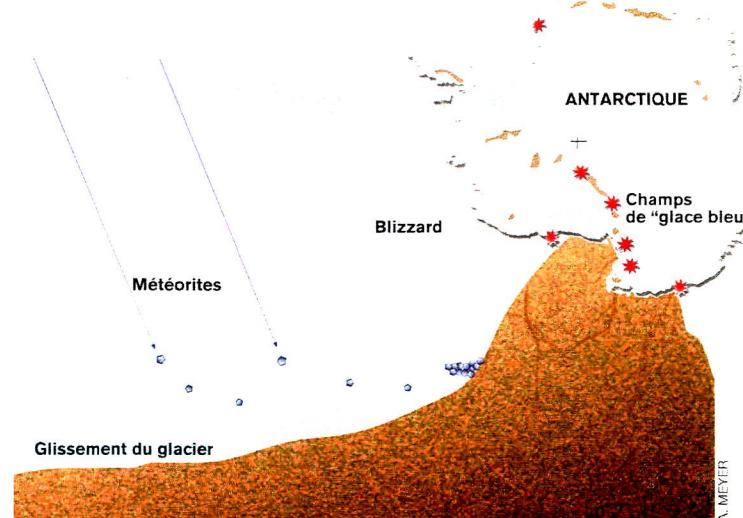
FOTOSMITH/R. HAAS COLL./CIEL & ESPACE

bie, correspondant à une "pluie" de plusieurs dizaines de tonnes. Le propriétaire du lieu, conscient de la valeur de ces morceaux de ferraille cosmique, exploite son champ de météorites comme d'autres exploitent leurs champs de pommes de terre. Quelques sidérites peuvent cependant atteindre 120 F le gramme si elles sont "historiques" comme celles de Sikhote Alin. Car cette masse de 23 tonnes, tombée en Sibérie orientale en 1947, est la seule sidérite dont la chute ait été observée.

Les météorites pierreuses (aérolithes) – dont les chondrites sont les principaux représentants – sont rarement vendues en dessous de 10 F le gramme, et cela va jusqu'à 50 F pour une Allende. Les chondrites carbonées, encore plus recherchées, font que des fragments de Murchison (météorite scientifiquement très intéressante, tombée en Australie en 1969) valent jusqu'à 600 F le gramme, dix fois leur poids en or! Les achondrites sont également assez rares, vendues plus de 150 F, et jusqu'à 1 000 F pour celles qui présentent des inclusions de diamants microscopiques. Parmi les sidérolithes, les pallasites sont très recherchées car, d'un point de vue esthétique, elles sont remarquables avec leurs inclusions de cristaux d'olivine jaune-vert. Il faut alors compter jusqu'à 150 F, et quatre fois plus pour la pallasite d'Esquel (Argentine, 1951), considérée comme exceptionnelle, au point que ses fragments sont utilisés en bijouterie.

LES PIERRES DE LUNE, LES PLUS CHÈRES

Quant aux tectites – considérées parfois comme des porte-bonheur (on dit que la reine Elisabeth II de Grande-Bretagne en garde une en permanence dans son sac) –, les moins cotées sont vendues au prix d'une météorite moyenne. Une



L'eldorado des champs de "glace bleue"

En trente ans, les scientifiques ont récolté en Antarctique trois fois plus de météorites que dans tout le reste du monde en deux siècles. Elles abondent dans les champs de "glace bleue", au pied des collines. Quand un glacier est stoppé par un relief, les anciennes couches remontent et sont érodées par le blizzard. Les météorites enfouies apparaissent alors.

australasite en forme de bouton entouré d'un bourrelet peut cependant se vendre jusqu'à 1 000 F. En république tchèque, les moldavites sont vendues 12 F. On en trouve, par exemple, sur les étals des camelots à l'entrée du pont Charles, lieu de passage obligé des touristes qui visitent Prague. Certaines sont présentées brutes, d'autres mon-

météorites d'origine martienne. Il y a encore un an, il n'en existait aucun exemplaire sur le marché, les fragments connus ayant tous été trouvés dans l'Antarctique par des équipes scientifiques. Tout a changé depuis qu'une treizième météorite martienne a été découverte, le 1^{er} mai dernier, dans le Sahara libyen par une équipe allemande.

En Côte-d'Ivoire, les sorciers utilisent des tectites comme amulettes

tées en pendentif. Les plus chères (plus de 100 F) sont celles de Côte-d'Ivoire, qui se situent sur des plaques aurifères et sont utilisées comme amulettes par les sorciers, qui n'accepteraient de s'en défaire à aucun prix.

La météorite d'origine lunaire achetée en Australie par Robert Haag est, quant à elle, cotée 5 000 F le gramme, tout comme celle trouvée il y a un an dans le Sahara libyen. Mais le sommet est atteint, on s'en douterait, avec les

Baptisée Dar al Gani 476, elle a la taille d'un petit melon, et pèse exactement 2 kg. D'après l'intensité du bombardement de rayons cosmiques qu'elle a subi, elle est tombée sur Terre il y a 30 000 ans, après avoir été expulsée de Mars il y a 1 million d'années. Sa cote : 6 000 F le gramme. On est cependant encore loin des pierres ramenées de la Lune par les astronautes des missions Apollo, dont la NASA estime la valeur marchande à 340 000 F le gramme... ■



Abonnez-vous aux
**CAHIERS DE
SCIENCE & VIE**
et découvrez
l'histoire des sciences
pour
149 francs.

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 75505 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

**Prevoir 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 rectification auprès d'Excelsior. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient communiqués ultérieurement.

VOTRE CADEAU

Cette superbe reliure

au logo des Cahiers de Science & Vie
vous permettra de classer vos magazines.

Les caprices du Rhin deviennent prévisibles

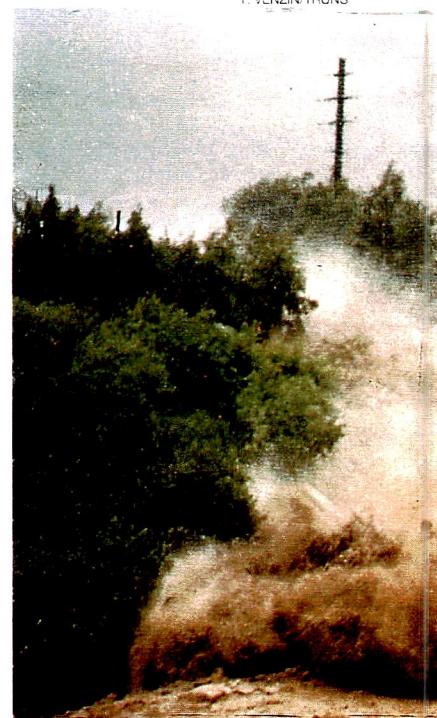
Les Suisses ont élaboré un système de prévision du débit des eaux du Rhin fiable trois jours à l'avance et à une heure près. Une connaissance capitale pour l'économie des sept pays qu'arrose ce fleuve fantasque.

Première voie navigable d'Europe, qu'il parcourt des Alpes suisses à son delta de la mer du Nord, où il se déverse à raison de 2200 m³ par seconde, le Rhin est un fleuve capricieux. Son débit varie brusquement au gré de la fonte des neiges et des glaciers, des averses d'orage ou de neige et du niveau de ses innombrables affluents.

Prévoir ses crues, ses hautes et ses basses eaux est évidemment essentiel pour les populations,

menacées par les inondations des 251 800 km² de son bassin (1), et pour adapter toute la vie économique (navigation, production d'énergie, industries) qui repose sur le fleuve.

Par exemple, le capitaine d'une péniche doit savoir s'il peut charger son bateau au maximum sans risquer de racler le fond quand le fleuve est bas ou bien si, en cas de crue, le Rhin va atteindre le niveau qui empêche les bateaux de passer sous certains ponts. De même, EDF, qui, entre Bâle et Strasbourg,



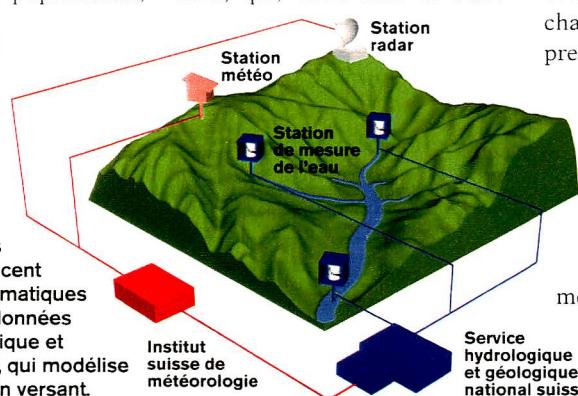
bourg, exploite dix barrages-centrales au fil de l'eau, doit impérativement connaître les brusques variations du fleuve : chaque mètre cube d'eau qui prend le chemin du déversoir de

trop-plein représente un manque à gagner pour le producteur d'électricité.

Par moments, la Suisse fournit la moitié des eaux du Rhin, qui mettent sept jours pour aller de Bâle à la mer du Nord. Le bassin versant

Tenu à l'œil

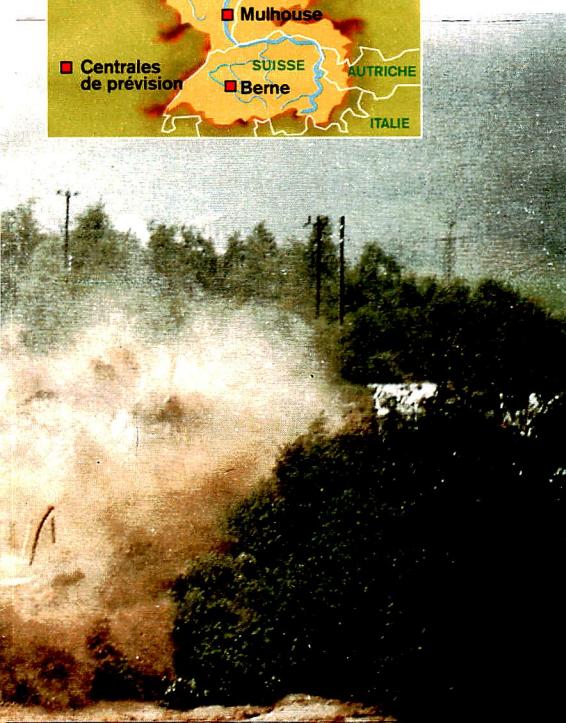
Pour prévoir le débit du Rhin, le territoire suisse est sous observation permanente. Cent stations de mesure du niveau de l'eau, trois radars météorologiques et cent stations météo automatiques transmettent leurs données au Service hydrologique et géologique national, qui modélise l'ensemble du bassin versant.



(1) A titre de comparaison, la superficie de la France est de 549 000 km².



S. FLORENT



Un long fleuve pas tranquille

Impétueux comme un cheval emballé ou réduit à un filet d'eau, le Rhin possède un bassin versant de 251 800 km² qui s'étend sur sept pays européens – en particulier la Suisse, dont il arrose 68 % du territoire.

Le fleuve couvre 68 % du territoire helvétique. Aussi est-il peu surprenant que ce soit la Suisse qui ait mis en place, cet été, un système de prévision du débit des eaux du Rhin – fiable trois jours à l'avance et à une heure près.

Ce système est le fruit de la collaboration du Service hydrologique et géologique national (SHGN), de l'Institut suisse de météorologie (ISM) et de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ). Sa nouveauté majeure, et la plus surprenante, réside dans la modélisation de l'écoulement de l'eau non seulement en surface mais aussi dans le sous-sol, où les terres et les végétaux qui y développent leurs racines captent une partie de l'eau.

Bruno Schädler, directeur du service "Rhin" du SHGN, explique : « Au bord des rivières et des lacs du bassin du Rhin, plus de cent stations mesurent automatiquement le niveau de l'eau et nous le téléphonent toutes les dix minutes ; auparavant, c'était toutes les deux heures, soit douze fois moins fréquemment. L'ISM, quant à lui, exploite en temps réel

un réseau de cent stations météo automatiques qui mesurent la hauteur des précipitations, la vitesse du vent, la température et l'humidité de l'air, et, enfin, les hauteurs de neige. L'ISM nous communique également, toutes les cinq minutes, l'image de la répartition géographique des précipitations, que lui fournissent ses trois radars météorologiques. En dernier lieu intervient le modèle informatique mis au point par l'ETHZ, qui extrapole, sur toute la surface des bassins versants, les valeurs mesurées par les stations météo. Pour les précipitations, le

modèle fait la différence entre pluie et neige en se basant sur la température, puis il simule l'accumulation ou la fonte de la neige. Pour chacun des bassins versants partiels, les quantités d'eau emmagasinées dans les diverses couches du sol sont alors calculées, et les débits des eaux, évalués. De proche en proche, les débits sont finalement additionnés, selon une cadence horaire, jusqu'à la dernière station en aval. »

L'hiver dernier, la nouvelle modélisation du SHGN a été soumise avec succès à son premier test : on a comparé les relevés du passé avec les valeurs qu'aurait déterminées le modèle. Celles-ci étaient conformes à la réalité historique.

Le débit du Rhin est prévu jusqu'à Rheinfelden, bourgade située à quelques kilomètres en amont de Bâle. C'est dans cette dernière ville que le fleuve quitte la Suisse pour entrer en France. A cet endroit, il s'écoule en moyenne 1 000 m³ d'eau par seconde : c'est comme si, à chaque minute, il se déversait l'équivalent d'un terrain de football recouvert de 12 m d'eau.

DÉBIT RECORD : 4 300 m³/s

Lors des crues, qui peuvent survenir à tout moment de l'année, il arrive que le débit quadruple. Le record : 4 300 m³/s en mai 1994. En revanche, en période de basses eaux, d'octobre à mars, le débit peut chuter à 500 m³/s, voire moins (315 m³/s en décembre 1962). La hauteur du Rhin est alors inférieure à 2 m, et les plus grosses péniches – longues de plus de 100 m et capables de transporter 3 000 tonnes de marchandises – ne peuvent plus naviguer à pleine charge, car il leur faut plus de 3 m de profondeur d'eau.

Seule solution : adapter les cargaisons en fonction des variations, les alourdir pendant les crues et les alléger pendant les basses eaux... ■

Manchot cherche poussin à adopter

Accueillir un jeune orphelin, lui offrir une famille, l'accompagner vers sa vie d'adulte... C'est une idée généreuse que nombre d'hommes ont concrétisée en devenant des parents adoptifs. Mais l'espèce humaine n'est pas la seule à pouvoir revendiquer un tel altruisme. Comme le montrent plusieurs études, les animaux – tout particulièrement les oiseaux – n'hésitent pas à élargir leur famille.

Les volatiles auraient-ils l'âme charitable? Quelle force les pousse à élever un petit qui n'est pas le leur? Pour de nombreux biologistes, l'adoption chez les animaux ne serait rien d'autre qu'une erreur: la mère prendrait un jeune inconnu pour un membre de sa progéniture. Car son "instinct maternel" la prédispose à prodiguer soins et attention aux tout-petits de sa propre espèce.

Selon Christophe Barbraud et Hervé Lormée, chercheurs du CNRS au centre d'études biologiques de Chizé (Deux-Sèvres), «chez de nombreux oiseaux, c'est la physiologie qui gouverne le comportement d'adoption». Pour parvenir à cette conclusion, les scientifiques ont suivi les adoptions chez les manchots empereurs, en terre Adélie (Antarctique). Pendant trois

ans, ils ont régulièrement mesuré un taux de prolactine – l'hormone qui provoque l'incubation et l'attention parentale chez les oiseaux – très élevé dans le sang des parents adoptifs. Taux qu'on ne trouve dans ces proportions que chez les parents qui se sont reproduits et élèvent leurs jeunes.

DE VÉRITABLES RAPTS

Les résultats de l'étude, non encore publiés, sont formels: les parents adoptifs sont des "reproducteurs malchanceux", qui ont vu périr leur œuf ou leur poussin. Et c'est la prolactine qui les force à s'occuper d'un petit. Son pouvoir est si puissant que les palmipèdes en perdent la tête...

Les manchots qui ont échoué à se reproduire cherchent en effet à s'approprier un jeune de façon plutôt violente: ils kidnappent l'enfant d'un voisin. La scène se déroule toujours de la même manière. Après la ponte, qui se produit sur la banquise, la femelle passe l'œuf à son mâle, qui va le couver pendant plus de deux mois. La mère en profite pour aller se nourrir en mer.

L'homme n'est pas le seul à adopter des orphelins. Les oiseaux recueillent également les rejetons d'une autre famille. Par altruisme? Les biologistes envisagent des stratégies bien plus subtiles...

C'est à l'éclosion des œufs que les femelles reviennent.

Dans un tumultueux concert de piaillerements, elles cherchent leur petit pour l'alimenter par réurgitation. A cause de leur taux élevé de prolactine, ces mères en puissance veulent absolument un poussin.

«Quelques groupes de cinq à six femelles malchanceuses arpencent la colonie, raconte Christophe Barbraud. Pendant toute une journée, elles vont tenter trois ou quatre raps. Elles s'approchent d'un parent qui garde son poussin dans sa poche incubatrice et l'attaquent. On dirait une mêlée de rugby! A grands coups de bec, le manchot tente de défendre son petit. Mais, bien souvent, dans la bousculade, le poussin tombe de la poche incubatrice. Les ravisseuses cherchent à s'en emparer. Si l'une d'entre elles l'attrape, elle le niche dans sa propre poche et s'enfuit.»

A quoi est dû ce comportement? «Sans nul doute à un effet secondaire des hormones» répond le biologiste. Le poussin adopté n'en tire aucun bénéfice, bien au contraire. S'il ne meurt pas étouffé



F. VASSEUR/BIOS

Légitime ou adoptif ?

Chez les manchots empereurs de terre Adélie, les parents adoptifs sont des "reproducteurs malheureux" qui ont vu périr leur œuf ou leur poussin.

dans la mêlée, il sera abandonné une heure à peine après avoir fait la connaissance de son nouveau parent, qui ne trouve lui non plus aucun avantage dans son méfait. Sa quête effrénée lui aura même coûté cher en énergie...

Heureusement, chez d'autres espèces d'oiseaux, telles que les oies,

ne qui n'est pas le leur. Dans cette optique, l'évolution aurait dû sélectionner des comportements qui évitent une telle situation.

Pourtant, chez l'oie des neiges, plus d'une famille sur dix pratique l'adoption. A une telle fréquence, peut-on encore soutenir que ce comportement est une erreur?

les poussins des larges familles – légitimes ou adoptés – grandissent plus vite que leurs voisins.

Grâce au comportement de leurs parents, ces jeunes seraient dotés d'un atout supplémentaire pour leur vie d'adulte : ils ont sous la main leur futur conjoint. Car, en adoptant des oisillons de leur espèce, qu'ils élèvent avec leurs propres petits, les parents chercheraient à façoner des couples bien assortis entre leurs enfants adoptifs et leur descendance biologique.

L'HÉRITAGE CULTUREL

Cette hypothèse d'un "mariage arrangé", a été récemment formulée par trois biologistes théoriciens, Eytan Avital, du David Yellin Teacher's College, à Jérusalem, Eva Jablonka, de l'université de Tel-Aviv, et Michael Lachmann, de l'université Stanford (Palo Alto, Californie). Elle repose sur la transmission d'informations entre les générations.

Si les parents transmettent leur patrimoine génétique à leurs descendants, ils leur léguent aussi un héritage culturel. Or, comme l'ont montré Jeffrey Black et Sharmila Choudhury, du Wildfowl and Wetlands Trust, à Slimbridge (Grande-Bretagne), chez les oies et les geais, ainsi que chez les nonnettes, ce bagage culturel rassemble l'essentiel des critères de choix du partenaire. Ainsi, une nonnette parade moins longtemps et se reproduit plus tôt si son conjoint, qu'elle fréquente depuis sa prime jeunesse, a le même âge qu'elle et vient de sa région natale. Conditions que remplissent parfaitement des frères et des sœurs d'adoption.

En adoptant des orphelins, les oiseaux construiront donc des projets à long terme : avoir de beaux petits-enfants, issus d'un "mariage arrangé" réussi. Une hypothèse surprenante, qui reste à vérifier... ■



Les poussins des familles élargies grandissent plus vite que leurs voisins

les sternes ou les mouettes, ces drames n'ont pas cours. Les adoptions se déroulent souvent dans la bonne humeur. Ce qui n'empêche pas certains biologistes d'y voir un comportement dévié. Ils estiment que les animaux commettent des erreurs, ce qui ne contredit pas la théorie de l'évolution, selon laquelle chaque individu met tout en œuvre pour assurer sa survie et la transmission de son patrimoine génétique. L'orphelin adopté est généralement gagnant, car, à la différence des manchots, les parents adoptifs de ces espèces le gardent et l'élevent. Les parents, eux, sont là encore perdants, car ils dépensent du temps et de l'énergie pour s'occuper d'un jeu-

Non, répond le Britannique Tony Williams, de l'université de Sheffield. Des observations, menées pendant près de onze années dans la province du Manitoba (Canada), lui ont permis de montrer que, dans les familles élargies des oies des neiges, chacun y trouve son compte : les jeunes adoptés, les parents, et même les poussins biologiques.

En effet, dans la colonie, les familles nombreuses se procurent plus aisément de la nourriture. En outre, tous les petits participent à la surveillance du nid et assistent leurs parents dans les conflits de voisinage. Plus nombreux, ils sont aussi plus forts dans leur lutte contre les prédateurs. Résultat :

- 12000 articles en texte intégral
- 4000 illustrations
- 360 auteurs
- 885 catégories

Recherche sur le cancer

Planètes extra-solaires

Conquête de Mars

Trafics alimentaires

Risques nucléaires

Destruction de l'environnement

Organismes Génétiquement Modifiés

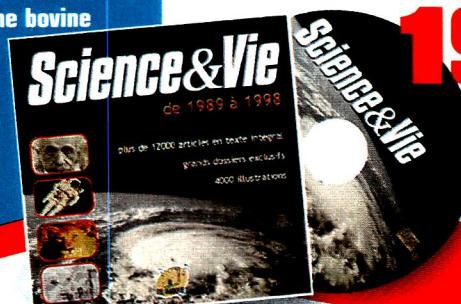
Sang contaminé, Sida

Hormone de croissance

Encéphalite spongiforme bovine

Homéopathie

etc.



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

je vous commande en exclusivité le CD-Rom des 10 ans d'archives de SCIENCE & VIE
(cochez la formule retenue ci-dessous)

OUI

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

OFFRE
SPÉCIALE

Revivez toute l'actualité scientifique de 1989 à 1998 à travers le CD-ROM des 10 ans d'archives de *Science & Vie*

à partir de

**199 francs
seulement***

Bon de commande

Photo non contractuelle

(*) 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 (i6 recommandé) - Mac OS 7 ou ultérieur .

Attention : la présente offre est limitée aux seuls stocks existants de CDRom. Offre valable jusqu'au 28/02/1999. 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 CDRom 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 CDRom. Le service après vente du CDRom est assuré pour le continent américain par DE MARQUE - Téléphone : (418) 658.9143. Pour l'Europe par MONTPARNASSE MULTIMÉDIA - Téléphone : 33.1.47.03.69.17. Délais de livraison : 4 semaines. La souscription à cette offre implique l'acceptation de tous ses termes.

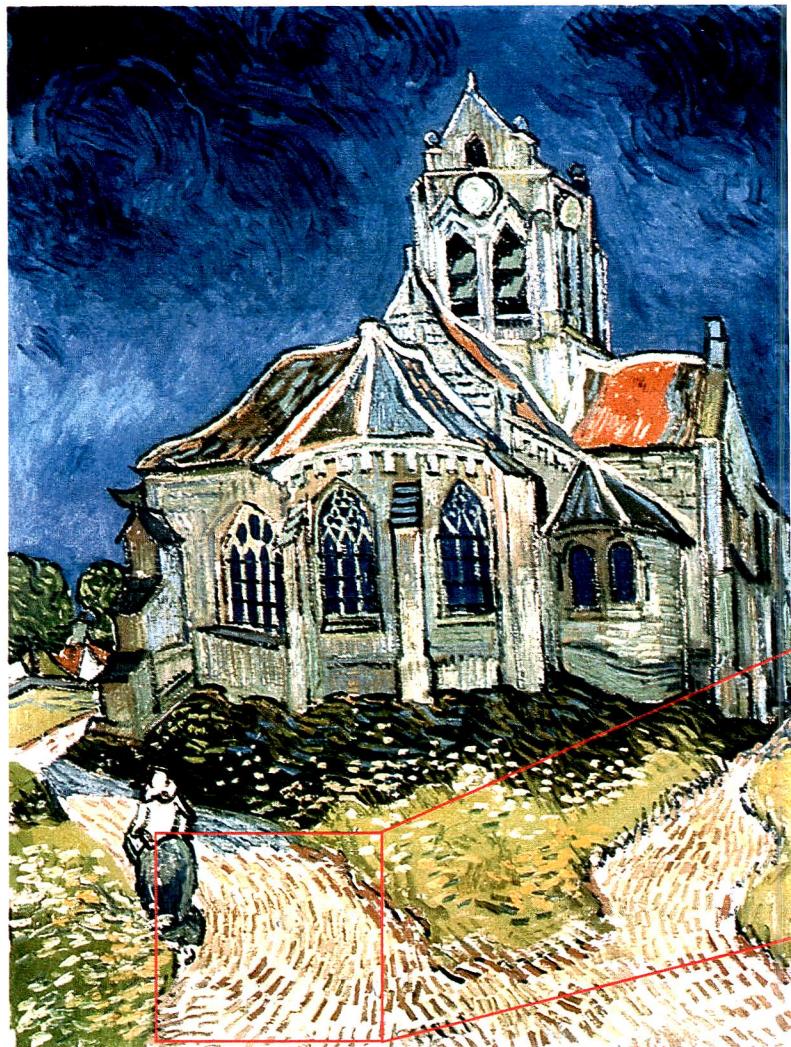
Van Gogh a perdu

Le peintre hollandais reconnaîtrait-il ses toiles ? On peut se poser la question quand on apprend que bon nombre d'entre elles ont perdu leurs couleurs d'origine.

Sur l'avant-plan, un peu de verdure fleurie et du sable ensolleillé rose», écrit Van Gogh à sa sœur, en mai 1890. Il lui décrit alors son tableau *l'Eglise d'Auvers* qu'il peint durant sa convalescence chez son mécène, le docteur Gachet, à Auvers-sur-Oise. Aujourd'hui, le visiteur qui s'attarde sur cette toile exposée au musée d'Orsay cherche en vain ce «sable rose» si cher au peintre : seules des petites touches pointillistes marrons et blanches colorent le chemin au premier plan. Le rose a disparu.

UNE COPIE PLUS FIDÈLE QUE L'ORIGINAL

En revanche, les chercheurs du Laboratoire de recherche des musées de France (LRMF) ont retrouvé la couleur d'origine sous la feuillure du cadre. Protégés de la lumière, les pigments, à cet endroit, ont gardé toute leur intensité. Les toiles de Van Gogh que nous admirons sont donc fanées... Les roses et les pourpres ont pâli au fil du temps par photodégradation. Une décoloration qui a modifié l'harmonie chromatique des



œuvres ! Pour preuves : les tableaux de Blanche Derousse. Cette aquarelliste a copié, en 1901, une partie des Van Gogh peints chez le docteur Gachet. Quand on compare ces aquarelles à leurs modèles, on constate une similitude des couleurs, à l'exception des pourpres et des roses qui ont disparu chez Van Gogh.

C'est lors de la préparation de l'exposition sur les collections du

docteur Paul Gachet, qu'on peut visiter actuellement à Paris (1), qu'a eu lieu cette découverte. «Grâce aux nombreuses méthodes de photographie – classique, avec un grossissement macrographique, en lumière rasante, infrarouge ou ultraviolette –, chaque tableau a été examiné sous tous ses angles.

•••••
(1) «Un ami de Cézanne et Van Gogh : le docteur Gachet (1828-1909)», du 30 janvier au 26 avril 1999, au Grand-Palais.

ses roses

révélant des indices invisibles à l'œil nu», explique Jean-Pierre Mothen, directeur du centre qui réunit désormais le LRMF et le service de restauration des musées de France.

Lors de ces examens, une attention toute particulière a été portée aux pigments des toiles. Le chimiste Jean-Paul Rioux a prélevé de mi-

présence de brome, un élément caractéristique de l'éosine». Il précise : «C'est en 1871 que ce colorant fut synthétisé pour la première fois par fixation de quatre atomes de brome sur la fluorescéine, elle-même découverte un an auparavant». Baptisée éosine en référence aux premiers rayons de l'aurore,

ment les nouveaux colorants synthétiques sans cacher que ces produits présentent des risques de décoloration à la lumière.

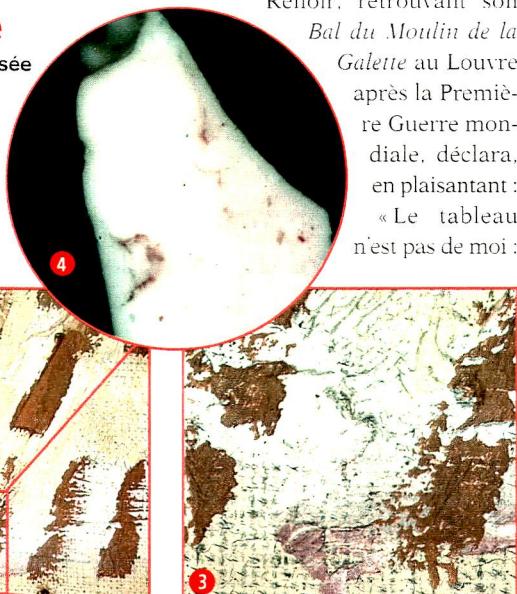
La dégradation est d'ailleurs assez rapide pour que certains peintres constatent eux-mêmes l'altération des couleurs sur leurs œuvres. Ainsi, on raconte que Renoir, retrouvant son

Bal du Moulin de la Galette au Louvre après la Première Guerre mondiale, déclara, en plaisantant :

«Le tableau n'est pas de moi :

Un témoin démasqué sous le cadre

Lorsque la photographie de l'*Eglise d'Auvers* n'est pas réalisée avec un grossissement suffisant (1 et 2), aucun "détail" révélateur d'un changement de couleur n'apparaît. Tandis qu'en macrophotographie (3), on distingue une tache blanche et rose. A l'origine, cette tache était entièrement rose, mais seule la partie protégée de la lumière par le cadre a conservé cette couleur. Le reste est fané. Une coupe stratigraphique (4) de la partie blanche laisse toutefois apparaître quelques traces de la teinte originale.



PHOTOS LRMF

croscopiques grains de peinture pour les placer dans le champ d'un microscope électronique à balayage. Cet appareil projette un faisceau d'électrons sur l'échantillon qui réemet des rayons X dans des gammes d'énergie propres aux éléments chimiques qui le composent. «Résultats, explique Jean-Paul Rioux, l'analyse a révélé la

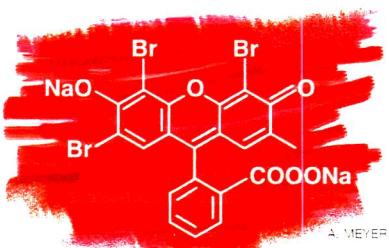
divinisée sous le nom d'Eos dans l'Antiquité, ce colorant s'impose d'emblée comme un produit efficace et bon marché. Il vient surtout compléter la palette des colorants naturels – comme l'acide carminique extrait de la cochenille – qui étaient, à cette époque, la seule source de pigments laqués. Les fabricants commercialisent rapide-

je l'avais peint en rose, il est bleu.» Van Gogh dirait peut-être aujourd'hui la même chose de l'*Eglise d'Auvers* mais aussi du *Portrait du docteur Gachet*, des *Deux Fillettes*, de *Mademoiselle Gachet au jardin*...

Enfin, la polémique sur les faux et les vrais Van Gogh qui empoisonne actuellement le marché de l'art ne pourrait-elle pas trouver une explication rationnelle dans l'analyse des pigments des tableaux soupçonnés. Une expertise scientifique plus approfondie éviterait bien des spéculations hasardeuses... Mais a-t-on vraiment envie de la faire?

La molécule coupable

L'éosine – trois atomes de bore fixés sur la fluorescéine – fut l'un des premiers colorants de synthèse. Il connaît un vif succès. Malheureusement, comme il est instable à la lumière, il a disparu des tableaux.



Razzia sur le vivant

A la recherche de nouveaux principes actifs, les firmes pharmaceutiques mondiales pillent le tiers monde, sa flore, sa faune et ses médecines traditionnelles.

Mais aussi les gènes de certains de ses habitants "miraculeusement" protégés contre telle ou telle maladie. Souvent au mépris du droit international.

Pour lutter contre les maladies émergentes, comme le sida, ou réémergentes, telles la variole et la tuberculose, mais aussi pour vaincre des affections contre lesquelles la médecine est toujours impuissante, comme le paludisme ou le cancer, il n'y a pas d'autre solution que de trouver de nouveaux traitements. Telle fut la conclusion des Entretiens du xx^e siècle qui ont eu lieu, le 16 décembre dernier, à Paris, sous l'égide de l'Unesco.

LES AGENTS INFECTIEUX FONT DE LA RÉSISTANCE

Lors de ce symposium, le Pr Luc Montagnier, découvreur du virus du sida, et le Dr David Heyman, spécialiste des maladies transmissibles à l'OMS, ont mis l'accent sur

l'urgence et la gravité du problème, faisant remarquer que les agents infectieux résistent de plus en plus aux médicaments chargés de les détruire. Ainsi, les trithérapies dont on espérait beaucoup dans la lutte contre le virus du sida semblent avoir une action limitée dans le temps. Quant aux antibiotiques, ils sont de plus en plus impuissants contre les bactéries pathogènes. Au Japon, le redoutable staphylocoque doré, responsable de graves septicémies, commence à résister au plus puissant d'entre eux, la vancomycine. Et le bacille de Koch, cause de la tuberculose, n'est tué que par des cocktails d'antibiotiques toujours plus sophistiqués, alors qu'autrefois la streptomycine suffisait...

Mais où trouver de nouveaux mé-



dicaments ? Tout simplement, comme cela s'est toujours fait, au sein même des êtres vivants des règnes animal et végétal, marin ou terrestre. Ce qui implique d'écumer les mers et de sillonnner les continents, afin d'espérer tomber sur de nouveaux principes actifs. C'est ainsi que la pénicilline a été isolée dans des champignons microscopiques utilisés pour la préparation du roquefort et du camembert. De même, la céphalosporine (un autre antibio-



PHOTOS D. LUDWIG/SIPA

De la forêt à la pharmacie

A partir des baies de l'Aarogyappacha, utilisées comme anti-fatigue par les Kanis, une tribu du sud de l'Inde, le laboratoire indien TBGRI a produit un médicament anti-stress, le Jeevani (à gauche), dont il partage les bénéfices avec les Kanis. Si quelques rares laboratoires rétribuent équitablement leurs fournisseurs, la majorité d'entre eux ne donne rien.

tique) fut extraite d'une moisissure trouvée sur la côte sarde, le paclitaxel (qui agit contre le cancer) découvert fortuitement dans des écorces d'ifs de la côte ouest des Etats-Unis, la cyclosporine (qui diminue les réactions immunitaires) isolée dans des échantillons de ter-

re de Norvège... La découverte récente d'antitumoraux dans les tuniciers (des animaux marins) et celle de fucanes (aux propriétés anticoagulantes) dans des algues brunes sont encore à mettre sur le compte de la chance.

Procéder au hasard n'est pour-

tant pas très rentable. Les espèces animales et végétales se comptent en dizaines de millions. Pour ne s'en tenir qu'aux 265 000 espèces de plantes à fleurs, on estime que seulement 1% ont été analysées.

Les recherches sont également extrêmement coûteuses. Ainsi, pour arriver à un produit commercialisé à partir d'une plante sauvage, il faut d'abord extraire les éventuels principes actifs contenus dans la tige, les feuilles et les racines. Ensuite s'assurer de leur efficacité et



RAGHUBIR SINGH/ANA

de leur non toxicité pour l'organisme, ce qui nécessite des dizaines de tests. Résultat : sur 10000 principes actifs potentiellement intéressants, on estime qu'un seul a des chances de se retrouver sur les étagères des pharmacies. Le lancement d'un nouvel

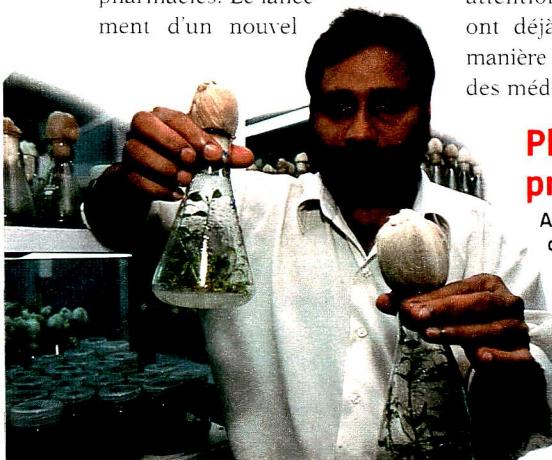
antibiotique revient à 2 500 millions de francs et demande de 8 à 12 années de travail.

Pour toutes ces raisons, les laboratoires pharmaceutiques préfèrent, de plus en plus, focaliser leur attention sur des substances qui ont déjà fait leurs preuves de manière empirique, à savoir celles des médecines traditionnelles. A

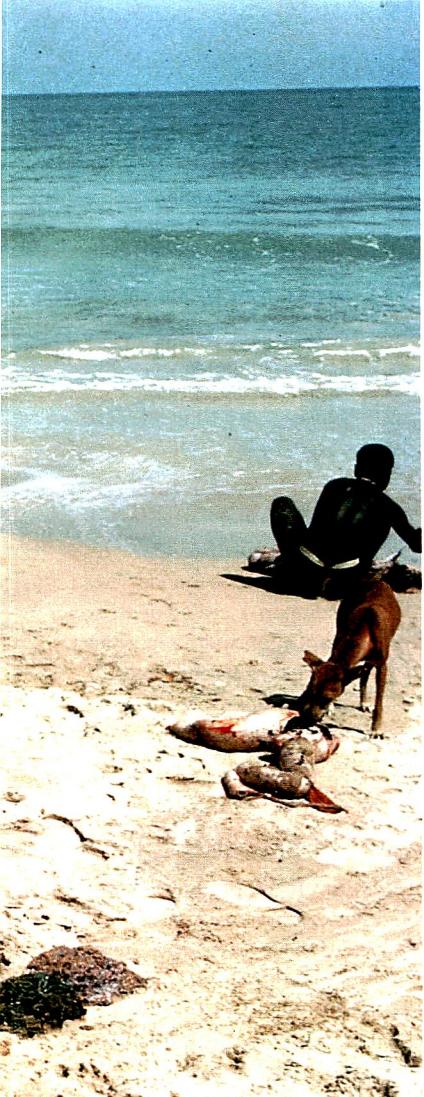
Pharmacopée protégée

Au Kerala, dans le sud de l'Inde, pour sauver les plantes de la pharmacopée traditionnelle d'une exploitation intensive, celles-ci sont cultivées dans des serres.

titre d'exemples, plusieurs "perles" rares ont été découvertes de cette façon, pour le plus grand profit des firmes pharmaceutiques. Du *Papaver somniferum* ou pavot, utilisé dans la péninsule indochinoise pour son pouvoir hallucinogène, on a tiré divers alcaloïdes, dont la morphine. Grâce à l'artémisine, extraite d'une plante de la pharmacopée chinoise contre le paludisme, l'armoise annuelle (*Artemisia annua*), on a pu, selon l'OMS, réduire la mortalité de cette maladie d'un facteur trois dans les pays du Sud-Est asiatique. Actuellement, des chercheurs brésiliens étudient une préparation à base de grenouille, utilisée dans le traitement



D. LUDWIG/SIPA



Le secret des Onges

Pour lutter contre le paludisme, les Onges, une tribu des îles Andaman, archipel indien au sud de la Birmanie, utilisent un breuvage, dont ils détiennent le secret. L'industrie pharmaceutique tente de se l'approprier.

connues. Du *Rauwolfia serpentina*, prescrit traditionnellement dans les pays asiatiques contre les morsures de serpent, on a isolé la réserpine, un alcaloïde aux propriétés hypotensives.

Dans leur quête de nouveaux traitements, les laboratoires pharmaceutiques s'intéressent également à certains peuples qui possèdent des gènes de résistance à telle ou telle maladie. Lorsque la thérapie génique sera au point, des copies de ces gènes pourraient être utilisés comme "pièces de rechange".

Les gènes présentant un intérêt thérapeutique pourront aussi servir à la fabrication de médicaments. La technique consistera à les faire s'exprimer *in vitro*, dans une bactérie ou dans une cellule. Il ne restera plus alors qu'à conditionner les protéines produites.

Dans cette course aux gènes, les pays du tiers monde constituent un terrain particulièrement favorable. Déjà, à partir d'échantillons de sang prélevés chez des habitants de Tristan Da Cunha (île britannique de l'Atlantique Sud), des

chercheurs de la firme allemande Boehringer Ingelheim et de la société américaine Sequana Therapeutics ont découvert le gène défectueux responsable de l'asthme. Ce qui a permis de localiser le gène normal correspondant. De cette découverte, on attend la mise au point de traitements qui pourraient soulager les centaines de millions d'astmatiques dans le monde.

UNE ÎLE SANS CANCER NI DIABÈTE

Récemment, des chercheurs américains ont collecté des échantillons de sang dans une peuplade de l'île de Luçon (Philippines) remarquable pour n'être atteinte ni par le cancer ni par le diabète. Là encore, ils espèrent isoler les gènes responsables de ces particularités, afin de les exploiter médicalement. En Chine, une étude est actuellement menée par l'université américaine Duke sur 10000 Chinois très âgés afin de déterminer les gènes impliqués dans leur longévité. Quant aux Hounzas, une peupla-

L'arbuste anticancer

De l'if (ci-dessous) on extrait une molécule qui, légèrement modifiée chimiquement (à gauche), donne le Taxotère, un puissant anticancéreux.



des maladies intestinales par les Indiens Yawanawa de la forêt amazonienne. On pourrait encore citer d'autres exemples.

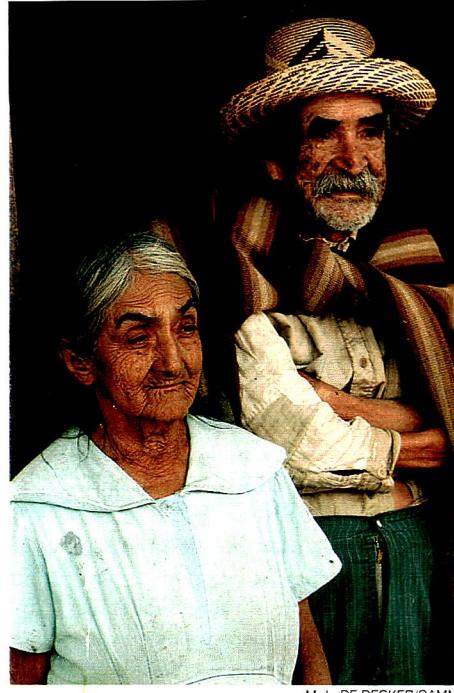
Cependant, il ne faut avoir recours aux médecines traditionnelles qu'avec des précautions infinies. Dans une tribu, une plante peut être recommandée contre les maux de tête, alors que dans une autre, elle est indiquée contre les hémorroïdes... Par ailleurs, les résultats obtenus à partir de certaines plantes sont parfois étonnantes. Ainsi, de l'*Ochrosia elliptica*, une plante utilisée aux îles Moluques contre les fièvres, on a extrait des alcaloïdes, les ellipticines, aux propriétés anticancéreuses re-

de vivant dans l'Himalaya, ils devraient intéresser également les "chasseurs de gènes", puisqu'ils sont peu sensibles aux maladies en général (1).

Cette exploitation du tiers monde posent de graves problèmes, car, la plupart du temps, ses habitants ne reçoivent, en retour, aucun subside des firmes pharmaceutiques.

La conférence internationale de Rio de Janeiro, en 1992, qui avait pour objectif de renforcer la protection des espèces et des milieux naturels, n'a en fait qu'officialisé, à l'échelle mondiale, l'appropriation par l'homme des espèces. C'est-à-dire qu'elle a eu l'effet inverse de celui visé. Le traité final de la conférence précisait certes qu'en échange de leur matière première les pays en voie de développement obtiendraient des "royalties" de la part des laboratoires pharmaceutiques et bénéficieraient de transferts de technologies. Mais tout cela est resté lettre morte.

Des bataillons de chercheurs, affiliés à des trusts pharmaceu-



M.-L. DE DECKER/GAMMA

ge de ses recettes médicinales. On connaît aussi le cas de gouvernements qui reçoivent de l'argent de firmes pharmaceutiques, mais qui, ensuite, ne le distribuent pas aux ayants droit.

Rien d'étonnant donc à ce que des réactions de mécontentement commencent à se manifester un peu partout dans le monde. Ainsi, les Chinois n'autorisent l'exploitation de sa matière vivante qu'à condition que les bénéfices déga-

Longévité génétique

Les "archicentenaires" de Villaconga, un village équatorien, possèdent des gènes de longévité. Leurs copies pourraient être utilisées comme "pièces de rechange" pour prolonger la vie, lorsque la thérapie génique sera au point.

ludéen isolé dans un breuvage à base d'herbes médicinales, utilisé par les Onges, une tribu des îles Andaman. Il craignait qu'un géant mondial de la pharmacie ne s'en empare. Aux dernières nouvelles, le chercheur indien envisage de produire lui-même la substance et de partager les bénéfices avec les Onges.

QUESTION DE CONFIANCE

Médecins aux pieds nus (2), une organisation humanitaire créée et dirigée par le Dr Jean-Pierre Willem, pousse encore plus loin l'altruisme. « Je vais à la rencontre des thérapeutes locaux (guérisseur, chamane, matrone), qui, lorsque la confiance s'est établie, n'hésitent pas à me confier les secrets des plantes qu'ils utilisent. A la suite de quoi, nous fabriquons sur place des préparations peu chères qui sont vendues sans bénéfice aux populations locales. Un sirop fabriqué sur place ne revient qu'à 1 F, alors que le même type de produit, s'il devait être élaboré par les firmes pharmaceutiques puis importé, coûterait 20, voire 30 fois plus. » Bref, « il est normal qu'on exploite un gène ou un principe actif pour le bien-être de l'humanité, il est en revanche indispensable de trouver un moyen équitable d'en faire bénéficier les populations locales », conclut le Pr Donny Strosberg, chercheur à l'institut Cochin de génétique moléculaire, à Paris. ■

Un Indien s'est vu offrir 5 dollars en échange de ses recettes médicinales...

tiques, pillent ainsi la flore de l'Afrique, tandis que d'autres s'immiscent dans les tribus pour prélever le sang de leurs habitants. En Amérique latine, c'est le laisser faire le plus total. Sauf en Bolivie, où le gouvernement impose des règles draconiennes pour sortir les plantes du pays. En Inde, un guérisseur, Kunjira Moolya, spécialisé dans le traitement des morsures de serpent, de l'asthme et de l'épilepsie, s'est vu offrir 5 dollars par un laboratoire allemand, en échan-

ges soient partagés. Au Vietnam, en Malaisie et en Nouvelle-Calédonie également : lorsque le principe actif d'une plante est breveté, les royalties sont équitablement réparties.

En Inde, le microbiologiste De-baprasad Chattopadhyay a refusé de publier la formule d'un antipa-

.....

(1) Pour en savoir plus, lire *le Secret des peuples sans cancer* de Jean-Pierre Willem, éditions du Dauphin.

(2) 222, rue de Vaugirard, 75015 Paris. Tél : 01 45 67 56 29.

DÉCOUVREZ AOL
et profitez de tout
Internet



WEB.
50he
gratu

ESSAYEZ VITE!

Tout le monde vous dit qu'on trouve tout sur Internet mais c'est comme si on vous enfermait dans une immense bibliothèque en éteignant la lumière...

Avec AOL, c'est beaucoup plus clair : il y a des programmes exclusifs et très simples d'accès, des mises à jour permanentes et, pour gagner du temps,

une sélection des meilleurs sites Internet.

Alors, faites-vous votre propre point de vue...

- Un accès simple à tout Internet
- 2 formules d'abonnement
 - 35 F/mois pour 19 F/Heure Sup
 - 95 F/mois pour connexion illimitée
- Possibilité de changer de formule à tout moment gratuitement
- 5 adresses e-mail par abonnement
- Accès local partout en France
- Un réseau ultra-rapide (jusqu'à 56 000 bits)
- Des programmes exclusifs en français
- Un service clientèle gratuit

AOL

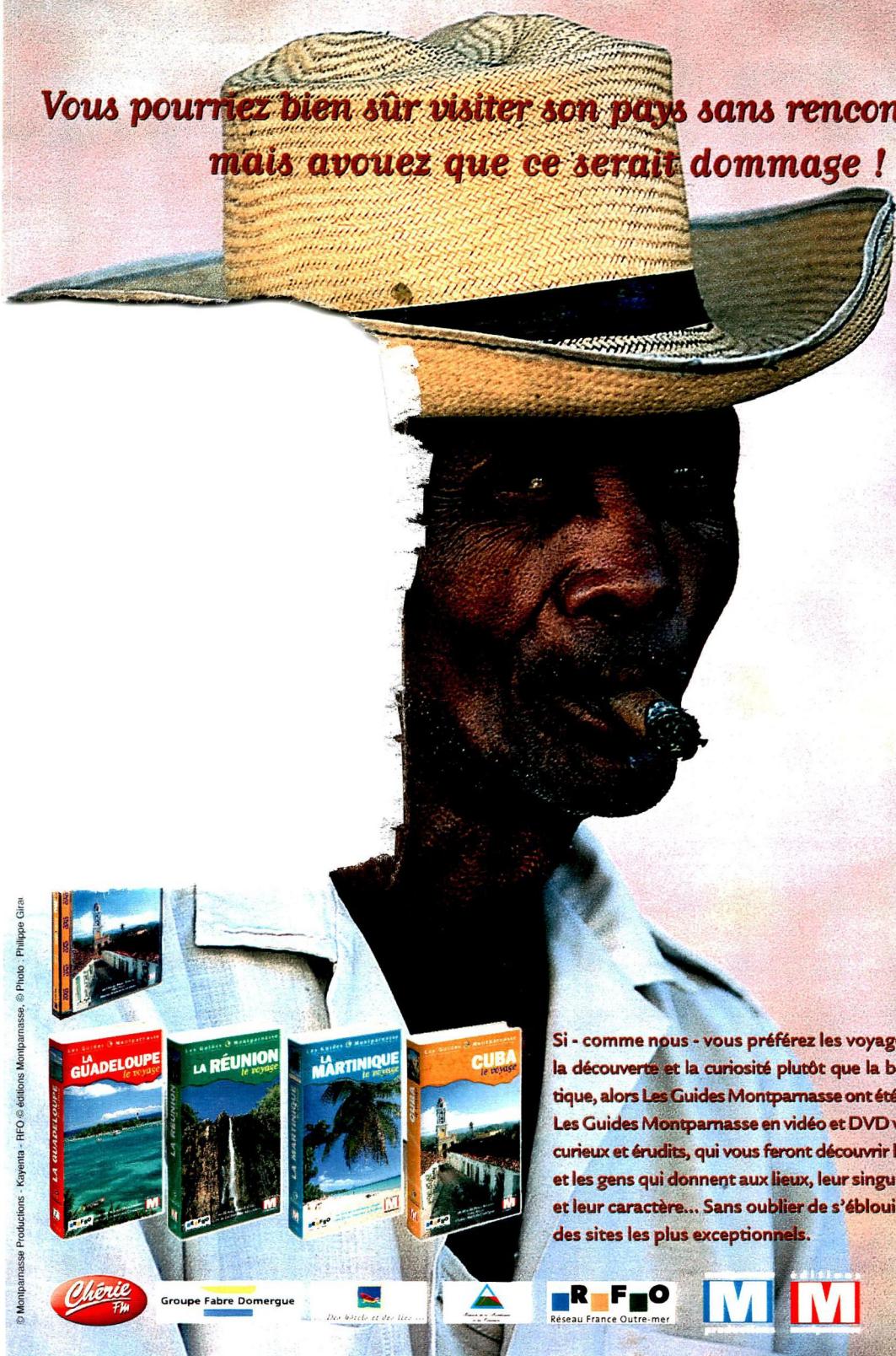
AOL est un service de cegetel

Pour plus d'information ou si vous n'avez pas votre CD-ROM de connexion,
appelez le 01 69 19 94 50, consultez le 3615 AOL (1.01Fmn) ou
visitez notre site <http://www.aol.fr>

Simplifiez-vous Internet

Les Guides Montparnasse

*Vous pourriez bien sûr visiter son pays sans rencontrer Luis,
mais avouez que ce serait dommage !*



Si - comme nous - vous préférez les voyages qui privilégient la découverte et la curiosité plutôt que la banale visite touristique, alors Les Guides Montparnasse ont été conçus pour vous. Les Guides Montparnasse en vidéo et DVD vidéo : des voyages curieux et érudits, qui vous feront découvrir l'histoire, la culture et les gens qui donnent aux lieux, leur singularité, leur charme et leur caractère... Sans oublier de s'éblouir devant la beauté des sites les plus exceptionnels.

Chérie FM

Groupe Fabre Domergue

Des billets et des vols ...

Agence de voyage

RFO

Réseau France Outre-mer

M

LES GUIDES
montparnasse

Vous pouvez leur dédicacer



La mise au point d'un médicament nécessite dix ans de recherches et d'expérimentations. Sur mille molécules sélectionnées, une seule sera commercialisée, celle qui présente la plus forte rentabilité. Paradoxe du système : l'autorisation de mise sur le marché est contrôlée par l'Agence du médicament, dont les experts

Médicaments

**La rentabilité
à tout prix p. 100**

**La face cachée des
essais cliniques p. 110**

**Des prescriptions
sous influence p. 117**

PAR CHRISTOPHE LABBÉ ET
OLIVIA RECASENS

SOUS LA DIRECTION DE DIDIER DUBRANA

sont, pour la plupart, salariés par les laboratoires ! Les 1 500 essais cliniques que ces derniers réalisent chaque année – en utilisant les malades comme cobayes – constituent pour l'hôpital une manne indispensable. L'industrie pharmaceutique se glisse jusque dans le secret du cabinet médical pour guider la main du prescripteur, grâce aux visiteurs médicaux, au contrôle de la formation continue, etc. Ces "liaisons dangereuses" reposent sur une stratégie d'influence et sur des intérêts bien compris.



La rentabilité à tout prix

La mise au point d'un médicament est un énorme investissement. Du coup, la rentabilité prime sur l'intérêt thérapeutique. Dans ce système, les laboratoires se copient mutuellement des molécules rentables, sacrifiant l'innovation. L'autorisation de mise sur le marché des médicaments est aux mains d'experts qui entretiennent des liens étroits avec l'industrie pharmaceutique...



Poules aux œufs d'or

Certains médicaments de prescription sont de véritables poules aux œufs d'or. En 1997, les dix plus grosses ventes mondiales ont totalisé à elles seules un chiffre d'affaires de 130 milliards de francs. Selon la revue américaine *PharmaBusiness*, les cent premières molécules ont rapporté, quant à elles, 496 milliards de francs !

Tout avait pourtant si bien commencé. Les chercheurs de Sanofi, deuxième groupe pharmaceutique français, croyaient détenir la poule aux œufs d'or avec le Skelid. Un médicament contre l'ostéoporose crédité par les analystes financiers d'un chiffre d'affaires potentiel de 6 milliards de francs à l'horizon 2002. Et puis, patatras. Le 24 septembre 1997, l'action Sanofi plonge de 13% en une seule journée. La raison de ce mercredi noir : les résultats des tests effectués par le la-

boratoire, sur 1 800 femmes ménopausées, montrent que le Skelid fait à peine mieux qu'un placebo (1). Coup dur pour la filiale d'Elf qui voit lui échapper la manne du marché de l'ostéoporose, et devra se contenter de poursuivre la commercialisation du Skelid pour la seule maladie de Paget, une affection des os beaucoup plus rare, qui ne "pèse" que 300 millions de francs par an.

.....

(1) Faux médicament qui ne contient aucune substance médicamenteuse.

(Source : *PharmaBusiness*, juillet-août 1998).



Zocor

MERCK SHARP &
DOHME-CHIBRET :
20,4 milliards de francs

Mopral

ASTRA : 16 milliards
de francs

Prozac

LILLY : 14,5 milliards
de francs

Renitec

MERCK SHARP &
DOHME-CHIBRET :
14,3 milliards de francs



P. ALLARD/REA

Pour une firme pharmaceutique, dénicher dans sa chimiothèque la molécule qui conduira au "médicament milliardaire" revient à chercher une aiguille dans une botte de foin. Après avoir trié les candidats intéressants, reste à en vérifier l'innocuité et l'efficacité en les testant sur l'animal, puis sur l'homme. En bout de course sur 1 000 molécules, une seule sera commercialisée (voir dessin pages suivantes). Le hic, c'est qu'en dehors des abandons médicalement motivés, il arrive que l'industriel mette au panier sa mo-

Sélection impitoyable

Sur mille molécules sélectionnées, une seule sera commercialisée. Un grand nombre d'entre elles, intéressantes d'un point de vue thérapeutique mais affligées d'un trop faible potentiel financier, seront jetées au panier.

lécule pour des motifs purement économiques. « C'est parfois à la frontière de l'éthique », reconnaît le Pr Rosenzweig, directeur de la pharmacologie clinique de Synthélabo. « Un laboratoire qui dispose d'une molécule dont il pense qu'elle apportera 5% d'amélioration dans une pathologie grave pour laquelle il n'existe aucun autre traitement, ne se donnera pas la peine de la commercialiser. En effet, plus l'apport thérapeutique espéré est faible, plus sa mise en évidence statistique nécessite des essais cliniques à gros effectifs,



Azantac

GLAXO WELLCOME :
12,8 milliards de
francs



Amlor

PFIZER : 12,6 milliards
de francs



Clarytine

SCHERING
LABORATORIES :
9,8 milliards de francs



Augmentin

SMITHKLINE
BEECHAM :
8,6 milliards de francs



Zoloft

PFIZER : 8,6 milliards
de francs

Médicaments

enquête

Examen de passage facile

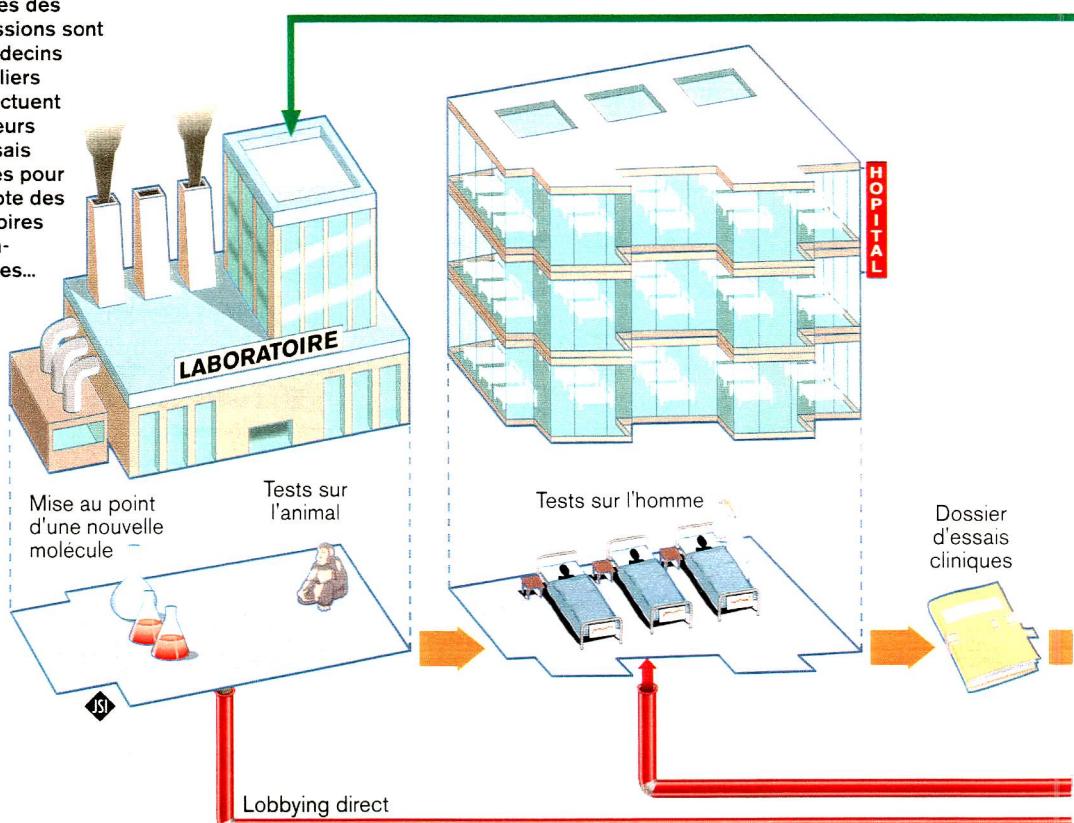
Pour être commercialisée, toute nouvelle molécule doit obtenir le feu vert de l'Agence du médicament. L'examen de passage se déroule devant la commission d'autorisation de mise sur le marché, puis la commission de la transparence, qui lui attribue une note en fonction de son intérêt thérapeutique. La plupart des membres des commissions sont des médecins hospitaliers qui effectuent par ailleurs des essais cliniques pour le compte des laboratoires pharmaceutiques...

donc très coûteux, et une fois ses résultats en poche, le laboratoire devra déployer une énorme puissance de feu marketing pour convaincre les prescripteurs. Au final, des vies humaines ne seront pas sauvées alors que l'on dispose *a priori* du traitement. » Parfois, c'est pour de simples raisons de calendrier marketing que des molécules sont laissées à l'abandon. Une situation à laquelle s'est trouvé confronté le Pr Jean-Paul Escande, responsable du service de dermatologie à l'hôpital Cochin, à Paris. « Alors que je sollicitais des moyens supplémentaires auprès d'un grand laboratoire pharmaceutique français pour étudier une nouvelle lignée de molécules anticancéreuses, le directeur de recherches m'a clairement fait comprendre que cela ne collait pas avec leur plan marketing, en précisant : « Nous devons lancer un anticancéreux d'ici à cinq ans et le vôtre ne sera prêt que dans huit

ans ». Trop souvent, ce qui décide du lancement d'un nouveau médicament est moins son intérêt thérapeutique que la nécessité d'être présent au bon moment sur un créneau lucratif. Les yeux rivés sur le "G7 pharmaceutique", c'est-à-dire le marché des sept grands pays industrialisés qui absorbent à eux seuls 85 % des médicaments de la planète, les industriels exploitent les molécules "à gros rendements", utilisées dans le traitement de l'asthme ou de l'hypertension, et dédaignent celles qui sont affligées d'un trop faible potentiel financier.

100 MILLIONS DE CAS DE PALUDISME : AUCUN MÉDICAMENT

Il n'existe, par exemple, aucun traitement contre le paludisme qui, avec 100 millions de personnes atteintes, constitue pourtant la maladie la plus répandue dans le monde ! Même attitude à l'égard des pathologies rares qui concernent cette fois des patients situés dans des

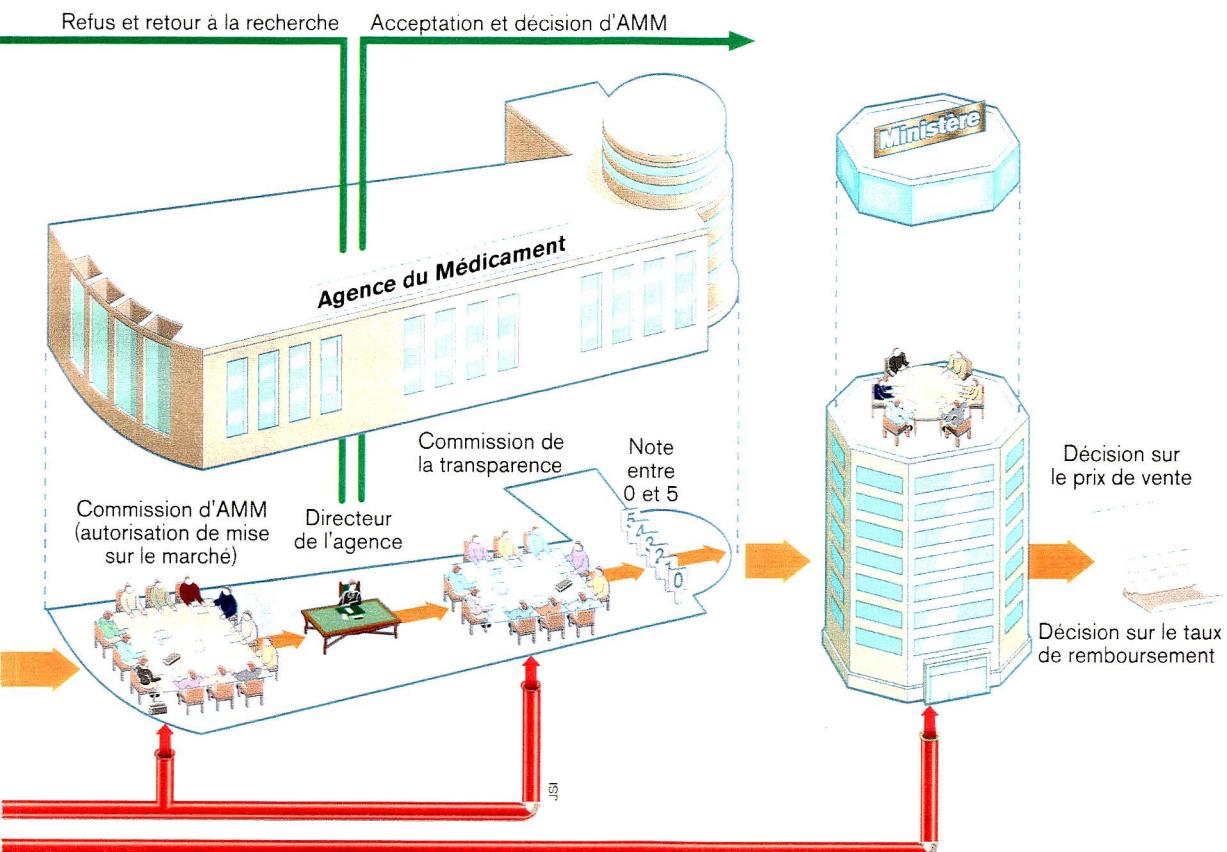


DE LA MOLECULE AU MEDICAMENT

■ Pour qu'une molécule chimique devienne un médicament, il faut compter dix ans et plus de 1 milliard de francs. Première étape : le "screening biochimique". Il consiste pour une firme pharmaceutique à mettre en présence toutes les molécules de sa chimiothèque avec des cibles biologiques sélectionnées et à observer leur fixation sur ces dernières. Cela conduit à la sélection, grâce à une batterie de tests *in vitro*, des molécules les plus prometteuses en termes, notamment, d'efficacité et de durée d'action. Reste ensuite à développer la molécule retenue.

Dans un premier temps, les chercheurs vont la tester sur l'animal pour en étudier les propriétés, l'activité, le mécanisme d'action... Puis c'est l'expérimentation sur l'homme, baptisée "études cliniques". Elle se décompose en quatre étapes. La phase I a pour but de contrôler l'innocuité du produit sur une cinquantaine de volontaires sains. La phase II se déroule principalement en milieu hospitalier. Il s'agit de déterminer la dose optimale sur un échantillon de malades (environ 50 personnes). Une fois ce cap franchi, la phase III consiste à

vérifier, cette fois, l'efficacité clinique du produit sur une plus large population de patients : de 2 000 à 5 000 personnes. Les résultats obtenus lors de ces trois phases vont servir à décrocher une autorisation de mise sur le marché. Après la commercialisation, les études sur l'homme se poursuivent. C'est ce qu'on appelle la phase IV. Elle est censée permettre au laboratoire d'évaluer l'utilisation du médicament par les médecins et de détecter d'éventuels effets secondaires, mais elle est surtout un outil promotionnel visant à pousser la prescription.





Médicaments

pays occidentaux, mais en trop petit nombre (lire encadré "Les maladies laissées pour compte").

Le médicament sur lequel mise l'industriel doit non seulement lui assurer des débouchés conséquents, mais aussi un retour sur investissement le plus rapide possible. Soit cinq ans au maximum pour un coût de développement qui oscille entre 1 et 3 milliards de francs. « Les financiers ont pris le dessus sur les chercheurs, or le problème d'une découverte est qu'elle ne se programme pas », souligne Jean-Pierre Boissel, professeur de pharmacologie clinique à l'hôpital de Lyon. En outre, lancer une nouvelle molécule comporte toujours le risque de voir apparaître des effets graves conduisant à l'abandon du médicament en cours de développement, ou pire à son retrait du marché. Avec pour conséquence des milliards investis en pure perte. La plupart des industriels préfèrent donc copier à tour de bras les trouvailles du concurrent. L'astuce consiste à rajouter un brin de molécule ici ou là pour modifier un détail dans la posologie ou le mode d'administration, puis à déclarer qu'on a inventé un nouveau médicament. C'est ce qu'on appelle dans le jargon pharmaceutique les "me too", en clair "moi aussi, je veux une part du gâteau". « Ce n'est pas de la recherche, mais du bricolage. Un peu comme lorsque l'industrie automobile se contente de modifier la couleur de ses voitures ou la taille des réservoirs », précise le Pr Jean-Paul Escande.

LES "ME TOO" ONT ENVAHI LE MARCHÉ

« Avec un avantage de taille, les firmes pharmaceutiques peuvent programmer le lancement de ces vrais-faux médicaments et les inclure dans une stratégie de marché visant à ne pas laisser un concurrent s'installer seul sur une classe thérapeutique rentable. » Pour se prémunir des copieurs, le laboratoire qui découvre une molécule prometteuse va prendre soin d'en breveter

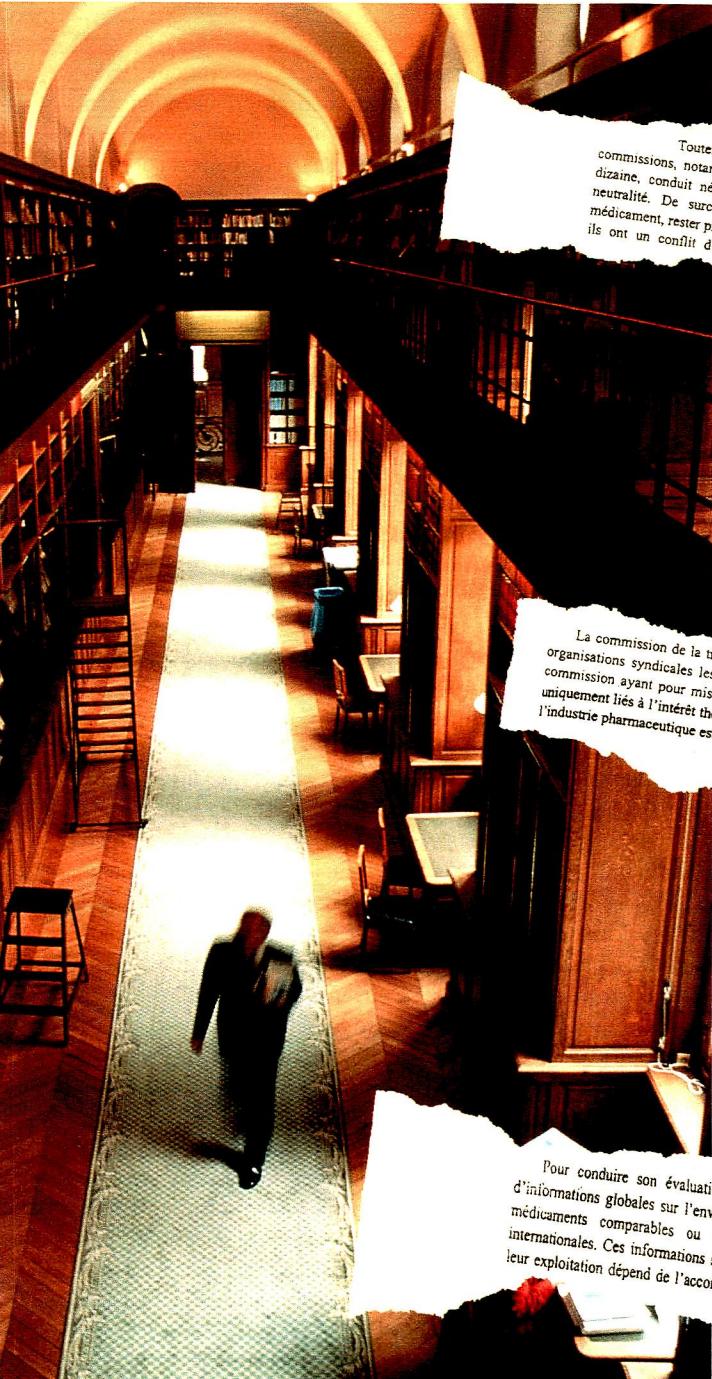
toutes les déclinaisons possibles et d'établir ainsi une sorte de périmètre de sécurité anti-« me too ». Le but du jeu pour le concurrent consiste à trouver la faille. Avec un peu de chance et beaucoup de marketing, il peut même détrôner l'original. Le Mopral du laboratoire Astra, un anti-ulcèreux qui est la copie d'une molécule mal protégée par SmithKline Beecham, est devenu le leader du marché, parce qu'il provoquait moins d'effets secondaires. Véritables tirelires des laboratoires, les "me too" ont envahi le marché. On compte des dizaines d'antibiotiques, d'antihypertenseurs ou d'antidépresseurs tous plus moins semblables.

L'EXEMPLE DE LA TACRINE

Mais qu'il s'agisse ou non d'un "me too", le candidat médicament doit décrocher une autorisation de mise sur le marché (AMM). Depuis quelques années, il peut passer par l'Agence européenne du médicament et obtenir une AMM simultanément dans tous les pays de l'Union. Une procédure qui ne concerne pour l'instant qu'une minorité de médicaments. Pour la France, ce sésame est délivré par l'Agence française du médicament, une autorité de contrôle dont les deux tiers du budget sont indirectement financés par les laboratoires pharmaceutiques. Lorsqu'une firme frappe à la porte de l'Agence, elle s'acquitte d'une dîme de 150 000 F et dépose 10 m³ de sacs postaux contenant les résultats des tests pratiqués sur l'animal et sur l'homme. Une montagne de papiers que vont devoir épucher les membres de la commission d'AMM afin de s'assurer de la qualité pharmaceutique, de l'effet thérapeutique et de la sécurité du produit. En 1997, sur 1 185 dossiers examinés, 110 sont passés à la trappe, auxquels il faut ajouter environ 200 médicaments pour lesquels les industriels ont préféré se retirer sur la pointe des pieds au dernier moment plutôt que de prendre le risque d'être recalés et de s'attirer une mauvaise publicité. La quasi-totalité des membres et experts des commissions qui guident les décisions de l'Agence travaillent par ailleurs pour le compte de l'industrie pharmaceutique. Médecins hospitaliers



GAMMA



pour la plupart, ils sont rémunérés par les laboratoires pour effectuer des recherches cliniques ou employés comme consultants. Depuis 1994, les membres des commis-

Toutefois, le nombre élevé de liens reconnus par les membres de certaines commissions, notamment celles de l'AMM et de la transparence, qui peut dépasser la dizaine, conduit nécessairement à poser la question de leur indépendance et de leur neutralité. De surcroît, les membres des commissions peuvent, selon l'agence du médicament, rester présents lors de l'examen d'un médicament d'un laboratoire avec lequel ils ont un conflit d'intérêt.

sions sont tenus de signaler à l'Agence les relations financières qu'ils entretiennent avec les firmes pharmaceutiques. Mais il s'agit d'une simple déclaration sur l'honneur qui n'est assujettie à aucun contrôle. En 1997, 66 des 78 membres de la commission d'AMM avaient des liens déclarés avec l'industrie pharmaceutique, une dizaine affichaient des contrats de travail ou des

La commission de la transparence comprend, parmi ses membres, un représentant des organisations syndicales les plus représentatives des laboratoires pharmaceutiques. Cette commission ayant pour mission d'apporter aux ministres un avis fondé sur des éléments uniquement liés à l'intérêt thérapeutique du médicament, la participation du représentant de l'industrie pharmaceutique est contestable.

rémunérations régulières. Une situation qui, comme le souligne la Cour des comptes dans son rapport sur la Sécurité sociale publié en septembre 1998 (2) : « conduit nécessairement à poser la question de leur indépendance et de leur neutralité. » Un avis partagé par le Pr Jean-Pierre Boissel. « J'ai préféré abandonner mes responsabilités en tant qu'expert à l'Agence, car il est impossible de rester objectif lorsque vous avez à donner votre avis sur le

Pour conduire son évaluation, la commission de la transparence ne dispose pas d'informations globales sur l'environnement du produit, telles que la consommation des médicaments comparables ou de la même classe ou encore des comparaisons internationales. Ces informations sont exclusivement détenues par des sociétés privées et leur exploitation dépend de l'accord de l'industrie pharmaceutique.

médicament d'une firme qui, par ailleurs, finance vos recherches. » L'exemple de la tacrine illustre parfaitement ce mélange des genres. En 1994, ce traitement contre la maladie d'Alzheimer

.....
(2) "La sécurité sociale", septembre 1998, éditions des Journaux officiels.

Les critiques de la Cour des comptes

Dans son dernier rapport sur la Sécurité sociale, publié en septembre 1998, la Cour des comptes épingle l'Agence du médicament. Elle relève, notamment, les nombreux liens financiers qu'entretiennent les experts de l'Agence avec l'industrie pharmaceutique. La Cour regrette en outre le manque d'informations pertinentes dont dispose la commission de la transparence pour statuer sur l'intérêt thérapeutique des produits.

Médicaments

passe devant la commission d'AMM, dont l'un des membres, accessoirement président du conseil scientifique de l'association de malades France Alzheimer, a coordonné les essais cliniques du médicament pour le compte de la firme Parke-Davis. En clair, le dossier que va juger la commission a été concocté par un de ses membres, payé pour cela par le laboratoire. L'enjeu est énorme puisque ce produit vise un marché en pleine expansion, celui des personnes âgées dans les pays développés. Malgré des risques d'effets graves, la tacrine décroche son autorisation de mise sur le marché, simplement assortie d'un dispositif spécial de suivi des 5 000 premiers patients. Quatre ans plus tard, les résultats de cette étude n'ont toujours pas été rendus publics.

LIAISONS DANGEREUSES

Si les pouvoirs publics s'accordent de ces liaisons dangereuses, c'est en partie parce qu'ils y trouvent leur compte. Doter l'Agence d'un corps d'experts indépendants de l'industrie supposerait de les payer, or actuellement les membres des commissions ont un avantage de taille : ils ne coûtent rien. Ainsi, le président de la commission d'AMM, par ailleurs gastro-entérologue à l'hôpital Lariboisière, consacre la moitié de ses journées à l'Agence où il occupe un bureau, sans percevoir un seul centime !

Pour obtenir l'AMM, les grandes firmes ne se contentent pas de courtiser les experts de l'Agence, elles préparent le terrain très en amont. A coup de congrès internationaux, au cours desquels elles distil-

lent des résultats d'essais cliniques triés sur le volet mais qui ne préjugent en rien de l'efficacité du médicament, elles créent chez les spécialistes mondiaux du domaine un climat d'attente pour leurs produits. Une stratégie que les firmes déploient également quand, ayant fait le plein sur une pathologie, elles visent une extension d'AMM. En clair, l'autorisation d'étendre la prescription de leur médicament sur une nouvelle indication thérapeutique.

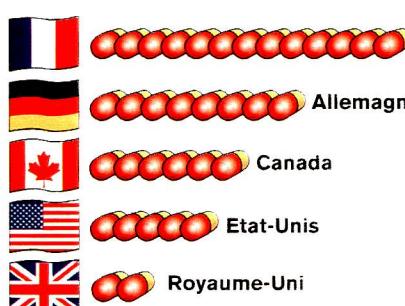
UN CHÈQUE DE 5 000 F...

En août dernier, un laboratoire suisse qui commercialise l'hormone de croissance a ainsi convié à Genève une vingtaine de grands noms de la cancérologie. But de l'opération : les convaincre, au vu des premiers résultats d'essais cliniques, de l'intérêt de prescrire aux cancéreux en phase terminale, afin de rétablir leur équilibre nutritionnel, de l'hormone de croissance jusqu'à présent réservée aux enfants souffrant de nanisme. Au retour de ces deux jours de congrès dans l'un des plus grands hôtels de la ville, les participants ont reçu par la poste une lettre de remerciement, accompagnée d'un chèque de 5 000 F... Les associations de malades, à l'affût de la plus petite avancée thérapeutique, constituent elles aussi un puissant levier pour accélérer la mise sur le marché d'un médicament. Outre une aide financière sous forme de dons, les industriels s'empressent de leur communiquer le moindre résultat positif survenu en cours d'essai clinique.

Une stratégie récemment dénoncée par *The Lancet*. Dans son éditorial du 7 juin 1997, la prestigieuse revue scientifique britannique épingle la firme Bristol-Myers Squibb à propos d'un essai clinique indépendant visant à démontrer l'efficacité du Taxol comme premier traitement dans le cancer de l'ovaire. Dès les premiers résultats, et malgré l'avis des expérimentateurs qui les estimaient incomplets, le laboratoire avait décidé d'interrompre l'essai afin que les patients bénéficient au plus vite du nouveau traitement. Une position aussitôt relayée par les associations de malades, chauffées à blanc... En cancérologie, ar-

Les Français en haut du podium

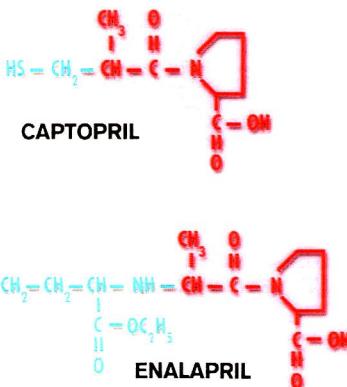
De tous les pays, la France occupe la première marche du podium pour les dépenses de médicaments par habitant (en parité de pouvoir d'achat), loin devant les Etats-Unis !



(Source : "Les classes de remboursement : critères de décision", Forum du droit et des affaires, décembre 1996)

guant du fait que mesurer l'effet du traitement sur le taux de survie nécessiterait des essais cliniques trop longs, les firmes qui postulent à l'AMM bénéficient d'un régime de faveur. La commission se contente de jauger l'efficacité du médicament au simple vu de son action sur la taille de la tumeur. Un résultat qui, comme l'indique le Pr Escande ne préjuge pas du taux de guérison des patients. « Cela peut simplement signifier que la tumeur a bien diminué de quelques millimètres, mais que d'autres tumeurs sont apparues ailleurs. » Conséquence : selon une haute autorité médicale qui a souhaité garder l'anonymat, la plupart des anticancéreux actuellement utilisés n'ont pas fait la preuve de leur efficacité en termes d'amélioration de l'espérance de vie, et rares sont les laboratoires qui, une fois leur produit commercialisé, lancent des études sur cet aspect...

Mais la cancérologie n'est pas le seul domaine où les médicaments obtiennent l'AMM sur des bases tronquées. Dans son rapport intitulé "Mission générale concernant la prescription et l'utilisation des médicaments psychotropes en France", rendu au ministre de la Santé en mars 1996, le Pr Edouard Zarifian, chef du ser-



Copie presque conforme

Les laboratoires se copient mutuellement leurs médicaments à succès. L'astuce consiste à ajouter un brin de molécule ici ou là. Ce sont les "me too". Le Captopril (antihypertenseur) a ainsi vu débarquer une dizaine de molécules "sœurs", comme l'Enalapril, ci-dessus.

vise de psychiatrie et de psychologie médicale au centre hospitalier universitaire de Caen, écrit : « Les malades avec qui sont réalisés ces essais thérapeutiques, ne représentent en rien les populations qui seront traitées une fois que le médicament aura obtenu son AMM. » Et pour cause, les "cobayes humains" ayant des antécédents suicidaires ou

qui présentent une psychose maniacodépressive sont exclus d'office de la plupart des protocoles concernant des antidépresseurs. Les industriels se battent non seulement pour obtenir une AMM, mais aussi pour que le libellé de celle-ci, qui va permettre de vanter le produit auprès des prescripteurs, soit le plus favorable possible.

DONNÉES FOURNIES PAR LES LABOS

Un enjeu sur lequel veille le représentant du Syndicat national de l'industrie pharmaceutique (SNIP) présent lors des délibérations de la commission. En 1997, 5 200 demandes de modifications de libellés ont ainsi été déposées auprès de l'Agence. Une fois l'AMM en poche, les firmes passent à la case remboursement. Premier

arrêt : la commission de la transparence, elle aussi composée d'experts bénévoles plus ou moins liés

Remboursés, mais pas toujours efficaces

Trois fois par jour, les grossistes en médicaments approvisionnent les 22 588 pharmacies françaises. Sur les quatre millions de boîtes de médicaments distribuées, on compte 5 462 spécialités remboursables, dont un grand nombre n'ont pas fait la preuve de leur efficacité thérapeutique.



à l'industrie pharmaceutique. Sa mission est d'évaluer l'« amélioration du service médical rendu » (ASMR), c'est-à-dire le degré d'innovation thérapeutique de chaque médicament, en lui appliquant une note de 1 à 5. Un classement réalisé, là aussi, à partir des seules données fournies par les industriels. Pour décrocher une bonne note, certains laboratoires sont tentés d'escamoter les études dont les résultats sont négatifs ou d'introduire des biais afin de présenter leur médicament sous le meilleur jour. L'astuce consiste, par exemple, à agiter l'argument de la meilleure tolérance. Or, statistiquement, un traitement testé sur un petit nombre de malades affiche forcément moins d'effets secondaires que des produits commercialisés à grande échelle. En fait, comme le révèle une étude publiée en 1996 par des chercheurs de l'université de Californie (3), les résultats des essais cliniques ne sont pas toujours à prendre au pied de la lettre. Certains laboratoires n'hésitent pas à changer les critères de recrutement en cours de route pour faire sortir de l'essai les cobayes qui risquent de faire pencher la balance du mauvais côté. L'étude cite également un autre artifice couramment employé qui consiste à tester son médicament à une dose plus élevée que celle du concurrent.

Sévere bilan

Chaque année, la revue médicale indépendante Prescrire établit un classement de la plupart des nouveaux médicaments. Le bilan de l'année 1998 est sévère. Parmi les 243 produits passés au crible, seuls 42 ont été jugés utiles pour les malades ! (Prescrire, janvier 1999, n° 191).

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
bravo intéressant	0 1	0 1	0 3	1 16	0 3	0 2
apporte quelque chose	8	12	15	8	12	17
éventuellement utile	15	27	15	25	38	23
n'apporte rien de nouveau	61	65	52	85	125	193
pas d'accord	2	6	1	3	-	4
la rédaction ne peut se prononcer	4	10	5	16	6	4
Total	91	121	91	154	184	243

rent ou à le comparer avec le produit le moins performant parmi ceux déjà commercialisés. Parmi les autres subterfuges évoqués, figure aussi le fait de mesurer l'effet du médicament selon un critère qui a pour seul mérite de produire des résultats favorables. Il s'agit, par exemple, de tester deux antidépresseurs en se contentant de comparer l'impact sur l'electrocardiogramme des cobayes humains plutôt que l'amélioration de leur état dépressif.

ENTRE 1994 ET 1997, AUCUN REJET DE L'ADMISSION AU REMBOURSEMENT

« Le problème des essais cliniques est qu'on évalue trois cents paramètres pour en extraire les vingt bons. C'est un peu comme prendre une photo sous le meilleur angle. D'où les cruelles désillusions par la suite », explique le Pr Jean-Paul Escande. La Cour des comptes ne s'y est pas trompée puisqu'elle préconise un renforcement des capacités d'expertise de la commission afin que cette dernière « puisse asseoir ses avis sur des éléments incontestables ». C'est pourtant en fonction de l'ASMR, que la commission propose ou non le remboursement du médicament. Sur le papier, c'est un encouragement à l'innovation, mais la réalité est tout autre. Entre 1994 et 1997, aucun médicament n'a été écarté de l'admission au remboursement alors que 64 % d'entre eux ne pouvaient démontrer une amélioration du service médical rendu. Au final, ce sont les pouvoirs publics qui tranchent, et les préoccupations politiques ou industrielles l'emportent souvent sur les intérêts de santé publique. Dans son dernier rapport sur la Sécurité sociale, la Cour des comptes relève de multiples avantages tarifaires dont le seul but est d'aider des entreprises à créer ou maintenir des emplois. Et de citer à mots couverts le cas du laboratoire français Niverpharm qui a obtenu à la fin des années 80 pour son médicament vedette, le Rhéoflux, une surtarification de 30 %, en échange de l'implantation d'une usine dans la Nièvre. Un

.....

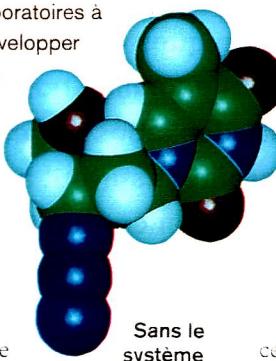
(3) "Influences on the quality of published drug studies". *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 1996. Cambridge University Press.

LES MALADIES LAISSÉES POUR COMPTE

■ Le syndrome de Gorlin-Goltz est une maladie génétique qui provoque d'effroyables malformations osseuses, mais pour laquelle il n'existe aucun traitement. Et pour cause, elle fait partie des 5 000 maladies rares recensées dans le monde, qui, parce qu'elles touchent moins d'une personne sur 2 000, ne font pas recette auprès des firmes pharmaceutiques françaises. « Nos patients expriment un sentiment d'abandon. Ils se rendent compte que les laboratoires se désintéressent complètement de leur sort », indique Jean-François Cordier, professeur de pneumologie à l'hôpital de Lyon, qui a créé en 1993 un centre d'étude et de recherche sur les maladies orphelines pulmonaires. « Le dernier financement public que j'ai décroché prend fin dans trois ans. Il faudra alors que je reprenne mon bâton de pèlerin. Et si je ne trouve pas d'argent, je devrais mettre la clé sous la

porte... » Heureusement, la situation est en train d'évoluer. Les pouvoirs publics français ont fait adopter, en juillet dernier, par la Commission européenne, un projet d'incitation au développement des traitements contre les maladies rares sur le modèle de l'Orphan Drug Act, votée aux Etats-Unis en 1983 sous la poussée des associations de malades. A partir de cette année, tous les projets retenus par le Comité européen des médicaments orphelins bénéficieront d'une aide à l'élaboration des essais cliniques, d'incitations fiscales et d'une exclusivité commerciale de dix ans. « Nous voulons inciter les laboratoires à développer les

M. COGAN/PHOTO



Sans le système d'aides à la recherche sur les médicaments orphelins, mis en place par l'administration américaine, l'AZT n'aurait jamais vu le jour.

molécules qu'ils gardent dans leurs tiroirs et qui sont des médicaments orphelins en puissance », explique Annie Wolf, ex-directrice de recherches à l'Inserm et aujourd'hui responsable d'une mission sur le sujet au ministère de la Santé. « Aux Etats-Unis, l'Orphan Drug Act a permis de mettre sur le marché 175 médicaments dits "orphelins". Il faut espérer que les PME pharmaceutiques françaises investissent à leur tour le créneau. » D'autant que pour une mise de fonds relativement faible, celles qui tenteront l'aventure tomberont peut-être sur la molécule du siècle. En 1985, aux Etats-Unis, les laboratoires Glaxo-Wellcome demandent à bénéficier de l'Orphan Drug Act pour pouvoir développer un médicament orphelin appelé... l'AZT. Comme l'indique Annie Wolf : « Sans la loi sur les maladies orphelines, nous n'aurions jamais eu ce traitement contre le SIDA. »

coup de pouce de l'Etat renouvelé chaque année au groupe pharmaceutique, qui s'élevait, en 1997, à 250 millions de francs !

En bout de chaîne, le patient hérite de médicaments qui coûtent cher pour un apport thérapeutique souvent négligeable. Mais surtout, comme l'explique le Pr Rosenzweig : « En acceptant de rembourser des médicaments à faible valeur ajoutée médicale, les pouvoirs publics ont favorisé un système qui recelait son propre poison puisque la plupart des firmes pharmaceutiques françaises n'ont ainsi jamais été poussées à l'innovation. » Résultat : derrière Rhône-Poulenc, qui, avant sa fusion avec Hoechst, occupait la dix-septième place mondiale, l'industrie pharma-

eutique française offre un paysage morcelé de plus de 300 PME, n'ayant produit qu'une poignée de vrais nouveaux médicaments. Un constat accablant qui figure noir sur blanc dans un rapport publié en mars 1995 par la Mutualité française (4) : « Du fait de ses structures, à quelques rares exceptions près, cette industrie est passée, ces dix dernières années, à côté des biotechnologies, de tous les nouveaux concepts pharmacologiques et des produits innovants... »

(4) "Comité de concertation sur le médicament", rapport de la Mutualité française.

Pour en savoir plus : Qui décide de notre santé. Bernard Cassou et Michel Schieff, éditions Syros, 1998.

La face cachée des essais cliniques

Les trois quarts des études cliniques des laboratoires pharmaceutiques sont réalisés en milieu hospitalier. La concurrence sauvage entre les labos engendre une inflation de ces essais, qui profitent surtout aux médecins hospitaliers. Chaque année, en France, 300 000 malades leur servent de cobayes, dans la plus grande opacité.

Dix milliards de francs. C'est la somme dépensée chaque année par les laboratoires pharmaceutiques français pour tester sur l'homme leurs futurs médicaments. Les essais cliniques engloutissent à eux seuls 60 % du budget dévolu à la recherche et au développement de nouvelles molécules. Mais à y regarder de plus près, ils sont trop souvent motivés par des objectifs marketing qui ont peu à voir avec la recherche médicale. Le laboratoire se contente alors d'utiliser des malades "cobayes" pour comparer les performances de son médicament à celui du concurrent afin d'engranger des arguments qui vont servir à le promouvoir aux

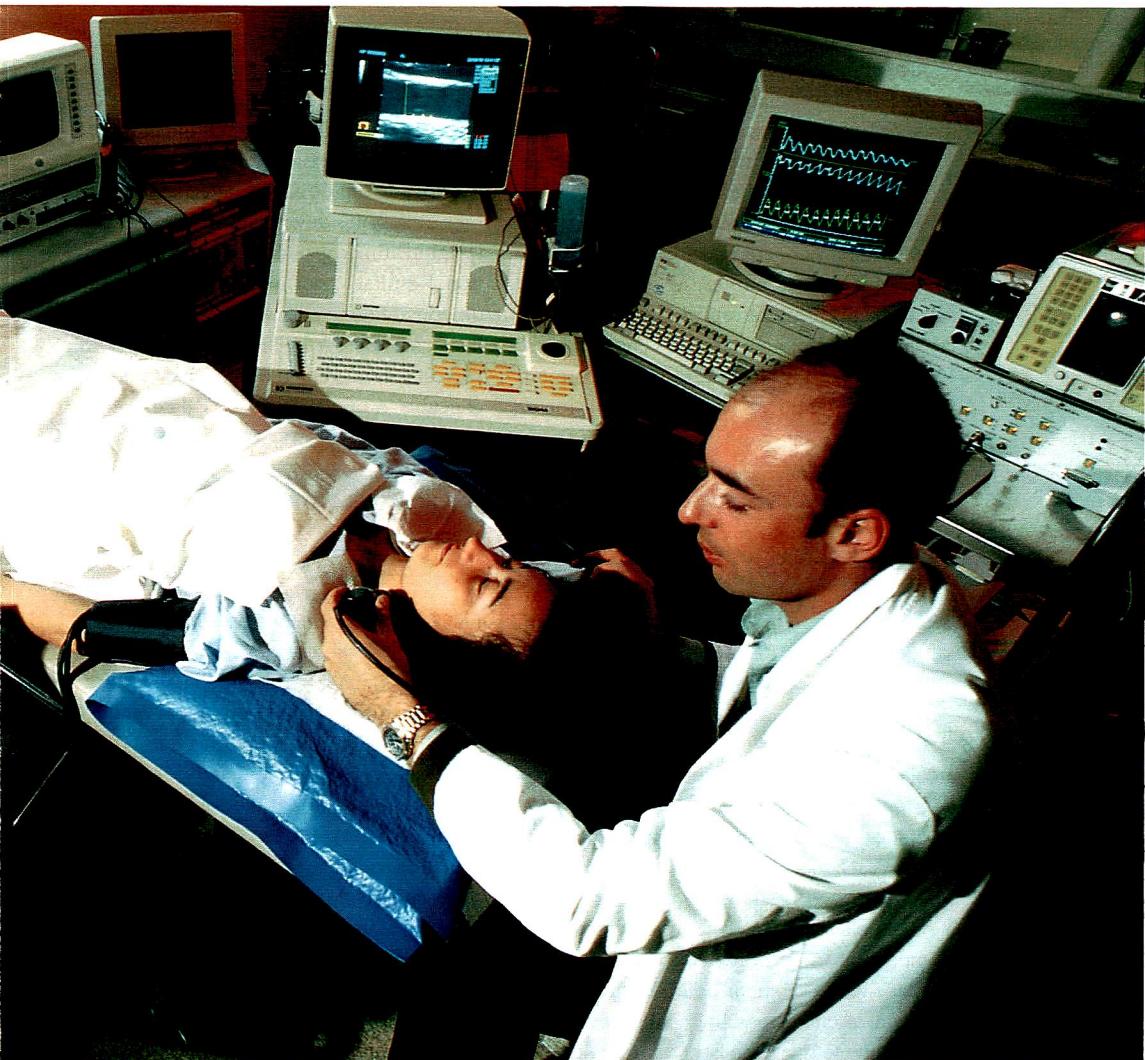
yeux du prescripteur. Et comme seuls environ 10 % des médicaments lancés chaque année sont réellement innovants, la plupart des firmes se battent pour mettre en relief des apports thérapeutiques minimes. D'où une inflation dans la taille des essais cliniques pratiqués sur les malades. Car, comme l'indique Cyrille Leperlier, directeur médical aux laboratoires Rhône-Poulenc-Rorer, qui aligne pas moins de 162 essais pour une trentaine de molécules en cours de développement : « Plus la différence que l'on souhaite mettre en évidence est faible, plus il faut donner de la puissance statistique à l'étude, c'est-à-dire inclure un grand nombre de patients. » Une dérive qui ex-

ALLARD/REA



Une manne pour les hôpitaux

Chaque année, les laboratoires versent 5 milliards de francs aux services hospitaliers auxquels ils sous-traitent leurs essais cliniques. 300 000 malades cobayes participent ainsi à des tests de médicaments pour le compte de l'industrie pharmaceutique.



plique pourquoi chaque année, en France, plus de 300 000 malades sont transformés en cobayes pour les besoins de l'industrie pharmaceutique. En moyenne, les laboratoires n'hésitent pas à dépenser plus d'une dizaine de millions de francs pour une étude clinique standard, c'est-à-dire forte d'au moins 500 patients. Le record mondial est actuellement détenu par la firme Sanofi avec un essai baptisé CAPRIE qui visait à prouver les vertus du Clopidogrel, un fluidifiant du sang. Lancé en mars 1992, cette étude clinique a concerné plus de 19 000 patients pendant trois ans et mobilisé 400 médecins dans seize pays. Montant de l'addition pour le laboratoire français : 900 millions de francs, simple-

ment pour mettre en évidence 8 % d'amélioration par rapport à l'aspirine...

« LE MALADE EST UTILISÉ COMME UN LAPIN »

75 % des 1 500 essais cliniques qui ont lieu chaque année en France sont sous-traités aux médecins hospitaliers. Une pratique épingle par la Cour des comptes dans son rapport sur la Sécurité sociale, publié en septembre 1998, qui dénonce « le recours très important fait par les laboratoires pharmaceutiques aux moyens et au personnel médical des hôpitaux publics pour la mise en œuvre d'essais cliniques ou la réalisation d'expertises pour leur compte. » Il faut dire que le coût de la journée



d'hospitalisation étant prise en charge par la Sécurité sociale, les laboratoires réalisent au passage de substantielles économies. A tel point que de nombreuses grandes firmes américaines qui ne bénéficient pas de cet avantage sur leur propre territoire, viennent effectuer leurs essais en France. Sur le papier, le laboratoire est toutefois tenu de rembourser à la direction de l'hôpital les surcoûts engendrés par l'essai, comme par exemple les examens complémentaires. Mais l'appréciation de

ces dépenses est laissée aux soins des investigateurs, c'est-à-dire des médecins hospitaliers dûment rémunérés par la firme pour réaliser l'étude clinique. Certains d'entre eux ont donc tendance à sous-évaluer la somme dévolue à la direction de l'hôpital afin de grossir leur propre rétribution. Résultat : pour un même type d'essai, on constate entre les centres hospitaliers des écarts de 1 à 10 ! Il est vrai que pour l'investigateur, l'enjeu financier est non négligeable. A raison de 15 000 F en moyenne

FRAUDES

LES FAUX ESSAIS CLINIQUES

■ « Les faux essais cliniques, je les ai longtemps appelés les "essais à l'italienne", jusqu'au jour où j'ai découvert que les Américains les avaient baptisés les "essais à la française"... », raconte l'assistant de recherche clinique (ARC) d'un grand laboratoire français. Les ARC, qui sont des inspecteurs missionnés par les industriels pour vérifier que les médecins auxquels sont sous-traités les tests de médicaments, travaillent dans les règles de l'art, ramènent parfois dans leurs files des cas de fraudes qui ne sont jamais rendus publics. Pour preuve : il y a trois ans, l'Association de l'industrie pharmaceutique française a organisé une réunion consacrée à la qualité des essais cliniques. Sur les 28 assistants de recherche, directeurs médicaux et responsables d'essais cliniques présents, 22 ont déclaré avoir eu connaissance de fraudes. Pour combattre ce fléau, l'Agence du médicament dispose, depuis 1995, d'une unité d'inspection des essais cliniques. Sa mission :

vérifier que les résultats transmis par les laboratoires lors des demandes d'autorisation de mise sur le marché, proviennent bien d'essais authentiques et crédibles. Des inspections qui peuvent être, par exemple, déclenchées lorsque les données fournies par la firme sont trop parfaites. « Des résultats que personne n'a obtenus comme, par exemple, deux courbes statistiques parfaitement juxtaposées, signifient peut-être que le médecin chargé de l'étude s'est contenté d'empocher l'argent et d'inventer les données », indique Pierre-Henri Bertoye, responsable de l'inspection des essais cliniques à l'Agence. Pour les tricheurs, le jeu en vaut la chandelle, puisque, en remplissant dix faux dossiers cliniques, un médecin peut gagner jusqu'à 150 000 F en une seule journée. Les inspecteurs regardent aussi à deux fois un dossier dans lequel le recrutement des patients décolle brusquement. « Une fois sur place, nous nous apercevons

que les données ne sont pas transparentes et que le responsable de l'étude est particulièrement peu coopératif. » Et, parfois, la tâche des Eliott Ness de l'Agence tient de la mission impossible. « Nous avons été confrontés à des cas où le service hospitalier avait été complètement réaménagé, le matériel clinique dispersée, la documentation envolée... » A son tableau de chasse, Pierre-Henri Bertoye aligne pour l'instant six affaires de faux essais cliniques transmises au Parquet, qui concernent cinq laboratoires. Et ce, malgré un effectif actuellement réduit à trois inspecteurs. « Il faudrait être au moins douze et disposer d'un meilleur arsenal législatif et réglementaire. Nous aimerais notamment pouvoir procéder à la saisie d'échantillons, par exemple sanguins, afin de vérifier que tel patient a bien les caractéristiques décrites dans le dossier. Aujourd'hui, nous devons recourir à un officier de police judiciaire. Le temps d'en trouver un, le tube de sang a déjà disparu. »



DR

Quand la Sécu aide les labos américains

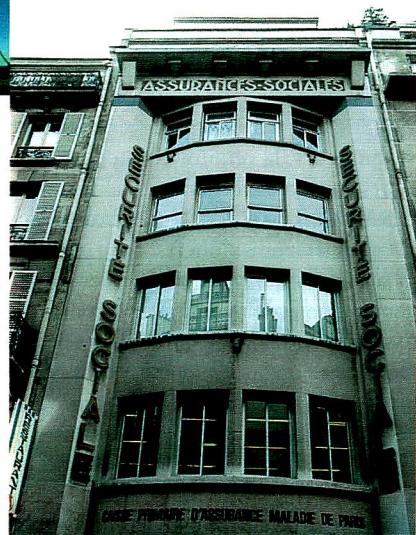
Le coût de la journée d'hospitalisation du malade cobaye étant pris en charge par la Caisse d'assurance maladie (ci-contre), certains laboratoires américains viennent réaliser leurs essais cliniques en France... sur le dos des assurés sociaux. Ci-dessus, le siège du numéro 1 mondial, l'américain Merck.

par malade cobaye, certains médecins hospitaliers doublent aisément leur salaire annuel. Une rétribution qui varie selon la notoriété et la spécialité du clinicien.

En cardiologie, par exemple, les prix peuvent grimper jusqu'à 50 000 F ! Pour ajuster leurs tarifs, les firmes pharmaceutiques consultent une base de données privées internationale dans laquelle figure le prix moyen pratiqué dans chaque domaine thérapeutique. Mais comme le précise un industriel : « C'est la loi de l'offre et la demande. Si beaucoup d'essais sont lancés en même temps sur la même pathologie, les prix flambent. »

L'investigateur empoché en général la moitié des sommes, le reste va alimenter les caisses noires des associations loi 1901 dont se sont dotés les services hospitaliers. Répertoriées dans une liste tenue secrète par la Direction générale de la santé, ces 4 000 associations reçoivent en prime chaque année près d'une centaine de millions de francs de subventions versées par les laboratoires. Tout cela dans la plus grande opacité. Leur statut tient en effet à distance les curieux qui souhaiteraient fourrer leur nez dans les comptes. Et pour corser le tout, certaines d'entre elles sont carrément domiciliées à l'adresse personnelle du clinicien ! A raison d'une centaine de cobayes par an, un gros service d'infectiologie ou de cancérologie encaisse un pactole de 1,5 million de francs. Dès lors, la tentation est grande de multiplier les études cliniques. Certains services hospitaliers sont devenus de véritables Moulinettes à essais, souvent au détriment des malades cobayes (lire encadré "Les malades cobayes"). C'est particulièrement vrai

en cancérologie, un domaine qui représente à lui seul 20 % des essais cliniques réalisés chaque année en France. « Le malade va rester hospitalisé d'autant plus longtemps qu'il a le profil requis pour un essai clinique », explique un chirurgien cancérologue. « Par exemple, si vous avez 80 ans et un can-



I. DURAND/SIPA

cer du pancréas, vous êtes hors essai, on vous donne un peu de cortisone et on vous envoie mourir tranquillement à la maison. En revanche, si vous avez 45 ans, on va vous proposer de tester un médicament. En fait, le malade est utilisé comme un lapin. Il devient le numéro X de l'essai clinique. Et s'il ne supporte pas le médicament, le médecin va le pousser à continuer parce qu'il a besoin de lui pour mener à terme son essai. »

LES POUVOIRS PUBLICS JETTENT UN VOILE PUDIQUE

Pour augmenter leur gain, certains investigateurs peu scrupuleux vont jusqu'à additionner plusieurs études cliniques sur un même malade. Dans un rapport non rendu public, concernant l'expérimentation sur l'homme (1), l'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) cite l'exemple d'un malade dans un centre an-

(1) "L'expérimentation sur l'homme : la loi du 20 décembre 1988 modifiée, dite loi Huriet. Bilan d'application et perspectives". IGAS, 1991.

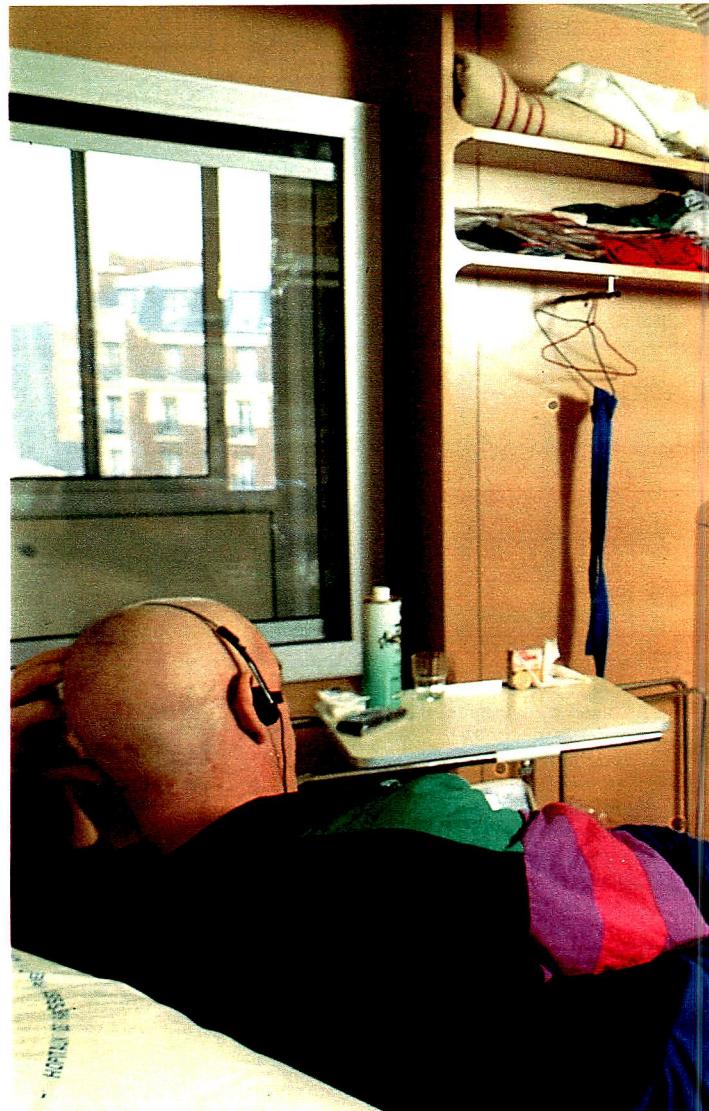
Médicaments



ticancéreux soumis simultanément à quatre essais cliniques différents !

Si les pouvoirs publics jettent un voile pudique sur la manne des essais cliniques, estimée à près de cinq milliards de francs par an, c'est parce que cet argent améliore le quotidien des services hospitaliers sans que l'Etat ait à débourser un centime. Les ordinateurs, la rémunération des secrétaires, les abonnements aux grandes revues scientifiques ou encore la participation aux congrès sont ainsi "offerts" par l'industrie pharmaceutique. « Pour travailler correctement, on est obligé d'avoir recours à ce système », explique Jean-François Cordier, professeur de pneumologie à l'hôpital de Lyon. « En tant que professeur d'université, mes crédits annuels sont de l'ordre de 3 000 F. Récemment, la Société américaine de pathologie thoracique m'a demandé d'organiser un symposium scientifique sur les maladies pulmonaires orphelines. C'est une opportunité exceptionnelle. Mais comment financer le voyage ? J'ai dû me faire sponsoriser par plusieurs laboratoires... »

Les directeurs d'hôpitaux s'accommodent d'autant mieux de cette dépendance financière vis-à-vis de l'industrie pharmaceutique que les essais cliniques engendrent en prime des publications scientifiques qui contribuent à la notoriété de leur établissement. L'Assistance publique des hôpitaux de Paris, qui réalise chaque année environ 600 essais pour le compte de 137 industriels, totalise plus de 10 % des publications médicales françaises. En 1997, ses chercheurs ont produit 2 900 articles scientifiques dont près de la moitié dans les revues internationales dites du "premier sixième de leur discipline", en clair, le *nec plus ultra*. De leur côté, les pouvoirs publics se contentent d'une obole de 80 millions de francs versée aux programmes de recherche hospitaliers censés encourager les essais cliniques indépendants dans toute la France. Certains laboratoires ont dès lors les mains libres pour contrôler une production scientifique en apparence indépen-

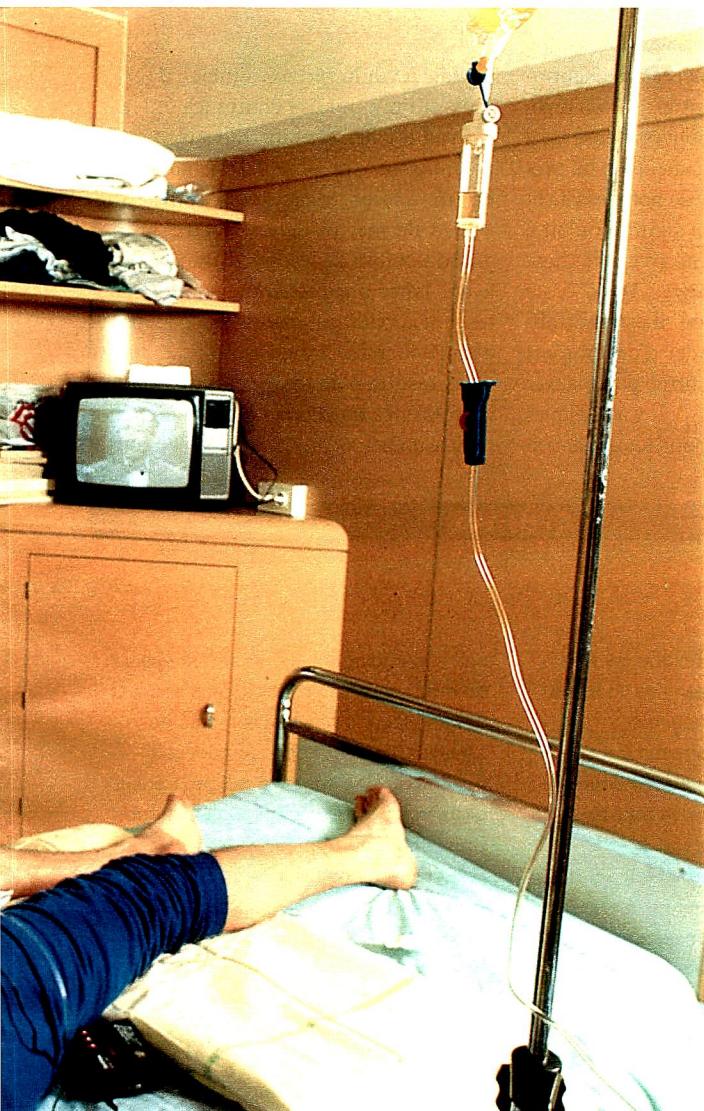


ALLARD/REA

dante. La quasi-totalité des essais cliniques comporte en effet une clause de confidentialité qui oblige l'investigateur à obtenir l'autorisation de la firme avant d'en publier les résultats. Quand ces derniers sont défavorables, ils courrent le risque d'être jetés aux oubliettes. « Par deux fois j'ai été censuré à cause de cette fameuse clause », raconte Jean-Pierre Boissel, professeur de pharmacologie clinique à l'hôpital de Lyon. « Le plus grave est que les essais en question visaient à démontrer si le médicament avait une efficacité ou non, en vue de l'obtention d'une autorisation de mise sur le marché. Dans un cas, il s'agissait d'un im-

Inflation d'essais

20 % des essais cliniques réalisés chaque année en France concernent des traitements anticancéreux.
Un domaine où les enjeux financiers sont tels que l'inflation des essais cliniques est courante.



munostimulateur censé prévenir les infections des voies aériennes supérieures chez les enfants, et dans l'autre d'un vasodilatateur préconisé dans le traitement du déficit intellectuel du sujet âgé. »

Pourtant, l'Agence du médicament qui dispose d'une base de données où sont recensés tous les essais cliniques effectués chaque année en France, pourrait facilement vérifier que le laboratoire n'a pas "oublié" de lui communiquer certains résultats. Heureusement, la pratique de la non publication demeure exceptionnelle concernant les études cliniques qui figurent dans le dossier d'AMM. « Je défends dans

l'entreprise le principe selon lequel on doit tout publier pour l'autorisation de mise sur le marché », déclare Cyrille Leperlier. « Empêcher une publication, c'est faire prendre des risques inutiles aux patients, et donc à l'entreprise. On ne joue pas à ça. » Avant d'ajouter : « Tout le monde ne partage pas ce niveau de précautions... »

20 % DES RÉSULTATS D'ÉTUDES CLINIQUES NE SONT JAMAIS PUBLIÉS

En 1992, une enquête publiée dans la revue scientifique américaine *JAMA* (2) a montré qu'environ 20 % des résultats d'études cliniques n'étaient jamais publiés et que, comme par hasard, 86 % des études mises au placard affichaient une conclusion défavorable au produit testé. Quoi qu'il en soit, le laboratoire a rarement besoin d'agiter la clause de confidentialité. Comme le souligne un responsable marketing au sein d'une firme pharmaceutique : « Le chercheur n'a aucun intérêt à scier la branche sur laquelle il est assis. En s'entêtant à vouloir publier d'éventuels mauvais résultats, il assèche les caisses de son service hospitalier parce qu'il va se retrouver en quelque sorte sur une "liste noire". Son attitude va faire le tour des laboratoires, qui auront ensuite du mal à lui confier des essais cliniques. »

Avec ces publications triées sur le volet, le laboratoire moissonne autant d'arguments qui vont peser sur le choix du prescripteur. Comme l'indique le rapport consacré au médicament, publié en 1995 par la Mutualité française : « Ces essais, suggérés par les laboratoires qui rémunèrent directement les promoteurs hospitaliers, permettent d'abord d'accroître les ventes du produit à l'hôpital puis de publier les résultats, de les faire valoir auprès d'autres prescripteurs et, enfin, d'augmenter le volume des ventes dans le secteur libéral. »

Mais les essais cliniques visent aussi à neutraliser ceux que les firmes pharmaceutiques appellent les "leaders d'opinion", en clair les personnalités qui comptent dans leur discipline. « On attend du "LO"

(2) "Factors influencing of research results". Dickersin K. et coll.. *Journal of the American Medical Association*. 1992.

une caution, au pire une certaine neutralité », explique un industriel. « Si on repère un leader d'opinion dont on pense qu'il est hostile à notre médicament, on lui propose d'être coordinateur de notre essai clinique. S'il accepte, cela signifie qu'on a trouvé un terrain d'entente avec lui : scientifique, technique, financier... Donc, ce ne peut plus être un ennemi, il est neutralisé. » La caution du leader d'opinion est aussi indispensable à la firme pour sauver un médicament contesté. « Il y a quelques années, le laboratoire pour lequel je tra-

vailais a voulu redorer l'image d'un stimulant immunitaire contre les otites récidivantes chez l'enfant, qui suscitait des polémiques », raconte le Dr Charles Harboun, ancien consultant marketing. « Afin de mettre de notre côté le plus grand nombre de leaders d'opinion, nous avons lancé une recherche clinique pour tester le produit sur des pathologies graves comme la mucoviscidose. Au final, même si les résultats de l'essai clinique ont été mitigés, on a pu pendant un certain temps mettre un bémol aux critiques... » ■

ÉTHIQUE

LES MALADES COBAYES

■ Chaque année en France, plus de 300 000 malades jouent les "cobayes" pour le compte de l'industrie pharmaceutique. Contrairement aux volontaires sains dûment rémunérés pour évaluer la toxicité de nouvelles molécules, les malades, eux, sont bénévoles puisque, en effectuant des tests qui visent à démontrer l'efficacité du produit, ils sont censés en tirer un bénéfice thérapeutique. Mais ce dernier n'est pas toujours proportionnel au risque encouru, car toute nouvelle molécule est susceptible d'engendrer des effets graves retardés. Même si, depuis décembre 1988, la loi Huriet a mis en place un système permettant de filtrer les essais cliniques les plus dangereux – l'année dernière, quinze d'entre eux ont été refusés et cinq autres arrêtés en cours de route – les mailles du filet sont encore trop larges. En outre, le « consentement libre et éclairé » du malade exigé par la loi, laisse souvent à désirer. Pour atteindre son quota de cobayes, le médecin expérimentateur, rémunéré par le laboratoire, agite l'argument selon lequel le patient va bénéficier en avant première d'un nouveau traitement. Ce qui n'est pas toujours le cas. Quelle que

soit la pathologie concernée, les essais de médicaments se font le plus souvent contre placebo et seuls la moitié des cobayes reçoivent donc le nouveau traitement. Une situation qui peut poser problème pour des pathologies lourdes. Dans son rapport concernant l'expérimentation clinique, l'Inspection générale des affaires sociales relève, lors d'essais d'antidépresseurs, une "épidémie" de suicides survenue en 1991 chez des patients placés sous placebo. Et d'évoquer, notamment, le cas d'un cobaye « échappé de l'hôpital pour se jeter sous le train ; il était dans le groupe placebo depuis quatre jours. » Le "consentement éclairé" du malade est particulièrement sujet à caution pour les essais en psychiatrie ou pour ceux menés sur des personnes âgées dans les services de neurologie et les établissements hospitaliers de long séjour. Les maladies du troisième âge étant le nouvel eldorado de l'industrie pharmaceutique, celle-ci est à la recherche de "papis cobayes". Pour les recruter, certains laboratoires font confiance au médecin généraliste, qui peut recevoir jusqu'à 2 000 F en échange de chaque patient enrôlé.

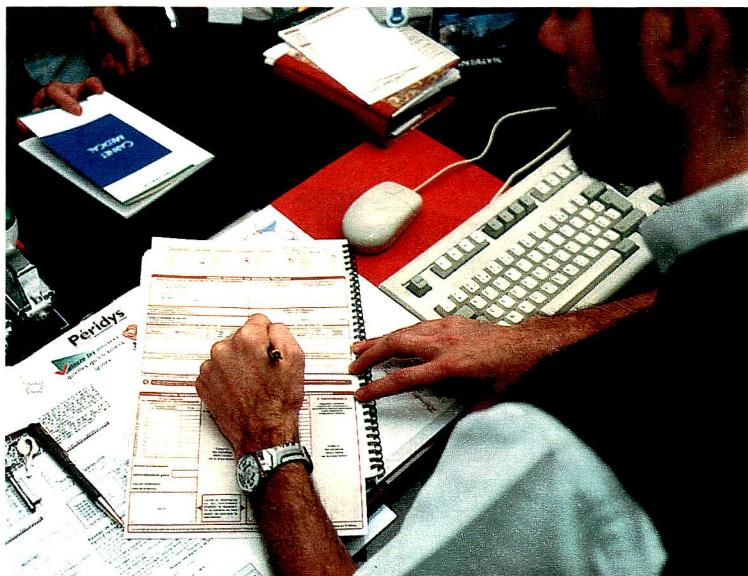
Des prescriptions sous influence

Contrôle de la formation continue, congrès, petits cadeaux, harcèlement des visiteurs médicaux, le pouvoir d'influence des laboratoires pharmaceutiques est colossal. Cette stratégie vise un seul but : mettre les médecins sous tutelle pour les inciter à prescrire leurs produits.

Le médecin français est le champion européen toutes catégories de la prescription. Avec des ordonnances quatre fois plus longues qu'en Grande-Bretagne et six fois plus qu'en Allemagne, son patient est le plus gros consommateur d'antibiotiques, d'hypertenseurs, de psychotropes, d'antimigraineux...

Il est vrai que les laboratoires consacrent chaque année plus de 14 milliards de francs, soit 12 % de leur chiffre d'affaires, pour guider sur l'ordonnance le stylo des 171 700 médecins en activité. Leur principale force de frappe est constituée d'une armada de 15 000 visiteurs médicaux. Chaque semaine, un médecin généraliste voit ainsi frapper à sa porte huit de ces VRP du médicament. Leur mission : le convaincre coûte que coûte des bienfaits de leurs produits. Et ce, avec d'autant plus de zèle qu'ils sont intéressés au volume des ventes par des primes qui peuvent représenter jusqu'à 20 % de leur salaire. Du coup, la fiabilité de l'information délivrée sur le médicament laisse parfois à désirer. Un constat dressé par le réseau d'observation de la revue indépendante *Prescrire* qui, fort d'une centaine de médecins correspondants, évalue la qualité des informations dispensées lors des visites médicales.

« Dans 75 % des cas, le visiteur médical passe sous silence tout ce qui est de l'ordre de la contre-indication, précaution d'em-



JP. BAJARD/EDITING

ploi ou interaction médicamenteuse », indique le docteur Bernard Baysel, responsable du réseau. Par contre, le visiteur médical n'hésite pas à rajouter, dans 20 % des cas, des indications qui ne figurent pas dans l'autorisation de mise sur le marché. Ainsi, l'Iskedy - un vasodilatateur - s'est-il découvert des vertus contre les "syndromes de glissement" du sujet âgé, tandis que le Daflon, préconisé dans les problèmes veineux, s'est transformé en remède contre la sécheresse oculaire chez les porteurs de lentilles ! En fait, tous les moyens sont bons pour se mettre le pres-

Pris par la main ?

Pour guider la main du médecin sur l'ordonnance, les laboratoires pharmaceutiques rivalisent d'astuces marketing. La bataille est d'autant plus rude que le praticien dispose d'une panoplie de 7500 médicaments.

Médicaments

enquête

Formation continue au soleil

La formation continue des médecins est financée presque exclusivement par les laboratoires pharmaceutiques. L'année dernière, toutes spécialités confondues, ils ont ainsi bénéficié de plus de 30 000 séances de formation, congrès, séminaires... avec une nette préférence pour les latitudes tropicales.

cripteur dans la poche jusqu'au fichage en règle. « Le visiteur médical doit collecter le maximum d'informations sur le médecin. A chaque visite, il doit apprendre quelque chose de nouveau », précise le Dr Charles Harboun, spécialiste du marketing pharmaceutique (1). Le visiteur médical profite en outre de son passage pour essaimer de menus cadeaux (stéthoscope, stylo-plume, livre, mallette en cuir...) et surtout distribuer les publications maison, appelées "house organs", dans lesquelles des leaders d'opinion, c'est-à-dire des médecins qui font référence dans leur domaine, vantent le produit de la firme (lire encadré "Un partenariat donnant donnant").

Tout cela ne serait pas si grave si, comme le reconnaît lui-même le Syndicat national de l'industrie pharmaceutique, la visite médicale n'était pas la première source d'information pour 60 à 70 % des médecins, juste devant la presse médicale. En France,

cette dernière est d'ailleurs pléthorique. Le médecin généraliste reçoit chaque jour dans sa boîte aux lettres une dizaine de revues, dont trois quotidiens nationaux. La plupart du temps sans débourser un centime, puisque cette presse est indirectement financée par les laboratoires pharmaceutiques, via 1,8 milliard de francs de recettes publicitaires annuelles. Afin d'accroître la crédibilité de leur message pro-

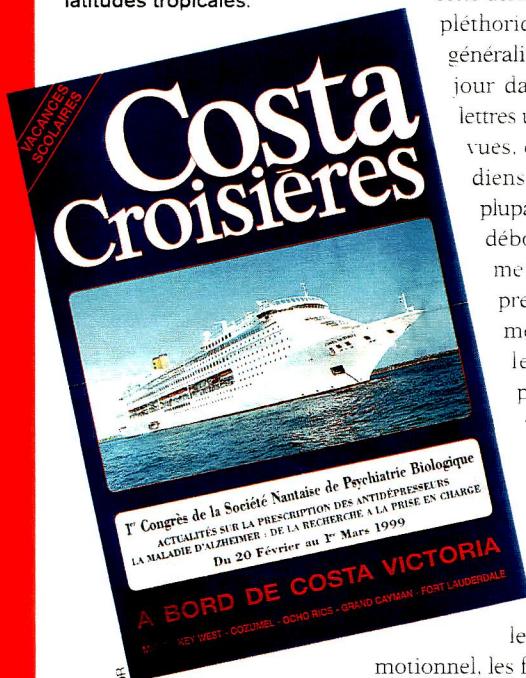
motionnel, les firmes achètent à des revues médicales de référence le droit de concocter de A à Z un numéro spécial, qu'elles glissent ensuite dans la mallette du VM. En janvier 1998, une étude parue dans

le *New England Journal of Medicine* (2) réalisée par une équipe de l'université de Toronto, a passé au peigne fin 70 articles de la presse scientifique internationale parus entre mars 1995 et septembre 1996 traitant des antagonistes calciques, massivement prescrits pour l'hypertension artérielle ou l'angine de poitrine. Résultat : 96 % des auteurs favorables à ces médicaments entretenaient des liens avec les laboratoires impliqués sur ce marché. Mais comment le médecin généraliste pourrait-il se méfier des informations transmises sous la signature de grands noms ou dans des journaux de référence ? Ainsi, à l'exception de deux revues médicales indépendantes, *Prescrire* et *Pratiques*, qui vivent exclusivement de leurs abonnements, la presse médicale destinée aux généralistes est placée sous l'influence de l'industrie pharmaceutique.

« LES LABORATOIRES EXERCENT UNE FORMIDABLE PRESSION SUR NOUS... »

« Les laboratoires exercent une formidable pression sur nous, via, notamment, la presse médicale », précise Elisabeth Maurel-Arrighi, médecin généraliste et journaliste à la revue *Pratiques*. « C'est d'autant plus pernicieux qu'on espère tous le produit miracle. Or, on nous abreuve d'articles et de publicités qui vantent les mérites de tel ou tel médicament. Tout cela s'imprime dans notre tête et, en face, il y a très peu de contre-discours. »

D'autant que la formation continue des médecins est elle aussi tombée entre les mains des firmes pharmaceutiques. On compte en France plus d'un millier d'amicales de praticiens, réunis par quartier ou par spécialité, qui organisent périodiquement des réunions de formation. « A l'occasion de celles-ci, les laboratoires offrent le couvert et font plancher des leaders d'opinion dûment rémunérés par leurs soins sur un thème qui est dans l'univers du produit », explique le Dr Charles Harboun. A titre d'exemple, lors de la III^e Journée de

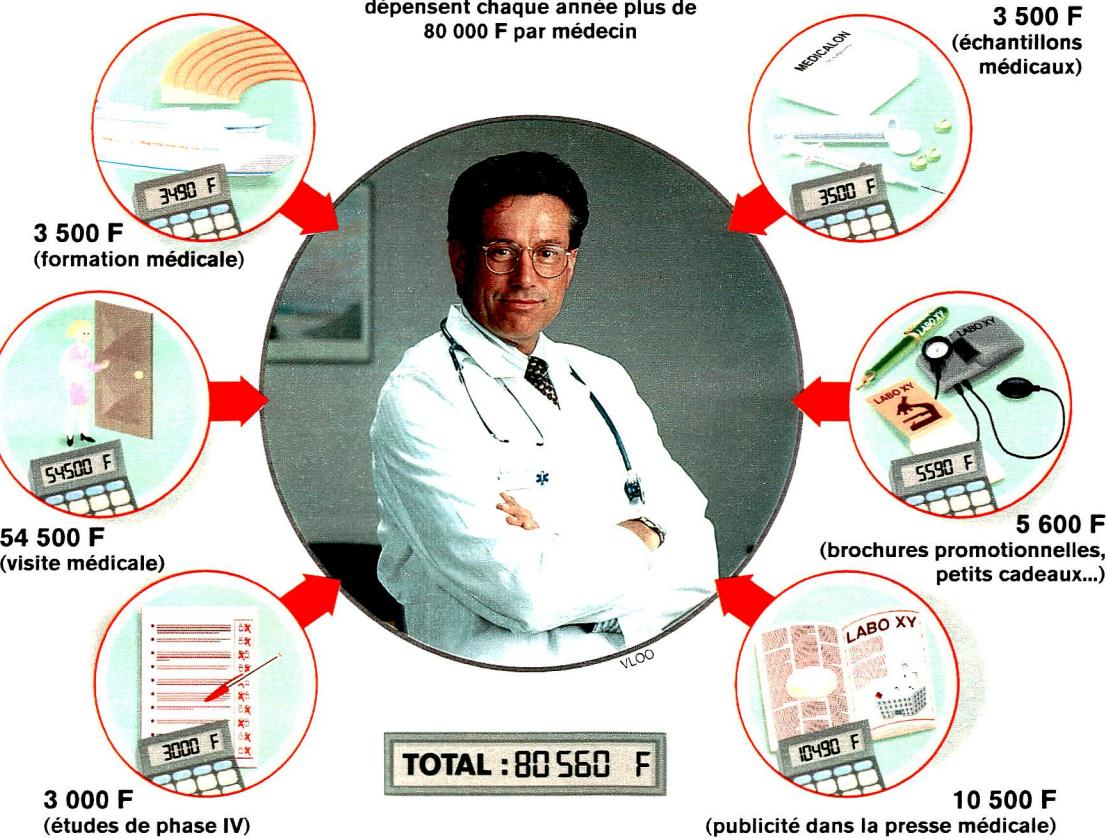


(1) *Le Marketing pharmaceutique*, ed. Eska, 1995.

(2) "Conflict of interest in the debate over calcium-channel antagonist", H.T. Stelfox, *The NEJM*, janvier 1998.

CE QUE DÉPENSENT LES LABOS POUR LES MÉDECINS

Les laboratoires pharmaceutiques dépensent chaque année plus de 80 000 F par médecin



(Source : Syndicat national de l'industrie pharmaceutique, 1996)

formation continue des Amicales des médecins de Paris, qui s'est tenue en janvier dernier au Palais des Congrès, trois des cinq ateliers de formation étaient "parfaits" par un laboratoire. Astra pour l'insuffisance cardiaque, Janssen-Cilag pour la douleur et le cancer... Mais, pour occuper le terrain de la formation continue, les firmes ne se contentent pas des amicales. Les laboratoires Beaufour organisent ainsi des "enseignements post-universitaires de gastro-entérologie clinique" à l'intention des médecins généralistes. De son côté, Glaxo-Wellcome, qui mise sur le marché de l'asthme, a mis en place un programme de formation intitulé "Les ateliers de l'asthme". Les laboratoires français Servier ont même créé le "Cercle des diabétologues", avec à la clef, disponible sur leur site Internet, une

base de données médicales « issue des publications de l'Institut Servier du diabète ».

Quant aux médecins généralistes qui enseignent leur discipline en faculté de médecine, ils sont tous passés par le Collège national des généralistes enseignants. Une structure entièrement sponsorisée par le groupe américain Merck Sharp & Dohme-Chibret. Les facultés de médecine sont d'ailleurs un terrain privilégié pour mettre la main sur les futurs médecins. « L'impact des laboratoires quand on est étudiant peut être très fort. Lorsque j'étais interne, Specia nous remettait une documentation pédagogique. Eh bien, je peux vous dire que ce laboratoire a gardé une trace dans mon cœur pendant des années, et que j'ai prescrit peut-être plus de produits de chez Specia que je ne l'aurais fait normale-

Le prix de l'influence

Les médicaments remboursés n'ont pas droit à la publicité grand public : les laboratoires se rabattent donc sur le médecin. Pour influencer les 171 700 prescripteurs, ils dépensent, chaque année, 14 milliards de francs, soit 12 % de leur chiffre d'affaires.



CULMANN/REA

Pris en charge dès la fac

Dès la faculté de médecine, les futurs praticiens sont "pris en charge" par l'industrie pharmaceutique. Certains laboratoires offrent aux meilleurs étudiants des préparations gratuites au concours de l'internat, d'autres les aident à rédiger leur thèse... (Ici, travail de dissection à la faculté de Paris).

ment », raconte le Dr Charles Harboun.

En plus des visiteurs médicaux qui viennent démontrer jusque dans les amphithéâtres, les laboratoires ont créé leurs propres "sous colles", ces préparations au concours de l'internat habituellement payantes. Sélectionnés par les firmes, les meilleurs étudiants se voient ainsi offrir des cours sponsorisés, dont les plus célèbres sont les "Conférences Hippocrate" mises en place par Servier. Quant aux étudiants en dernière année, certains laboratoires leur proposent une aide documentaire, voir de rédiger leur thèse... « C'est une mise sous tutelle des médecins par l'industrie pharmaceutique. Cette dernière se saisit de toutes les occasions pour se rendre indispensable. Quand un collègue inaugure son cabinet, il arrive par exemple que tel laboratoire fournit petits fours et

champagne », souligne le Dr Elisabeth Maurel-Arrighi. « Mais beaucoup de médecins n'ont pas conscience des enjeux, ils sont manipulés en toute bonne foi. La corruption est plus dans les cerveaux que dans les portefeuilles. »

LA FORMATION CONTINUE, VENTRE MOU DE LA LOI ANTICADEAUX

Depuis 1993, la loi dite "anticadeaux" interdit aux professionnels de santé de recevoir des laboratoires « des avantages en nature ou en espèces, sous quelque forme que ce soit ». Mais elle autorise les médecins à se faire rétribuer pour les activités de recherche ou de formation, à condition de soumettre la convention au conseil de l'ordre des médecins qui vérifie que la rémunération est proportionnelle au travail effectué. Plus de 40 000 conventions ont été



declarées par les laboratoires l'année dernière. Les trois quarts d'entre elles concernent des coups de pouce à la formation continue, sous forme de congrès ou de réunions d'information. De l'aveu même du Conseil de l'ordre, « un dossier sur dix est douteux ». La formation continue est le ventre mou de la loi anticadeaux. Comment, en effet, s'assurer par exemple que la somme perçue correspond bien à formation en question ? De toutes façons, l'ordre ne regarde que ce qui lui est déclaré, et son avis est simplement consultatif.

Les seuls qui vérifient l'application de la loi sur le terrain sont les inspecteurs de la Direction générale de la consommation, de la concurrence et de la répression des fraudes (DGCCRF). Depuis 1994, ces derniers ont relevé 300 infractions qui ont donné lieu à 15 condamnations. Généralement, il s'agissait de prises en charge de voyages pour le médecin et sa famille. Mais la DGCCRF est impuissante quand les laboratoires créent des filiales dans des paradis fiscaux afin de rémunérer plus discrètement les médecins.

20 % DES EFFETS INDÉSIRABLES SONT DUS À UNE MAUVAISE PRESCRIPTION

Autre champs de dérives : les études dites de phase IV, au nombre de 2 000 l'année dernière. Lancées après la commercialisation des produits, soit-disant pour détecter d'éventuels effets secondaires qui seraient passés inaperçus lors des essais cliniques, un grand nombre d'entre elles sont en fait

Etrange marché

Pour accroître la réputation du Taxol, son anticancéreux vedette – et ses

LE PRINCIPE DU «DONNANT-DONNANT»

La contrepartie de cette aide financière accordée aux auteurs d'études de leur produit, le Taxol.

Argent pour aider à la rédaction d'un article dans une revue scientifique.

Réduction de la charge de travail pour écrire cet article.

Signature par l'oncologue sollicité du texte et retouches de l'avis.

Participation dans une revue française d'oncologie.

REMERCIEMENTS : SOUS PRÉTET DE L'ACCORD DE BRUTALITÉ DE L'AGENCE DE COMMUNICATION MÉDICALISÉE TAXOL-BRILLANT MEDICAL

parts de marché –, la firme Bristol-Myers Squibb (BMS) propose un étrange marché aux jeunes cancérologues les plus prometteurs. Il s'agit d'un partenariat baptisé «Donnant donnant», dont les conditions figurent noir sur blanc dans un document qui leur est remis par les visiteurs médicaux de BMS (voir extrait ci-dessus).

ÉCHANGE

UN PARTENARIAT «DONNANT DONNANT»

■ Pour communiquer auprès des prescripteurs sur son produit phare (le Taxol, un anticancéreux), la firme Bristol-Myers-Squibb (BMS) a fait confiance à Brillant Médical, une agence de communication santé, qui a créé un partenariat rédactionnel, baptisé «Donnant donnant» ciblé sur les «jeunes oncologues qui ont besoin et envie de publier pour se faire connaître». En fait, comme le précise Sophie Darcel de l'agence Brillant Médical : « Nous nous intéressons aux futurs leaders d'opinion, c'est-à-dire les chefs de services en cancérologie de moins de 40 ans, dont la pratique médicale aura bientôt valeur d'exemple. » Ils ne sont donc pas plus d'une centaine à s'être vus

proposer par les visiteurs médicaux de la division oncologie de BMS un marché d'un genre un peu spécial. Comme l'indique le document en notre possession, le futur leader d'opinion reçoit une aide pour réaliser ou finaliser une publication scientifique. Un coup de pouce qui peut aller jusqu'à la «réécriture du contenu de l'article, à partir d'une ébauche initiale». En «contrepartie de ce service, l'oncologue s'engage à signer un article Taxol» qui paraîtra dans une revue d'oncologie française. Il accroît ainsi sa notoriété, car, comme l'indique la brochure : « Le travail de publication est souvent un passage important, voire obligé, pour se faire connaître et diffuser ses travaux »...

Médicaments

des achats de prescription déguisés. Le médecin, rémunéré par le laboratoire, propose à ses patients un nouveau médicament et en observe les résultats. Des observations qui, une fois transmises au laboratoire, finissent en général à la poubelle, puisque leur seule finalité est d'avoir permis au médecin de faire connaissance avec le produit. « Depuis la loi anticadeaux, les liens financiers avec les laboratoires ont pris des formes plus subtiles qui passent par les amicales ou les études de phase IV. C'est massif et diffus à la fois », indique Didier Seyler, médecin généraliste à Paris.

Ces liens intellectuels et financiers tissés par l'industrie pharmaceutique, tout au long de la carrière du médecin, finissent par l'emprisonner dans des habitudes de prescription qui sont plus dictées par l'intérêt du laboratoire que par celui du malade. D'autant que, hormis l'Observatoire national des prescriptions et consommations de médicaments, créé en 1997, les pouvoirs publics n'ont mis en place aucun réel contre-pouvoir. Il n'existe, par exemple, aucune visite médicale publique assurée par les médecins conseil de l'assurance maladie. Une situation qui explique en partie pourquoi la France aligne les records en consommation de médicaments. Ce qui n'est pas sans conséquence pour la santé.

La lecture attentive d'un rapport (3) remis en novembre 1997 par les centres de pharmacovigilance au secrétaire d'Etat à la Santé Bernard Kouchner, permet d'avancer le chiffre d'au moins 18 000 décès dus aux médicaments chaque année en France. Soit deux fois plus que les accidents de la route ! D'après ce même rapport, (voir *Science & Vie* n° 964, p. 94), les effets indésirables des médicaments seraient la cause de 1 % à 25 % des hospitalisations en France. Aussitôt après la publication de ces chiffres catastrophiques, le ministère commandait



F. DEKANGE/GAMMA

une enquête complémentaire (4) afin d'y voir plus clair dans l'origine des effets indésirables. Il en ressortait un chiffre de mortalité revu à la baisse avec un maximum de 10 090 décès par an, et cette estimation : 21 % des effets indésirables seraient imputables à une mauvaise prescription du mé-

.....
(3) "Iatrogenèse medicamenteuse : estimation de son importance dans les hôpitaux publics français". Comité technique de pharmacovigilance.

.....
(4) "Etude sur les hospitalisations liées à un effet indésirable médicamenteux", Agence du médicament, juin 1998.

Abus de médicaments

En France, on consomme beaucoup de médicaments, qui ne sont pas toujours bien prescrits. Cette surconsommation entraînerait, par an, de 10 000 à 18 000 décès.



decin. Il faut dire que pour ce dernier la tâche n'est pas facile. Les laboratoires, qui constituent sa source principale d'information, ne font pas de zèle pour communiquer les effets secondaires des médicaments qu'ils commercialisent. S'y ajoute le fait que lesdits médicaments sont testés lors des essais cliniques sur des populations sélectionnées sans tenir compte des incompatibilités médicamenteuses. Quant au filet de sécurité tendu par l'Agence du médicament

avec ses trente et un centres de pharmacovigilance, il a permis, en 1997, de retirer onze médicaments du marché. Mais les mailles sont encore trop larges.

« Les autorités sanitaires réagissent avec un temps de retard. Cela a été le cas du Dilurex, préconisé comme traitement de l'hypertension artérielle et responsable d'hépatites fulminantes, qui a mis quatorze ans avant d'être retiré du marché », souligne le Dr Bernard Topuz, coauteur d'un remarquable ouvrage intitulé *les Lobbies contre la santé* (5) et fondateur de l'association PIMED. Celle-ci regroupe des médecins et des pharmaciens qui dénoncent les pratiques de marketing abusives des laboratoires et l'insuffisance du contrôle public. En 1996, elle a mené une étude sur les décès de nourrissons consécutifs à une mauvaise prise en charge de la diarrhée infantile. Il en ressort que les médicaments antidiarrhéiques, remboursés et massivement prescrits en France, sont en fait déconseillés depuis 1992 par l'Organisation mondiale de la santé, du fait de leur inefficacité chez les enfants de moins de 5 ans (6). A la place, l'OMS préconise d'administrer des sels de réhydratation orale. Mais en France, un médecin sur trois ignore cette recommandation. Résultat : chaque année, plusieurs dizaines de nourrissons meurent de déshydratation parce que le médecin a laissé de côté un remède qui a le désavantage de ne pas être produit par des firmes pharmaceutiques.

« L'exemple des sels de réhydratation constitue un cas d'école qui illustre le pouvoir d'influence catastrophique que peut avoir l'industrie sur les médecins », explique Bernard Topuz. « Cela démontre que le pire devient possible lorsque l'action promotionnelle des industriels n'est pas encadrée par les autorités sanitaires et quand l'éthique professionnelle des médias spécialisés fait défaut. » ■

.....

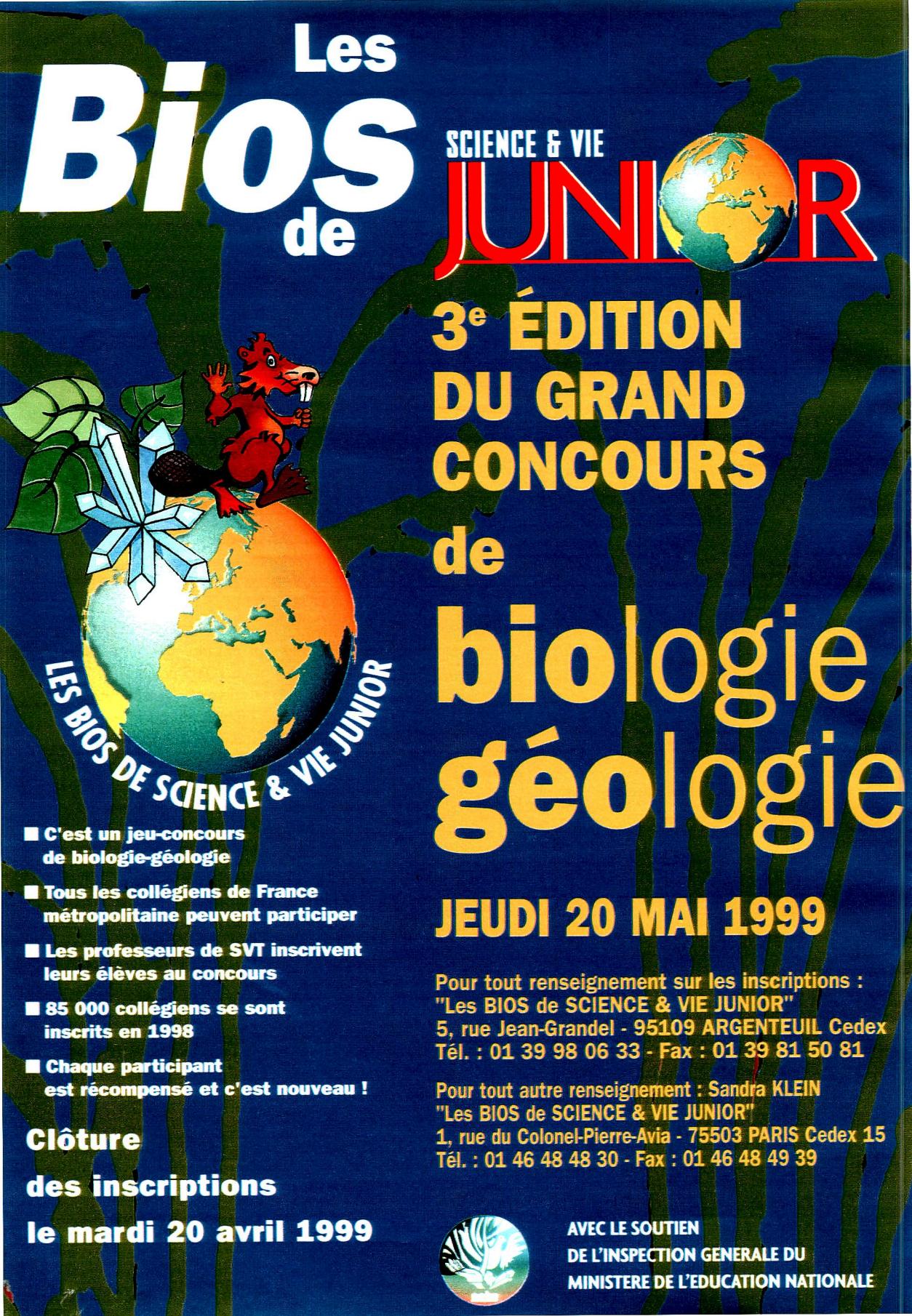
(5) Bernard Topuz, Roger Lenglet, éd. Syros, 1998.
(6) "Usage rationnel des médicaments dans le traitement des diarrhées aiguës de l'enfant". OMS. 1992.
Association Pour une information médicale éthique et pour le développement, 24, quai de la Loire, 75019 Paris, tél. : 01 42 41 29 22. **Association d'aide aux victimes des accidents des médicaments**, 36-38, rue Blomet, 75015 Paris, tél. : 01 41 10 87 00.

Les **Bios** de

SCIENCE & VIE

JUNIOR

3^e ÉDITION DU GRAND CONCOURS de **biologie** **géologie**



LES BIOS DE SCIENCE & VIE JUNIOR

- C'est un jeu-concours de biologie-géologie
- Tous les collégiens de France métropolitaine peuvent participer
- Les professeurs de SVT inscrivent leurs élèves au concours
- 85 000 collégiens se sont inscrits en 1998
- Chaque participant est récompensé et c'est nouveau !

**Clôture
des inscriptions
le mardi 20 avril 1999**

JEUDI 20 MAI 1999

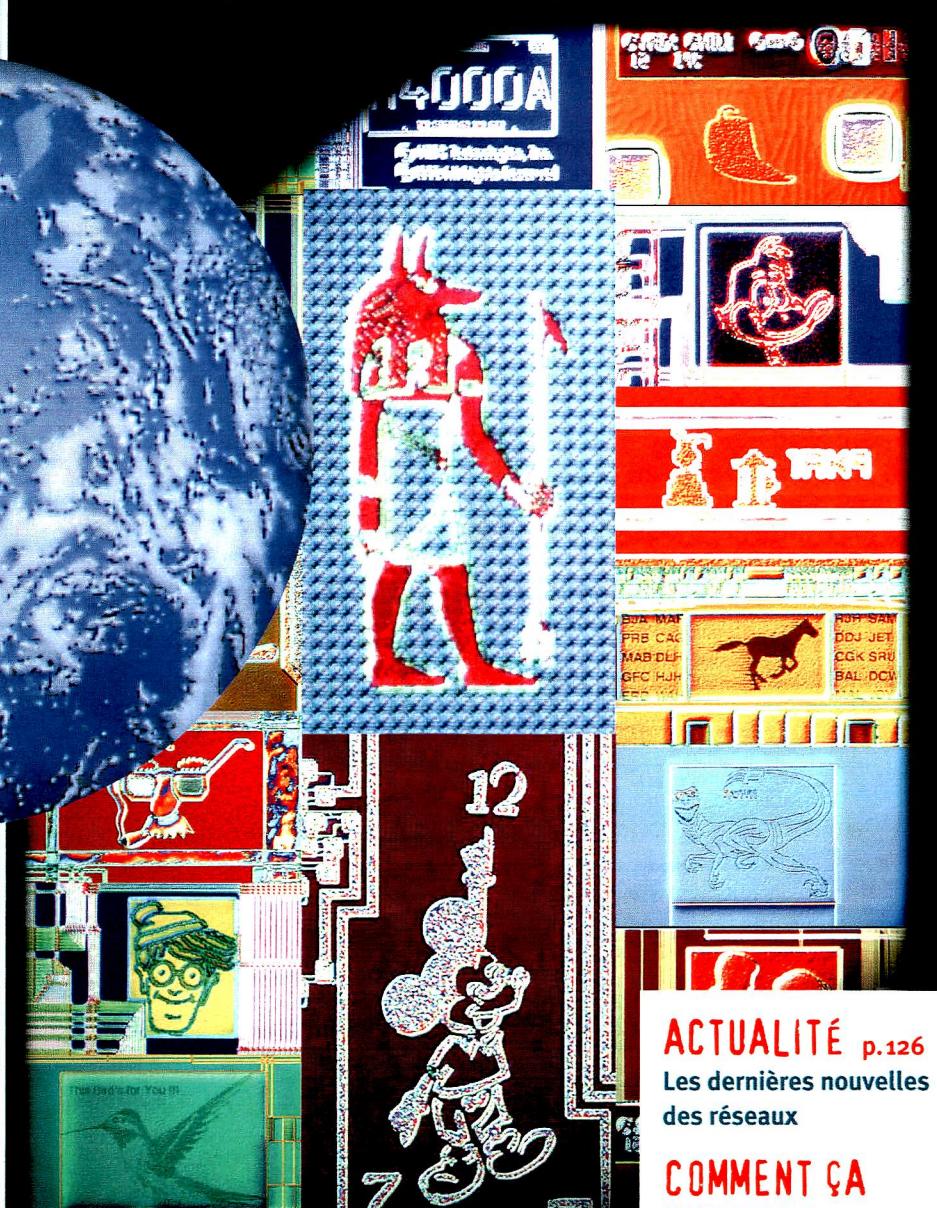
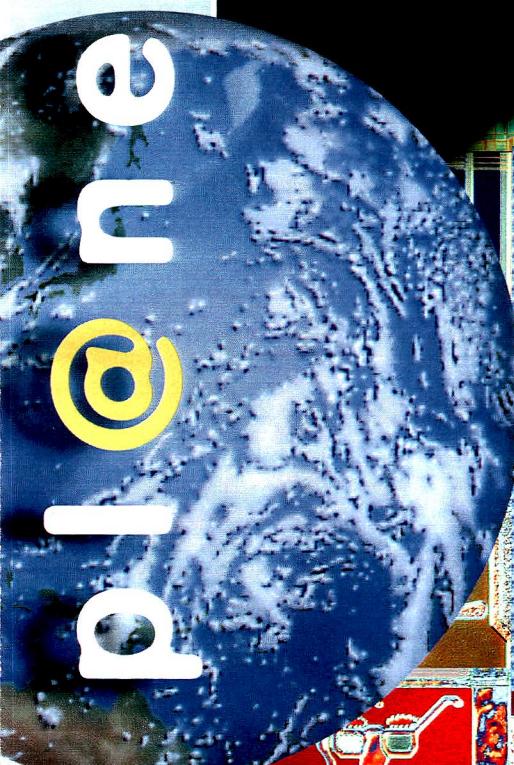
Pour tout renseignement sur les inscriptions :
"Les BIOS de SCIENCE & VIE JUNIOR"
5, rue Jean-Grandel - 95109 ARGENTEUIL Cedex
Tél. : 01 39 98 06 33 - Fax : 01 39 81 50 81

Pour tout autre renseignement : Sandra KLEIN
"Les BIOS de SCIENCE & VIE JUNIOR"
1, rue du Colonel-Pierre-Avia - 75503 PARIS Cedex 15
Tél. : 01 46 48 48 30 - Fax : 01 46 48 49 39



AVEC LE SOUTIEN
DE L'INSPECTION GÉNÉRALE DU
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

DIRIGÉ PAR ROMAN IKONICOFF



MICHAEL W. DAVIDSON

Un fantôme dans la puce



A l'instar des peintres, les fabricants de microprocesseurs signent parfois leur "œuvre". Ainsi, on trouve gravés, à même le silicium, des dessins d'animaux, de personnages de "cartoons", etc.,

ne mesurant guère plus de quelques dizaines de microns (millionièmes de mètre).

Michael W. Davidson, de l'université d'Etat de Floride fait la chasse à ces créatures et les expose sur le site <http://micro.magnet.fsu.edu/creatures/>

R.I.

ACTUALITÉ p.126

Les dernières nouvelles des réseaux

COMMENT ÇA MARCHE? p.130

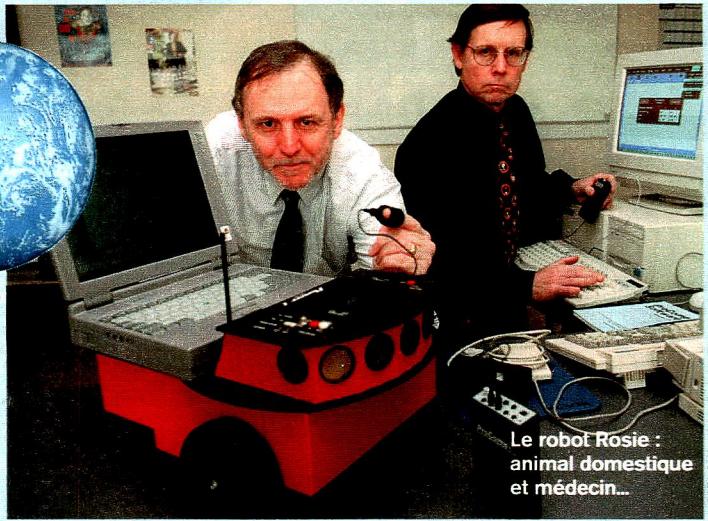
Les mémoires flash

CD-ROM p.134

Une sélection critique des ouvrages du mois

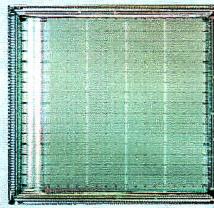
INTERNET p.136

Suivez le guide!



37,7 millions de neurones

Les informaticiens rêvent toujours de concevoir un cerveau électronique. Une nouvelle tentative pour matérialiser ce désir a lieu actuellement dans la ville de Boulder (Colorado). La firme spécialisée en intelligence artificielle, Genobyte, s'apprête à assembler les circuits d'un "cerveau" qui devrait compter quelque 38 millions de neurones artificiels. Hugo de Garris, chercheur en informatique et "architecte" du projet, se sert d'une nouvelle technologie de microprocesseurs appelée FPGA (Field programmable gate array).



Une "intelligence" émergera-t-elle de cette puce FPGA ?

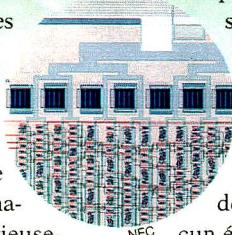
Cyber-bâton de vieillesse

@ Un robot, hybride d'un animal de compagnie et d'un médecin de famille, vient d'être construit par Brian Bury, maître de conférence en électronique à l'université de Salford (Angleterre). Rosalie, tel est son nom, est le prototype d'une série de robots destinés à tenir compagnie et à surveiller les personnes âgées. Un appareil porté par le patient,

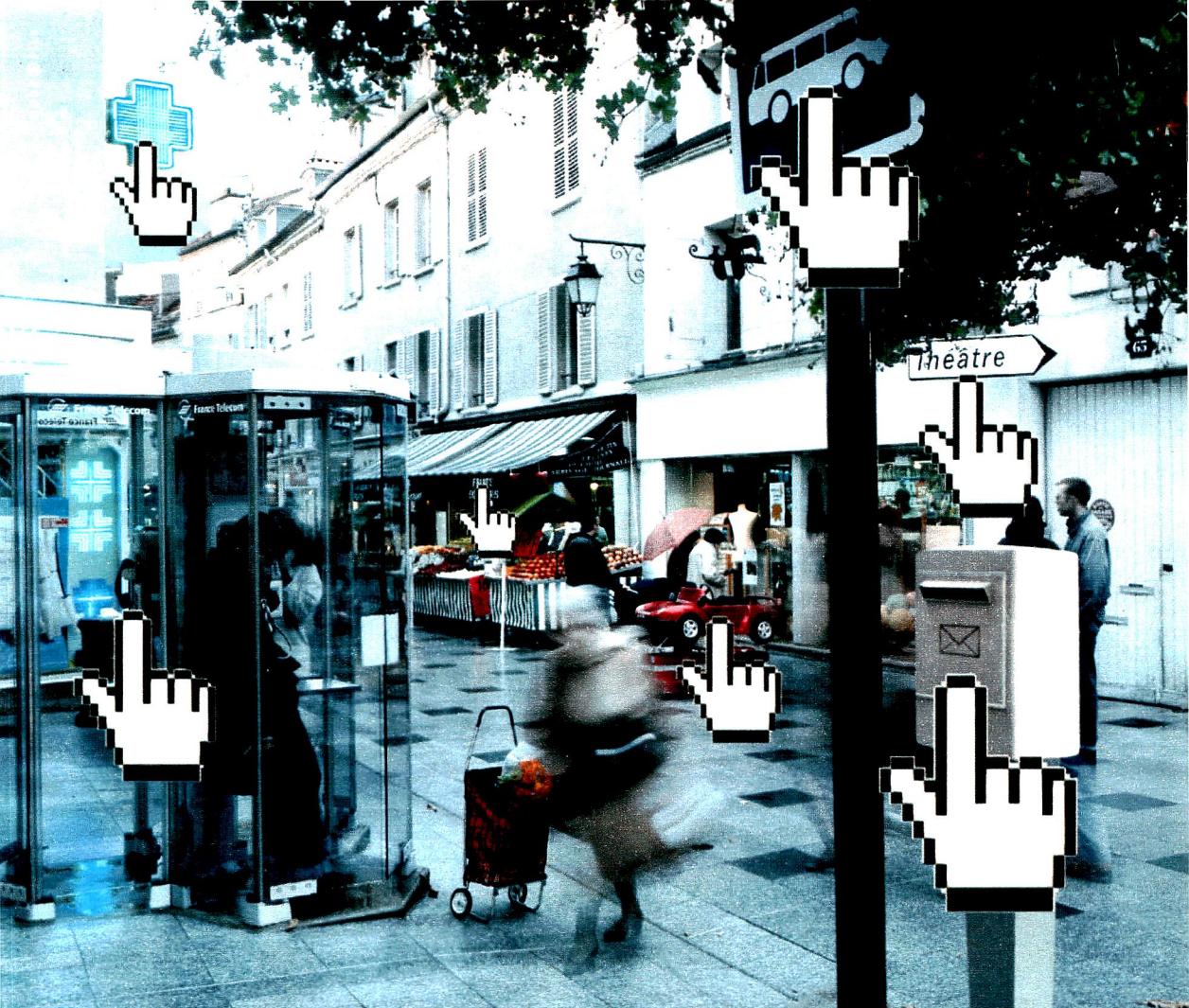
mesure sa température, sa tension, son rythme cardiaque, etc., puis les transmet au robot. Ce dernier peut ainsi détecter toute variation anormale de ces paramètres et, en cas d'urgence, alerter (par lien téléphonique) le médecin traitant. Rosalie est, par ailleurs, autonome : elle apprend à se déplacer dans un appartement... et même à rapporter une balle que son maître-patient lui lance. R.I.

Ordinateur à - 269 °C

@ L'échauffement des circuits électriques est le cauchemar des constructeurs informatiques. En effet, plus la vitesse de transfert des informations dans un circuit est importante, plus la chaleur dégagée est intense. Au risque de voir griller son ordinateur, cela limite sérieusement la rapidité de traitement des informations. Pour contourner cet obstacle, des chercheurs



de NEC (Japon) ont construit un prototype de circuit en matériau supraconducteur reliant plusieurs microprocesseurs. Les supraconducteurs conduisent l'électricité sans opposer la moindre résistance et donc sans produire de chaleur. Le circuit a été testé à une fréquence (vitesse) de 2 gigahertz sans aucun échauffement. Seul inconvénient, le circuit doit être refroidi à - 269 °C, température de l'hélium liquide... R.I.



- **MOTEUR DE RECHERCHE** : Sites français et internationaux
- **COMMUNICATION** : Courrier électronique - Forums
- **ANNUAIRES** : Les Pages Blanches - Les Pages Jaunes
- **INFOVILLE** : Itinéraires - Infos locales - Tourisme
- **APRÈS L'ÉCOLE** : Divertissements - Jeux éducatifs
- **VOILA NOUBA** : Cinéma - Théâtre - Concerts - Sorties...



voila
www.voila.fr

Tout ce que vous cherchez est là.

Voila, c'est votre point de départ sur internet. Pour s'orienter, s'informer, communiquer, jouer, sourire et se divertir, il suffit de taper www.voila.fr. Moteur de recherche gratuit pour tous les internautes. Voila est aussi accessible par Wanadoo.

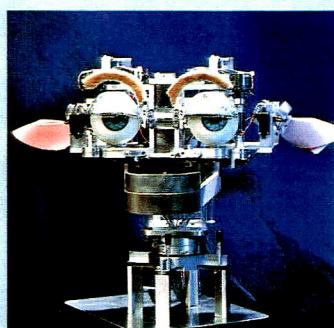
Sentiments artificiels



Au laboratoire d'intelligence artificielle du

Massachusetts Institute of Technology, le célèbre MIT, un robot, nommé

Kimset, apprend à "communiquer des émotions" à des êtres humains. Kimset, conçu par l'informaticienne Cynthia Breazeal, est pourvu d'yeux, d'oreilles et de sourcils articulés qui lui permettent de composer des expressions faciales exprimant des sentiments identifiables par l'homme. Mais le prototype n'exécute pas des grimaces sur l'ordre de la scientifique, il les génère de manière au-

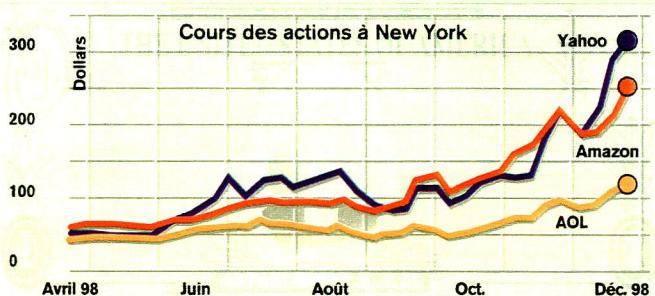


S. OGDEN/COSMOS

tonome suivant la situation à laquelle il est confronté, grâce à un enseignement que lui a dispensé sa conceptrice. Ainsi, si on lui approche un objet, puis qu'on le lui retire rapidement, il exprimera la colère ou la frustration de l'avoir perdu de vue.

R.I.

Toile boursière



La bourse électronique américaine, le Nasdaq, où sont cotés les titres des entre-

prises de haute technologie, a été prise d'une véritable fièvre en 1998. En un an, sa progression a atteint 39,5% avec des cas particuliers comme le titre d'AOL (fournisseur d'accès à la Toile) qui a vu plus que quintupler sa valeur ; celui d'Amazon.com (première librairie sur la Toile), ou encore d'Yahoo!, principal site d'entrée à la Toile ou "portail" (voir graphe). La flambée des titres reflète l'énorme confiance

sur l'avenir du réseau des réseaux, notamment les bonnes perspectives concernant le commerce en ligne (e-comm.). R.I.

22 pays

regroupant 90 % des sociétés conceptrices de porte-monnaie électronique, ont publiés des normes mondiales garantissant la compatibilité de diverses solutions pour le paiement électronique de petits achats.

Un pas de huit

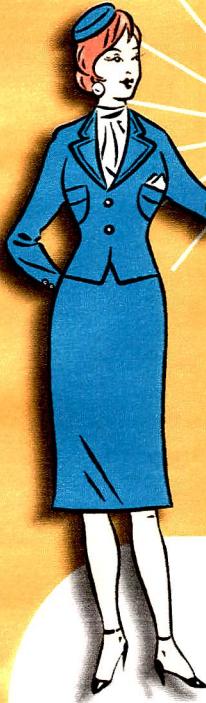
Les courbes ci-dessous ont été obtenues par simulation informatique d'un phénomène physique appelé diffusion de Thomson "relativiste". Lorsqu'on irradie des électrons avec un faisceau de lumière laser de très haute intensité, ils se mettent à décrire une courbe en forme de "huit". La vitesse des électrons est alors proche de celle de la lumière, ce qui les place dans le domaine de la relativité, décrit par la théorie d'Einstein. Le phénomène a été observé, pour la première fois, au Centre d'optique de très haute vitesse, de l'université du Michigan (USA). R.I.

Mozart plagié



Un professeur de musique de l'université de Californie a conçu un programme informatique capable d'analyser les structures d'une composition musicale. Le logiciel peut ainsi composer une œuvre inspirée, par exemple, de celle d'un maître. La preuve ? Une symphonie dans le plus pur style mozartien à l'adresse : http://news.bbc.co.uk/olmedia/240000/audio/_240642_mo.ram

World Online



Embarquez sur Internet en 1ère classe

Offre de bienvenue
3 mois pour 75 F
Connexion illimitée*

5 adresses e-mail

2 moteurs de recherche

Site personnel (10 Mo)

Page personnelle

Et tous les services
World Online



12 chaines thématiques.

Infos. Sport. Voyages... Toute l'information qui vous intéresse.



Confort de navigation.

Tous les outils pour naviguer dans les meilleures conditions sur Internet.



Rapidité de connexion.

Faites l'essai...



Asistance 7 jours sur 7.

Au téléphone ou en ligne,
une réponse à chaque question.



Droit de parole.

Une tribune pour accueillir et publier vos commentaires.

Appelez vite pour recevoir votre P@ss Internet

0 803 31 3000

0,99 F TTC/mn

www.worldonline.fr

*Hors coût des communications locales. Offre soumise à conditions valable pour les 3 premiers mois.
Connexion illimitée pour 75 F/mois à l'issue de cette période.





La guerre des mémoires

Nos téléphones mobiles, appareils-photo numériques, décodeurs, etc., n'existeraient pas sans leur mémoire électronique. Sur le marché – colossal – des supports de stockage, la mémoire flash a une longueur d'avance. Mais de nouvelles technologies pointent leur nez...



Textes, sons, images, films, rien n'échappe au numérique. Or, si ce dernier exerce dans le traitement de l'information, ses moyens de stockage ont plus de mal à évoluer. Les disquettes et les disques durs ne sont, en somme, qu'une évolution de la bande magnétique analogique. Ces supports fonctionnent à partir d'un dispositif mécanique (rotation du disque, déplacement des têtes de lecture, etc.).

Or, en électronique, la tendance est à la suppression de tout élément mécanique. Les téléviseurs et autres appareils domestiques sont un exemple de cette mutation. Télécommandes et "menus de réglages" affichés à l'écran remplacent les boutons d'antan. La raison de cette évolution : les pièces mécaniques sont coûteuses à fabriquer; d'autre part, elles s'usent et sont sensibles aux chocs et aux vibrations.

Les ordinateurs disposent d'un moyen de stockage purement élec-

tronique réinscriptible à l'infini : la mémoire vive, également appelée RAM (*Random Access Memory*). Mais ce type de mémoire ne peut conserver l'information que temporairement. En effet, dès que l'alimentation électrique est coupée, les données des mémoires vives conventionnelles sont effacées.

Il fallait donc trouver un support non mécanique, capable de conserver l'information en l'absence de toute source d'énergie. Dès le début des années 90, les laboratoires de recherche des grands industriels de l'électronique, tels qu'Intel, Texas Instruments ou Fujitsu, se penchèrent sur ce problème. C'est ainsi que naquit la "mémoire flash". Dé-

pourvue de tout mécanisme, extrêmement miniaturisée, réenregis-



Pour mener à bien leur tâche, de nombreux appareils exploitent des données numériques. Miniaturisée, sans pièces mécaniques et peu gourmande en énergie, la mémoire flash les stocke comme un mini disque dur.

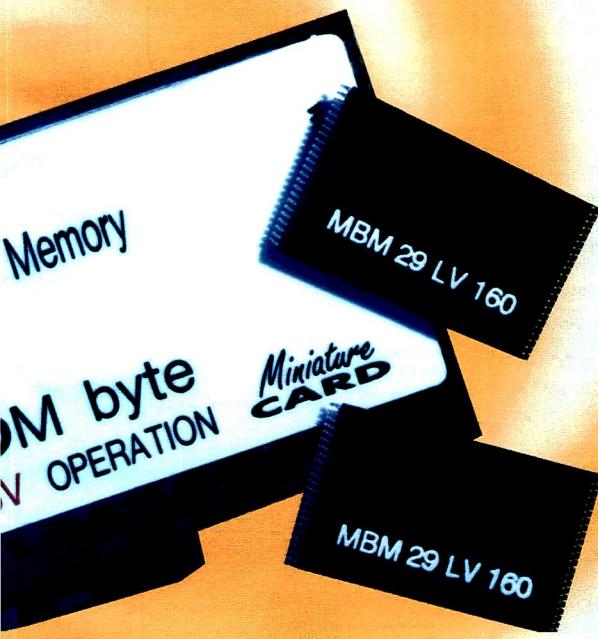


trable à l'infini et capable de conserver l'information même déconnectée, elle apparaîtrait comme le composant de l'avenir.

DES MILLIONS DE CONDENSATEURS!

En numérique, l'information, texte, image ou son, se réduit à une succession de 1 et de 0. Chaque 0 ou 1 de base est un bit. Géné-

c'est une tension électrique qui détermine l'"état" de chaque bit. La présence de cette tension indique qu'il s'agit d'un 1, son absence un 0. En informatique, les mémoires les plus couramment utilisées sont les RAM dites "dynamiques". Chaque élément de stockage est un condensateur : on peut l'assimiler à une microscopique batterie. Pour mémoriser un 1, on charge le condensateur. Pour retrouver l'information, il suffit alors de "regarder" si le condensateur correspondant à chaque bit est chargé ou non. Une mémoire vive compte un



ralement, on regroupe les bits par huit pour former un octet. L'information devient ainsi une succession d'octets : un fichier de données. Pour le stocker, il suffit alors de mémoriser cette succession d'octets, donc de 0 et de 1.

Dans les puces électroniques,

Maximémoire à miniprix...

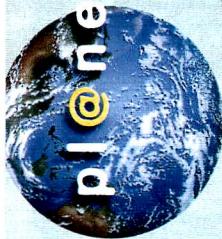
nombre énorme de condensateurs. Par exemple, une puce de 1 mégaoctet (Mo) doit pouvoir stocker 8 mégabits, soit 8 millions de bits. A raison de 1 condensateur par bit, il faut donc loger dans la puce

8 millions de condensateurs !

Actuellement, les techniques de microgravure en sont capables. Elles inscrivent facilement sur une petite surface de silicium (le substrat de la puce) un grand nombre de ces éléments. C'est ce qui permet aux mémoires dynamiques d'offrir une capacité de stockage importante pour un prix relativement modeste. C'est le cas des "barrettes mémoire" qui équipent nos ordinateurs. Pour quelques centaines de francs, on trouve des barrettes capables de stocker 32 Mo, soit 32 millions de caractères, l'équivalent de plus de 21000 pages dactylographiées.

Pourtant, ces mémoires possèdent un grave défaut : la charge des condensateurs





disparaît en quelques centièmes de seconde seulement. Par conséquent, pour maintenir le stockage de l'information, il faut recharger en permanence chaque condensateur. C'est ce qu'on appelle le rafraîchissement de la mémoire.

Si, même alimentée en électricité, les mémoires dynamiques ne sont pas en mesure de conserver l'information de manière autonome, on ne s'étonnera pas que les données soient irrémédiablement détruites dès que le courant est coupé.

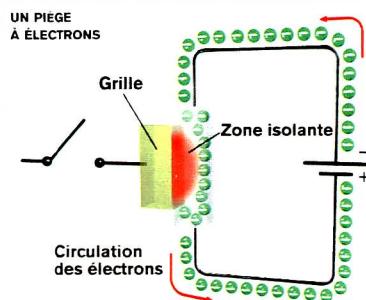
DEUX TRANSISTORS EN GUISE D'INTERRUPEUR

Il existe un autre type de mémoire vive qui ne nécessite pas de rafraîchissement. Ce sont les mémoires dites "statiques" : chaque bit n'est plus mémorisé par un condensateur mais par des transistors. Dans ce cas, chaque cellule de base de la mémoire est composée de deux transistors et fonctionne un peu à la manière d'un interrupteur. Si elle laisse passer le courant, elle contient un 1, dans le cas contraire, c'est un 0.

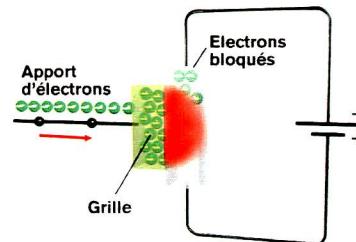
Lors de la mémorisation, on "positionne" chaque interrupteur. Pour retrouver l'information, il suffit de vérifier si les cellules laissent ou non passer le courant lors de la lecture. Malheureusement, il est plus difficile de graver des transistors que des condensateurs. Les RAM statiques coûtent donc plus cher. En outre, elles perdent leurs informations dès que l'alimentation électrique s'interrompt.

Pour conserver l'information après l'interruption de l'alimentation électrique tout en offrant une importante capacité de stockage, la mémoire flash possède une structure interne à mi-chemin de

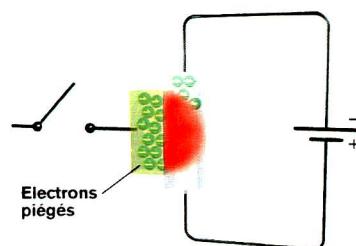
La cellule de base d'une mémoire flash est un transistor CMOS comportant deux "blocs" de silicium : la grille et le circuit drain-source (circuit principal). A leur contact, une zone isolante se forme mais n'obstrue pas le circuit principal : le courant circule.



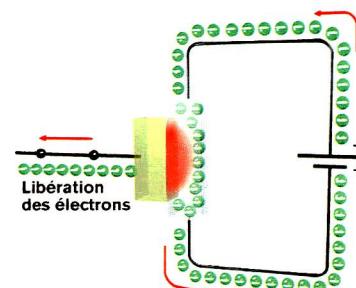
Si on fournit des électrons supplémentaires à la grille, le volume de la zone isolante augmente jusqu'à occulter totalement le circuit principal. Le courant ne passe plus.



Dans la mémoire flash, les électrons restent prisonniers de la grille même si son circuit de commande est ouvert. Le transistor s'oppose toujours à la circulation du courant : il mémorise l'information.



En libérant les électrons contenus dans la grille, le transistor retrouve son état d'origine : le courant circule. La mémoire flash compte autant de transistors que de bits à stocker. Le passage, ou non, du courant indiquera si ce sont des "0" ou des "1".



celles des deux technologies que nous venons de décrire.

C'est un transistor CMOS (*Complementary Metal Oxyd Silicon*) qui compose chacune de ses cellules de base. Cet élément est constitué d'un circuit principal sur lequel on plaque une électrode complémentaire : la grille.

Lors de la gravure du silicium, on juxtapose deux zones de semi-conducteur différemment dopées. C'est-à-dire que les impuretés introduites dans le silicium provoquent dans l'une un excédent de charges positives et dans l'autre un excédent de charges négatives.

Une région dépourvue de charge

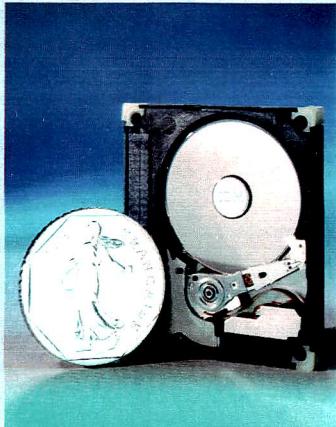
(voir schéma ci-contre) apparaît alors à proximité de la zone de contact entre la grille et le circuit principal. Il se crée ainsi une "zone isolante" qui l'obstrue partiellement. Néanmoins, le courant électrique peut encore passer. En revanche, si l'on apporte des électrons à la grille (grâce à une source électrique auxiliaire, par exemple), la zone dépourvue de charge augmente de volume et bloque le courant.

Le transistor de type CMOS se comporte donc comme un interrupteur. Sa commande n'est ni une tension, ni un courant mais simplement la présence, ou l'absence, d'électrons dans la grille. On retrouve ici un dispositif équivalent à une cellule de mémoire statique.

UNE MÉMOIRE PERMANENTE ET RÉINSCRIPTIBLE

Toute l'originalité de la mémoire flash réside dès lors dans la manière d'amener les électrons à la grille. Son principe se résume à celui d'un interrupteur. Pendant l'écriture des données dans la mémoire, l'interrupteur établit le contact et apporte ou non des électrons à chaque transistor. Dans le cas d'une réécriture, il est également capable de "vider" la grille de ses électrons. Cet interrupteur est suffisamment adapté pour que les électrons soient piégés dans la grille lorsque son contact s'ouvre. Ainsi, l'état des transistors CMOS n'évolue plus jusqu'à l'écriture suivante.

Lors de la lecture, c'est le passage ou non du courant dans les transistors qui détermine les 0 et les 1. Comme cette opération n'intervient pas sur l'état de la grille, on peut lire la mémoire indéfiniment, sans que son contenu soit modifié (voir schéma). De même, il n'est plus nécessaire d'alimenter la mémoire pour que les électrons restent prisonniers de la grille. Ainsi, l'information est



IBM contre-attaque et crée un disque dur de 340 mégaoctets pour 20 grammes seulement.

conservée par la mémoire flash.

Les applications de ce composant sont innombrables. Appareils-photo, téléphones mobiles, périphériques informatiques ou décodeurs de télévision fonctionnent maintenant en numérique. Bien que cela soit invisible pour l'utilisateur, tous ces appareils utilisent des logiciels pour mener à bien leur tâche. Pouvoir loger ces

Stockage de l'information : un marché de 2,4 milliards de dollars en l'an 2000

programmes dans une mémoire flash est un atout. Sa réinscriptibilité permet de mettre à jour l'appareil, de lui adjoindre de nouvelles options ou d'optimiser son fonctionnement. Ces modifications peuvent même s'effectuer par téléchargement, sans que l'utilisateur s'en aperçoive.

Le constructeur coréen Samsung estime que le marché des dispositifs de stockage de l'information représentera un chiffre d'affaires de plus de 2,4 milliards de dollars dès l'an 2000. Un gigantesque marché que les mémoires flash ne sont pas les seules à investir. Actuellement, en effet, les plus puissantes plafonnent à 128 mégabits,

soit 16 Mo. Une capacité fort modeste, comparée aux 5 à 6 giga-octets (près de 400 fois plus, soit plus de 4 millions de pages) des disques durs courants.

Cette course à la puissance de stockage conduit ainsi les laboratoires de recherches à trouver d'autres filières capables d'offrir un meilleur rapport capacité/prix. Un groupe de chercheurs de l'université de Stanford (Californie), dirigé par Shang X. Wang, étudie une technologie, baptisée MRAM, basée sur des jonctions magnétiques. Dans ce nouveau type de puce, c'est une magnétisation extrêmement locale de la structure interne qui mémorise l'information. Sa capacité sera comparable à celle d'une mémoire flash, mais son coût de fabrication devrait être très inférieur.

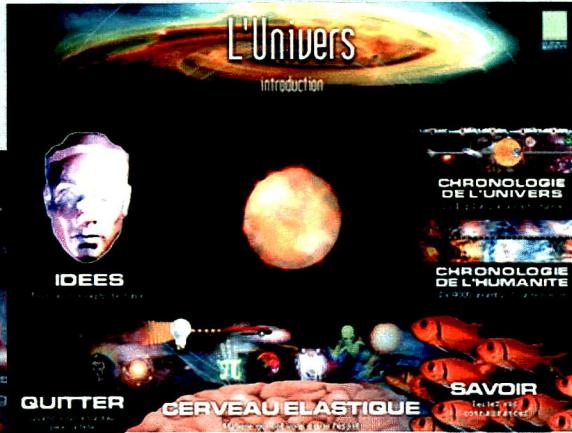
De son côté, IBM exploite le filon du disque dur ultra-miniaturisé. Il occupe un volume identique à celui d'une mémoire flash, et peut stocker 340 Mo (plus de 20 fois la capacité des meilleures mémoires

flash, ou l'équivalent de 228 000 pages de texte). En raison même de ses faibles dimensions, ses pièces mécaniques ne devraient posséder qu'une très faible masse et donc ne présenter que très peu d'inertie, ce qui le met à l'abri des vibrations et des chocs pouvant affecter son fonctionnement.

Tout porte à penser qu'une guerre technologique commence. S'il semble que les mémoires flash aient gagné une bataille, il serait probablement un peu hâtif de leur accorder la victoire. Dans ce domaine, chaque jour apporte une innovation, il se peut bien que le support du troisième millénaire soit encore à naître.



La tête dans le cosmos



Un CD-Rom sur la cosmologie moderne ; des concepts classiques pour répondre à nos interrogations sur "la" grande énigme.

L'UNIVERS

Couronné par l'Association internationale pour les médias dans la

Science (à laquelle participent le CNRS et l'Unesco), *L'Univers* entend donner des réponses simples à des questions très compliquées, mais passionnantes. Où sommes-nous ? Comment est fait l'Univers ? Si les extraterrestres existent, pourquoi ne les avons-nous jamais vus ? Peut-on voyager dans le temps ?

Organisé autour de différents pôles (idées clés, chronologie, etc.), il fait appel – sous forme animée – aux concepts les plus classiques utilisés par la science pour tenter de résoudre "la" grande énigme. Il vous initie ainsi peu à peu aux arcanes de la cosmologie moderne, de la constante de Hubble à la géométrie de l'Univers.

Il est regrettable, toutefois, que les ressources du multimédia (notamment en ce qui concerne les animations) ne soient pas mieux exploitées. Bien qu'il regorge d'illustrations, il évoque trop souvent un livre animé ! Par ailleurs, la progression des concepts utilisés manque parfois de logique, et l'on butte sur des commentaires

dont tous les termes n'ont pas été expliqués. Ces réserves faites, ce CD-Rom est aujourd'hui le seul à donner une vision moderne de

l'Univers. Et c'est déjà un grand mérite.

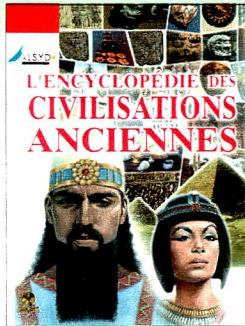
.....

Studi, 290 F (44,21 €) pour PC.

Sur les traces de l'humanité

L'ENCYCLOPÉDIE DES CIVILISATIONS ANCIENNES

Pour engranger toutes les données archéologiques, artistiques, géographiques et historiques de cette encyclopédie, il vous faudra 26 Mo sur votre disque dur. Cinquante-deux civilisations de huit régions du monde sont passées en revue... De Lucy en Ethiopie il y a cinq millions d'années aux derniers feux de la civilisation Maya en 500, en passant par les Shang de la boucle du fleuve Jaune, les Celtes, ou la civilisation de Mohenjo-Daro dans l'Indus, vous aurez une idée de la créativité



foisonnante des hommes qui se sont succédé jusqu'à nous.

La page d'accueil est un modèle du genre. Les civilisations sont présentées dans l'ordre chronologique. Il suffit de cliquer sur

l'une d'elles pour qu'apparaisse son aire géographique, avec des exemples de ses productions intellectuelles, matérielles et artistiques. "Civilisations, nous savons que nous sommes mortelles", la réflexion de Paul Valéry prend alors tout son sens.

Une introduction de qualité à l'histoire du monde.

.....

Alsyd, 349 F (53,20 €) pour PC.

Votre imposition au plus juste

QUICKIMPÔTS 99

Puisque le ministère des Finances nous accorde un sursis jusqu'au 15 mars, pourquoi ne pas profiter des services de *QuickImpôts 99*? Ce CD-Rom, le seul de ce type existant actuellement en France, vous aidera à établir votre déclaration (revenus, revenus fonciers et plus-values immobilières). Il calcule lui-même le montant de votre imposition, après avoir rempli ligne par ligne la déclaration. Il vous suffit ensuite de reporter ces données sur le document officiel.



Autre avantage : vous disposez des simulations personnalisées des choix fiscaux envisageables. Un bon investissement !

.....
Harvest, 199 F (30,34 €) pour PC.

Un joyau de la connaissance

LE TRÉSOR : DICTIONNAIRE DES SCIENCES

Voici enfin la version multimédia du dictionnaire des sciences de Michel Serres et Nayla Farouki (voir *Science & Vie* n° 967, avril 1998). Textes de présentation et articles sont identiques à ceux de la version papier, mais les capacités hypertextes du multimédia sont ici pleinement exploitées.

Prenons les trous noirs : outre l'article de fond écrit par Pierre Léna, des liens hypertextes renvoient, par exemple, à Pierre Simon Laplace (1749-1827), le premier qui eut l'intuition au XVIII^e siècle de l'existence de corps matériels piégeant la lumière. D'autres liens renvoient aux systèmes binaires d'étoiles, aux étoiles à neutrons, quasars et galaxies actives... autant d'objets célestes concernés par la théorie des trous noirs. Les recherches peuvent également s'effectuer par thème, par concept. Les questions éthiques (relatives au clonage, par exemple) ne sont pas oubliées. Les systèmes de re-

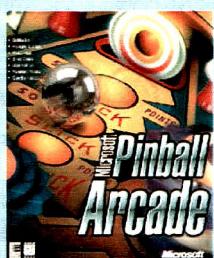
cherche et de navigation sont d'une grande simplicité, ce qui ajoute à l'efficacité et au plaisir de la consultation. Un outil indispensable tant pour l'honnête homme de cette fin du XX^e siècle que pour le chercheur.

.....
Sous la direction de Michel Serres et Nayla Farouki. Flammarion, 295 F (44,97 €) pour PC.

Parties gratuites

PINBALL ARCADE

Gottlieb... Qui ne connaît le nom de cette grande marque américaine de flippers ! Comme un hommage à leur créateur, véritable bienfaiteur de l'humanité et, en tout cas, de générations d'étudiants, Microsoft propose une collection de sept flippers, reproduits avec grande minutie, parmi les plus célèbres : du fa-



meux Humpty Dumpty au Cue Ball Wizard. La trajectoire et les rebonds de la balle sont d'un réalisme saisissant.

Et surtout, on peut secouer le flipper à volonté ! Une réussite.

.....
Microsoft, 199 F (30,34 €) pour PC.

NOUS AVONS AIMÉ

GRAND PRIX LEGENDS

Le premier simulateur de courses de voitures sur onze circuits célèbres : Rouen, Les Essarts, Spa, etc. Jusqu'à vingt joueurs, en modem ou en réseau. Le top.



.....
Sierra, 349 F (53,20 €) pour PC.

PRINTMASTER GOLD

Créez et imprimez, vous-même, affiches, cartes de visite, cartes de vœux menus, invitations, etc. Avec *Printmaster Gold*, c'est enfantin. Plus de 2 300 modèles, 200 polices de caractères et 27 000 illustrations disponibles.

.....
TLC-EduSoft, 149 F (22,71 €) pour PC.

AGE OF EMPIRES : L'ASCENSION DE ROME (THE RISE OF ROME)

Cette version ajoute quatre nouvelles civilisations de l'époque romaine à celles de *Age of Empires* (voir *Science & Vie* n° 966, mars 1998). Pour revivre les guerres puniques entre Rome et Carthage...



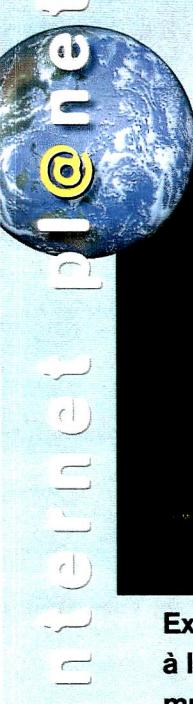
.....
Microsoft, 199 F (30,34 €) pour PC.

meux Humpty Dumpty au Cue Ball Wizard. La trajectoire et les rebonds de la balle sont d'un réalisme saisissant.

Et surtout, on peut secouer le flipper à volonté ! Une réussite.

.....
Microsoft, 199 F (30,34 €) pour PC.

Suivez le guide!



life, the universe, and the electron

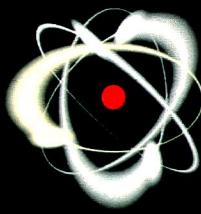
An exhibition to celebrate the centenary of the discovery of the electron

What is an electron?

Discovery 1897

Electrons in atoms

Seeing with electrons



Electrons in our lives

Electron events

Links

Using this site

Sc^{WIII}
SCIENCE
MUSEUM

Surrey
Institute of Physics

Expositions en ligne, manipulations à effectuer à l'écran, expériences virtuelles : les sites de musées scientifiques débordent d'imagination pour surprendre les internautes. Mais les serveurs américains sont plus interactifs que les français ou les anglais.



En janvier 1839,
après plusieurs
années d'essais,
Louis-Jacques

Mandé Daguerre met au point le daguerréotype, procédé qui permet d'enregistrer une image sur une plaque d'argent iodurée superficiellement : l'ancêtre de la photographie.

Le site du musée d'Histoire des sciences à Oxford en Angleterre (<http://www.mhs.ox.ac.uk/>) invite les internautes à découvrir les débuts de la photo et à observer les premières lentilles et chambres noires utilisées au XIX^e siècle. Ensuite, les visiteurs pourront emprunter "la visite scientifique virtuelle" à travers les rues d'Oxford et remonter jusqu'au XIII^e siècle, date de la



Online Features



Douze expositions vous attendent sur le serveur du musée londonien.

fondation de l'université de la ville. Après ce voyage dans le temps, le musée national des Sciences et de l'Industrie de Londres, créé au XIX^e siècle, (<http://www.nmsi.ac.uk/>), propose un saut dans le futur à travers l'exposition consacrée à l'alimentation de demain et les aliments génétiquement modifiés.

Les amateurs d'aviation ou les passionnés de l'électron trouveront, aussi, leur bonheur, ici, avec des expositions très bien documentées en textes et en images mais hélas pauvres en vidéo ou en son.

Le musée des Sciences & de l'Industrie de Londres vous invite à redécouvrir l'histoire de l'électron.

En un clic de souris, on se retrouve ensuite sur les sites des musées scientifiques français. Les serveurs diffusent surtout des informations pratiques, ils présentent leurs expositions ou leurs collections, mais ne les montrent pas à l'écran. Parmi les exceptions, toutefois, il faut signaler le musée des Arts et Métiers, (<http://www.cnam.fr/museum/>). Les visiteurs pourront approcher le pendule du physicien Foucault présenté au Panthéon en avril 1996. Ils pourront feuilleter à l'écran le catalogue des collections du musée et découvrir ainsi les instruments de la science utilisés au XVI^e siècle, la sphère de Burigli, par exemple, une "horloge et une représentation mouvante de la sphère céleste", comme le souligne le site.

S'il fallait retenir un lien sur le serveur de la Cité des sciences et de l'industrie, (http://www.cite-sciences.fr/new/fs_global_html.htm), ce serait celui sur les biotechnologies végétales et la société. Les concepteurs ont créé des dossiers sur douze thèmes, (agriculture, OGM, éthique, etc.) accompagnés d'adresses qui promeuvent ou au contraire vont à l'encontre des OGM. Les visiteurs peuvent parti-



«Vous êtes invités à venir voir tourner la Terre...» disait Foucault. Visite sur le site des Arts & Métiers.



A l'affiche : informations pratiques, expositions en cours, forums, ateliers... une vraie navigation au long cours.

ciper à des forums ou assister à des ateliers en ligne permettant de discuter à plusieurs, en même temps, et d'écrire un texte de synthèse sur une thématique en rapport avec les biotechnologies. Également sur le site les expositions et des informations pratiques.

Le site du Palais de la découverte, (<http://www.palais-decouverte.fr/>), est un peu plus interactif. En effet, en cliquant sur le lien "ateliers découvertes", les enfants tombent sur une question, par exemple, "com-

ment gonfler un ballon sans souffler dedans?", puis ils suivent étape par étape les manipulations, lisent les explications avant de reproduire l'expérience dans la cuisine. Mais la palme de l'interactivité revient à l'Exploratorium, (<http://www.exploratorium.com/>), le musée des Sciences de San Francisco. Des expositions en ligne, trente manipulations à effectuer chez soi, des expériences en direct sur les illusions d'optique, une dissection d'œil de

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer window with the following content:

SANS SE MOUILLER LES DOIGTS

Comment réaliser cette petite démonstration sans que vos doigts restent mouillés ?
Il suffit de trouver une boîte de conserve en verre dans une épicerie ou dans un magasin de bricolage.

Pour réaliser cette expérience, rassemblez le matériel suivant :

- Une bouteille
- Une assiette
- Un pot en verre
- Une pièce de monnaie
- De l'eau
- Des allumettes

At the bottom right, there is a small logo for "DÉCOUVERTE EN SCIENCE".

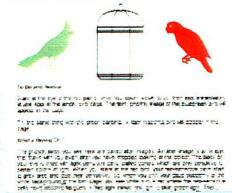
Sur le site du Palais de la découverte, des expériences pour les enfants : sitôt vu, sitôt fait.

bœuf filmée étape par étape : toutes ces animations sont au sommaire d'un site à la hauteur du musée.

Enfin, ce tour du monde se terminera par le musée de l'Informatique, (<http://www.icom.org/vimp/computing.html#exhibits>),



Bird in a Cage



Tout est possible sur le site de l'Exploratorium ; même voir des couleurs qui n'existent pas !

le seul musée virtuel de la liste, c'est-à-dire qu'il n'existe pas physiquement.

Le serveur est en fait un métasite ou site portail qui regroupe par thèmes (sociétés, matériel, histoire, etc.) toutes les adresses qui traitent de l'informatique. ■

Le mythe Harley revisité



Dernière née de la gamme Harley-Davidson, la Dyna Super Glide Sport a de quoi séduire. Pourtant

l'appellation "sport" peut surprendre les puristes. A l'instar de nombreux modèles du fabricant, la Dyna Super Glide se révèle être une machine mythique. Son nouveau moteur V-twin, d'une cylindrée de 1 450 cm³, fait preuve d'une souplesse que ne laisse pas supposer sa taille, et offre un couple de 9,2 mkg à 3 000 tours/minute. Bien qu'équipé d'un double arbre à cames, il est fidèle à la tradition Harley. Les tiges de culbuteurs sont apparentes et soulignent les cylindres de leurs tubes chromés. La partie cycle sait faire oublier le poids élevé de cette moto (302 kg). Si les manœuvres à l'arrêt trahissent cette masse imposante, dès que la moto roule, elle fait preuve d'une remarquable maniabilité. Autre surprise : elle freine bien grâce à son double disque avant et possède des suspensions plus qu'honnêtes. Prix : 94 400 F (14 303,03 €).

La finition de chaque détail est impressionnante. C'est entre 2 500 et 3 500 tours que le gros V-twin donne le meilleur de lui-même. Seul point noir : la béquille, peu accessible, qui impose, pour la déployer, une inclinaison à contresens de la moto.

Eclairage léché

Spécialiste de l'éclairage de studio, Multibliz a remplacé sa gamme Profilite Compact par les flashs Profilux. Un modèle 600 W/s apparaît, avec un tube-éclair à quartz. De nouveaux condensateurs assurent un meilleur refroidissement et autorisent l'emploi d'une lampe pilote de 250 W. Prix du kit de deux flashs : de 10 200 F à 14 800 F (de 1 545,45 € à 2 242,42 €).



Un système professionnel robuste et d'une grande facilité d'emploi.

Le traducteur donne de la voix

Avec son scanner situé à la pointe d'une sorte de stylo, le premier Quicktionary, traducteur bilingue anglais-français, avait étonné. Forte de son succès, la société Lexibook a lancé une version trilingue français-anglais-allemand. Aujourd'hui, le Quicktionary bilingue parlant arrive. Il traduit plus de 400 000 mots ou expressions, qu'une voix numérique retransmet oralement. Une oreillette permet de travailler en toute discrétion. Dans le menu, le dictionnaire comprend l'historique des mots scannés précédemment, les entrées voisines, le choix de la langue, etc. Les préférences permettent de choisir le menu en français ou en anglais, la lecture automatique du mot anglais, la vitesse de lecture et le contrôle du volume. Prix : 1 450 F (219,70 €).

Un excellent outil de travail, sitôt qu'on s'est familiarisé avec une utilisation un peu délicate.



Un plat délicieux

Epais de 83 mm, le moniteur 800XI du fabricant finlandais Nokia est le premier écran plat professionnel à un prix (relativement) abordable. Il peut s'accrocher au mur. C'est un 18,1 pouces dont la zone de visualisation est équivalente à celle d'un écran 20 pouces à tube cathodique. La résolution maximale est de 1 280 x 1 024 pixels à 75 Hz. La bande passante à 135 MHz et l'affichage en 16,7 millions de couleurs procurent une image de grande qualité. Le pas de masque horizontal est de 0,28 pouce. Prix : 24 000 F (3 636,36 €).

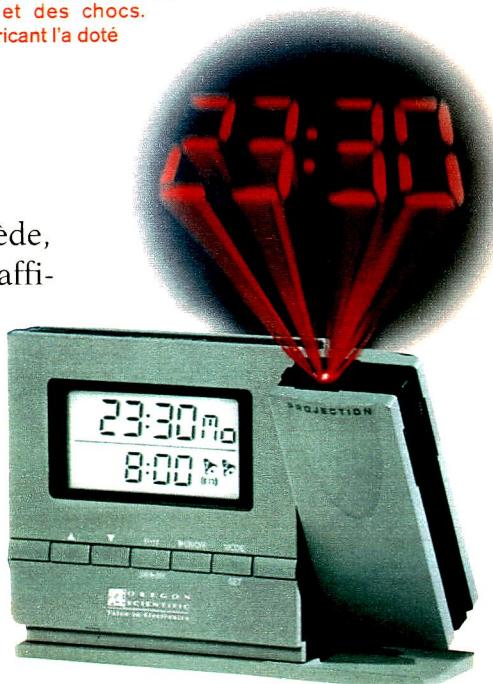


L'écran est excellent, lumineux et contrasté. Il est équipé d'un revêtement spécial qui le protège des taches et des chocs. Il est si agréable qu'on comprend pourquoi le fabricant l'a doté d'un anneau de fixation antivol!

L'heure au plafond

Le réveil-projecteur d'Oregon Scientific possède, outre l'affichage classique sur écran LCD, un affichage projeté au plafond. L'orientation et la luminosité du projecteur sont réglables. Il existe en deux versions : standard ou radio-pilotée. Dans ce cas, la mise à l'heure et le passage de l'heure d'hiver à l'heure d'été s'effectuent automatiquement. Prix : 300 F (45,45 €) et 500 F (75,76 €).

La très grande taille des chiffres projetés permet de se passer de lunettes pour lire l'heure.



Le lait est-il

Produit mythique, le lait, de par son origine, est paré d'une auréole d'aliment sain, naturel et vivant. Mais les progrès des techniques de conservation, aux indéniables bienfaits hygiéniques, se sont faits aux dépens de ses qualités nutritionnelles. Les laits stérilisés sont aussi les plus dénaturés. Et les meilleurs laits pas toujours ceux que l'on croit. Etat des lieux.

A la fois boisson et aliment, le lait, riche en calcium, est symbole de force et de santé. Trait d'union entre tous les mammifères, il donne au nouveau-né son carburant initial, les anticorps qui le protègent de l'infection et les nutriments nécessaires à son développement. Chaque espèce, de la femme à la souris, possède son filtre de sécrétion,

qui assure à sa progéniture le lait le mieux adapté qui soit. Mais les substituts sont possibles.

Selon les mots fameux du duc de Sully, « labourage et pâturage sont les deux mamelles de la France », et l'homme a su tirer parti de l'exceptionnelle productivité laitière de la vache. Seul problème, le lait étant un produit vivant riche en germes acidifiants, il se conserve mal et, s'il n'est pas refroidi

Doux breuvage...

En Europe du Nord ou en Grèce, on consomme surtout du lait pasteurisé. Mais plus de neuf fois sur dix, les Français achètent du lait stérilisé, traité de manière plus ou moins douce.



C. WESTERMAN/COSMOS

T. PAVIOT
FOTOGRAF STONE

encore du lait ?



ou bouilli, "tourne" : le caillé issu de la coagulation des caséines, se sépare du "petit lait" transparent, ou lacosérum.

Pour consommer le lait en temps et lieu éloignés de la traite, et non plus seulement ses dérivés stables (beurre, yaourt ou fromage), il a fallu attendre la pasteurisation et la stérilisation, industrialisées à la fin du siècle dernier. Mais il

était alors difficile de marier hygiène et respect du produit initial.

Ainsi, la stérilisation en autoclave maintenait les bouteilles en verre plus de 20 minutes à 120°C. Stérile, le lait était aussi bruni, avec un goût de cuit prononcé – que certains apprécient – et plus aucune trace de vitamines. Quant au lait pasteurisé, il ratait souvent son objectif : éliminer les germes pathogènes, en particulier le bacille de Koch, *Mycobacterium tuberculosis*.

PASTEURISATION CONTRÔLÉE

Aujourd'hui, le lait "cru" collecté à la ferme est payé en fonction de sa composition (taux de matière grasse, taux protéique) et de sa qualité hygiénique : nombre de germes, nombre de cellules, ces dernières évoquant une inflammation de la mamelle. La pasteurisation est devenue plus sûre, grâce aussi à une chaîne du froid efficace et continue de la traite à l'assiette.

A l'heure actuelle, la pasteurisation de haute qualité, mentionnée sur l'étiquette, s'obtient en portant le flux continu de lait au maximum à 72°C pendant 15 secondes. D'autres couples temps/température ont un effet équivalent, par exemple 30 minutes à 63°C. L'important est de chauffer suffisamment pour tuer les germes pathogènes (par chance, ce sont les plus sensibles à la chaleur), mais pas plus pour n'altérer qu'au minimum les constituants et le goût du lait.

Pour s'assurer que la pasteurisation a été efficace sans être trop poussée, on teste l'activité de deux enzymes du lait cru qui sont inactivées à des températures diffé-

rentes : la phosphatase alcaline et la peroxydase. La première est à peine plus résistante à la chaleur que les bactéries pathogènes ; elle est donc inactivée dans un lait pasteurisé. Mais la seconde, dénatrurée après 20 secondes à 80 °C, doit y être encore active. A l'inverse, elle ne le sera plus dans des laits "hautement" pasteurisés (85-90 °C durant plusieurs secondes) vendus au rayon réfrigéré sous l'appellation pasteurisé.

ASEPSIE GARANTIE

Aujourd'hui, le lait pasteurisé offre la garantie d'une hygiène satisfaisante. Ses qualités organoleptiques (son goût, sa saveur et sa texture) se rapprochent de celles du lait cru. Hélas, il ne se conserve que 7 jours au froid. D'où le développement de la stérilisation UHT (ultra-haute température).

Ce procédé, adopté au cours des

La mère en bouteille

Si la densité du lait cru varie selon la zone de collecte, il reste un aliment complet, riche en nutriments.

années 60, a révolutionné la distribution car le lait UHT, chauffé entre 135 °C et 150 °C pendant quelques secondes à peine, peut être conservé trois mois à température ambiante. Il n'est fait mention du traitement UHT sur l'étiquette que s'il est suivi d'un procédé de conditionnement aseptique.

Celui-ci a démarré avec la "brik" en carton stérile dont le brevet a fait la fortune de la société suédoise TetraPack, intégrée aujourd'hui dans le groupe Tetra Laval (1), numéro 1 de l'équipement laitier. Aujourd'hui, la bouteille remplace la brique près d'une fois sur quatre.

11

A.MEYER

Minéraux (phosphore, calcium...) : 7 à 9 g
Glucides (lactose) : 45 à 50 g
Lipides : 33 à 47 g
Protéines : 32 à 36 g
Eau : 870 à 910 g
≥ 1028 g

Un lait portant la seule mention "stérilisé" incorpore souvent un premier traitement en UHT. Mais le remplissage des bouteilles en conditions non stériles oblige à garder une étape finale dans une tour de stérilisation (3 minutes à 121 °C ou 13 minutes à 115 °C).

On pourrait croire que tous les laits UHT se valent. Mais à l'automne dernier, la société Lactel (groupe Besnier) a jeté un pavé dans la mare en annonçant sans autre forme de procès "stérilisation douce, saveur préservée". Une publicité abusive qui ne fait que rendre compte, comme nous le verrons, d'une nécessaire évolution de son procédé industriel!

L'occasion est bonne pour rappeler au consommateur, qui souvent noie le lait dans son café ou le cuit dans une sauce béchamel, qu'il y a de réelles différences entre les laits, même au sein de la gamme des demi-écrémés UHT : couleur plus ou moins blanche, aspect plus ou moins mousseux, texture plus ou moins "nappante" en bouche...

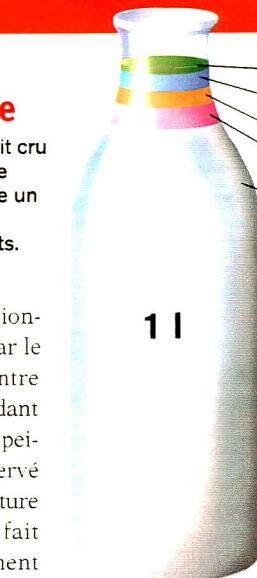
Des études (privées) sont réalisées par les Maisons du goût, dont le siège se situe à Bourg-en-Bresse (Ain). Des dégustateurs, experts dans la reconnaissance des 52 réfé-

Les laits courants

Le lait microfiltré ou pasteurisé est peu chauffé. La stérilisation détruit les vitamines, mais un ajout avant traitement en préserve

au moins 80 %.

Un tiers du lait est vendu sous marque nationale, un tiers sous marque distributeur et un tiers sans marque.



(1) Du 28 février au 7 mars, sa filiale Alpha Laval Agri présente au Salon international de l'agriculture une chaîne complète de traite-pasteurisation-conditionnement.

rences d'une aromathèque de flaveurs fromagères, y décèlent tantôt une note "petit-lait", tantôt une note "paille", tantôt une note "miel", tantôt une note "animal"...

Ces différences sont évidemment liées à la qualité du lait cru. Sa composition varie selon les races, la saison, l'alimentation de la vache, son âge, le moment de la traite, etc. Le taux butyreux du lait est en moyenne de 41 g de matière grasse par kilogramme mais peut aller de 20 à 70 g/kg. Le taux protéique, qui peut varier de 25 à 45 g/kg, est en moyenne de 32 g/kg. Le mélange des laits de ferme nivelle les différences, de même que la standardisation industrielle en matières grasses.

La durée et l'intensité du chauffage jouent également sur la composition du lait et donc sur sa saveur. En premier lieu, ce sont les protéines qui sont dégradées. La stérilisation, on l'a vu, va jusqu'à donner un goût et un aspect caramelisé au lait. La cause en est l'accélération à haute température d'une réaction, dite "de Maillard".



Les laits de croissance

Ils sont enrichis en fer, en zinc, en vitamines, en acides gras essentiels ou en lactose... Un véritable cocktail d'additifs qui dégrade les protéines du lait.

qui démarre dans le lait par l'association entre les sucres et les protéines et provoque l'apparition de nouveaux composés. Les caséines, protéines majoritaires auxquelles sont fixés les deux tiers du calcium et la moitié du phosphore, sont relativement épargnées - en revanche, la fraction soluble de ces minéraux devient partiellement inassimilable dans le lait stérilisé.

Parmi les protéines so-

lubles du lait, la β -lactoglobuline (3 g/l en moyenne) est la plus sensible. Elle devient moins digeste car en se dépliant sous l'effet de la chaleur, elle expose ses acides aminés de type lysine sur lesquels peuvent alors se fixer les molécules de lactose. Cela forme la lactulosyllysine, molécule non assimilable et étape précoce de la réaction de Maillard.

LES MÉFAITS DE LA CHALEUR

A un stade plus avancé, au-delà de 100°C, celle-ci produit des radicaux libres, des espèces moléculaires à groupement "carbonyle" très réactives, des composés nouveaux (hydroxyméthylfurfural, faiblement mutagène; pyrazine et imidazole, qui diminuent la digestibilité du lait en inhibant les protéases de notre intestin). La lactoferrine ne joue plus son rôle protecteur bactériostatique dans l'intestin du bébé car elle perd sa capacité à "séquestrer" le fer aux dépens des bactéries.

Le chauffage du lait est encore moins anodin lorsqu'on modifie sa composition. Pre-

Les laits diététiques

L'Europe autorise depuis peu l'enrichissement du lait en protéines laitières, en sels minéraux (notamment en calcium et en magnésium) et en vitamines, ainsi que la réduction de la teneur en lactose.

En France, ces produits, comme ceux enrichis en fibres bifidogénèses, n'ont pas le droit à l'appellation lait : ce sont des "aliments lactés diététiques" qui doivent justifier la catégorie de consommateurs qu'ils ciblent.



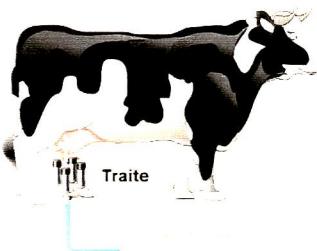
nons le lait sans lactose, créé pour les personnes intolérantes au lactose (le sucre du lait). Ces personnes ne produisent pas assez de lactase, l'enzyme intestinale qui coupe le lactose en glucose et galactose, directement assimilés. La société Lactel a trouvé la parade en opérant cette coupure dans le lait... Ce qui multiplie par deux la quantité de sucres réducteurs impliqués dans la réaction de Maillard!

ENRICHIS OU ALTÉRÉS ?

Plus graves sont les ajouts de lactose, de fer, de vitamine C ou d'acides gras dans les préparations liquides stérilisées données aux enfants en bas âge : lait 1^{er} âge (0-4 mois), 2^{er} âge (5-12 mois), laits de croissance (1 à 3 ans) (2).

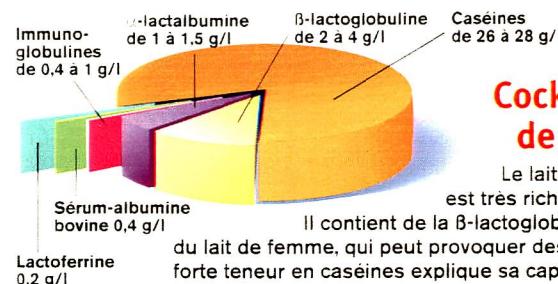
.....

(2) En France, moins d'une femme sur deux allaite son enfant de trois mois. Depuis le 8 février 1999, la promotion des laits infantiles dans les maternités (tours de lait) est interdite.



Stockage :
T < 8°C
pour 24 h
ou T < 6°C
pour 24 à 72 h

Mesures
des taux
de MG,
de protéines,
de la
teneur en
germes,
en cellules...



Cocktail de protéines

Le lait de vache est très riche en protéines. Il contient de la B-lactoglobuline, absente du lait de femme, qui peut provoquer des allergies. Sa forte teneur en caséines explique sa capacité à coaguler.

V. DELAUNAY

Ces aliments lactés de croissance sont enrichis en lactose pour que leur composition se rapproche de celle du lait de femme (60 g/l de lactose contre 45 g/l chez la vache) et pour atteindre une densité énergétique suffisante.

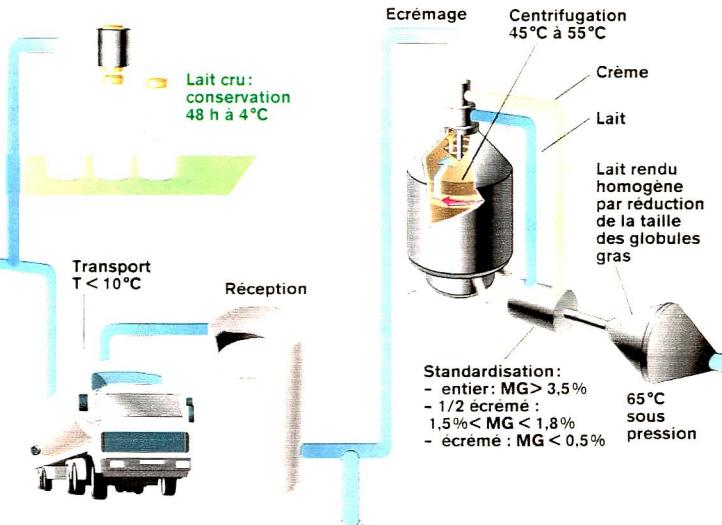
Or, cette richesse en lactose favorise la réaction de Maillard. Selon les estimations les plus pessimistes, jusqu'à 30 % de la lysine, modifiée en lactulosyllysine, devient inassimilable. Un comble pour un aliment vanté pour sa valeur nutritionnelle !

La publicité tente pourtant de faire adopter par les mamans ces laits de croissance trois fois plus chers que le lait de consommation courante. L'argument majeur est

leur enrichissement en fer. Il permet de pallier une insuffisance liée à une mauvaise diversification de l'alimentation, qui concerne 30 % des enfants en bas âge et se traduirait par une anémie vraie chez 5 à 12 % d'entre eux.

Les nutritionnistes ont fait un cadeau empoisonné aux industriels en préconisant cet enrichissement en fer du lait plutôt qu'une diversification de l'alimentation (moins chère). Car seuls 3 à 4 % de leurs 12 mg de fer par litre sont assimilables. On a alors recommandé l'ajout de vitamine C, pour augmenter l'absorption du fer jusqu'à 5 à 6 %.

C'est là où le bâton blesse. Car le fer et la vitamine C forment un mé-



Les voies lactées

Le lait cru doit être réfrigéré dès la traite. À la laiterie, il subit plusieurs contrôles, est écrémé puis standardisé. Sa matière grasse est stabilisée par homogénéisation. L'intensité du chauffage déterminera le délai et la température de conservation des laits stérilisés ou pasteurisés. Autre technique de conservation : la microfiltration du lait, avant standardisation, par une membrane dont les pores ne laissent pas passer les bactéries.

lange prooxydant explosif (3). On l'utilise même en laboratoire pour accélérer le vieillissement des tissus! En présence de fer, la vitamine C libère des radicaux libres tels que l'hydroxyle (OH^\bullet) dont les effets destructeurs sont amplifiés par la température de stérilisation. La chaleur, rappelons-le, dénature aussi la lactoferrine, qui ne capte plus le fer et ne peut donc jouer son rôle antioxydant.

On suspecte ainsi l'oxydation des lipides insaturés et celle du tryptophane, essentiellement présent dans les protéines du lactosérum. Or, cet acide aminé est précieux car

.....
 (3) Food additives and contaminants. 1997. vol. 14. n° 4, p. 381-388.

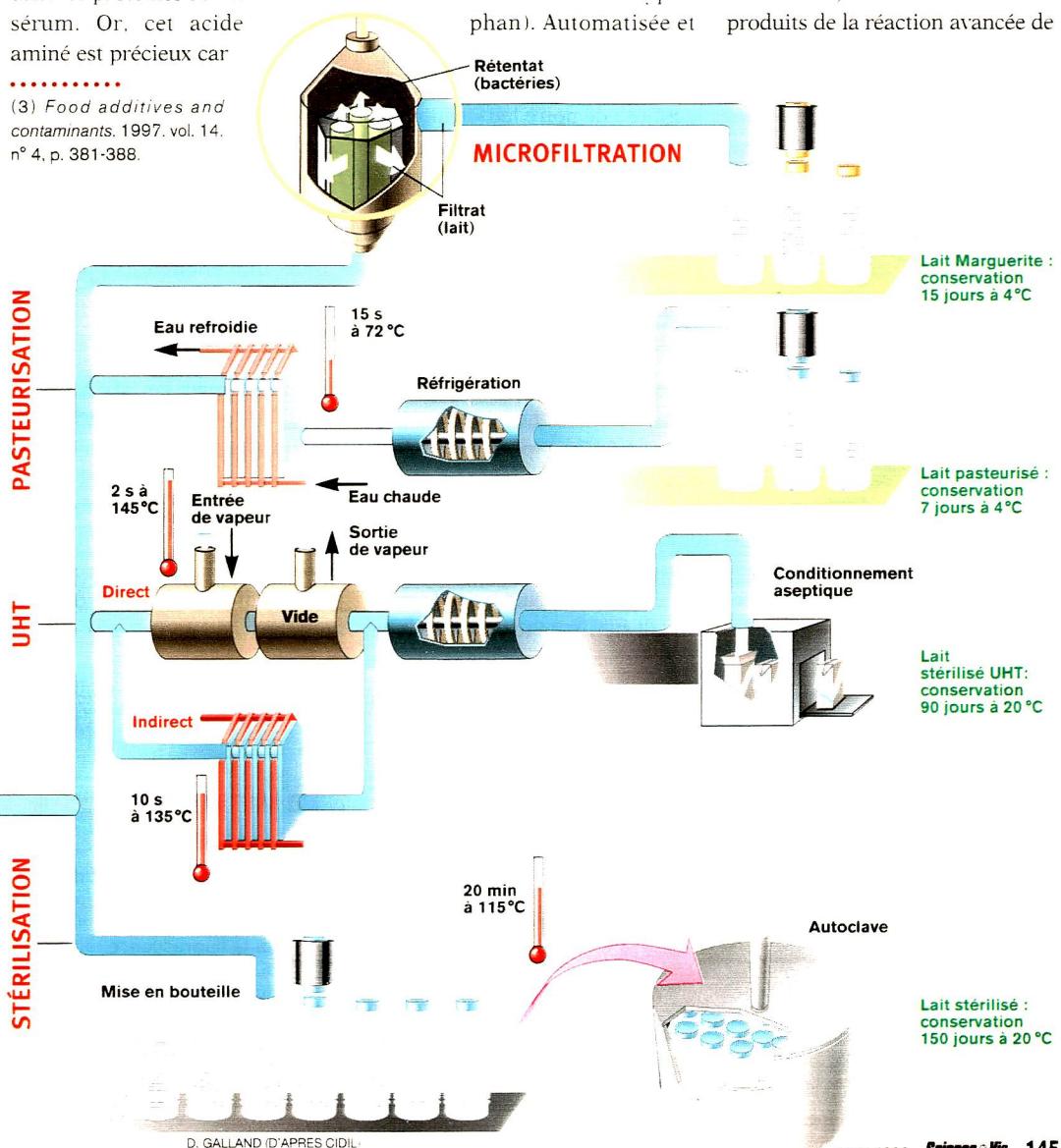
il a de nombreuses fonctions, en particulier dans la régulation du sommeil (le lait de la mère en est riche). En outre, c'est un acide aminé essentiel : son apport dans l'alimentation est impératif.

DES QUALITÉS INÉGALÉS

Ines Birlouez, qui dirige des travaux sur la qualité des aliments au laboratoire de chimie analytique de l'Institut national agronomique (Ina) de Paris, a mis au point la méthode Fast (Fluorescence of Advanced Maillard Products and Soluble Tryptophan). Automatisée et

brevetée, elle permet de quantifier la dégradation nutritionnelle des protéines des différents laits du commerce. Il en ressort que les laits de croissance sont deux fois plus dégradés que les plus mauvais laits de consommation courante (voir dessin page suivante), et qu'il existe de grandes différences entre les marques!

Nactalia est le premier industriel qui, au vu de ces résultats, a renoncé à l'ajout de lactose et de vitamine C dans la formule de son lait de croissance (le premier "bio" liquide du marché). La fluorescence des produits de la réaction avancée de



Maillard s'en est trouvée divisée par quatre, ce qui reflète une nette amélioration de la qualité nutritionnelle de la formule adoptée.

L'intégrité du lait de consommation courante n'est certes pas aussi importante pour l'adulte, qui a une alimentation diversifiée. Mais est-ce une raison pour ignorer la manière dont travaillent les industriels?

Chaque usine pousse plus ou moins ses barèmes selon la charge en microbes du lait qu'elle réceptionne (de 10000 à 100000 germes par ml, maximum légalement toléré). Si le lait stérilisé a trop attendu avant d'être conditionné, il est parfois recyclé dans le circuit, donc chauffé une seconde fois. Par ailleurs, il y a plusieurs types de stérilisation UHT :

- l'UHT indirect, sans contact entre l'eau de chauffage et le lait, qui est maintenu à 135°C durant quelques secondes;

- l'UHT direct, avec un contact de l'ordre de la seconde entre le lait et la vapeur d'eau à 145-150°C (voir dessin page précédente).

En France, la plupart des laiteries se sont équipées au début des années 70, en pleine crise de l'énergie; elles ont opté pour le chauffage indirect, plus économique mais moins doux vis-à-vis du produit. Aujourd'hui, plus de

Marketing abusif

Le lait dégage de faibles marges. Pour attirer le chaland, les industriels (ici, Lactel) jouent sur le marketing.

80 % du lait UHT français est produit par stérilisation UHT indirect.

L'innovation "stérilisation douce, saveur préservée" de Lactel est d'avoir mélangé dans ses lignes de production UHT indirect et UHT direct en introduisant des modules d'injection de vapeur d'eau. « Cela a réduit de moitié le taux de lactulose de notre lait » triomphe Franck Peric, responsable marketing du produit, en omettant de préciser que le lait avait auparavant l'un des taux en lactulose les plus élevés sur le marché.

VERS DES NORMES EUROPÉENNES?

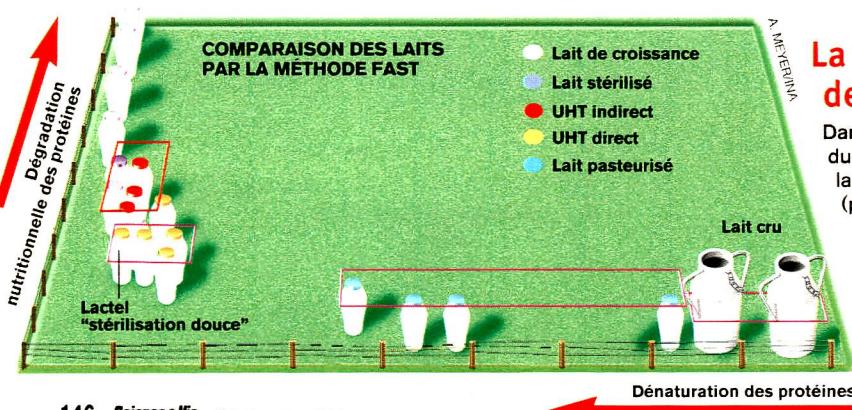
Le lactulose, un dérivé du lactose bien anodin, ne constitue pas en lui-même un problème. Mais c'est un marqueur précieux du "matraquage" thermique du lait. Car il n'apparaît que dans le lait chauffé au-delà de 100°C; plus le lait est chauffé, plus il s'en forme. Un lait stérilisé à fort goût de cuir présentera facilement plus de 1 000 mg de lactulose par litre. Personne chez Lactel ne veut dé-

voiler le taux du lait "stérilisation douce". Selon nos informations, il se situerait au-dessus de 300 mg par litre, et il existe donc des UHT directs plus doux (moins de 100 mg/l).

Le lactulose n'est pas encore un marqueur officiel. En Europe, seule l'Allemagne exige un taux inférieur à 400 mg par litre de lait UHT. En France, Carrefour a mis cette exigence dans le cahier des charges de son lait de montagne, produit et conditionné en Auvergne. Si ce taux devenait une norme, 40 à 60 % de nos laits ne seraient plus autorisés à porter la mention UHT, selon l'aveu même du Cneva (Centre national d'études vétérinaires et alimentaires).

Dans une enquête (4) portant sur 24 laits espagnols demi-écrémés UHT, seuls 9 laits présentaient un taux de lactulose inférieur à 400 mg/l, les taux variant de 164 à 1 694 mg/l. La France, soutenue par l'Italie, la Belgique et l'Espagne, propose que l'on tolère dans un UHT au moins 600 mg de lactulose par litre. La Hollande, Grande-Bretagne et les pays nordiques sont indifférents au débat : ils ne boivent pratiquement pas d'UHT.

(4) Institut chimique et du contrôle de la qualité d'Aix en Provence, octobre 1996.



La vraie nature des laits

Dans ce test comparatif de lait du commerce, on mesure la teneur en protéines natives (par la fluorescence relative du tryptophane) et leur qualité nutritionnelle (apparition de produits avancés de la réaction de Maillard). Les laits les plus dégradés sont les laits de croissance (sauf un).

quement que des laits pasteurisés!

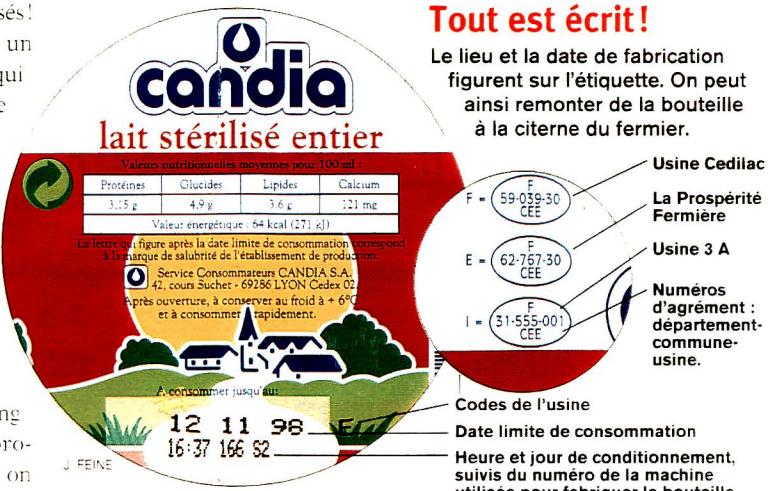
Pour étudier ceux-là, il faut un autre marqueur, la furosine, qui reflète le taux de lactulosyllysine formée dans les laits chauffés. Grâce à la furosine, le groupe d'experts chimistes de l'Union européenne a mis fin à une fraude dont l'Italie était coutumière : reconstituer du lait liquide à partir de poudre et le faire passer pour du lait pasteurisé. Or, si on ne dose jamais plus de 8,6 mg de furosine pour 100 g de protéines dans un lait pasteurisé, on en dose beaucoup plus dans un lait déshydraté!

Ce "mouchard" permettrait même de distinguer le "vrai" pasteurisé du lait "hautement" pasteurisé, qui présente un taux de furosine égal ou supérieur à 50 mg pour 100 g de protéines. Bien sûr, on peut aussi pratiquer le test d'activité de la peroxydase, mais l'ajout frauduleux d'enzymes actives est toujours possible...

L'enjeu est de taille car le lait hautement pasteurisé, qui peut se conserver plus longtemps à 4°C, a tendance à se développer. Même les distributeurs en perdent leur latin : on trouve parfois du lait UHT demi-écrémé dans le rayon réfrigéré d'une grande surface!

Pour l'instant, la seule définition des catégories de lait (cru, pasteurisé, UHT, stérilisé...) est celle des barèmes de chauffage (équivalence de couples de temps-température) et de réfrigération permettant la sécurité hygiénique du consommateur.

Au niveau international, elle figure notamment dans le *Codex alimentarius*. Cependant, la Commission européenne envisage sérieusement d'adopter des paramètres physico-chimiques qui traduiraient au mieux ces barèmes. Il reste à choisir les marqueurs les plus significatifs.



Le lactulose favoriserait les usines équipées en UHT direct (cas fréquent en Allemagne). En effet, le bref mouillage par la vapeur d'eau dilue le lactose au moment le plus chaud et limite la formation de lactulose. De plus, lactulose et furosine ne sont pas des marqueurs stables au cours du stockage.

La β -lactoglobuline, qui se dénature progressivement, serait un autre candidat. Seul problème, certains pays comme l'Irlande ont des laits crus qui en sont naturellement pauvres. A l'Institut national de la recherche agronomique

Tout est écrit!

Le lieu et la date de fabrication figurent sur l'étiquette. On peut ainsi remonter de la bouteille à la citerne du fermier.

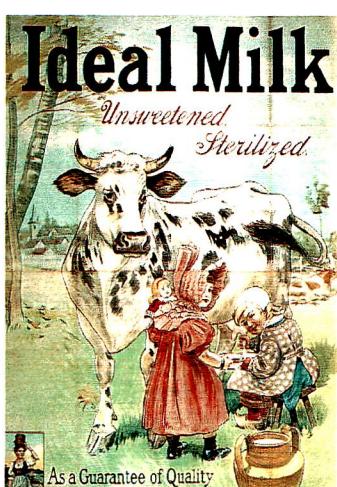
Usine Cedilac
La Prospérité Fermière
Usine 3 A
Numéros d'agrément : département-commune-usine.
Codes de l'usine
Date limite de consommation
Heure et jour de conditionnement, suivis du numéro de la machine utilisée pour fabriquer la bouteille.

(Inra) de Poligny, Didier Dupont s'apprête à breveter des anticorps grâce auxquels il serait possible de suivre la cinétique de dénaturation de cette β -lactoglobuline.

RETOUR AUX SOURCES

Poussés par la détermination d'Hermann Glaeser, président du groupe d'experts chimistes de Bruxelles, les industriels, bon gré, mal gré, ont décidé d'accompagner le mouvement. Leur groupe de recherche Arilait a commandé au laboratoire de technologie laitière de Rennes (Inra) une étude faisant le point sur les "traceurs de traitements thermiques" (3T). Cette étude (confidentielle...) de Delphine Thomas, présentée le 21 janvier 1999 en interne, oriente les axes de recherche. Parmi les marqueurs les plus pertinents figurent en bonne place ceux de la méthode Fast (Ina), la lactoferrine (Inra de Rennes) et les groupes sulphydryles, dont la concentration diminue au cours du chauffage (université de Nancy).

Dans le secteur du lait comme ailleurs, une fois les dangers microbiologiques écartés, l'exigence du consommateur se déplace : un bon lait sera désormais celui qui se rapproche le plus du lait cru. ■



SURFEZ SUR
LE WEB
DU SAVOIR

<http://www.science-et-vie.com>

The screenshot shows the homepage of the Science & Vie website. At the top, there's a red starburst graphic with the text "SURFEZ SUR LE WEB DU SAVOIR". Below it is the website address "Adresse: http://www.science-et-vie.com/" and a search bar. The header features the "Science & Vie" logo with a sun icon and navigation links like "ABONNEMENT", "ACCUEIL", "ARTICLES", "PHOTOS", "VIDÉOS", "EXPERIENCES", and "INTERACTIF". The date "15-10-04" and a "Retour accueil" link are also present. A banner on the right says "CHAQUE MOIS LE PLAISIR DE SAVOIR". On the left, there's a thumbnail of the January 1999 issue of the magazine with the title "OVNIS" and a photo of a cow. The main content area has a large "Science & Vie" title, a "WEB N°3 MAG N°78" badge, and several news articles. One article about cows is shown with a photo of a cow. Another article discusses a hole in the ozone layer over Antarctica. A "Science & Vie INTERACTIF" section is also visible.

Animations vidéo,
interviews à écouter,
encyclopédies à consulter,
nouvelles brèves et
articles originaux,
expériences pratiques...

LE PETIT CURIEUX:
un forum pour
apprendre
et s'entraider

Science & Vie propose,
pour la première fois, un
véritable site interactif de
vulgarisation scientifique



LA MAILING-LISTE:

pour être tenu
au courant des
nouveautés
publiées sur le
site, connaître
l'actualité de
Science & Vie

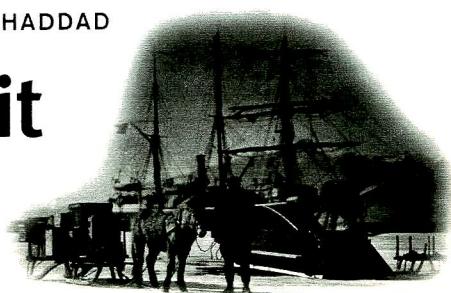
Science & Vie Encyclopédie du Siècle

ISSUS LA DIRECTION DE JEAN-FRANÇOIS ROBREDO

Histoire de la Terre

PAR LEÏLA HADDAD

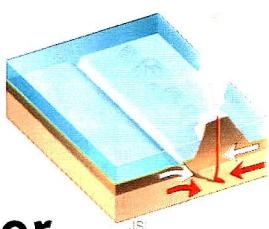
Quand la Terre a fait peau neuve



AKG

p. 150

Les pièces
du puzzle p. 156



ENTRETIEN



Xavier
Le Pichon

p. 158

« Nous suivons les mouvements
des plaques par satellite »

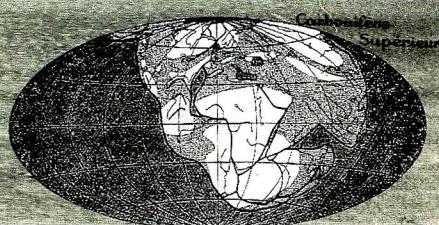
S. CHIVET

Histoire de la Terre

Quand la Terre a fait peau neuve



En 1915, Alfred Wegener "invente" la dérive des continents et avance une hypothèse hardie : ils sont nés d'un unique continent originel, la Pangée. A la fin des années soixante, la théorie de la tectonique générale des plaques lui donnera raison.



Intuition pionnière

Publiées par Wegener dès 1922, ces cartes figurent la dislocation de la Pangée, il y a 300 millions d'années, et la dérive des continents. Malgré l'imprécision des datations, son intuition était juste.

Deux skis, plantés dans la neige à trois mètres l'un de l'autre, au beau milieu du désert glacé du Groenland. Intriguée par cette apparition, l'expédition continue cependant sa route vers la station d'Eismit, où elle apprend la terrible vérité. Revenant sur leurs pas, les scientifiques retrouvent, le 18 mai 1931, les skis dressés comme une borne dans la blanche immensité. En dessous, enfoui sous la glace et soigneusement enveloppé dans des couvertures, repose le corps d'Alfred Wegener...

Il fut enseveli sur place par ses compagnons, sous une croix de fortune au-



PHOTOS AKG

jourd'hui disparue. Il avait cinquante ans, et une longue carrière d'explorateur, de météorologue et de géophysicien derrière lui. Il était aussi le père d'une théorie révolutionnaire, qui lui vaudra une tardive reconnaissance : la dérive des continents.

Né à Berlin le premier novembre 1880, Alfred Wegener se passionna pour le Groenland dès l'adolescence. Docteur en astronomie en 1904, il s'adonne à une science encore toute jeune, la météorologie, ce qui lui vaut d'accompagner en 1906 une expédition danoise... au Groenland! Après deux ans de bonheur parfait, il revient enseigner l'astronomie à Marburg

Passion fatale

En 1930, la dernière expédition de Wegener au Groenland met en œuvre des moyens importants. Vingt et un savants y étudient la calotte glaciaire pendant dix-huit mois. Ce sera un succès mais Wegener n'en récoltera pas les fruits. L'aventure lui a été fatale.

(région de la Hesse). Le déclic se produit alors qu'il consulte les ouvrages de géologie dans la bibliothèque de l'université.

A l'aube du vingtième siècle, pour comprendre l'existence et la forme des continents, des montagnes et des bassins océaniques, on dispose d'une théorie émise au début du siècle précédent par le naturaliste français Elie de Beaumont. Selon cette théorie, la Terre, au début de son existence, était une sorte de boule chaude et visqueuse. En se refroidissant, elle se serait contractée et la pellicule rigide à sa surface se serait ridée comme la peau d'une pomme desséchée. Une partie de la croûte

Histoire de la Terre

se serait alors effondrée en formant les océans tandis que les plissements engendraient les chaînes de montagnes.

Cette théorie de la pomme ridée séduit les paléontologues. En effet, ils ont découvert des espèces fossiles qui, à la même époque, peuplaient l'Afrique et l'Amérique du Sud. Tel *Mesosaurus*, un petit reptile vivant à la fois au Brésil et en Afrique du Sud, il y a 270 millions d'années. Si ces petites bêtes ont pu traverser l'Atlantique, c'est qu'il devait exister des ponts, des isthmes solides entre l'Inde, l'Australie, l'Amérique du Sud, l'Afrique et l'Antarctique, qui se sont ensuite effondrés à cause de la contraction terrestre.

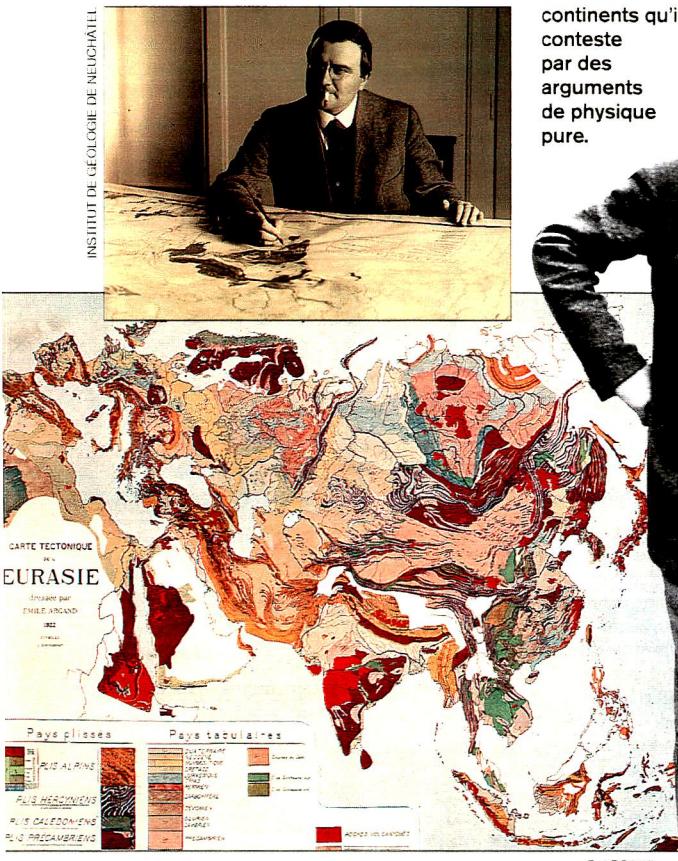
DES ICEBERGS POSÉS SUR LE MAGMA

Quant aux géophysiciens, ils croient dur comme fer à l'isostasie. Les continents sont taillés dans un matériau très léger, le SIAL

(silice et aluminium). Ils flottent sur un magma sous-jacent beaucoup plus dense, le SIMA (silice et magnésium). Tels des icebergs dont la partie immergée dans le SIMA est bien plus importante que celle qui en émerge, lorsque l'érosion décape les continents, ils se soulèvent, compensant par un mouvement vertical la perte de matière. Ce réajustement permanent, l'isostasie, est en contradiction avec la théorie précédente : la légèreté des continents leur interdit de plonger dans le SIMA et il ne peut pas y avoir d'affondrement. La forme des continents ne s'est pas modifiée et les "ponts" entre eux ne peuvent avoir existé.

L'hypothèse des ponts continentaux ne plaît pas non plus à Wegener. Mais si les mouvements verticaux sont possibles, pourquoi n'en serait-il pas de même pour les mouvements horizontaux ? Le fait que l'Amérique du Sud puisse presque parfaite-

INSTITUT DE GÉOLOGIE DE NEUCHÂTEL



Partisans et détracteurs

La théorie de Wegener (au centre) enthousiasme Emile Argand (à gauche) : elle s'accorde avec les observations de ce Suisse pionnier dans l'étude de la formation des montagnes (carte ci-dessous). Mais de nombreux savants épousent le point de vue d'Harold Jeffreys (à droite), farouche opposant à la dérive des continents qu'il conteste par des arguments de physique pure.



SIPA

tement s'emboiter dans l'Afrique le frappe beaucoup.

En des temps géologiques reculés, rien n'interdit que ces deux continents n'en aient fait qu'un. Ils auraient ensuite dérivé chacun de leur côté, comme deux radeaux de SIAL emportés sur une mer de SIMA. Wegener compare les continents à des navires lourdement chargés fendant un océan vis-



LAMONT DOHERTY COLUMBIA UNIVERSITY



D.L.E.

queux : à leur proue se forment des vagues, les plissements de la croûte d'où sont issues les chaînes de montagne comme les Andes. A la poupe, le bateau sème dans ses remous un cortège d'îles. Au gré de leur dérive, deux continents peuvent entrer en collision, provoquant l'érection de nouvelles montagnes. En 1912, le météorologue présente sa première communication sur les mouvements latéraux à l'Association géologique de Francfort. L'accueil n'est pas très chaleureux et, au printemps de la même année, Wegener retourne dans son cher Groenland.

Il en revient plus convaincu que jamais de la justesse de son point de vue et accumule des indices en faveur de la dérive des continents. En 1915, il publie la première version de son livre, *la Genèse des continents et des océans*. Il trouve ses arguments dans les similitudes frappantes entre les différentes formations géologiques de part et d'autre des océans ; il s'attaque à l'étude des anciens climats, reconstituant patiemment le puzzle terrestre, reliant ce qui devait l'être aux mêmes époques. Il avance une hypothèse hardie : il y a 300 millions d'années existait sur Terre un seul et unique continent,

Un fameux trois-mâts

Le travail du sismologue américain Maurice Ewing remet en selle l'hypothèse de la dérive des continents dans les années cinquante. Ce dernier fait transformer le *Vema*, un trois-mâts de luxe, en bateau océanographique. A son bord, il explore le fond des océans grâce aux ondes sismiques. Sans les données recueillies, la tectonique des plaques n'aurait jamais vu le jour.

la Pangée. Il se serait scindé en deux super continents, la Laurasia, au nord, et le Gondwana, au sud, qui comprenait l'Antarctique, l'Afrique, l'Australie et l'Amérique du Sud. Puis, ces continents se sont fragmentés, dérivant chacun de leur côté pour donner à la Terre son visage actuel.

TRAVERSÉE DU DÉSERT

Hélas, Wegener ignorait le mécanisme de la dérive des continents. Il la justifia par la force centrifuge, due à la rotation de la Terre, et par l'attraction du Soleil et de la Lune. Il offrait ainsi une arme redoutable à Harold Jeffreys, physicien à Cambridge et ardent "fixiste". En 1924, celui-ci démontra que les forces invoquées par Wegener ne pouvaient en aucun cas faire bouger les continents. La communauté scientifique le suivit et, en 1926, enterra la théorie de Wegener lors du symposium organisé à New York par l'Association américaine des géologues du pétrole.

En juin 1930, Alfred Wegener trouva de nouveau refuge au Groenland. Son groupe s'était scindé et installé dans trois camps. Les provisions venant à manquer dans celui d'Eismitte, isolé au milieu des glaces, Wegener décida de porter secours

Histoire de la Terre

à ses compagnons. A son arrivée, le 30 octobre, il était accompagné par son collègue Fritz Loewe et par un Eskimo, Rasmus Villumsen. Wegener laissa au camp Loewe, qui avait les pieds gelés, et repartit deux jours plus tard avec son guide. Personne ne devait plus le revoir vivant, et Villumsen disparut sans laisser de traces.

Une guerre plus tard, en 1947. Maurice Ewing, géophysicien texan spécialiste des ondes sismiques à l'université Columbia, se vit confier par la National Geographic Society la mission d'explorer la dorsale médi-o-atlantique, une chaîne de montagnes courant au milieu de l'océan dont on ignorait tout. Ce fut le point de départ d'une série de découvertes sur les fonds océaniques qui allaient totalement bouleverser notre vision de la Terre.

A la tête de son équipe d'océanographes, Ewing, fondateur en 1949 du Columbia Lamont Geological Observatory (New-York), accumule les données. Les fonds sous-marins sont constitués de lave. Ils sont recouverts d'une couche de sédiments épaisse de quelques kilomètres seulement. Or, si les océans avaient toujours été là, comme le voulaient les "fixistes", leurs fonds devraient être de même nature que les continents, et recouverts d'une couche de sédiments épaisse d'au moins 20 kilomètres, résultant de quelques milliards d'années d'érosion... Enfin, la croûte océanique s'avéra bien plus mince que la croûte continentale et beaucoup plus jeune.

SOUS L'OCÉAN, LES VOLCANS...

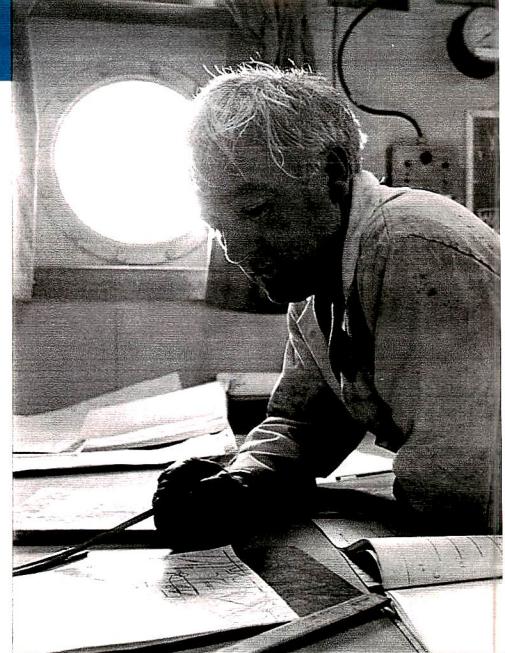
Ewing charge Bruce Heezen et Marie Tharp de dresser une carte de la dorsale, publiée en 1959. Marie Tharp est la première surprise par les enseignements de son travail. La crête de la dorsale océanique, qui culmine à 3000 mètres d'altitude, est creusée par un profond canyon – une vallée qui ressemble beaucoup aux rifts terrestres, ces fossés nés d'une fissure de la croûte. En outre, il y fait particulièrement chaud. Bruce Heezen localise sur la carte les foyers des séismes qui se produisent dans l'Océan et découvre qu'ils



DR



J. RANDOLPH



WHITE CAMBRIDGE

Sur un tapis roulant...

En 1962, Harry Hess (en haut) suggère l'expansion des fonds océaniques. L'étude des failles transformantes par Tuzo Wilson (en bas) et celle du paléomagnétisme par Drummond Matthews (à droite) viendront étayer cette théorie du "tapis roulant".

s'alignent le long de la vallée centrale de la dorsale. Il s'agit bien d'une immense chaîne volcanique. La poursuite des travaux de cartographie permettra de montrer qu'elle court sur plus de 60 000 kilomètres à travers les mers du monde.

En 1962, Harry Hess, professeur de géologie à Princeton et chantre tervent de l'océanographie publie un essai de "géopoésie" intitulé *Histoire des bassins océaniques*. Selon lui, le fond des mers est en renouvellement constant. De la matière neuve jaillit au niveau de la dorsale, repoussant sans cesse la lave plus ancienne. De part et d'autre de la dorsale existe une sorte de tapis roulant basaltique. C'est le *sea-floor spreading*, l'expansion des fonds océaniques. La surface de la croûte terrestre ne s'accroît pas car la vieille lave est engloutie au niveau des grandes fosses océaniques qui bordent les continents. C'est le phénomène dit de subduction.

Hess estime la vitesse de formation de la croûte océanique à un centimètre par an, avec un renouvellement total tout les 200 millions d'années environ. Les forces puissantes qui entraînent la vieille croûte et la font couler seraient dues à des courants de convection qui agitent le manteau visqueux sous-jacent. Dans son schéma, les continents sont passifs : ils sont simplement entraînés par le tapis roulant et constituent la « mémoire insubmersible de l'histoire de la Terre ».

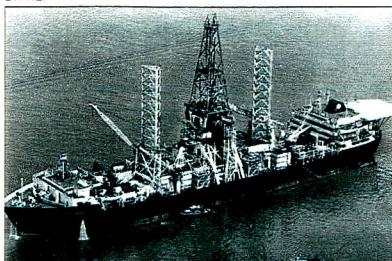
En 1963, les britanniques Frederick J. Vine et Drummond Matthews apportent de l'eau au moulin de Hess. Leur étude porte sur le champ magnétique terrestre tel qu'il s'est imprimé dans les roches des fonds sous-marins. Sur les cartes magnétiques figurent, de part et d'autre de la dorsale, une succession de bandes de terrains, parallèles les unes aux autres, où l'intensité du champ magnétique est alternativement forte et faible. La vallée centrale de la dorsale représente l'axe de symétrie de cette curieuse "peau de zèbre".

Pour nos géophysiciens, ces variations de l'intensité du champ magnétique reflètent des inversions de polarité au cours des âges. Tous les 5000 à 10 000 ans environ, il se produit une inversion du champ magnétique : le pôle Nord magnétique devient le pôle Sud, et vice versa.

En se refroidissant, les cristaux contenus dans le matériau qui jaillit de la fissure prennent l'orientation du champ magnétique du moment. Si la théorie de l'expansion océanique est vraie, alors cette lave est poussée par la nouvelle et s'écarte de l'axe de la dorsale. Lorsqu'il se produit une nouvelle inversion du champ, la matière neuve s'aimante différemment de l'ancienne. A son tour, elle sera remplacée par de la matière fraîche. Ainsi s'explique la peau de zèbre.

Ancien champion de la pomme ridée, Tuzo Wilson, géophysicien canadien de l'université de Toronto, se convertit aussi

D.I.T.E.



Un géant en campagne

Le *Glomar Explorer*, long de 188 mètres, fut le premier gros navire océanographique. Il pouvait prélever des carottes de 9 mètres de long et ses forages dans la croûte océanique ont permis de confirmer le renouvellement des fonds marins.

La dorsale mise à nu

En 1977, Marie Tharp et Bruce C. Heezen publient cette carte du fond des océans. Dès 1952, leurs premiers relevés avaient révélé le profil de la dorsale atlantique.



WORLD OCEAN FLOOR, © M. THARP 1977. REPRODUIT AVEC LA PERMISSION DE MARIE THARP.
1 WASHINGTON AVE., SOUTH NYACK, NY10960.

sec à l'expansion océanique. Allié de poids, il s'intéresse aux failles, qu'il appelle transformantes, qui "hachent" les dorsales en introduisant des décrochements. Il découvre

que leur mouvement colle parfaitement avec l'hypothèse du tapis roulant. Pendant un an, Hess, Vine, Matthews et Wilson accumulent les preuves de l'expansion. En avril 1967, lors du symposium de l'American Geophysical Union, Hess fait un triomphe. La quasi-totalité des océanographes, puis des géologues, bascule dans le camp des "dérivistes".

LE PUZZLE ENFIN RECONSTITUÉ!

C'est Wilson qui, le premier, a émis l'idée que la croûte terrestre est découpée en plaques rigides. Leurs frontières sont les zones de subduction, les dorsales et les failles transformantes – les sismologues montreront par la suite que les séismes naissent dans ces zones. Ces plaques sont mobiles et entraînent les continents dans leurs pérégrinations.

En 1967, Jason Morgan, jeune chercheur américain de l'université de Princeton, propose un modèle mathématique démontrant qu'il est possible de calculer très précisément la direction et la vitesse de déplacement de ces plaques. Saisissant la balle au bon, un océanographe français du Lamont Observatory, Xavier le Pichon, découpa la croûte terrestre en 6 grandes plaques dont il reconstitua et calcula les déplacements sur 200 millions d'années. C'est le premier schéma montrant l'évolution globale de la Terre suivant les principes de ce qu'il est désormais convenu d'appeler la tectonique des plaques. Wegener avait raison : ils bougent... ■

.....

POUR EN SAVOIR PLUS

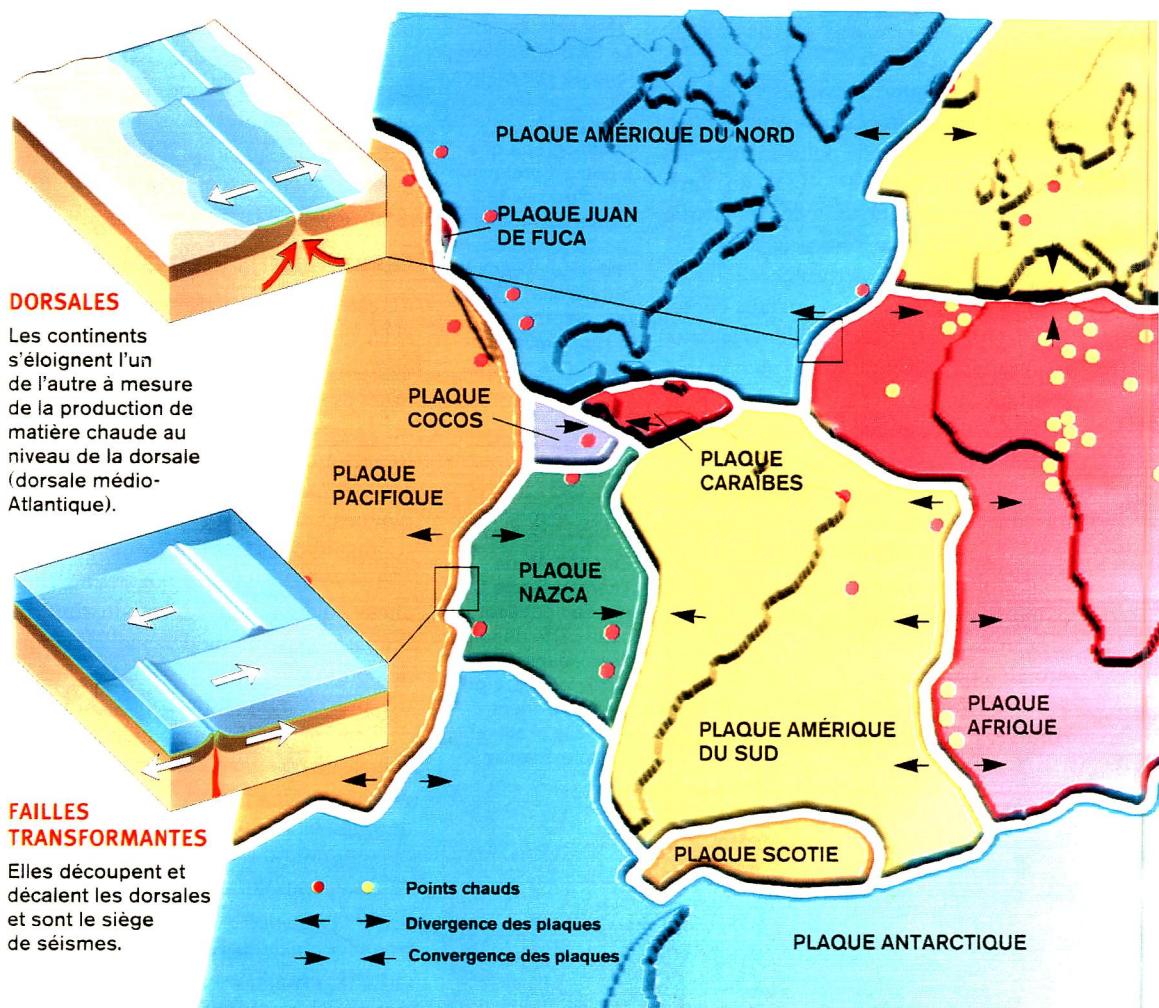
- Claude Allègre, *l'Ecume de la Terre*, éditions Fayard, coll. "Pluriel".
- *La Dérive des Continents*, éditions Time-Life, coll. "La Planète Terre".

Histoire de la Terre

Les pièces du puzzle

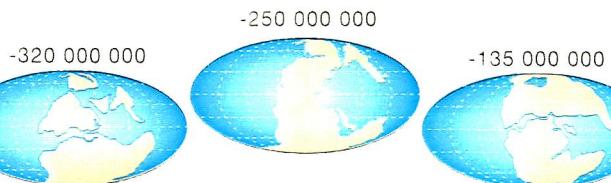
Une mosaïque évolutive

La croûte terrestre est découpée en plusieurs plaques de taille très différente. Certaines sont formées uniquement de croûte océanique ; d'autres intègrent les continents (la croûte continentale), pris dans les plaques comme des morceaux de bois dans une banquise et entraînés par leur mouvement. Les séismes et la plupart des volcans terrestres naissent aux frontières des plaques, constituées par les dorsales (zones de renouvellement de la croûte) et les failles transformantes qui relient leur tracé, ainsi que par les zones de subduction (disparition d'une plaque sous une autre).



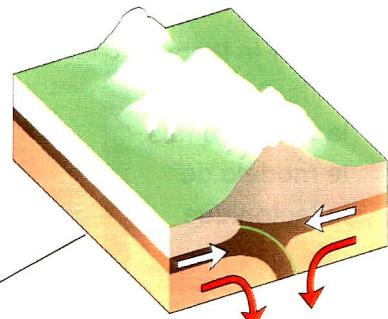
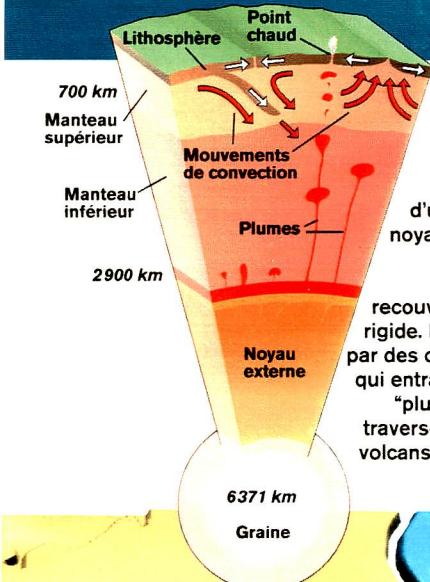
Géographie variable

La géographie du globe est issue de la dislocation d'un supercontinent originel, la Pangée. Actuellement, l'Europe et l'Afrique se rapprochent... Dans 250 millions d'années, il n'y aurait plus qu'un seul continent sur Terre.



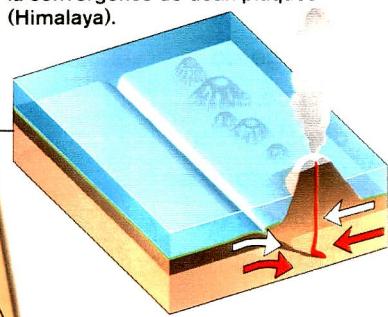
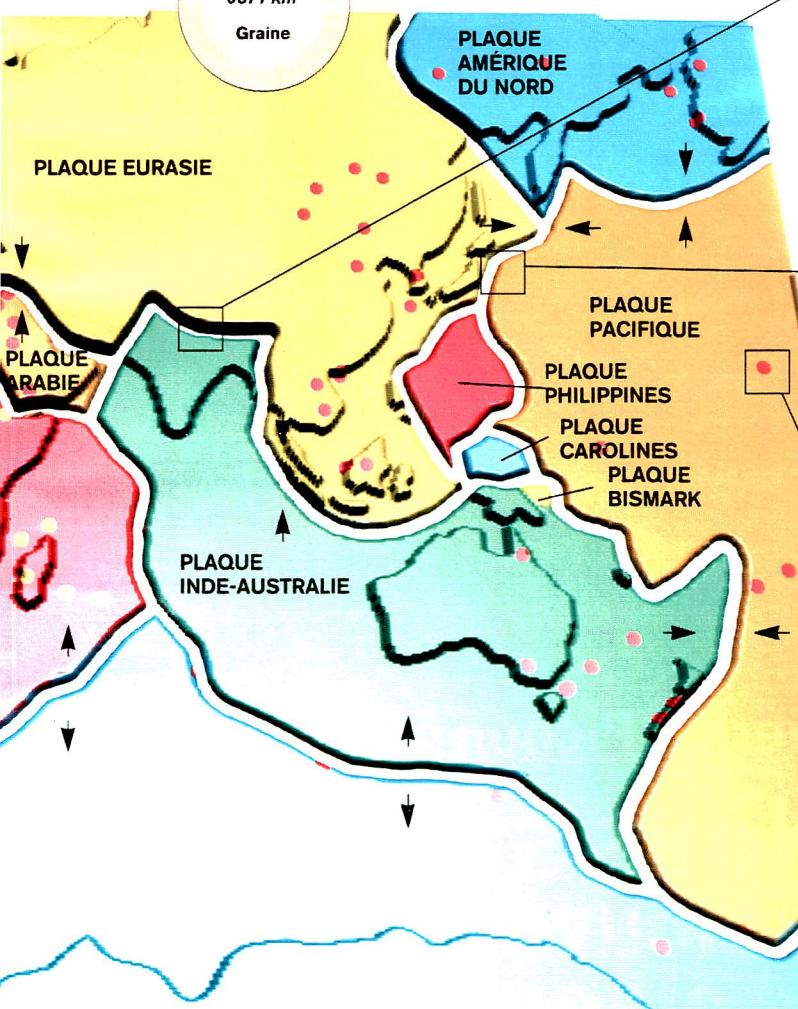
Au cœur de la planète

Le noyau est constitué d'une graine solide et du noyau externe liquide. Puis viennent les manteaux inférieur et supérieur, recouverts par la lithosphère rigide. Le manteau est brassé par des courants de convection qui entraînent les plaques. Les "plumes" de magma qui le traversent sont à l'origine des volcans de type "point chaud".



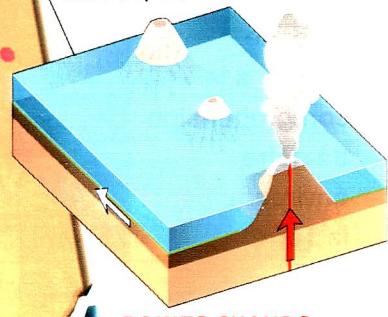
CHAINES DE MONTAGNES

Elles naissent de la collision de deux continents due à la convergence de deux plaques (Himalaya).



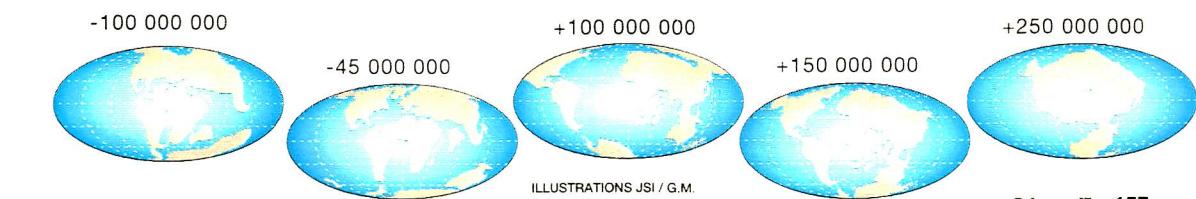
ZONES DE SUBDUCTION

Un volcanisme intense résulte du plongeon d'une plaque sous une autre (Japon).



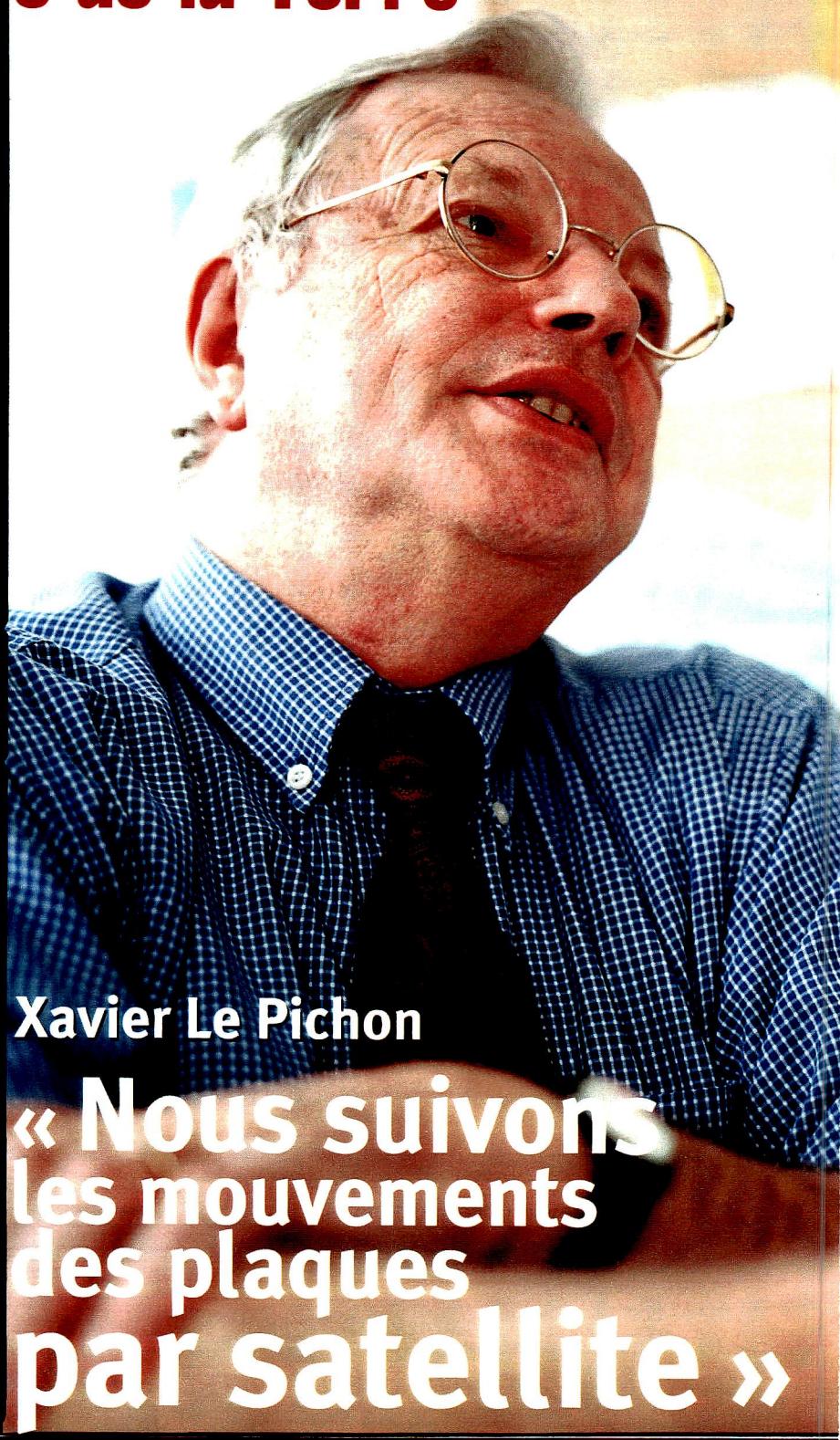
POINTS CHAUDS

A l'aplomb des plumes fixes se forment au fil des âges des alignements de volcans intra-plaque (Hawaï).



Histoire de la Terre

En 1967,
Xavier le Pichon
utilisait pour
la première fois
le modèle de
la tectonique
des plaques
pour décrire
l'évolution de
notre planète.
Aujourd'hui
professeur au
Collège de
France et
directeur du
Laboratoire de
géologie de
l'Ecole normale
supérieure,
il dresse
le bilan des
apports
de cette
théorie à la
compréhension
de notre
environnement :
la Terre.



Xavier Le Pichon

**« Nous suivons
les mouvements
des plaques
par satellite »**

Science & Vie : Tout le monde sait aujourd'hui que vivons sur une Terre en constante évolution. Ce n'était pas le cas il y a seulement 30 ans, lorsqu'est apparu le modèle de la tectonique des plaques. Ce fut une vraie révolution...

Xavier Le Pichon : La tectonique des plaques a complètement changé notre vision de la planète. Pour les sciences de la Terre, elle est l'équivalent de ce qu'a été la théorie de la relativité en physique.

PROPOS
RECUEILLIS PAR
LEILA HADDAD,
PHOTOS
SOPHIE CHIVET

Notre vision de la planète a complètement changé

Les idées que nous avions sur les chaînes de montagnes, par exemple, ou sur l'âge des océans, que nous pensions être identique à celui des continents, faisaient que nous ne pouvions rien y comprendre. Nous avions une vision profondément erronée de la Terre.

Personnellement, je considère qu'avant la tectonique des plaques, la science de la Terre n'existe pas ; il y avait des disciplines scientifiques qui en décrivaient des aspects. Pour la première fois, nous avons eu à notre disposition un modèle qui permettait d'être quantitatif, de calculer des mouvements – ce que j'ai fait – dans les Alpes ou dans l'Himalaya.

Ensuite, il liait la sismologie à la tectonique. Avant les années soixante, les géologues pensaient que les chaînes de montagne se construisaient par phases, sans que cela ait rien à voir avec les tremblements de terre. Aujourd'hui, nous savons que les deux phénomènes sont intimement liés, chaque séisme correspondant à une étape dans cette construction.

S & V : Est-ce que la tectonique des plaques a beaucoup évolué depuis cette époque ?

X. L. P. : Son niveau de sophistication est beaucoup plus grand. Auparavant, nous calculions les mouvements movens des plaques sur cinq, puis sur trois millions et

PARCOURS

- 1937 :** naissance
- 1973 :** médaille d'argent du CNRS.
- 1973-1984 :** directeur du Laboratoire de géodynamique du Cnrexo.
- 1984 :** directeur du Laboratoire de géologie de L'Ecole normale supérieure ; médaille de l'Union géophysique américaine.
- 1985 :** membre de l'Académie des sciences
- 1986 :** professeur au Collège de France : chaire de géodynamique.
- 1991 :** médaille Wollaston de la Société géologique de Londres.
- 1995 :** membre de l'Académie des sciences des Etats-Unis.

Histoire de la Terre

demi d'années, à partir des données océanographiques. Depuis une dizaine d'années, nous mesurons directement les mouvements des plaques grâce aux satellites, via la géodésie spatiale. En réalisant des mesures sur deux ans, nous avons obtenu le même résultat que celui qui avait été calculé sur 3 millions et demi d'années dans les océans. Dès le départ, le modèle était extraordinairement précis. J'ai été stupéfait quand j'ai vu, en 1986, que les mesures du taux de rapprochement et de la direction du mouvement dans la fosse du Japon, entre Hawaï et Tokyo, étaient ceux que j'avais calculés en 1967!

Le Japon possède un réseau de 2000 stations GPS permanentes qui mesurent les moindres mouvements qui s'y produisent. J'étais sur place au moment où l'île d'Izu, au sud de Tokyo, traversait une crise sismique. Nous pouvions suivre en temps réel, sur une grande carte qui représentait le Japon, mise à jour quotidiennement, les mouvements dus à cet enfoncement du Pacifique sous le Japon qui produit les tremblements de terre. Nous apprenons tant de choses sur la Terre grâce à ce système! Nous sommes entrés dans une ère où nous pouvons comprendre comment la Terre évolue, se déforme et se fabrique grâce à des mesures quantitatives.

S & V : Pourquoi ne parvenons-nous toujours pas à prévoir les grandes catastrophes, malgré l'abondance et la précision des données sur les mouvement des plaques responsable des séismes et du volcanisme ?

X. L. P. : Ce n'est pas vrai pour les éruptions volcaniques. Par exemple, les satellites permettent de suivre la montée de la lave et le gonflement du volcan dû à la remontée du magma. En revanche, si nous pouvons dire que l'éruption va probablement produire une nuée ardente, nous ne sommes pas capable de prévoir exactement quand elle aura lieu. En ce qui



Planète vivante

Pour Xavier Le Pichon, la Terre possède une vie propre et son étude exige une approche pluridisciplinaire. La tectonique des plaques a permis d'unifier au sein d'un modèle unique les apports des différentes disciplines.

concerne les séismes, de nombreux spécialistes pensent que leur déclenchement est chaotique, donc imprévisible. Les sismologues sont plutôt pessimistes et, selon certains d'entre eux, nous n'arriverons jamais à prévoir exactement la magnitude d'un séisme, sa localisation et le moment où il aura lieu. Les zones à risques sont connues et nous savons qu'un tremblement de terre s'y produira un jour, sans pouvoir préciser quand. C'est un phénomène éminemment aléatoire.

S & V : Alors les tremblements de terre sont une fatalité...

X. L. P. : C'est le grand problème de notre époque. Nous avons construit des villes avant d'avoir eu à subir de grands tremblements de terre. Nous ne savons pas quelles conséquences aurait un séisme de magnitude huit sur Tokyo. Notre civilisation est fragile, elle est allée beaucoup plus vite que la maîtrise des risques naturels. Il nous faudra les subir un jour ou l'autre ; à ce moment là, nous devrons revoir notre copie... Lors du tremblement de terre de Kobe (1995), le Japon a été coupé en deux et les transports interrompus pendant un mois. Les Japonais ont envisagé de dédoubler leur capitale pour ne pas être dépendants d'une catastrophe. Ils ont aussi parlé de dédoubler les voies de communication...

Les séismes comme celui de Kobe nous ont enseigné quels types de déformation se produisent en surface : nous sommes donc capables de mieux concevoir les structures ou les immeubles capables d'y résister. Quand les structures sont adaptées, le nombre de victimes est nettement moins élevé.

Aujourd'hui, on observe une nette tendance à demander des comptes aux scientifiques parce qu'ils n'ont pas prédit une catastrophe. C'est un problème que nous

rencontrons de plus en plus souvent. Tout le monde réclame le risque zéro...

S & V : Le mouvement des plaques est dû à des courants, dits de convection, qui brassent le manteau sous-jacent. Eux-mêmes résultent de l'échange d'énergie thermique entre le cœur de la planète et sa périphérie. Est-ce que l'intérieur de notre Terre est aussi bien connu aujourd'hui que l'extérieur ?

X. L. P. : Notre vision de l'intérieur de la Terre n'est plus du domaine de la fantaisie, mais devient de plus en plus précise. Par exemple, la sismologie permet de visualiser dans le manteau les masses en mouvement rapide, c'est-à-dire celles qui sont froides, et celles qui sont lentes, donc chaudes. C'est ce qu'on appelle la tomographie sismique. Les tomographies sont assez détaillées et permettent de voir les "plumes" – les remontées de magma qui sont à l'origine des points chauds.

Sous l'Islande, nous pouvons même les suivre jusqu'au noyau. Grâce aux satellites, il y a une grande progression dans la compréhension de la Terre en tant que solide soumis à un champ de pesanteur, le géoïde. Nous obtenons ainsi des informations très importantes sur la façon dont se répartissent les anomalies de densité à l'intérieur de la terre, qu'il est possible de corrélérer aux modèles tomographiques.

C'est ainsi que nous avons pu montrer que la convection à l'intérieur de la Terre est chaotique. Une partie de l'énergie thermique issue de la désintégration radioactive du noyau remonte sous la forme de plumes, tandis qu'une autre partie se propage en rouleaux.

En laboratoire, les travaux dans des conditions de haute pression et de haute température nous livrent les propriétés physiques des roches à l'intérieur de la Terre. Les progrès de la connaissance du noyau terrestre sont très rapides. Nous sommes en train de comprendre beaucoup de choses sur ce qui se passe à l'interface noyau/manteau.

S & V : La Terre est donc une machine...

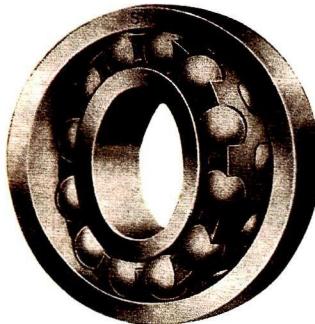
X. L. P. : Elle est bien plus que ça. Elle a



| Le déclenchement des séismes est aléatoire, donc imprévisible

une vie. Une machine fait toujours la même chose, pas notre planète. Au début de son histoire, son énergie thermique était 6 fois celle d'aujourd'hui. La Terre est une sorte de centrale atomique dont le combustible – son noyau – n'est pas renouvelé. Elle se fabrique encore maintenant, c'est un système extrêmement complexe au sein duquel il y a des interactions entre le climat, l'enveloppe vivante, l'atmosphère, la croûte solide et tout ce qui vient des profondeurs...

Il y a 6 milliards d'êtres humains sur Terre, qui sollicitent leur planète en permanence. Sans une vision de la Terre comme étant un système en constante évolution, nous risquons de faire n'importe quoi. Regardez ce que donne en France la gestion des cours d'eau, ces inondations systématiques qui résultent d'une mauvaise compréhension de la planète. Nous allons avoir de plus en plus besoin de spécialistes en sciences de la Terre, tout simplement parce que notre société doit s'adapter à son environnement.



Roulement sur billes

Sur ce roulement double sur billes, on voit comment la présence de la rotule, la partie intérieure, donne toute liberté au jeu de l'axe sans entraîner aucun dérèglement permanent. Les roues des véhicules les plus lourds peuvent être équipées de ces roulements, qui diminuent les frottements dans des proportions considérables.

Des canaris contre le grisou

Ce sauveteur muni d'un appareil respiratoire peut descendre en toute sécurité dans la mine après une explosion : la mort des sereins qu'il emporte lui révélera la présence de gaz délétères dégagés par l'incendie. Le procédé, fort cruel, a rendu de grands services aux mineurs.



Il y a 85 ans

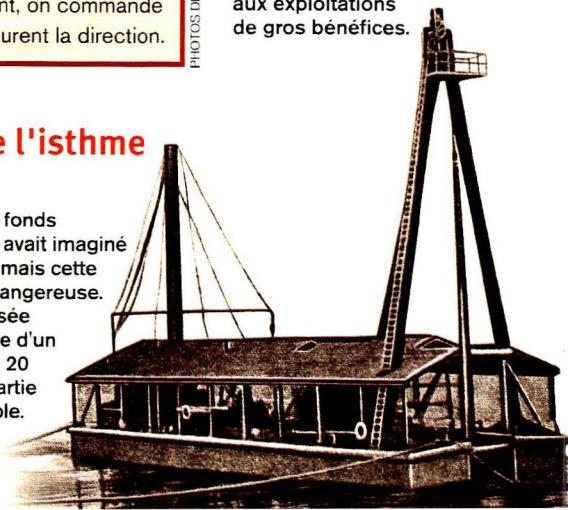
MARS 1914

Vainqueur d'une épreuve russe de traîneaux automobiles, cet engin des neiges est propulsé par une hélice à deux pales, qui permet une vitesse de 50 à 60 km/h, avec six passagers. En manœuvrant le volant, on commande les patins avant qui assurent la direction.

PHOTOS DR

Le percement de l'isthme de Panama

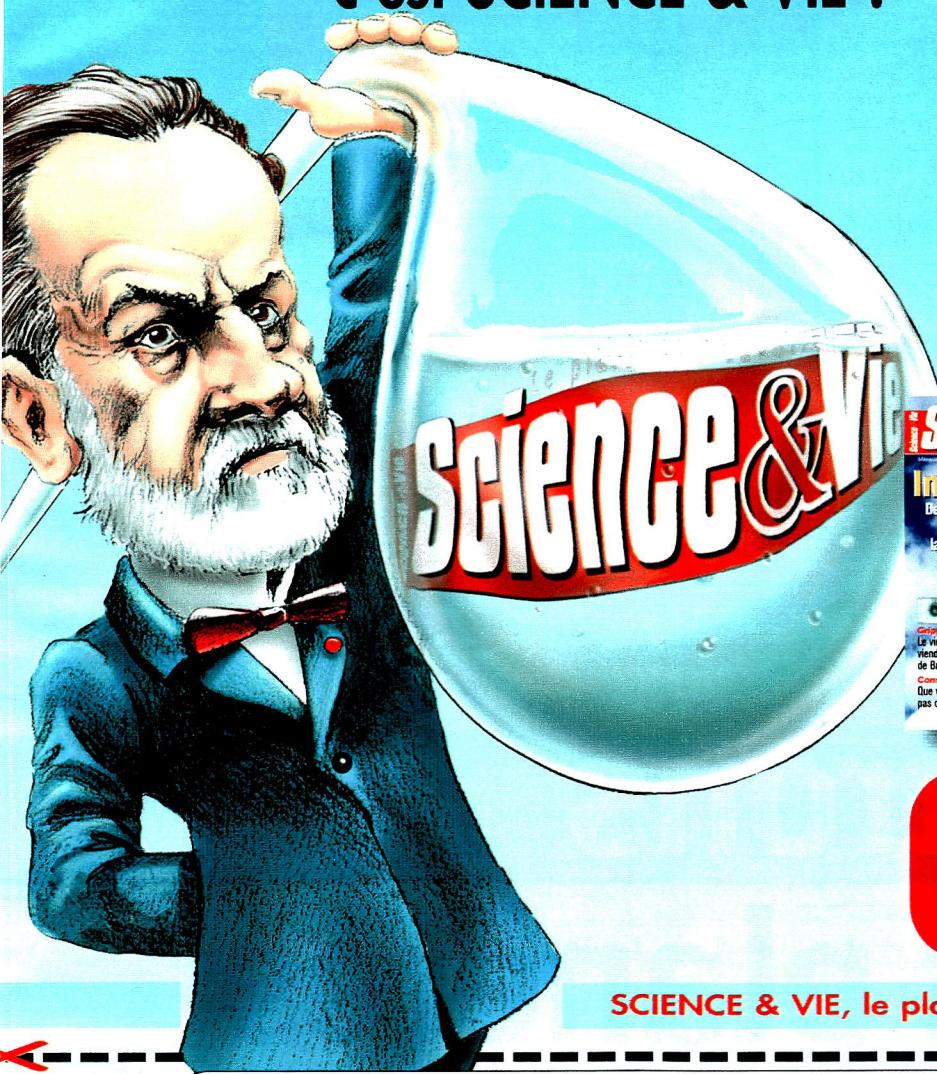
Pour rendre les roches des fonds accessibles à la drague, on avait imaginé de les briser à la dynamite, mais cette méthode a été jugée trop dangereuse. La dérocheuse Lobnitz utilisée attaque la roche par la chute d'un pieu d'acier, pesant de 12 à 20 tonnes – sa pointe, seule partie qui se détériore, est amovible.



Champ pétrolifère de l'Oural

D'innombrables puits s'enfoncent vers la nappe souterraine de pétrole. Une construction légère, de bois et de tôle, couronne la tête de chaque tube de forage, dont l'établissement a coûté plusieurs centaines de mille francs. En dépit de ces frais, la quantité de pétrole recueilli procure aux exploitations de gros bénéfices.

Le meilleur vaccin contre la désinformation : c'est SCIENCE & VIE !



226
francs
seulement

SCIENCE & VIE, le plaisir de savoir.

Bulletin d'abonnement à SCIENCE & VIE

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

Oui Je m'abonne à SCIENCE & VIE
pour 1 an soit 12 mensuels.

● Je règle la somme de **226 francs*** seulement.

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____

Ville _____

Je choisis de régler par :

- chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE
 carte bancaire

N° _____

expire à fin _____ mois _____ année

Date et signature obligatoires



* Au lieu de 276 francs prix normal de vente des magazines chez votre marchand de journaux

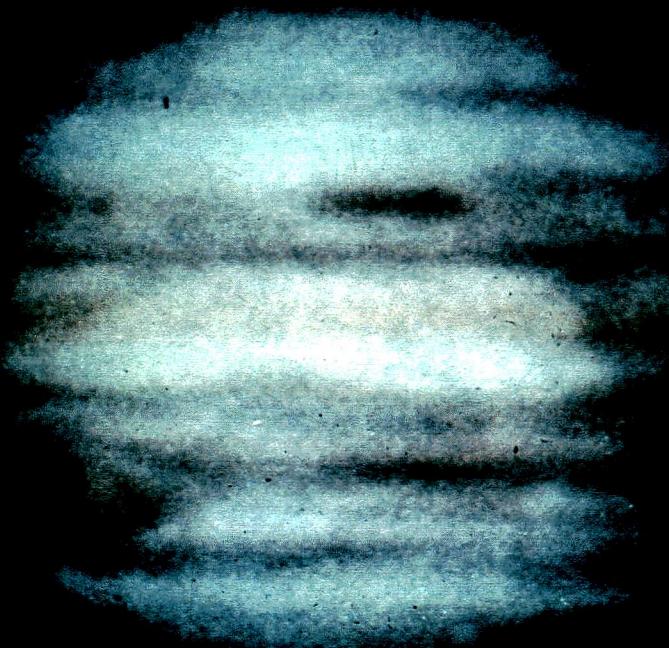
OFFRE VALABLE JUSQU'A FIN 1996 ET RESERVÉE A LA FRANCE METROPOLITAINE

**Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone
au 01 46 48 47 17 ou Minitel : tapez 36 15 ABON**

MC MARSH B 522 104 71

Le ciel du mois

PAR YVES DELAYE



Filtrons les planètes



YVES DELAYE

Grâce aux filtres colorés, découvrez certains détails insoupçonnés de Jupiter ou de Saturne (vignette).

L'observation des astres repose sur l'étude du rayonnement qu'ils émettent ou réfléchissent. Ce rayonnement électromagnétique couvre un large champ de longueurs d'onde, qui va des rayons gamma aux ondes radio. L'amateur observe essentiellement les longueurs d'onde correspondant à ce que l'on appelle la lumière visible. Celle-ci est détectable par l'œil et équivaut à des longueurs d'onde de 0,8 à 0,4 micromètre (μm). Elle est composée d'une somme de lumières

simples, dites aussi monochromatiques. Chacune est caractérisée par une longueur d'onde et une intensité. Si la source est un corps porté à haute température, le rayonnement est réparti sur toutes les longueurs d'onde : c'est un spectre continu. Dans d'autres cas, par exemple des gaz parcourus par des décharges électriques, le rayonnement ne s'effectue qu'à des fréquences particulières : c'est alors un spectre discontinu ou spectre de raies.

Un filtre est un système physique permettant de transmettre des bandes

ASTRES ET LUNE EN MARS

spectrales de largeur déterminée, dans le cas des spectres continus, ou d'isoler des radiations, dans celui des spectres de raies. L'amateur fait appel à des filtres afin d'améliorer la visibilité de certains détails à la surface des planètes. Il s'agit de filtres en verre colorés dans la masse qui transmettent une bande spectrale déterminée. Ils sont montés dans un bâillet métallique vissé à l'avant des oculaires de 31,75 millimètres de diamètre.

A CHACUNE SA PALETTE

Voici les filtres colorés à utiliser selon les planètes observées, et leurs effets.

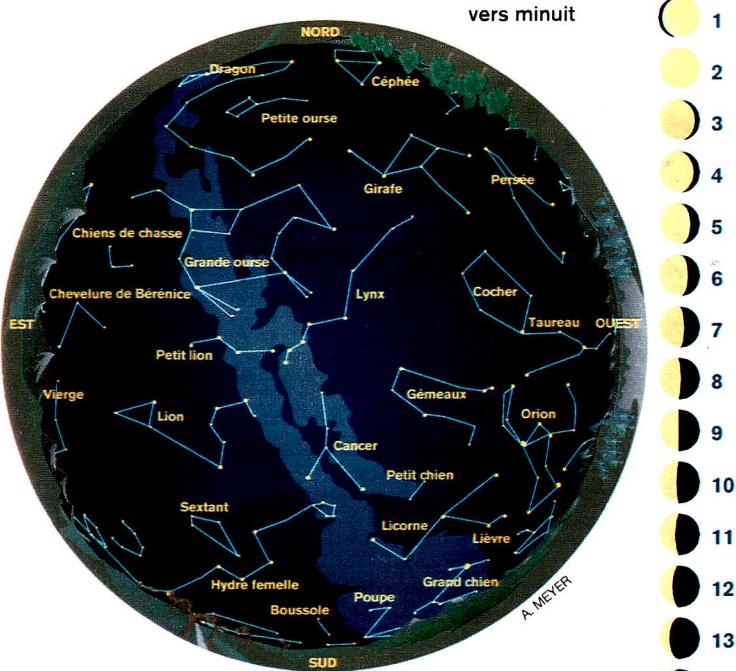
- Mercure. Filtre orange ou rouge : réduit la brillance du fond de ciel en observation diurne, facilite le repérage et l'observation.
- Vénus. Filtre orange ou rouge : renforce la netteté du terminateur (séparation de l'ombre et de la lumière).
Filtre bleu foncé ou violet : accentue les marques sombres.
- Mars. Filtre orange ou rouge : augmente le contraste des détails de surface.
Filtre jaune : permet de visualiser les nuages de poussière.

Filtre jaune vert ou vert : révèle des détails de surface lors des tempêtes de poussière.
Filtre bleu ou bleu vert : facilite l'observation des nuages brillants localisés et des brouillards.

- Filtre violet : révèle brouillards et givre.
- Jupiter. Filtre bleu : renforce le contraste général des bandes et des zones.
Filtre bleu ou vert : met en valeur la grande tache rouge.
 - Saturne. Filtre bleu : accentue le contraste. Filtre orange ou rouge : assombrit les régions polaires ; renforce le contraste des anneaux.

• Lune. Filtre jaune : accentue le contraste. Filtre vert foncé, neutre ou polarisant : utilisé lorsque l'image est trop brillante.

Certains filtres colorés sont également précieux pour observer des objets non planétaires, tels que les comètes – un filtre jaune clair ou jaune vert renforcera le contraste, par exemple. Pour les étoiles doubles, un filtre polarisant, comme celui utilisé pour la Lune, permet une séparation optimale des composantes. ■



LES PLANÈTES

Mercure

Elle est bien visible pendant la première décennie. Scrutez l'horizon ouest, juste après le coucher du Soleil.

Vénus

Elle est de plus en plus belle le soir, à l'ouest...

Vénus est la plus brillante des planètes environnantes, Mercure, Jupiter et Saturne.

Jupiter

A mi-chemin de Mercure et de Vénus. Elle devient

inobservables en fin de mois.

Saturne

Saturne se situe au sud-est de Vénus. Sa magnitude de 0,3 facilite sa localisation. Ses anneaux "s'ouvrent" de plus en plus.

Mars

La planète, qui sera à l'opposition en avril, se lève vers minuit, au sud-est. Son diamètre apparent atteint 14" et il est possible d'apercevoir la calotte polaire nord.

LES GRANDS RENDEZ-VOUS

Dimanche 7

Vers 3 h 30 (heure légale), belle conjonction de la Lune et de Mars, plein sud.

Du 13 au 15

Lumière cendrée de la Lune, le matin, à l'est.

Jeudi 18

Spectaculaire fin croissant de Lune en conjonction avec Jupiter, au coucher du Soleil, bas sur l'horizon ouest.

Du 19 au 20

La Lune croise Vénus et Saturne, elles-mêmes en conjonction !

Observez la Lune aux jumelles ou à l'aide d'une lunette à partir de 19 h 40 (heure légale).

Jeudi 25

Maximum de l'essaim d'étoiles filantes des Virginides en seconde partie de nuit.

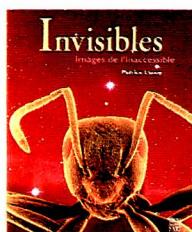


Entre perception et illusion

INVISIBLES

Images de l'inaccessible

Patrice Lanoy



L'histoire commence par une illusion d'optique : en 1976, la moisson d'images martiniennes de la sonde *Viking* fournit un étonnant "visage" qui va alimenter les hallucinations extraterrestres de millions de terriens. Les démentis des géologues n'y feront rien. La réalité de l'image est plus forte que



Mirage de l'invisible.
A gauche, une attache de velcro.
A droite, des billes contenant des molécules odorantes et un film de polytétrafluoréthylène.

lumière est trop paresseuse (300 000 km/s) pour nous donner un spectacle céleste en direct. Ce que nous voyons n'existe plus, n'est pas le tout de ce qui existe ou, même, n'a jamais existé.

Ceci pour le vaste cosmos, mais c'est la même chose dans le domaine de l'infiniment petit. Sur terre comme au ciel, l'homme doit être aidé. En fait la conquête de l'invisible se confond avec celle des progrès de l'instrumentation scientifique. Patrice Lanoy nous raconte cette aventure qui commence avec l'astronomie arabe du XI^e siècle. Après chaque chapitre, un cahier d'images, toutes de très grande qualité, vient illustrer ce qui se dérobait à l'œil humain depuis des siècles.

Pour développer chaque thème l'auteur, journaliste scientifique et passionné d'histoire des sciences, a su allier réflexion, précision et qualité d'écriture. C'est donc à une promenade extraordinaire qu'il nous convie où le paradoxe, l'impossible, l'inroyable, le merveilleux et l'inaccessible sont enfin la réalité. Un voyage où la poésie et l'art en général ne sont pas absents.

Jean-François Robredo

la réalité de la réalité. Et il est probable que, malgré les nouvelles photos prises par le satellite *Mars Global Surveyor* en 1998, certains esprits resteront accrochés à la première impression, à la première image.

De là à dire qu'on ne voit que ce qu'on veut voir... Des ufologues à Galilée, les petits arrangements avec la réalité ont souvent eu à faire avec la vision. C'est que la réalité ne se laisse pas voir facilement. La

Séduction et pièges des images.
A gauche, une tôle rouillée de voiture,
A droite, un amas de cristaux de chlorure de sodium.

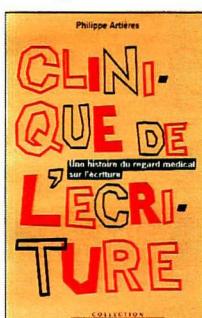
Coédition Cite des Sciences/Somogy Éditions d'Art. 144 p., 195 F.

La fin d'un regard

CLINIQUE DE L'ÉCRITURE

Une histoire du regard médical sur l'écriture

Philippe Artières



L'auteur cherche à comprendre comment l'écriture est devenue un "objet de savoir" dont l'étude "participe à l'identification et au contrôle des individus anormaux". Ce curieux phénomène prend naissance en 1870 et s'éteint en 1914.

La médecine du XIX^e siècle s'efforce de déceler les signes d'anormalité dans l'écriture des suicidés, des aliénés ou des repris de justice et de mesurer le degré d'anormalité des scripteurs à travers leur graphie. L'écriture devient alors l'objet d'expériences, de mesures, de polémiques entre graphologues et médecins. Ce mouvement contribue au développement de l'expertise graphique et au renouvellement de l'enseignement de l'écriture dans les écoles primaires.

Mais bientôt l'écriture perd de son importance pour laisser place à la dactylographie normalisatrice. Parallèlement, les médecins qui se passionnaient pour les écrits des malades mentaux, changent de regard et considèrent plus volontiers l'aspect littéraire, esthétique, de leur écriture. Pour accomplir son travail d'historien, Philippe Artières s'inspire de la méthode de Michel Foucault qui considérait les faits de discours comme appartenant à un système dont la mise en lumière permet de retracer une histoire intelligible des discours.

L'ouvrage fourmille d'anecdotes et de textes étonnantes, éléments révélateurs du discours médical et normalisateur sur l'écriture de cette époque. Dommage que cette édition de poche n'offrent pas d'illustrations dont on ne cesse de ressentir l'absence.

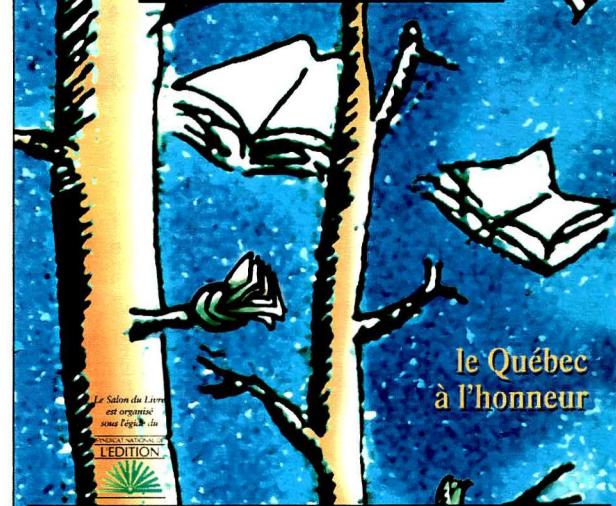
Philippe Chambon

Les empêcheurs de penser en rond, 274 p., 120 F.

19^e Salon du Livre

Livres - Revues - Multimédia

19-24 mars 1999



Paris expo · Porte de Versailles · Hall 1

Journées grand public
du vendredi 19 au mercredi 24 mars de 10h à 19h
Nocturne : mardi 23 mars jusqu'à 22h

Journée professionnelle
Lundi 22 mars de 9h30 à 19h

Prix d'entrée : 30 Frs

Entrée gratuite pour les libraires, bibliothécaires, les enfants de moins de 12 ans et les groupes scolaires accompagnés.

Les temps forts...

- Forum des auteurs
- Café Littéraire
- Espace jeunes
- Espace BD
- Espace Multimédia
- Espace revues
- Pavillon Québec
- Espace régions
- Carré des arts
- Le «Petit théâtre»

ESPACE SCIENCES TECHNIQUES ET MÉDECINE
Programme de rencontres, de débats, de conférences et d'animations, destiné au grand-public et aux professionnels.

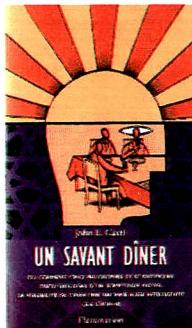
Renseignements : 08 36 68 00 51 (2,23 F/mn)

<http://salondulivre.reed-oip.fr>

Le programme exhaustif de 48 pages «les dédicaces, les auteurs, les conférences» se trouve dans

Télérama PARIS en kiosque le 17 mars 1999.

En quête d'intelligence...



UN SAVANT DÎNER

John L. Casti

Sous le prétexte d'*Un savant dîner*, John L. Casti nous convie à un fascinant festin intellectuel. La question posée autour de la table est la suivante : Peut-on concevoir une machine intelligente ? L'auteur imagine que cinq penseurs et scientifiques, parmi les plus éminents, en débattent. A. Turing, mathématicien et "pionnier des ordinateurs", envisage la création d'une machine pensante. Mais qu'est-ce que l'esprit et l'intelligence ? Qu'est-ce qui définit l'homme et détermine son processus cognitif ? La physique et la biologie, le langage et l'expérience, la composante sociale et la structure neurologique sont-ils déterminants pour la capacité de penser ? Et à quel point ces propriétés humaines sont-elles reproductibles ?

L'auteur ne donne aucune réponse définitive à ces interrogations scientifiques, philosophiques et linguistiques, mais propose une discussion vivante où théories et intimes convictions s'affrontent, se contredisent et s'influencent mutuellement. L'ouvrage n'est ni linéaire ni didactique et, plutôt que de conclure artificiellement, il

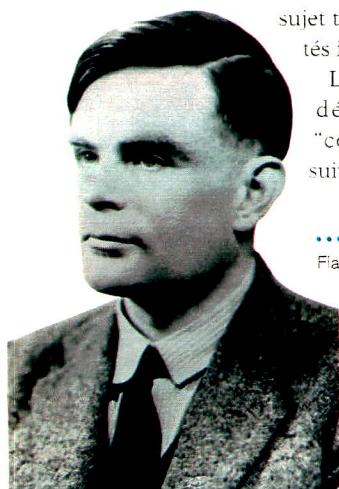
ouvre à une pensée plurielle sur un sujet très actuel dans nos sociétés informatisées.

Le livre refermé, nous détenons des éléments "consistants" pour poursuivre le questionnement.

Hélène Salvy

Flammarion, 192 p., 99 F.

Alan Turing : demain,
une machine à... penser ?



COSMIOS

Le plaisir de savoir
Science & Vie

organise pour la première fois de son histoire le

Prix du livre scientifique

Destiné à devenir un rendez-vous annuel, ce prix a pour vocation de récompenser des ouvrages scientifiques publiés dans trois grandes catégories : essais, beaux livres, livres pédagogiques.

Cette année, le jury sera constitué de :

M. Jean-Pierre Changeux
(professeur au Collège de France, directeur du laboratoire de neurobiologie moléculaire de l'Institut Pasteur)

Mme Francine Cousteau
(présidente de la fondation Cousteau)

M. Dominique Ducassou
(professeur de médecine nucléaire et président honoraire de l'université Bordeaux II)

Mme Isabelle Grenier
(astrophysicienne à l'Observatoire de Paris-Meudon)

M. Jean-Pierre Mohen
(directeur du laboratoire de recherche et du service de restauration des Musées de France)

M. Didier Dubrana
(rééditeur en chef adjoint de Science & Vie)

Cet événement est organisé dans le cadre du Salon du livre, qui se tiendra à la porte de Versailles du 19 au 24 mars. Vous pourrez nous rencontrer sur le stand de *Science & Vie* (D 100) dès l'ouverture du salon. Nous serons ravis de vous y accueillir.

La remise des prix aura lieu le dimanche 21 mars.

Besoin d'un coup de pouce ?

Oui ?
Alors ayez le réflexe



Vous devez faire face à une surcharge de travail,
vous êtes en pleine révision, en retard sur
votre programme.

Vous avez l'impression que vous
n'allez pas y arriver...

JUVAMINE INTELLECTUELLE
peut vous aider !



Retrouvez les produits JUVAMINE
sur le www.juvamine.com

juvamine Intellectuelle

Pour être au maximum de vos capacités au bon moment,
JUVAMINE INTELLECTUELLE vous apporte 100% du besoin
quotidien en 8 vitamines plus un complément en phospholipides.
En grandes et moyennes surfaces, au rayon alimentaire, diététique ou parapharmacie.

Seule une alimentation variée et parfaitement équilibrée peut apporter les vitamines et minéraux en quantités nécessaires à notre organisme. Or, vous n'avez pas toujours le temps de vous alimenter de manière idéale. Si vos besoins en vitamines et minéraux ne sont pas couverts, la fatigue peut s'installer. En période de sollicitation intense (surcharge de travail, examens, concours...), votre cerveau fonctionne à plein régime et consomme des quantités encore plus importantes de micronutriments spécifiques. Mal alimenté, ses capacités diminuent. Mémoire, concentration et performances intellectuelles s'en ressentent.



Pour faire la différence dans les moments importants

© Pensez différemment. © 1999 Apple Computer, Inc. Tous droits réservés.

www.apple.fr



Collectionnez les cinq.

Le nouveau iMac. Maintenant en 5 nouveaux parfums.  Think different.