

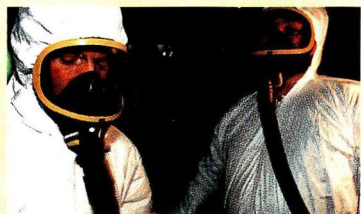
SCIENCE & VIE



TRANSFUSION
Bientôt
un sang pur
artificiel

ANTIMATIÈRE
AU SEUIL
DE L'ANTI-
MONDE

AMIANTE
Premières
solutions

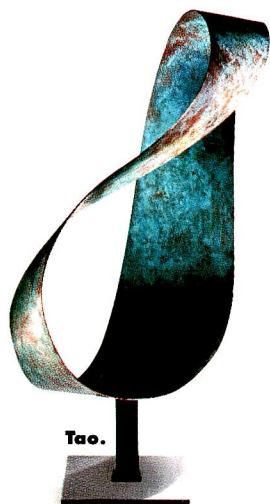


T 2578 - 942 - 23,00 F



NOUVELLE OPEL VECTRA

McCANN



*Il n'y a rien de plus émouvant
qu'une courbe que l'on suit
avec des suspensions dynamiques.*



TENUE DE ROUTE Tout votre corps ressent le plaisir de dessiner une trajectoire parfaite avec un nouveau Système de Suspension Dynamique (DSA), un nouveau châssis, un train arrière multibras, et le Système de Contrôle de Traction Electronique (ETC*). Qu'y a-t-il de plus

beau que de conduire une Nouvelle Opel Vectra ? Votre concessionnaire Opel vous dira encore beaucoup de choses sur la Nouvelle Opel Vectra (ou tapez 3615 Opel - 1,29F/mn) - Disponible à partir de 107 900 F (hors options) en 4 ou 5 portes. Tarif au 25/10/95. AM 96. *En série sur 2.0i 16V et 2.5i V6.

NOUVELLE OPEL VECTRA. L'ART DU MOUVEMENT.



Depuis le 1^{er} janvier 1996, les compagnies d'assurances refusent de couvrir les risques de la transfusion sanguine. Ce sont les centres de transfusion qui doivent supporter la charge de l'indemnisation des contaminés. A terme, ils sont tous menacés. En effet, 200 000 personnes environ ont contracté par transfusion le virus de

l'hépatite C. Près de 2 000 plaintes ont déjà été déposées. Or, chaque indemnisation représente en moyenne de 500 000 F à 1 million.

Déjà, en 1992, le Groupement des assureurs de la transfusion sanguine avait limité ses contrats à la garantie des seules fautes commises par les transfuseurs. La situation les met dans l'embaras et inquiète le corps médical en général.

Désormais, les centres ne peuvent même plus souscrire de police pour couvrir leurs éventuelles erreurs. Cette démission des assureurs intervient au moment où la jurisprudence est clairement définie : la responsabilité des centres est toujours engagée, que la contamination soit due aux aléas de la transfusion ou qu'elle résulte d'une erreur de manipulation. Le risque est en partie connu – 1 contamination sur 500 000 dons pour le VIH (virus du sida), et 1 cas sur 200 000 pour l'hépatite C –, mais on est incapable d'évaluer la probabilité de



Les centres de transfusion sont désormais seuls face aux risques.

M. JOSEPH/FOTOGRAM-STONE

La transfusion sans assurance

contamination par des virus non identifiés ou "nouveaux".

Faute de pouvoir réduire à zéro le risque transfusionnel, il devient urgent de mettre au point un substitut du sang naturel : le sang artificiel, un produit technologique, propre, et capable de jouer le rôle de trans-

porteur d'oxygène des globules rouges. La médecine en rêve depuis plus d'un siècle, le but sera bientôt atteint (voir l'article p. 78).

En attendant, qui va payer lorsque les centres de transfusion seront au bord de la faillite ? Les assureurs se disent prêts à rejouer leur rôle à condition que le législateur limite la responsabilité des transfuseurs à la seule partie connue du risque. La partie inconnue pourrait être indemnisée par un fonds public, par les mutuelles ou par des assurances individuelles.

Les assureurs sont favorables à une loi sur l'aléa thérapeutique qui irait dans ce sens. Problème : cette loi doit tenir compte des spécificités des différents gestes thérapeutiques, et statuer dans des domaines où l'on manque de recul pour mesurer les risques – ceux des thérapies géniques ou cellulaires, par exemple – et établir les responsabilités. Mais, quoi qu'il en soit, le don restera, lui, toujours assuré. **S & V**

SCIENCE & VIE

n° 942 • mars 1996

1 rue du Colonel-Pierre-Avia

75503 Paris Cedex 15

Tél. : 1 46 48 48 48

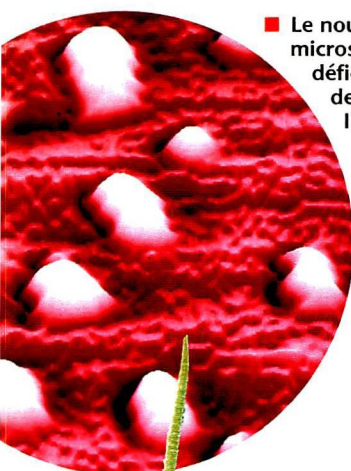
Fax : 1 46 48 48 67

E-Mail : svmens @ Dialup.FranceNet.fr

Recevez *Science & Vie* chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 139. Vous pouvez aussi vous abonner par minitel en tapant 3615 ABON. Organigramme p. 145.

Encart SFR, 16 pages, broché entre les pages 96 et 97. Diffusion France métropolitaine avec abonnés.

Mailing d'abonnement à "SVM Multimédia" sur la diffusion abonnés France métropolitaine.



IBM

■ Le nouveau microscope d'IBM défie les lois de l'optique. Il pourrait voir directement les gènes ! p. 86

Couverture : illustration François Poulain, photo José Nicolas.

■ L'homme croyait avoir gagné la guerre contre les insectes. Pourtant, ils sont chaque jour plus nombreux à "résister". p. 92



SPL/COSMOS

ACTUALITÉ

- **recherche** 6
- **environnement** 20
- **technologie** 28
- **médecine** 36
- **balise** 38
Les greffes et les dons d'organes en France
- **focus** 40
La France malade de ses médicaments



EN COUVERTURE

**ANTIMATIÈRE
AU SEUIL DE
L'ANTIMONDE... 57**

**ILS ONT CRÉÉ
DES ANTIATOMES 58**

**POURQUOI LE MONDE A VAINCU
L'ANTIMONDE 62**

**DU CARBURANT POUR VISITER
LES GALAXIES 68**

CAHIER PHOTOS

Le cristal est vivant ! 72

ENQUÊTE

**Amiante :
le poison pris au piège 98**

HISTOIRES

**CEA
Et la France devint
nucléaire 106**

RENDEZ-VOUS

quotidien : APS, le dédic qui libère la photo	118
l'expérience : L'intelligence de la levure	124
énigmes : Où l'on prouve que $16 = 110$	126
astronomie : La comète de mars	128
échecs : Défaut de vision	130
rétro : Il y a 30 ans	133
forum : Fractions : une effraction trop brutale	134
invention : Le grand frisson de l'espace	138
médiathèque : Darwin sans préjugés	140
cyberscope : L'agence des affinités	146

FUTURS

Changer l'homme... pour le meilleur ou pour le pire ?	148
Des voitures sans pilote	154
► c'est déjà demain	158

ET AUSSI...

ASTRONOMIE

A la rencontre des astéroïdes	46
--	-----------

PHYSIQUE

L'atome est-il divisible à l'infini ? . . .	52
--	-----------

BIOTECHNOLOGIES

Le sang pur sera artificiel	78
--	-----------

MÉDECINE

Sida : trois médicaments valent-ils mieux qu'un ?	84
--	-----------

NANOSCOPIE

Le microscope capable de voir les gènes	86
--	-----------

ALIMENTATION

Vaches folles : de mal en pis ? . . .	90
--	-----------

AGRONOMIE

Les insectes font de la résistance	92
---	-----------

ENSEIGNEMENT

On a perdu la méthode de lecture !	104
---	------------

TÉLESCOPES

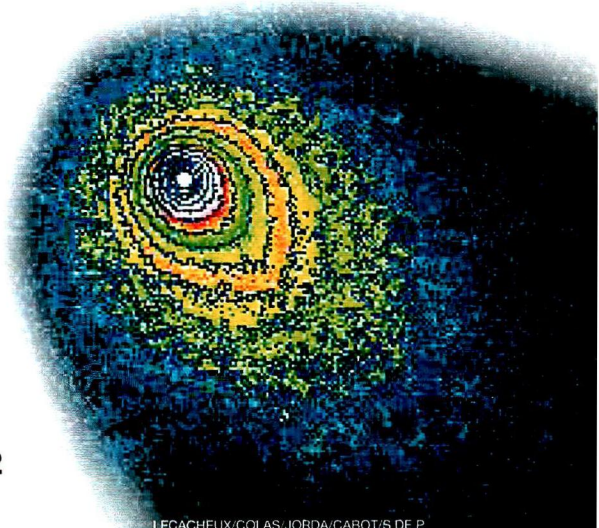
Les artisans du gigantisme	112
---	------------

■ La firme française RÉOSC termine le polissage des miroirs de 8 m du VLT, qui sera installé au Chili. Une extraordinaire aventure technologique. **p. 112**



P. LANDMANN/GAMMA

■ La surprise du mois est la comète Hyakutake, qui, découverte par un amateur, sera la première depuis longtemps à être facilement visible à l'œil nu. **p. 128**



DE 0 A 100 KM/H EN MOINS (ET ENCORE, SANS ESSENCE)



TURBO DIESEL

Voici la nouvelle Peugeot 406 Turbo Diesel. On a tout dit, ou presque, sur le sentiment de sécurité qu'elle inspire : ABR (en série niveau 3), airbag en série, absorbeurs de chocs... Elle ne connaissait pas encore sa version Turbo Diesel mais sur le plan performance, la technologie Peugeot n'a jamais déçu que ses concurrents. Il faudra donc chercher la surprise ailleurs.

Nouvelle Peugeot 406. Vous ne choisirez plus.

DE 13 SECONDES



Le modèle présenté : 406 SV (2.1 l TD). Selon les cycles UTAC : « consommations constructeur » (l/100 km) 8 l en cycle urbain - 5 l à 90 km/h - 6,7 l à 120 km/h

eurs que dans les 110 ch. développés par ses 2,1 litres.
la trouvera dans son grand silence. Silence rassurant
à un révolutionnaire train arrière multibras aussi
nfortable qu'accrocheur. D'ailleurs, écoutez : " ... ".

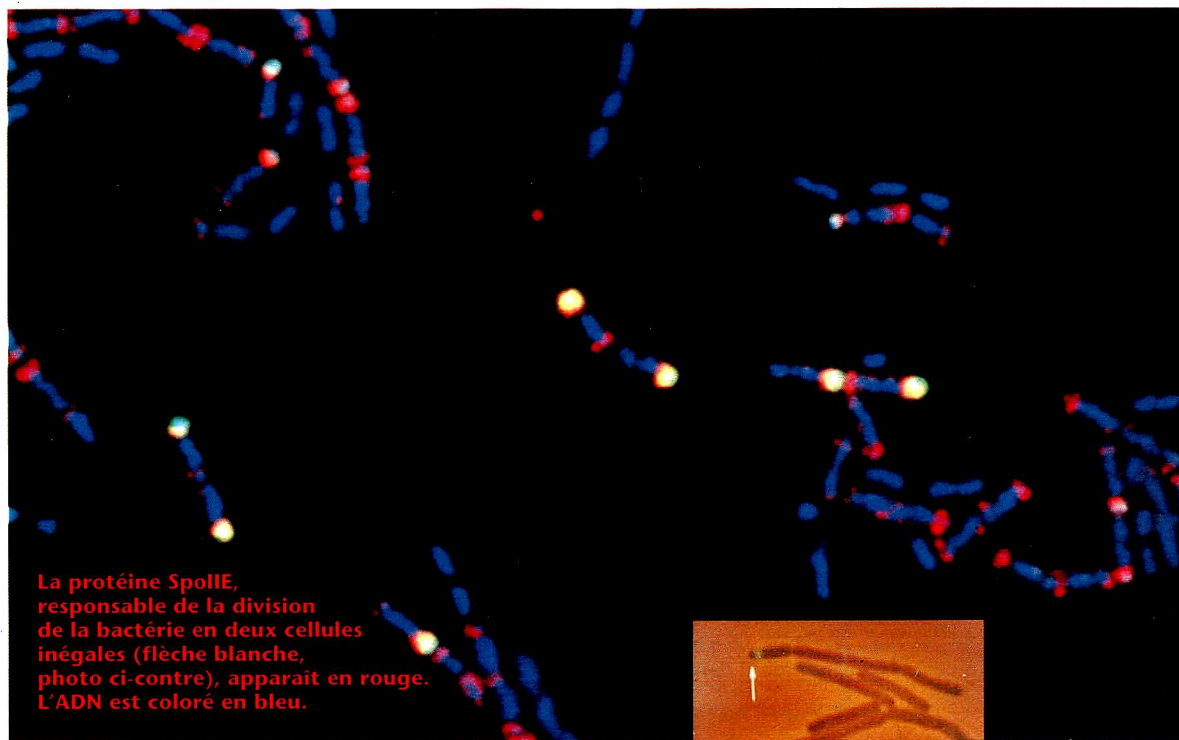
entre le plaisir et la sécurité.

406 
PEUGEOT

PEUGEOT. POUR QUE L'AUTOMOBILE SOIT TOUJOURS UN PLAISIR.

ACTUALITÉ RECHERCHE

par Thierry Pilorge



La protéine SpoIIIE, responsable de la division de la bactérie en deux cellules inégales (flèche blanche, photo ci-contre), apparaît en rouge. L'ADN est coloré en bleu.

C. D. WEBB - P. STRAGIER

Naissance de la complexité

Comment, à partir de l'unique cellule mère, les cellules se différencient-elles pour aboutir à un organisme complexe ? Une bactérie vient de fournir la réponse.

Tous les manuels de biologie enseignent que les organismes vivants se forment à partir d'une unique cellule, et que les myriades de cellules des êtres complexes, issues de ses nombreuses divisions, se différencient ensuite

pour aboutir à un organisme avec ses tissus et ses organes. Cela implique qu'en cours de route et à des moments précis, les cellules s'engagent dans des voies différentes, qui feront de l'une une cellule de foie, d'une autre une

cellule nerveuse, etc. Pour comprendre ce processus, Patrick Stragier (Institut de biologie physico-chimique, Paris) et Richard Losick (université Harvard, Etats-Unis) ont utilisé comme modèle la bactérie *Bacillus subtilis*, abondante dans le sol. Celle-ci est en effet capable d'abandonner son mode de reproduction par scission binaire, qui conduit à la naissance de cellules toujours identiques à la cellule mère, pour se diviser en

deux cellules de tailles et aux destins différents dont l'une se transforme en une spore capable de résister à des conditions d'environnement défavorables. Comme ces deux cellules filles ont hérité du même matériel génétique, cela suppose que leurs gènes ne sont pas activés de la même manière.

Depuis la fin des années 80, on sait que cette activation différentielle repose sur certaines protéines, appelées facteur sigma.

Restait toutefois à comprendre pourquoi ces protéines sigma ne sont actives que dans l'une ou l'autre cellule. C'est chose faite : Stragier et Losick ont découvert l'enzyme, baptisée SpoII ϵ , responsable de cette activation sélective, et élucidé une partie de son action.

Juste avant la division asymétrique, SpoII ϵ s'accumule d'abord aux deux pôles de la cellule mère, puis finit par se concentrer à l'un des deux seulement. C'est à ce pôle que se forme la plus petite des deux cellules, qui se différencie en préspore. La connaissance de ce mécanisme laisse espérer de bientôt comprendre les processus de la différenciation cellulaire d'êtres plus évolués, comme l'homme, bien sûr. P. R.

L'EAU À LA BOUCHE

● Une sauterelle, *Romalea guttatas*, régénère sa source de nourriture. Au fur et à mesure qu'elle broute les feuilles d'une plante, elle sécrète une substance qui stimule la croissance de celle-ci en vingt-quatre heures. La sécrétion en question serait proche du facteur de croissance épidermique, un messager biochimique que l'on trouve dans la salive des vertébrés, et qui provoque effectivement le développement des plantes.

GÉOLOGIE

La faille sur le toit du monde

Cette image de la vallée Karakax, sur le plateau nord-tibétain, a été créée en combinant deux images radar prises par la navette spatiale Endeavour en octobre dernier et colorée artificiellement. La rupture sillonnant, à 4 000 m d'altitude, toute la chaîne des monts Kun Lun (qui culmi-

nent à 6 000 m), est la faille Altyn Tagh, bien plus longue que la célèbre faille San Andreas, responsable de nombreux séismes en Californie.

Outre l'étude de la faille elle-même, les géologues envisagent de cartographier l'érosion des pentes

de la vallée et les cônes de déjection alluviaux au pied des montagnes en vue d'y déceler des indices sur les changements climatiques passés.



NASA

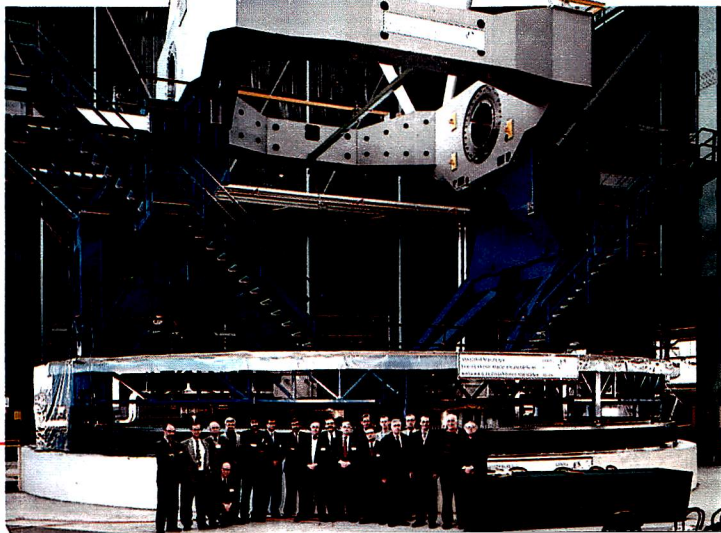
Cette vue tridimensionnelle a été créée à partir d'images radar prises par le navette Endeavour.

ASTRONOMIE

LE VLT SUR LES RAILS

● Après une tourmente juridique-financière, la construction du super-télescope européen VLT suit désormais son cours. Preuve : la fin de l'assemblage, en Italie, de l'une des quatre montures de 430 tonnes et de 24 mètres de haut (photo ci-dessous) qui supporteront cet ensemble astronomique

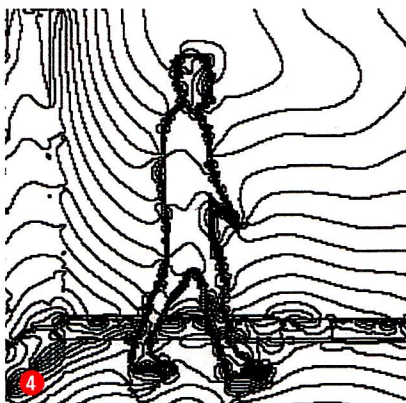
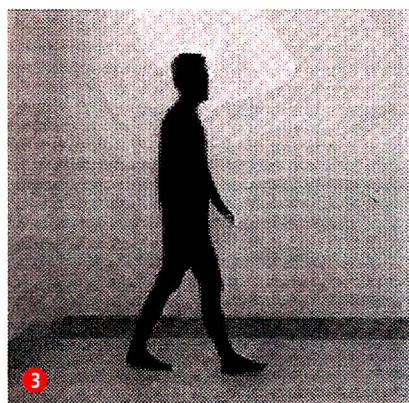
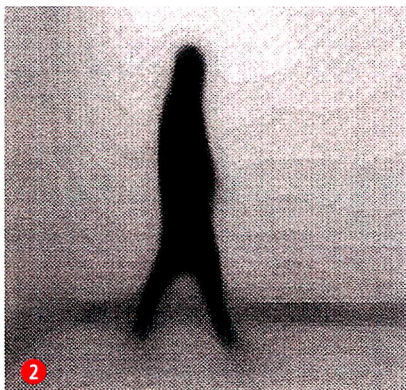
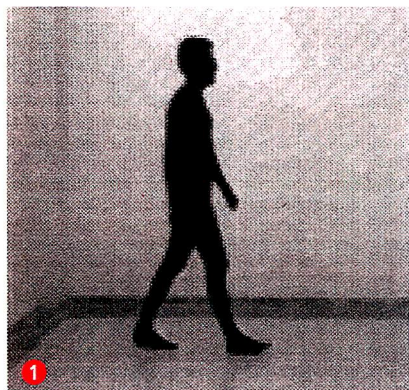
révolutionnaire. Parallèlement, les travaux sur le site du sommet du Paranal, au Chili, se poursuivent et le premier des quatre télescopes individuels de 8 m de diamètre devrait tourner son œil de verre vers les étoiles aux alentours de fin 1997 (voir aussi notre article sur les miroirs de télescopes, p. 112.). F. G.



ESO

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Et les robots verront



J. M. MOREL - A. KANIZSA

Comment reconnaissons-nous les objets que nous voyons ? Cette question est au cœur de la problématique actuelle en intelligence artificielle. Des mathématiciens du Ceremade (Centre de recherche des mathématiques de la décision de l'université Paris IX) et de l'université des îles Baléares viennent de mettre au point une nouvelle procédure de reconnaissance d'image fondée sur la théorie d'un chercheur italien, Gaetano Kanizsa.

Selon ce dernier, notre aptitude à "comprendre" une image complexe dé-

Après traitement par une technique de reconnaissance de forme classique, le personnage ❶ apparaissait très flou ❷ au robot. Un nouveau logiciel lui permet, maintenant, de distinguer l'homme de son environnement ❸, grâce aux différentes jonctions entre les lignes de niveau ❹.

coule de notre capacité à y reconnaître quels objets sont partiellement cachés ou ombrés par d'autres objets. Lorsqu'un objet en cache un autre, la superposition détermine à leur croisement un point de jonction en forme de T. Lorsqu'il y a projection d'une ombre sur un objet, les jonctions sont en X. Le logiciel de reconnaissance d'image mis au point par les chercheurs permet

de retrouver tous les points en T et en X et d'en tracer la cartographie sous la forme de lignes de niveaux.

Cette méthode améliore considérablement la séparation des différents éléments présents dans une image par rapport aux méthodes de reconnaissance d'image classiques... ce qui donne de l'espoir aux robots, jusque-là aveugles. R. I.

LA FIN DE LA FAIM

● Une équipe britannique a découvert une protéine "coupe-faim" chez le rat. Produite à la fin du repas, GLP-1 agit dans l'hypothalamus, stoppant la sensation de faim. Si on l'empêche d'agir, le rat mange deux fois plus. Les chercheurs vérifient actuellement si GLP-1 a le même rôle chez l'homme, et s'il existe une interaction entre celle-ci et d'autres régulateurs de la faim, comme la leptine produite par le "gène de l'obésité", ob. Une nouvelle piste pour l'élaboration de traitements contre l'obésité ?

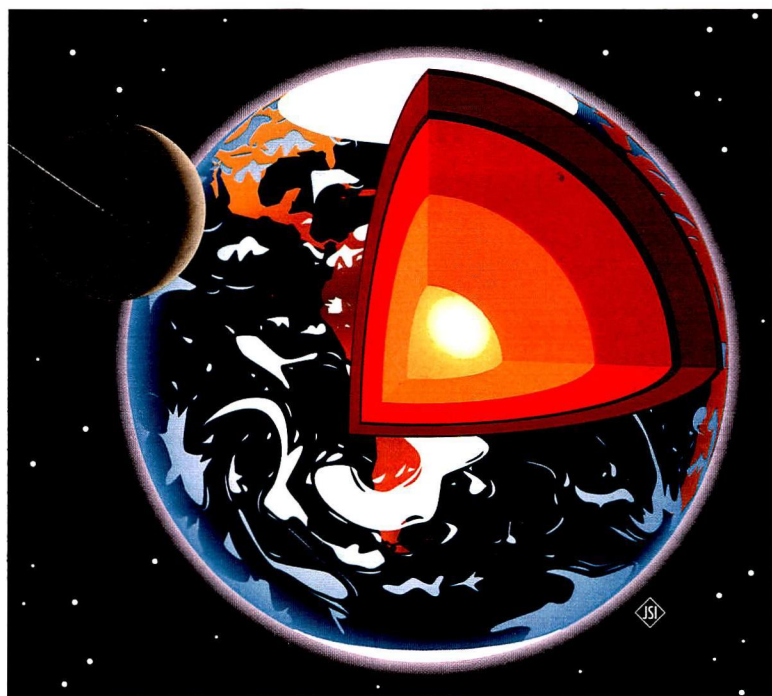
LA FRANCE EN PROFONDEUR

● Le Bureau de recherches géologiques et minières, l'Institut national des sciences de l'univers du CNRS et le ministère de la Recherche ont lancé un programme destiné à mieux connaître le sous-sol français. GéoFrance 3D sondera, entre 1995 et 2005, la totalité du territoire jusqu'à 10 km de profondeur pour en donner une image tridimensionnelle. Avec des implications aussi bien scientifiques qu'économiques (recensement des ressources minières, gestion de l'eau...).

GÉOPHYSIQUE

Une seconde, s'il vous plaît...

En dépit de tout ce que l'on nous a appris à l'école, la journée du 31 décembre 1995 a duré 23 heures, 59 minutes et... 61 secondes! Cette seconde supplémentaire a été requise pour compenser le ralentissement de la rotation de la Terre sur elle-même. Celui-ci entraîne en effet un allongement de la durée des jours, sans pour autant modifier la durée totale de l'année (liée à la période de révolution de la Terre autour du Soleil). Ainsi, il y a 600 millions d'années, une journée durait vingt et une heures et il y avait 400 jours par an.



La Lune, la fonte des calottes polaires, l'interaction entre le noyau et le manteau, les ouragans et les courants marins, tous affectent la vitesse de rotation de notre planète, mais à des échelles de temps différentes.

Lorsque les dinosaures apparurent, il y a près de 250 millions d'années, le jour était déjà de 23 heures et l'année valait 390 jours. C'est, en Australie, dans les

strates de sable et de vase déposées au rythme d'antiques marées que les scientifiques ont pu mesurer ce ralentissement progressif de la planète.

Un phénomène qui a plusieurs causes. A l'échelle de centaines de millions d'années, l'interaction gravitationnelle entre la Lune et la Terre agit comme un frein. Sur un intervalle de quelques milliers d'années, la fonte des calottes polaires modifie la forme du globe, qui enfle à l'équateur, et, tel un patineur qui écarte les bras, la Terre ralentit sa rotation. A l'échelle de quelques dizaines d'années seulement, interviennent les interactions entre le noyau solide et le manteau visqueux. Enfin, sur une année, ce sont les courants marins et les ouragans qui font la loi. D'ailleurs, les horlogers de la planète pensaient ajouter la seconde supplémentaire dès le moins de juin, mais le nombre exceptionnel d'ouragans en 1995 en a décidé autrement. R. I.

ETHOLOGIE

LES GROUPIES DU TÉTRAS-LYRE

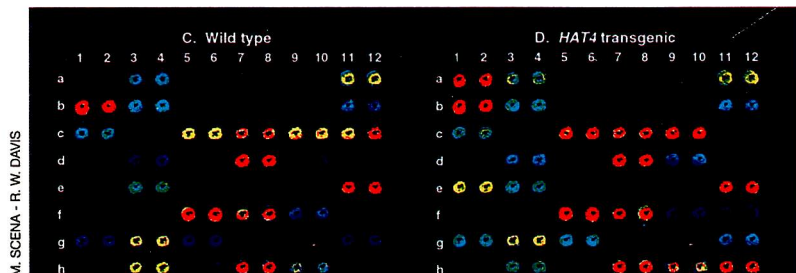
● Chez cet oiseau, comme chez de nombreux animaux, ce sont les femelles qui prennent l'initiative de l'accouplement. Les mâles se donnent rendez-vous sur des leks, petits territoires où ils font valoir leurs at-

traits. Les femelles viennent y choisir l'élu de leur cœur. Un choix souvent difficile, car les mâles rivalisent d'ardeur. Pour éviter de devoir tester tous les mâles, la plupart des femelles s'en remettent au jugement des plus expérimentées, qui se décident les premières. Résultat : c'est bien souvent à un seul et même mâle, parmi tous les mâles présents sur le lek, qu'échoit d'honorer toutes les femelles. Chez le tétras-lyre, séduire une femelle c'est les séduire toutes... S. D.



GÉNÉTIQUE

Les gènes "lisibles" à l'œil nu



Des "étiquettes" fluorescentes d'ADN montrent que ce ne sont pas les mêmes séquences qui s'expriment chez le type sauvage (à gauche) et chez un type transgénique d'*Arabidopsis*.

Toutes les cellules du corps humain possèdent le même "pool" de gènes, soit 100 000 environ. Cependant, chacune n'exprime que ceux correspondant à sa fonction. Ainsi, le gène de l'insuline n'est actif que dans le pancréas, celui de l'hormone de croissance que dans l'hypophyse, etc. A l'heure actuelle, on ne visualise cette activité qu'avec des procédés lourds. On pourra bientôt la voir à l'œil nu, grâce à une technique inventée par Patrick Brown et son équipe de l'université Stanford (Californie).

Un gène, lorsqu'il enclenche la synthèse d'une protéine, commence par se transcrire en ARN messager (ARNm). Théoriquement, il suffirait donc de coller une "étiquette" moléculaire fluorescente à l'ARNm prélevé dans une cellule donnée et de voir, grâce à cette fluorescence, auquel des gènes répertoriés cet ARNm vient s'hybrider. Toutefois, l'ARNm étant difficile à manier, les chercheurs doivent d'abord en faire une copie sous forme d'ADN, à laquelle ils fixent la sonde fluorescente. L'un

des premiers tests a consisté à prendre de l'ARNm de cellules de feuilles et de racines d'une plante voisine de la moutarde, *Arabidopsis*

thaliana, de le transcrire en ADN et d'attacher aux séquences obtenues un colorant rouge (pour les feuilles) ou vert (pour les

racines). L'un des gènes contrôlant la photosynthèse est ainsi apparu 500 fois plus actif dans les cellules de feuilles que dans celles de racines.

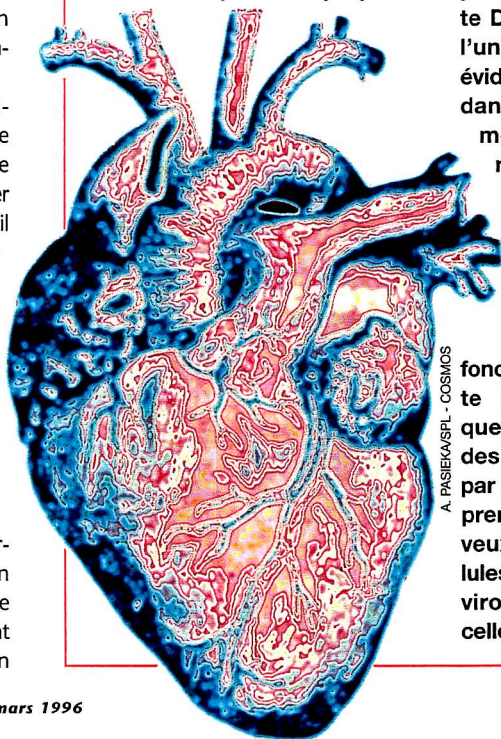
Toutes les opérations sont réalisées automatiquement. Le premier prototype est capable d'observer 20 000 gènes d'un seul coup. Le suivant devrait pouvoir en examiner 100 000, soit la totalité du génome humain. Un moyen, entre autres (voir p. 86), de surveiller le millier de gènes impliqués dans le cancer. P. R.

NEUROLOGIE

LE CŒUR A SES RAISONS...

● En plus d'être contrôlé par le système nerveux central, le cœur est aussi commandé par un système nerveux qui lui est propre. De

là à conclure que le cœur pourrait, comme le pensaient les Anciens, être le siège de nos sentiments, il y a une marge que le physiologiste David Hirst et son équipe de l'université de Melbourne n'ont évidemment pas franchie. Cependant, comme Hirst l'affirme lui-même, «si "penser" signifie recevoir des informations sensorielles, décider de ce qu'il faut faire et agir, alors oui, le cœur a des cellules sensorielles qui reçoivent et utilisent des informations pour modifier son propre fonctionnement». Cette découverte pourrait avoir des conséquences importantes : au cours des transplantations cardiaques par exemple, il faudra maintenant prendre garde à ce système nerveux local. D'autant que les cellules nerveuses du cœur sont environ cinq fois plus petites que celles du cerveau. S. F.





Gold, bière spéciale.

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

ÉCOLOGIE

Biosphère 2: retour à la vraie science

Biosphère 2, le laboratoire d'écologie de 12 750 m² initialement destiné à étudier le fonctionnement des écosystèmes "grandeur nature", va entrer dans le giron de l'observatoire de la Terre Lamont-Doherty, rattaché à l'université Columbia. Pour y faire de la science.

Car, très vite après son inauguration en 1991, Biosphère 2, propriété du milliardaire texan Ed Bass édifée à Oracle, en plein

désert de l'Arizona, avait pris l'allure d'un repaire New Age : les "Biosphériens" s'y étaient enfermés, cultivant leur propre nourriture et recyclant leurs propres déchets. De nombreux scientifiques pensaient qu'il y avait sans doute mieux à faire de cette gigantesque installation aux moyens considérables.

Désormais, les chercheurs s'y consacreront à l'étude de l'influence des changements climatiques

sur les différents types d'écosystèmes, et tenteront de « prévoir l'avenir de la végétation de la planète », selon le souhait du directeur, Bruno Marino.

Autre ouverture : à terme, les financements, jusqu'ici essentiellement fournis par les fonds de Bass, devraient venir de sources extérieures ainsi que de programmes éducatifs et de l'accueil de chercheurs. Une nouvelle ère s'ouvre...

Fini l'ère "New Age" : le complexe Biosphère 2 va enfin servir à des recherches d'écologie scientifique.

LES DINOSAURES VICTIMES DES SUPER- OURAGANS

● Il y a 65 millions d'années, des ouragans monstres, capables d'atteindre 45 km d'altitude, auraient été engendrés par l'élévation de la température de l'eau de mer jusqu'à 50 °C, élévation provoquée par la chute d'une météorite géante. Cachant le soleil derrière de la vapeur d'eau, des cristaux de glace et des poussières, ils auraient aussi détruit la couche d'ozone. Les dinosaures ne s'en seraient pas remis.

ALLONS VIVRE SUR LA LUNE

● D'après la Nasa, c'est désormais possible. Par réaction entre de l'hydrogène ("importé") et de l'oxygène relâché par des échantillons de sol lunaire portés à 1 050 °C, des chercheurs ont obtenu de l'eau. Ils projettent de passer à l'expérimentation sur la lune dès 1998. Une fois une base installée, on pourra aussi extraire l'hydrogène des sols. Eau et oxygène, que demander de plus pour vivre ?



R. Resmayer/Starlight/Cosmos



Moins de 4 F la minute vers les USA.

*"La nouvelle baisse des prix vers
l'international, c'est vraiment
bien. Les prix sont encore plus*

Vivement le week-end !

*bas aux moments qui
nous intéressent le plus."*

Le 20 janvier 1996, le prix du téléphone à l'international a baissé vers près de 200 destinations. La minute de communication vers les USA coûte désormais 4,94 F TTC en plein tarif et 3,96 F TTC au tarif réduit, chaque soir de la semaine de 20h00 à 14h00 et le week-end dès le vendredi 20h00 jusqu'au lundi 14h00. Prix moyens TTC à la minute pour les USA, calculés sur la base de 6 minutes de communication en automatique à partir d'un poste privé. Tarif au 20/01/1996. Pour toute information sur les communications internationales : **N° Vert 05 06 19 19**



France Telecom



ARCHÉOLOGIE

Les Maccabées déterrés et ré-enterrés



HAVAKUK LEVISON/REUTER/MAXPPP

Les archéologues se sont trompés : les ossements récemment découverts dans plusieurs tombes ne seraient pas ceux de membres du clan des Asmonéens, plus connus sous le nom de Maccabées. C'est ce qu'affirme maintenant – après

Faut-il vraiment lire les premières lettres du mot "Asmonéens" dans les inscriptions gravées sur les tombeaux ?

avoir soutenu le contraire – la direction des Antiquités d'Israël. Ce revirement intervient après que des Juifs ultra-orthodoxes ont manifesté contre la manipulation de ces restes de leurs lointains ancêtres.

Retour en arrière : au mois de novembre dernier, un engin de chantier travaillant sur une route au nord-ouest de Jérusalem met au jour trois caveaux contenant 23 ossuaires. Des inscriptions à moitié ef-

facées conduisent les chercheurs dépêchés sur place à conclure qu'il s'agit des sépultures d'Asmonéens, responsables de la révolte qui, en 167 avant Jésus-Christ, chassa l'occupant séleucide, héritier d'Alexandre le Grand. Ces Asmonéens fondèrent ainsi le dernier Etat hébreu libre avant la création de l'Israël moderne. Un épisode particulièrement sensible au cœur des Juifs, qu'ils célèbrent encore lors de la fête de Hanoukka.

La "retraite" opérée par les autorités scientifiques israéliennes viseraient-elles à calmer les esprits intégristes, et à permettre aux chercheurs de travailler en paix ?

PALÉONTOLOGIE

BACTÉRIES : LEUR TRUC EN PLUMES

● Pourquoi arrive-t-il, exceptionnellement, que certains oiseaux soient fossilisés avec leurs plumes (photo ci-dessous), et non pas seulement sous forme de squelette ? Selon deux paléontologistes britanniques, Paul Davis et Derek Briggs, de l'université de Bristol, aux premiers stades de la fossilisation, le plumage de ces volatiles a été envahi par des bactéries anaérobies, qui, par la suite, ont constitué une armature protectrice pour les tissus sous-jacents. Pour en

apporter la preuve, ils ont plongé des cadavres d'oiseaux dans des marais de Floride et les ont repêchés le lendemain : les oiseaux étaient recouverts d'une fine couche de bactéries en forme de bâtonnets (photo de droite). Au cours de la fossilisation, les bactéries prennent exactement la place des plumes. Vues au microscope électronique, les plumes sont en fait constituées d'un lacs de bactéries. Selon les chercheurs, ce phénomène pourrait se produire avec les poils et les cheveux. D'ici à ce qu'on retrouve un jour un scalp d'*Homo erectus* !

P. R.



POMMES EN L'AIR

● La Nasa va envoyer des pommes dans l'espace. Un petit voyage à bord de la navette permettra de savoir comment elles supportent les accélérations, l'absence d'atmosphère et les températures extrêmes. Si elles sont encore comestibles après, elles feraient, selon le promoteur de l'expérience, «une nourriture saine, préemballée, et bien meilleur marché que les aliments high-tech actuels des astronautes».



Moins de 3 F la minute vers l'Espagne.

*"La nouvelle baisse des prix vers
l'international, c'est vraiment
bien. Les prix sont encore plus
bas aux moments qui
m'intéressent le plus."*

Vivement le week-end !

Le 20 janvier 1996, le prix du téléphone à l'international a baissé vers près de 200 destinations. La minute de communication vers l'Europe limitrophe (Allemagne, Bénélux, Espagne, Italie, Royaume-Uni et Suisse) coûte désormais 3,71 F TTC en plein tarif et 2,97 F TTC au tarif réduit, chaque soir de la semaine de 21h30 à 08h00 du matin et le week-end du samedi 14h00 au lundi 08h00.

Prix moyens TTC à la minute pour l'Europe limitrophe, calculés sur la base de 6 minutes de communication en automatique à partir d'un poste privé. Tarif au 20/01/1996. Pour toute information sur les communications internationales : **N° Vert 03 06 19 19**



France Telecom

ARCHÉOLOGIE

L'homme de Neandertal, spéléologue ?



Il y a 46 000 ans, l'homme s'aventurait sous terre. Pour preuves : ce radius d'ours calciné et cet assemblage de stalactites et de stalagmites.

4 6 700 ans : c'est l'âge d'un os d'ours trouvé dans une grotte, à Bruniquel, dans le Tarn-et-Garonne. La galerie, de 15 m de large et de 5 à 10 m de haut, avait été mise au jour en 1990. A 200 ou 300 m de son entrée, un assemblage de stalactites et de stalagmites ne semblait dû ni aux ours – qui laissèrent là de nombreuses traces – ni à un événement naturel.

Les archéologues ont levé le plan au 1/10 de cette structure, en dessinant chaque concrétion. Ils ont ainsi découvert une preuve du passage de l'homme : un radius d'ours brûlé, qui a été daté au carbone 14 au Centre des faibles radioactivités (CNRS-CEA).

Toutefois, cette méthode ne permet pas de dépasser de beaucoup 40 000 ans. 46 700 ans est donc un âge minimal. Le radius a pu être brûlé des milliers d'années auparavant. Mais par qui? A l'époque, la ré-

gion était fréquentée par l'homme de Cro-Magnon et par celui de Neandertal. Dans ce dernier cas, ce serait la preuve qu'il s'aventurait, lui aussi, sous terre.

Quant à la structure délimitée par les concrétions,

on ne lui connaît pas d'équivalent. Elle évoque toutefois les cabanes d'Europe de l'Est en os de mammoths : même plan, dimensions identiques, même âge.

Pour l'instant, le principal

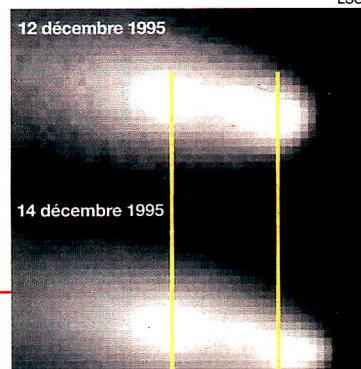
acquis, selon François Rouzau, conservateur en chef du patrimoine à la direction des Affaires culturelles de la région Midi-Pyrénées, c'est que, «au moins 15 000 ans avant les plus vieilles peintures connues, des hommes préhistoriques organisaient des séjours sous terre».

ASTRONOMIE

LA COMÈTE ÉCLATÉE

● Des astronomes ont assisté en direct à la désintégration d'une comète. L'événement a eu lieu alors que Schwassmann-Wachmann 3 était entrée dans une phase spectaculaire d'éruption de gaz et de poussières, associée à une augmentation de luminosité. Les images prises en décembre 1995 à l'observatoire de La Silla (Chili) l'attestent : le noyau de glace de SW 3 s'est divisé en plusieurs morceaux : les clichés optiques obtenus au télescope NTT ont révélé sa décomposition en trois débris. Simultanément, une photographie prise par un télescope de 3,60 m dans

l'infrarouge thermique indiquait la présence d'un quatrième fragment. SW 3 se trouvait alors à 260 millions de kilomètres de la Terre. Il s'agirait en quelque sorte de l'ultime déclin d'un astre. Une bonne raison de continuer à surveiller le processus. F. G.





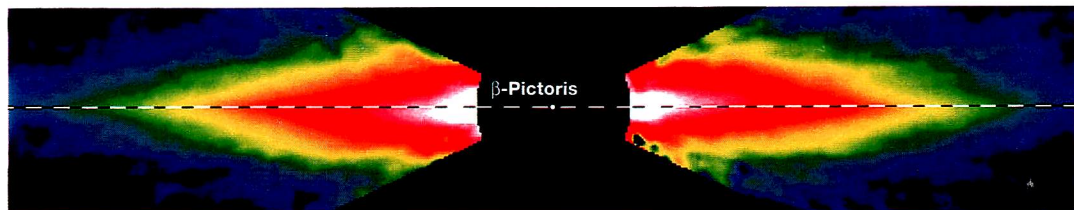
Belle comme
une sculpture

mais
beaucoup plus
rapide.

La chaussure de basket Nike Air Zoom Flight est faite pour la vitesse. Ses renforts latéraux sont sculptés pour que les chaussures soient parfaitement stables tout en restant légères. Et en plus, elles attirent le regard du défenseur sur vos pieds pendant que vous attaquez le panneau pour dunker.

ASTRONOMIE

Avalanche de planètes extrasolaires



STISOL - ESA - NASA

Après avoir longtemps piétiné, la grande traque des planètes extérieures au système solaire donne une profusion de résultats. L'été dernier, deux astronomes suisses, Michel Mayor et Didier Queloz, découvraient un objet de la même masse que Jupiter en orbite autour de l'étoile 51 Pegasus. Aujourd'hui, ils pensent même en avoir

trouvé deux autres. Entretemps, une équipe américaine obtenait la première image d'une naine brune satellisée autour de l'étoile Gliese 229.

Enfin, le 17 janvier dernier, Geoffrey Marcy et Paul Butler ont annoncé la découverte de deux planètes. L'une tourne autour de 70 Virginis (constellation de la Vierge), et l'autre,

Le disque de poussières de β -Pictoris est "voilé" dans sa partie centrale (en blanc et rose), ce qui tend à prouver qu'il contient des planètes.

autour de 47 Ursis Majoris (dans la Grande Ourse), deux étoiles à peine visibles à l'œil nu, situées respectivement à 70 et à 42 années-lumière de la Terre.

Ces deux planètes semblent trop grosses (elles ont 6,4 et 2,8 fois la masse de Jupiter) pour ressembler

à notre monde et abriter une quelconque forme de vie, même si leurs conditions générales, notamment leur température, n'y sont pas foncièrement hostiles. En revanche, si elles possèdent des satellites telluriques, ceux-ci seraient de meilleurs candidats.

Les informations en matière de planètes extrasolaires ne s'arrêtent pas là : le télescope spatial *Hubble* a enfin fourni une image du disque de poussières entourant β -Pictoris. Elle révèle que la partie interne du disque, de la taille de l'orbite de Pluton, ne tourne pas exactement dans le même plan que le reste de la formation. Ce décalage semble indiquer la présence d'au moins une planète déjà formée. P. H. ■

PHYSIOLOGIE

DES PAPILLONS IVRES D'EAU

● Quand les animaux ont quitté la mer pour coloniser la surface de la Terre, ils ont dû trouver une solution pour pallier le manque de sodium.

Deux possibilités s'offraient à eux : chercher une autre source d'approvisionnement ou boire des quantités d'eau astronomiques. C'est cette dernière solution qu'a choisie le papillon de nuit *Gluphisia septentrionis*. Smedley et Thomas, de l'université Cornell, ont calculé que, si l'homme buvait proportionnellement autant que

le *Gluphisia*, il ingurgiterait 4 litres à la seconde ! Comme ce papillon ne peut évidemment pas emmagasiner toute l'eau qu'il ingère, il l'expulse immédiatement, après en avoir extrait le sodium, par une succession de jets anaux. Seuls les mâles participent à ces agapes aqueuses. En effet, pour que les larves se développent correctement, ils enrichissent leur semence en sodium. Et, après l'accouplement, les femelles réservent ces précieux ions à leurs larves. S. F.



T. EISNER/CORNELL UNIV.

● Ont collaboré à cette rubrique : Catherine Chauveau, Stéphane Durand, Sonia Feertchack, Frédéric Guérin, Philippe Henarejos, Roman Ikonicoff, Sylvie Rivière et Pierre Rossion.



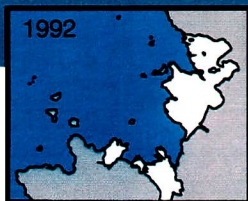
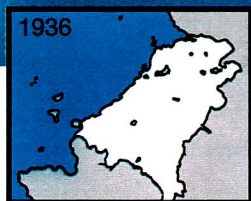
Nike a réinventé la chaussure de running et l'a appelée Air Footscape (parce qu'elle imite la forme naturelle du pied, vous voyez ?) « Elles sont bizarres » disent les yeux. « Taisez-vous, on est si bien dedans » répondent les pieds.

Faites confiance
à vos pieds,
pas à vos yeux.

ACTUALITÉ ENVIRONNEMENT

par Didier Dubrana

Coup de chaud sur l'Antarctique ?



Les Britanniques accusent l'effet de serre d'être responsable de la fonte de la calotte glaciaire.

David Vaughan, glaciologue au laboratoire de surveillance de l'Antarctique de l'université de Cambridge, est formel : « Il y a un lien entre la diminution de la calotte glaciaire antarctique et le réchauffement du climat. » Il vient de publier

ses résultats dans la revue *Nature* (vol. 379). Au cours des cinquante dernières années, le continent Antarctique aurait perdu 8 000 km² de calotte glaciaire, tandis que, durant la même période, cette région se serait échauffée de 2,5 °C.

C'est surtout au niveau de la péninsule antarctique (à l'Ouest du continent) que les icebergs se détachent, selon un mécanisme bien connu : d'année en année, la neige s'accumule sur le continent et se transforme en glace. Puis cette calotte de plusieurs kilomètres d'épaisseur glisse lentement vers la mer sous l'effet de la pesanteur. Résultat : son extrémité, sapée par la houle et les courants, se brise en de mul-

En 1936, la calotte glaciaire de Wordie (en blanc), dans l'Antarctique, couvrait 150 km². En un peu moins de cinquante ans, elle a pratiquement disparu (en gris, le continent).

tiples morceaux, qui partent à la dérive. Il y a tout juste un an, un iceberg vaste comme l'Ile-de-France (12 800 km²) s'était détaché au large de la pointe Larsen. Un mois plus tard, un bloc de 2 000 km² se mettait à dériver. Enfin, en avril 1995, un troisième "glacçon" de 100 km de long fut repéré, flottant au sud



LES PUCERONS N'AIMENT PAS LE ROCK

● Un scientifique sud-coréen a placé des groupes de trente pucerons sur plusieurs pêcheurs. Certains arbres ont ensuite été "imprégnés" de rock'n roll. Huit jours plus tard, sur les pêcheurs exposés à la musique, les pucerons étaient quatre fois moins nombreux que sur les autres. Conclusion : le rock arrêterait la fécondité des pucerons. Moralité : Elvis pourrait devenir un insecticide.

MERCURE EN STOCK

● Dix tonnes de mercure sont répandues chaque année dans les établissements de santé français, en raison des bris de thermomètres.

de l'Amérique du Sud.

Pour les Britanniques, donc, cette fonte des glaces a pour origine l'effet de serre : en rejetant dans l'atmosphère des quantités croissantes de gaz tels que gaz carbonique (CO_2), méthane (CH_4) ou chlorofluorocarbones (CFC), l'homme modifie le climat de la planète. Voilà pour les partisans de l'apocalypse !

En revanche, du côté des Français, le glaciologue Claude Lorius pense qu'« on ne peut absolument pas faire de relation entre ces icebergs et un éventuel réchauffement ». A suivre...

BIOTECHNOLOGIE

Photosynthèse TGV

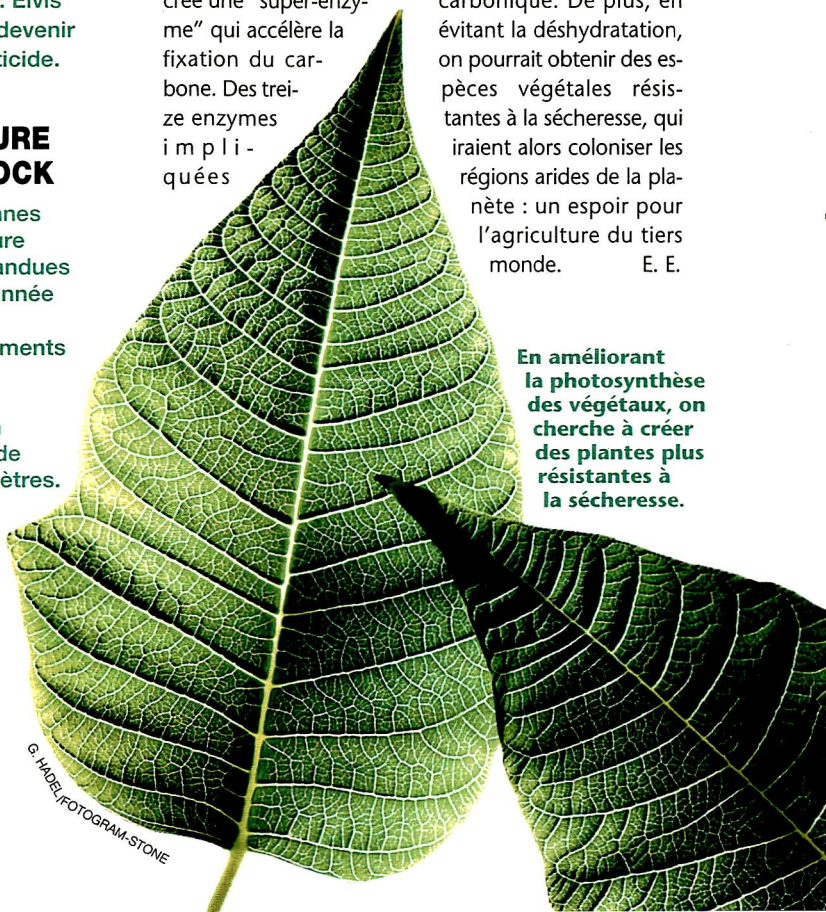
Avec un peu d'eau et du gaz carbonique (CO_2), les plantes transforment l'énergie du Soleil en matière organique : c'est le miracle de la photosynthèse. Malheureusement, cette chimie a son revers : pour capter le CO_2 de l'air, les plantes ouvrent grands les pores de leurs feuilles (les stomates), ce qui entraîne leur déshydratation, surtout en période de grande chaleur. En s'empaparant d'une molécule de CO_2 , elles perdent jusqu'à 500 molécules d'eau.

Pour pallier ce "défaut de fabrication", des chercheurs japonais ont créé une "super-enzyme" qui accélère la fixation du carbone. Des treize enzymes impliquées

dans la photosynthèse, ils ont choisi d'améliorer la moins performante, RuBis-Co. Cette dernière combine la ribulose biphosphate (RUBP) au CO_2 pour aboutir à la formation d'acide phosphoglycérique. « Grâce à la nouvelle enzyme, la fixation de gaz carbonique sera deux fois plus rapide », affirment les chercheurs du Research Institute for Innovative Technology for the Earth (RITE).

Le RITE entend lutter contre l'effet de serre en développant des biotechnologies qui fourniraient des plantes capables de fixer davantage de gaz carbonique. De plus, en évitant la déshydratation, on pourrait obtenir des espèces végétales résistantes à la sécheresse, qui pourraient alors coloniser les régions arides de la planète : un espoir pour l'agriculture du tiers monde. E. E.

En améliorant la photosynthèse des végétaux, on cherche à créer des plantes plus résistantes à la sécheresse.



INDUSTRIE

Lacq planifie l'après-Lacq

Plus que quatorze années avant la fin de l'exploitation du gisement de gaz naturel de Lacq (Pyrénées-Atlantiques). N'entendant pas être pris de court, le site gazier songe à sa reconversion depuis 1987. Option choisie : faire de la plate-forme industrielle un centre de formation et de services dans le domaine des technologies vertes.

Ce projet de "Pôle Environnement", qui comprend trois volets, vient d'entrer dans une phase active. Des études d'ingénierie sont en cours de réalisation, et des appels d'offres ont déjà été lancés.

Le premier volet, consacré à la formation et à la recherche, prévoit la création d'un atelier pédagogique industriel, qui devrait ouvrir ses portes en



Le gisement de gaz naturel de Lacq ne sera plus exploité dans quatorze ans. Le site reconverti sera mis au service des technologies vertes.

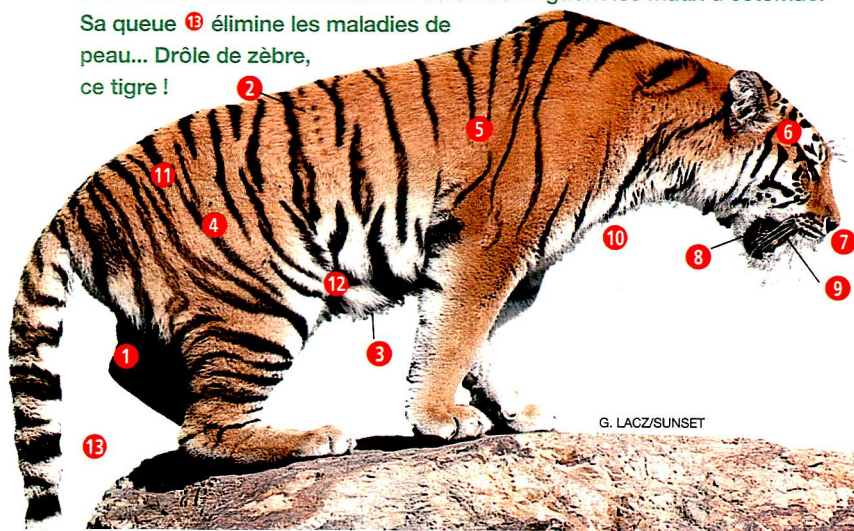
octobre 1997. Cet établissement, dont la construction pourrait commencer dans quelques mois, sera

tourné vers les technologies d'incinération et la conduite des procédés industriels. Deuxième volet : un centre de compétence proposant aux entreprises des solutions industrielles et économiques en matière d'environnement.

Le troisième objectif du Pôle Environnement est de bâtir un centre de traitement des rejets industriels très performant. Il regroupera plusieurs structures destinées à traiter les déchets : incinérateur pour les déchets industriels spéciaux (DIS), unités de traitement des effluents, bassins de lagunage, etc. Le syndicat mixte qui pilote le projet du Pôle Environnement compte beaucoup sur ce centre de traitement pour attirer les entreprises. Mais Lacq se défend de vouloir devenir un centre international de traitement des déchets industriels, répondant aux craintes que nous avons exprimées de voir transiter un flux de ces déchets entre l'Espagne et Lacq, via le tunnel du Somport (voir *Science & Vie* n° 930). I. B.

LES TREIZE PLAIES DU TIGRE D'ASIE

● Le félin disparaît pour alimenter le marché noir de la pharmacopée traditionnelle chinoise (source *Panda Magazine* n° 63, d'après *Tué pour soigner*, de J. A. Mills & P. Jackson, éd. TRAFFIC). Ses testicules ❶ "guérissent" la tuberculose. Sa peau ❷ "guérit" les maladies mentales. Sa graisse ❸ "soigne" les vomissements et les hémorroïdes. Sa chair ❹ "tonifie" l'estomac et la rate, et traite le paludisme. Ses poils ❺, brûlés, écartent les scolopendres. Sa cervelle ❻ fait des miracles contre les boutons et la paresse. Sa truffe ❼ est souveraine contre l'épilepsie et les convulsions chez l'enfant. Ses dents ❽ ont un effet thérapeutique contre la rage, l'asthme et l'irritation du pénis. Ses moustaches ❾ font disparaître les maux de dents. Son sang ❿ renforce la constitution et la volonté. Ses calculs rénaux 11 traitent la débilité. Son estomac 12 guérit les maux d'estomac. Sa queue 13 élimine les maladies de peau... Drôle de zèbre, ce tigre !



G. LACZ/SUNSET

Avec facile plus Internet c'est beaucoup Macintosh



Internet c'est beaucoup plus facile avec Macintosh

Comme toutes les bonnes idées, Internet est très simple : faire communiquer votre ordinateur avec d'autres ordinateurs à travers le réseau téléphonique. Et accéder aux textes et aux images du monde entier, échanger vos idées sur les autoroutes de l'information ...

Mais pour se connecter à Internet et en tirer le meilleur profit, tous les ordinateurs ne sont pas égaux. Essayez par exemple de configurer un modem sur un ordinateur courant ... bonne chance !

Avec Macintosh Performa, tout est différent. Branchez son modem sur la prise de téléphone, double-cliquez sur l'icône de connexion, et vous êtes prêt pour "surfer sur le net". Tout ce que vous allez découvrir peut être stocké, manipulé et imprimé avec une simplicité inégalée.

En plus, avec Macintosh Performa, une offre Apple/ImagiNet* vous est offerte pour vous connecter à Internet. Et si votre Macintosh n'est pas encore équipé d'un modem, Apple vous en propose un, toujours avec l'offre ImagiNet, pour 890 F TTC**. Et Internet devient simple comme Macintosh. A découvrir d'urgence chez votre revendeur Apple. Pour en savoir plus, 3615 Apple (1,29 F/mm) ou 16 (1) 69 29 29 29.

* Offre Apple/ImagiNet. Valable pour tout achat de Macintosh Performa ou de modem, du 28 février au 30 avril 1996. Elle comprend un kit de connexion à Internet gratuit, une mise en service et un mois d'abonnement gratuits.

Pour en bénéficier, renvoyez avant le 30 juin 1996 :

- le coupon original "Offre Apple/ImagiNet" que vous trouverez dans votre Macintosh,
- ce bulletin détachable dûment rempli, accompagné de votre facture d'achat de Macintosh Performa ou de modem à l'adresse suivante : ImagiNet S.A, 1 rue de la Fontaine au Roi, 75011 PARIS

Nom : _____ Prénom : _____
Adresse : _____
CP : _____ Ville : _____ Tél : _____
E-Mail : _____ @imaginet.fr
Choisissez votre E-Mail (adresse électronique). Par exemple : choisissez votre nom (Dupont), votre E-Mail deviendra dupont@imaginet.fr

Le kit complet de connexion à Internet avec votre mot de passe vous sera renvoyé par ImagiNet par retour de courrier***

Pris public indicatif, frais d'installation non compris. Carte modem "Apple vocal" 14400 Bps, à adapter sur Macintosh séries G30, 5000 et 6000. Disponible chez les revendeurs Apple participant à l'opération dans la limite des stocks disponibles. Apple rappelle que tous ses revendeurs sont indépendants et restent totalement libres de leur politique tarifaire et notamment des prix de vente qu'ils pratiquent. *Vous disposez auprès d'ImagiNet d'un droit d'accès et de rectification sur les informations recueillies par le présent questionnaire, conformément à la loi du 6 janvier 1978. Apple, le logo Apple, Macintosh, Performa sont des marques déposées d'Apple Computer, Inc.

Apple 

NOS ORDURES SONT PRIVÉES

● L'Institut français de l'environnement (IFEN) souligne que les communes se tournent vers le privé pour la collecte des ordures ménagères. En 1993, 82 % des déchets ménagers ont été collectés par des entreprises privées. Résultat : ces dernières traitent en moyenne plus de 20 000 tonnes de déchets ménagers par an. Soit 3,7 fois plus que les centres gérés par les collectivités locales elles-mêmes. Le privé collecte aujourd'hui les ordures de 85 % des Français.

PROTECTION ANIMALE

Gare au couguar !

C. SWIFT/WESTLIGHT/COSMOS



En Californie, les supermarchés, les écoles et les jardins sont mal fréquentés. Six mille couguars (ou pumas) en liberté les visitent régulièrement, en quête de nourriture !

En vingt ans, leur nombre a triplé, car, de-

puis 1972, il est interdit de les chasser. D'autres Etats de l'Ouest des Etats-Unis connaissent la même invasion, mais c'est la région de San Diego (Californie) qui est la plus touchée par le problème. Depuis un siècle, la population y

6 000 couguars en liberté terrorisent les habitants de la région de San Diego, en Californie.

double tous les vingt-cinq ans. Le territoire des animaux sauvages est progressivement grignoté par les villes. Devenus trop nombreux sur une zone de chasse trop exiguë, les prédateurs affamés multiplient les attaques contre les enfants et les adultes. « Il est impossible d'aller pique-niquer sans fusil », déclare Tim Leslie, sénateur de l'Etat et farouche adversaire des couguars.

Entre les protecteurs des félins et les habitants terrifiés, le débat s'envenime. « Bien que la cohabitation avec de tels fauves soit de plus en plus difficile, les Américains aiment les avoir dans leurs écosystèmes », explique Tom Dougherty, de la National Wildlife Federation. En Arizona, en Oregon et au Colorado, il est interdit de chasser les ours, les coyotes et les loups qui peuplent forêts et montagnes. Les animaux sont si populaires que, lorsqu'une mère couguar fut abattue après avoir dévoré une Californienne, la population se mobilisa pour rassembler les 21 000 dollars nécessaires au sauvetage du jeune fauve orphelin, tandis que les deux enfants de la malheureuse ne reçurent que 9 000 dollars...

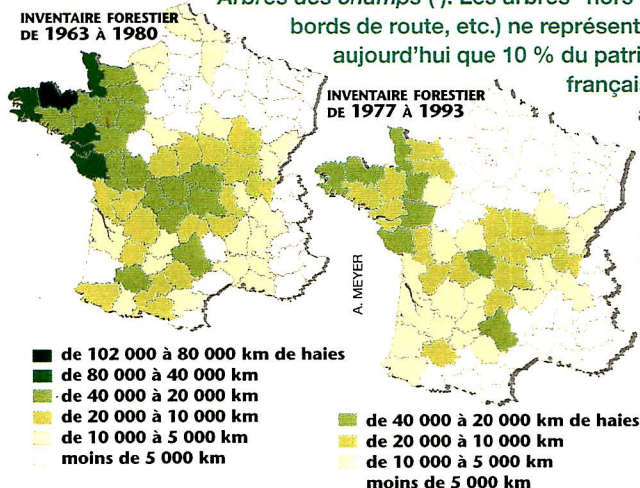
L'Etat devrait néanmoins voter, ce mois-ci, la réouverture de la chasse au couguar. Aux armes, Californiens ! E. E.

530 000 km DE HAIES ARRACHÉES EN DOUZE ANS

● Tel est le cruel constat relevé dans une étude qui vient de paraître, *Arbres des champs* (1). Les arbres "hors forêt" (haies, bords de route, etc.) ne représentent plus aujourd'hui que 10 % du patrimoine arboré français, contre 31 % au siècle dernier.

Des 2 millions de kilomètres de haies existant dans les années 50, il ne reste plus qu'environ 700 000 km.

(1) P. Pointereau et D. Bazile, éd. Solagro, Toulouse.



"banque directe"



Nos Conseillers à votre écoute 24h / 24 et 6 jours sur 7

Jamais besoin de se déplacer

Un compte-chèque qui rapporte

Les virements et prélèvements gratuits

Pas de dates de valeur

Les cartes Visa internationales les moins chères du marché

Pas d'agios sur les petits découverts



05 103 104

PAS BESOIN DE SE VOIR POUR S'ENTENDRE

Qu'attendez-vous pour nous appeler ?

Demande d'information

N° VERT 05 103 104

(1) 40 67 36 09

Télécopie

Minitel **3614**
code BDIRECTE

E-mail : **www2.Atelier.fr/BDIRECTE**

Reportez sur votre Minitel et sur
E-mail le code annonce : **PC 0HW**

Mme ☐ Mlle ☐ M. ☐

Né(e) le

Nom : Prénom :

Adresse :

Code Postal Ville :

Profession :

Tel. domicile Tel. bureau

Renvoyez **sans affranchir** à :
Banque Directe Libre réponse n°18165 75 - 75742 Paris cedex 15



HYDROLOGIE

La Seine sous surveillance

Un module d'exploration du fond de la Seine (MEFS) va traquer pour la première fois, ce printemps, les matières en suspension (MES) dans le fleuve.

Ce qu'on sait des transports de sédiments dans une rivière est très rudimentaire. Des "seuils de cisaillement" définissent grossièrement le débit et la vitesse du courant en deçà desquels le dépôt des MES devient possible, et au-delà desquels l'érosion se produit. Avec le MEFS, on va tenter de savoir comment se déplacent les MES, pourquoi et comment elles se désagrègent.

L'enjeu est important. Les MES s'agglutinent en "flocs", éléments d'environ un millimètre faits de silice et de quartz agglomérés par un "sucre", sorte de ciment de matière organique. Or, c'est sur les flocs que se fixent les mé-

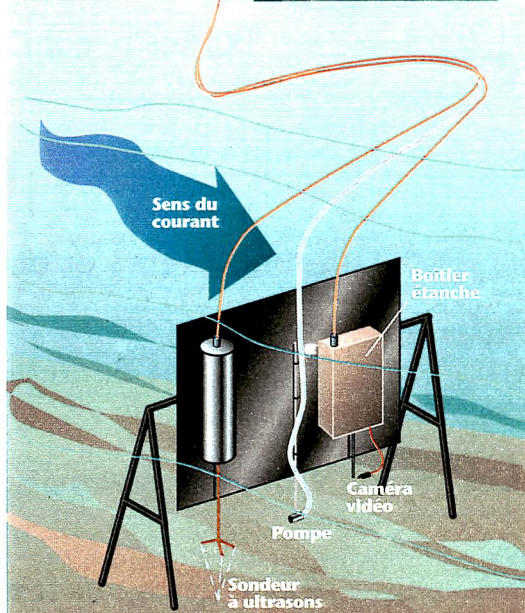
Pour étudier la pollution de la Seine, un bateau laboratoire - équipé d'un sondeur à ultrasons, d'une pompe pour prélever des échantillons et d'une caméra vidéo - naviguera sur le fleuve dès ce printemps.

taux lourds tels que le zinc, le plomb ou le cadmium. D'où l'intérêt de connaître le comportement des flocs pour dépis-ter les pollutions du fleuve.

Installé sur un tréteau d'acier à quatre pieds, le MEFS est descendu dans le courant. Il est muni de trois appareils. Un vélocimètre tridimensionnel mesure la vitesse du courant, ainsi que les turbulences latérales et verticales de l'eau. Une minipompe centrifuge prélève des échantillons



CERGRENE



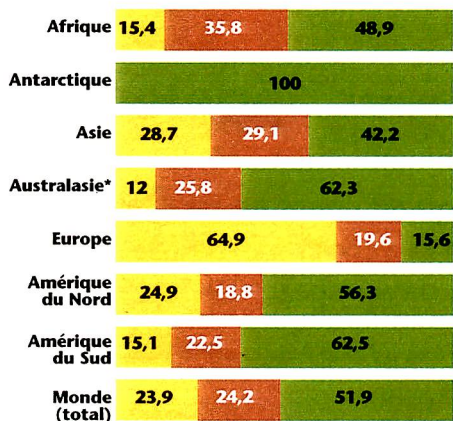
A. MEYER

qui permettent des analyses d'eau classiques. Un dispositif endoscopique, comprenant une caméra vidéo et un système

d'éclairage dans un boîtier étanche relié à un ordinateur, donne une image précisant la taille des flocs.

Grâce à une meilleure connaissance des caractéristiques hydrauliques et physiques d'un courant, les promoteurs du MEFS espèrent pouvoir localiser précisément les "pièges" à métaux lourds. Ces pièges seraient régulièrement curés, ce qui favoriserait le nettoyage rapide du fond du fleuve.

L. C. ■

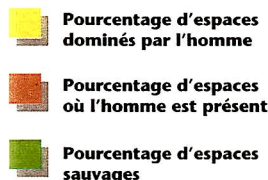


* Australie et Nouvelle-Zélande

A. MEYER

LA MOITIÉ DE LA TERRE EST SAUVAGE

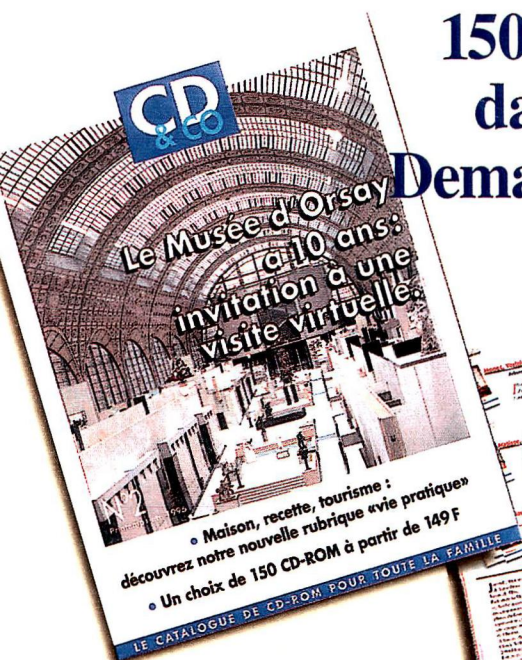
● Dans notre numéro 940 de janvier 1996, page 20, une erreur malencontreuse a abouti à l'inversion des couleurs de l'histogramme "La vie sauvage sur Terre", que nous rectifions ci-contre.



● Ont collaboré à cette rubrique : Isabelle Bourdial, Loïc Chauveau, Emmanuelle Eyles.

Vous possédez un lecteur de CD-ROM ?

**150 CD-ROM vous attendent
dans le catalogue CD & CO.
Demandez-le vite, il est gratuit !**



Séduisante, la diversité !

Le catalogue CD & CO, c'est un vaste choix de CD-ROM pour toute la famille : art, découverte, encyclopédies, vie pratique, éveil, jeux éducatifs, jeux...

Agréable, la simplicité !

Grâce au catalogue CD & CO, vous choisissez tranquillement vos CD-ROM chez vous et vous recevez votre commande à domicile, sans avoir à vous déplacer !

Intéressants, les prix !

Dans le catalogue CD & CO, des CD-ROM à prix serrés à partir de 149 Francs, des promotions et d'excellentes affaires à réaliser !

Pour recevoir encore plus vite votre catalogue, appelez le

32 29 19 18

(faire le 16 depuis Paris/RP)

Rassurante, la qualité !

Le catalogue CD & CO vous propose des CD-ROM exclusivement en français, sélectionnés avec soin chez des éditeurs de renom.

Utile, le conseil !

CD & CO, c'est des fiches techniques détaillées pour vous permettre de choisir sans vous tromper et des spécialistes à votre écoute pour vous conseiller.

Indispensable, le service !

Avec CD & CO vous pouvez être livré en 24 h si vous le souhaitez et vous bénéficiez d'une assistance technique gratuite par téléphone !

Le catalogue CD & CO : un véritable guide d'achat pour toute la famille.



**En CADEAU
avec votre
catalogue le CD-ROM
«CD à la Une»**

Vous découvrirez sur ce CD-ROM, joint gracieusement à votre catalogue, les démonstrations des titres qui font l'actualité du trimestre telles que : *Musée d'Orsay, visite virtuelle - Mon atelier de cinéma en 3D - Stars du Louvre* ... Une bonne idée pour vous aider dans vos choix et vous faire plaisir à coup sûr !



DEMANDE DE CATALOGUE GRATUIT

à retourner à :

CD and CO

BP 319 - 27933 Gravigny Cedex

☐ M. ☐ Mme ☐ Mlle

Nom en majuscules/Prénom

Adresse

Code Postal Ville

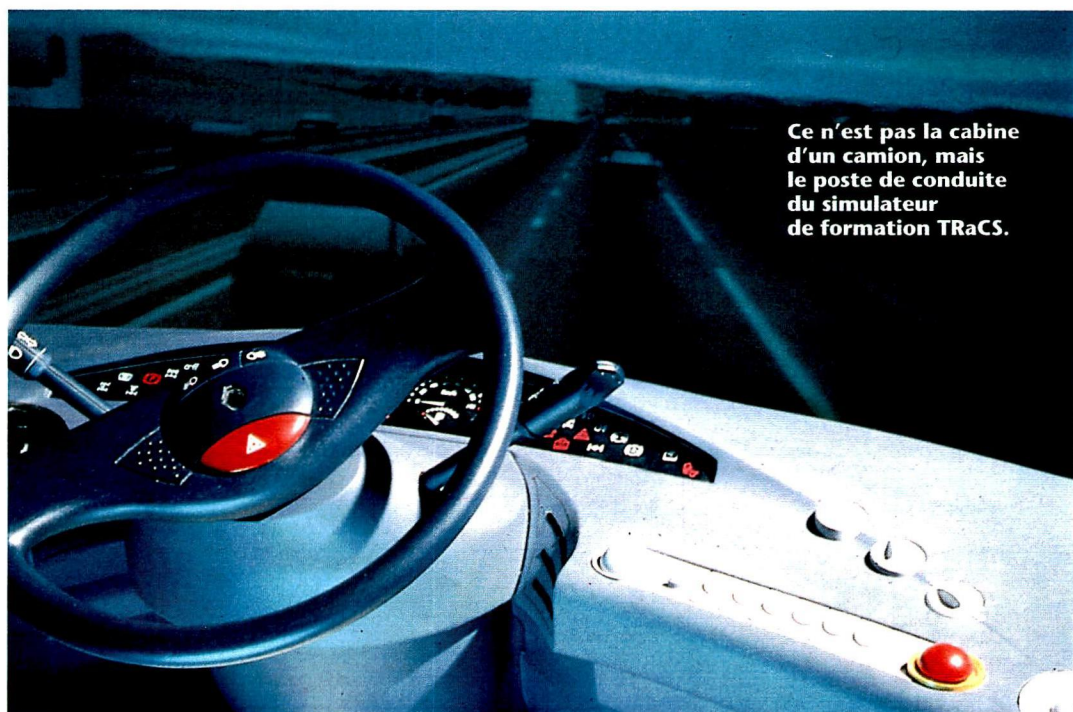
Je possède un ordinateur ☐ PC ☐ MAC

OUI, je souhaite recevoir gratuitement votre nouveau catalogue et son CD-ROM.

Merci d'envoyer le catalogue et le CD-ROM à l'adresse ci-contre :

ACTUALITÉ TECHNOLOGIE

par Gérard Morice



Ce n'est pas la cabine d'un camion, mais le poste de conduite du simulateur de formation TRaCS.

RENAULT RECHERCHE

Un simulateur poids lourd

La formation des chauffeurs de poids lourd laissait à désirer. Renault étudie pour eux un simulateur de conduite spécialisé.

Les poids lourds sont impliqués dans plus de 15 % des accidents graves de la circulation. Or, la formation des chauffeurs de camion est moins bonne que celle des simples automobilistes, dans la mesure où la plupart de ces derniers s'exercent pendant de longues heures sur un simulateur.

Les chauffeurs de poids lourds ne peuvent en faire autant pour la bonne raison qu'il n'existe pas pour eux de simulateur.

Renault a décidé de combler cette lacune : le constructeur est en train de concevoir, dans le cadre d'un projet européen réunissant un consortium d'industriels

de plusieurs pays, le simulateur "spécialisé poids lourd" TRaCS (Truck and Coach Simulator).

Ce simulateur doit permettre un apprentissage approfondi de la conduite grâce à un programme de formation spécifique et interactif.

Le conducteur sera initié aux manœuvres plus ou

moins délicates liées au trafic, aux conditions météorologiques et au comportement du véhicule. Le formateur pourra choisir une séquence particulière de formation en fonction du niveau de l'élève et de ses progrès.

D'ici à trois ans, plusieurs centaines de simulateurs TRaCS devraient être opérationnels.

36 15
SCV

Questions / réponses
à la rédaction
(sous 24 ou 48 heures,
selon complexité).

PLASTURGIE

Cassettes et boîtiers recyclés

L' "hôtel d'entreprises" créé par la municipalité des Mureaux (Yvelines) héberge un atelier à l'activité originale : le recyclage des boîtiers de CD et de cassette. La "matière première" est abondante : les gros producteurs, tels que Polygram ou Philips, jettent de 7 à 8 % de leur production.

Un audit réalisé par EMI, avec le concours de la SACEM, a permis la mise au point d'un processus de traitement : les cassettes sont démagnétisées, les compacts et les boîtiers en plastique sont broyés et le tout est revendu par sacs de 25 kg à des plasturgistes.

L'atelier traite ainsi de 10 à 11 tonnes de polystyrène par mois.

LE ROBOT JOUE AU BILBOQUET

● Rattraper au vol un bilboquet requiert de l'adresse. Cependant, avec un peu d'exercice, le cerveau résout ce problème. Il coordonne l'activité des muscles du bras en fonction du mouvement de l'objet et trouve à chaque instant les conditions optimales de tension musculaire et les angles relatifs des membres pour mener à bien l'exercice.

Pour un robot, la tâche est moins aisée, car il y a un nombre infini de solutions, qui, toutes, donnent des trajectoires possibles. Il s'agit de trouver la meilleure solution en termes d'économie d'énergie, de rapidité et d'efficacité.

C'est la prouesse qu'accomplit ce robot japonais grâce aux deux caméras qui lui servent d'yeux et au réseau de neurones qui calculent, à chaque instant, les meilleures positions pour jouer au bilboquet avec la plus grande dextérité. C. H.



DÉPOLLUTION

LA BACTÉRIE QUI DÉVORE LES NITRATES

● Tous les goûts sont dans la nature : la bactérie *Pseudomonas halodenitrificans* fait son régal des nitrates. Ces derniers, appréciés sous forme d'engrais par les agriculteurs, deviennent une menace pour la qualité de l'eau lorsqu'ils sont répandus dans l'environnement. Découverte par le CEA (Commissariat à l'énergie atomique), la bactérie a pour "marraine" une jeune thésarde,

Emmanuelle Paccard, qui travaille sur la dénitrification biologique des effluents industriels. *Pseudomonas halodenitrificans* est capable, pour respirer, d'utiliser des nitrates qu'elle transforme par oxydoréduction en azote moléculaire, élément gazeux inerte qui retourne dans l'atmosphère et ne présente plus de danger de pollution.



Pseudomonas halodenitrificans, au microscope électronique.

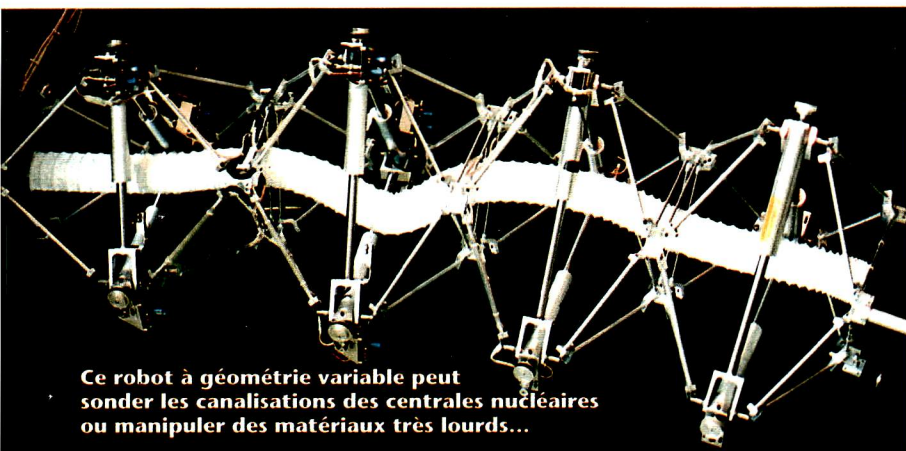
CEA

LES RETOMBÉES TECHNOLOGIQUES DE L'ESPACE

● Un nouveau catalogue de l'Agence spatiale européenne et de Novespace (15 rue des Halles, 75001 Paris, tél. : (1) 40 26 08 60) présente 44 technologies d'origine spatiale, transférables à l'industrie non spatiale dans de nombreux domaines (communication, informatique, instrumentation ou matériaux).

ROBOTIQUE

Le manipulateur qui se prend pour une chenille



Ce robot à géométrie variable peut sonder les canalisations des centrales nucléaires ou manipuler des matériaux très lourds...

NOVESPACE

Développé pour la recherche spatiale, Trussarm est un robot évolutif, plus précisément un manipulateur à poutre à géométrie variable. Contrairement aux robots classiques, il n'est pas constitué d'une série de tringles reliées par des joints tournants. Sur le Trussarm, la poutre fixe est remplacée par des actionneurs (vérins – voir photo ci-dessus) linéaires qui permettent à la structure de changer de forme. Le robot bénéficie donc d'une conception "serpentine", grâce à laquelle il peut manipuler des objets tout en conservant les propriétés structurelles d'une poutre.

Pour obtenir des Trussarm de différentes longueurs, il suffit d'empiler plusieurs tronçons. Ceux-ci présentant de nombreux degrés de liberté, le manipulateur est à même d'éviter les obstacles. Par

ailleurs, il est construit selon une technologie qui autorise son utilisation avec de très grands ou de très petits engins.

Ces caractéristiques ouvrent au Trussarm de multiples applications. Pouvant être déployé dans des conduits non rectilignes, l'engin est utilisable aussi bien pour le

nettoyage des sites nucléaires (déplacement dans des canalisations) et le contrôle des conduits (en version miniaturisée), que pour la manipulation des palettes et des matériaux (en configuration suspendue), ou même pour le levage très lourd (en version "grandes dimensions").

GÉNÉOLOGIE

Plus de tartre dans le vin

Fini les dépôts de tartre dans les bouteilles de vin : c'est le résultat du procédé de stabilisation tartrique utilisant l'électrodialyse mis au point par l'INRA (Institut national de la recherche agronomique) et la société Eurodia.

L'électrodialyse consiste à extraire certains ions d'une solution (dans le vin, notamment l'ion tartrate et l'ion bitartrate) par migration à travers des membranes sélectives soumises à un champ électrique.

Cette innovation permet d'adapter le niveau de traitement à chaque vin, en n'éliminant que la quantité d'acide tartrique et de potassium nécessaire. Elle donne d'excellents résultats et devrait être prochainement commercialisée sous licence par la société Constructions sou-
dées du côteau (CSC).

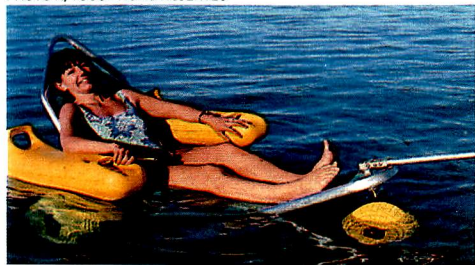
MATÉRIEL MÉDICAL

LA BAIGNADE DES HANDICAPÉS

● **Plage et baignade vont être accessibles aux handicapés moteurs grâce à cet engin. Très "design", le Tiralo, sorte de transat amphibie, a été conçu par l'Ensoleillade, une association d'aide aux handicapés. Ses grosses**

roues jouent le rôle d'amortisseurs, facilitant les déplacements sur le sable, les galets et les terrains meubles. L'engin passe partout, et peut même descendre des marches. Grâce à ses "accoudoirs flotteurs", il reste à flot. La sécurité est accrue par un gilet, bouée de sauvetage qui s'agrafe au dossier et maintient le buste du baigneur.

PHOTO X, TOUS DROITS RÉSERVÉS



Des emballages comestibles

Les emballages traditionnels utilisés pour la conservation des produits alimentaires, et d'abord les films plastiques, ne répondent pas toujours à l'attente des consommateurs. A

Dijon, l'ENSANA (Ecole nationale supérieure de biologie appliquée à la nutrition et à l'alimentation) mène une recherche sur des enrobages comestibles

(photo 1). Non polluants et biodégradables, ils sont assimilables

par l'organisme et, surtout, capables de séparer différentes parties d'un aliment – comme la garniture et la pâte d'une pizza, par exemple, pour que cette dernière ne soit pas imprégnée de sauce et qu'elle ne ramollisse pas.

Les enrobages comestibles peuvent être utilisés pour empêcher le brunissement de la viande

dû à des oxydations (enrobage gras), pour limiter le dessèchement superficiel du jambon ou du bacon (enrobage à base de polysaccharides ou de matière grasse) ou, encore, pour masquer l'aspect gras des cacahuètes par un enrobage dérivé de la cellulose. Ils évitent aussi le pourrissement de certains fruits dû au développe-

ment de micro-organismes (les photos 2 et 3 montrent respectivement une pomme enrobée d'un film alimentaire et une pomme stockée sans enrobage, dont le brunissement indique un début de pourrissement).

Les films comestibles servent également à retenir un arôme, un colorant, un agent conservateur (antimicrobien, anti-oxydant) ou des vitamines à la surface d'un produit alimentaire lors de son stocka-

ge. En effet, la majorité des composés d'arôme ont une grande affinité pour les

emballages plastiques : les travaux des chercheurs ont ainsi montré que près de 80 % d'entre eux sont piégés dans un tel emballage. Un bon exemple de combinaison film alimentaire-emballage plastique est celui des fromages. On

peut intercaler un film comestible entre le fromage et le papier pour éviter la "pollution" odorante des étals ou du réfrigérateur.

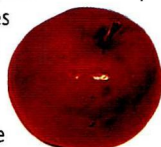
Les films et enrobages comestibles sont le plus souvent constitués soit de glucides (sucres, amidons, dérivés de la cellulose), soit de protéines végétales (lait), soit de lipides (huiles, margarine, beurre de cacao), soit, enfin, d'un mélange de ces constituants.

ENSANA

1



2



3



ÉCOLE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS ET DE TECHNICIENS POUR L'AGRICULTURE

FONDÉE EN 1919

B.P. 607 - 27106 VAL DE REUIL CEDEX

• Établissement d'Enseignement Supérieur de l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture.

• Ingénieurs en agriculture (bac+5) :

1ère année : Baccalauréats scientifiques ou bac +1

2ème et 3ème années : dans la limite des places disponibles.

Consulter l'école.

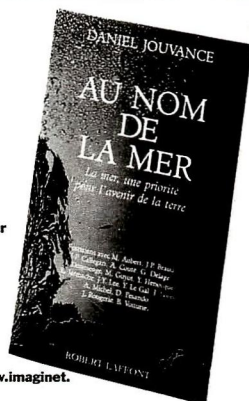
• Emplois :

agronomie, entreprise agricole, recherche développement.



Daniel Jouvance, fondateur des laboratoires de Biologie Marine, Vice-président d'Océan Océan Fédération Internationale du monde marin.

Code Internet : <http://www.imagnet.fr/au-nom-de-la-mer>



Daniel Jouvance

«La mer est notre principal espoir pour l'avenir et cet espoir est aujourd'hui menacé.

Si nous n'agissons pas à temps, elle peut devenir, demain, un "Sahara marin"».

EDITIONS ROBERT LAFFONT.

OCÉANOLOGIE

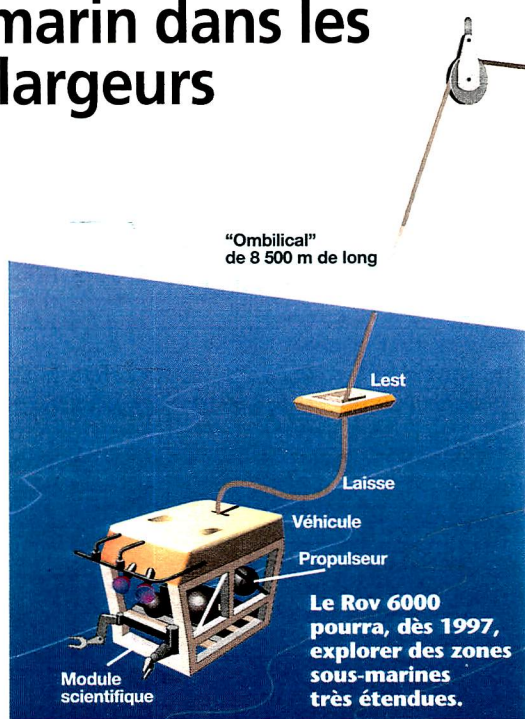
Le fond marin dans les grandes largeurs

La France disposera, dès 1997, d'un Rov 6000 – véhicule inhabité filoguidé d'observation à grande profondeur – à même d'explorer de façon détaillée des zones marines étendues. Elle demeurera ainsi dans le club très fermé des pays leaders de l'intervention sous-marine, avec les Etats-Unis et le Japon.

Trois modules à "outillage" très spécialisé, considérés comme essentiels par les chercheurs de l'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer), équiperont le Rov 6000.

Le premier de ces modules, dit de "mesure en route", permettra l'inspection d'une zone de plusieurs kilomètres d'étendue. Équipé d'un système de cartographie très fin, il couvrira une bande de 100 m de large à une altitude de 50 m au-dessus du fond.

Le module "prélèvements" procédera à l'échantillonnage des fluides, des roches, des sédiments meubles et de la faune. Plusieurs équipements seront assemblés dans une structure fixée sous le véhicule principal. Le bras télémanipulateur du Rov 6000 sera équipé



A. MEYER

d'un "changeur" de pince : on pourra, en cours de plongée, échanger la pince à godets (utile pour prélever des roches) contre la pince à outils.

Le dernier module, dit de "multicarottage orienté", primordial pour les géologues, interviendra plus particulièrement sur les roches.

Le véhicule, d'un poids de 3,5 t, relié à la surface par un câble électropor- teur de 8 500 m de long, sera équipé de six propul- seurs et de trois caméras vidéo couvrant un champ de 180°.

Manœuvrés de la surfa- ce, où se trouvera le poste de contrôle du Rov 6000, les trois modules permettront à des équipes pluridisciplinaires de regarder simultanément

et en direct les images du fond. Un résumé de chaque plongée pourra aussi être constitué, à l'aide d'images prises chaque minute.

ENTREPRISES : LE MARCHÉ DE LA SÉCURITÉ

● Le marché français de la sécurité des entreprises s'organise autour de la surveillance, de la sécurité électronique (détection d'incendie, télésurveillance) et du transport de fonds. Les principaux risques recensés sont les incendies, les pannes, la malveillance, le piratage des données informatiques et l'espionnage économique. Les enjeux sont de taille : dans la moitié des cas, une entreprise qui connaît un sinistre important finit par déposer son bilan.

CONSTRUCTION

UNE SONDE QUI MESURE L'HUMIDITÉ

Portative, à piles, la sonde Microlance mesure avec précision la teneur en humidité et la température des matériaux de construction et des minéraux tels que sable, gravier, etc. Elle se compose

d'un robuste capteur monté à l'extrémité d'une tige télescopique dont la longueur varie de 90 à 180 cm. L'indicateur peut déterminer rapidement et facilement l'humidité générale d'un tas ou du chargement d'un camion.



● A collaboré à cette rubrique : **Christiane Holzhey.**

SAUVETAGE

Des chiens cameramen

La technologie complète le flair. Le chien policier Arry, rattaché à la brigade criminelle du Cambridgeshire (Grande-Bretagne), vient de participer à une catastrophe simulée (un homme enseveli sous les décombres des murs d'une fonderie), destinée à mettre à l'épreuve de nouvelles techniques de sauvetage.

La minuscule caméra vidéo qu'il porte sur la tête est reliée à l'émetteur placé sur son dos, qui transmet les images au maître-chien. Sur le poitrail de l'animal, un écran infrarouge fournit l'éclairage nécessaire à la prise



PHOTO X. TOUS DROITS RÉSERVÉS

Avec sa petite caméra et son émetteur, ce "chien de sauvetage" sera encore plus efficace.

d'images dans l'obscurité. L'équipement dorsal comprend aussi un microphone et un mini-haut-parleur qui permettent à l'équipe

de sauvetage de communiquer avec la personne ensevelie.

Capables d'évaluer les difficultés et les risques, les

sauveteurs pourront remplir plus efficacement leur tâche, en cas de tremblement de terre, d'éboulement ou d'avalanche. L'équipement a également été expérimenté avec succès dans les fleuves et rivières, où il s'est révélé totalement étanche. ■

EURO-SUBVENTIONS

● Ce premier annuaire dresse la liste des programmes communautaires : 166 projets recensés, pour des subventions totales de 50 milliards de francs par an.

Il a fallu 13 chercheurs dont 5 Prix Nobel pour faire du *Défi de l'Univers* un CD-ROM d'Or

Les meilleurs professeurs du monde

vous expliquent les dernières théories sur l'infiniment petit et l'origine de l'univers avec intelligence et conviction.

Des atomes au big-bang en passant par les quarks,

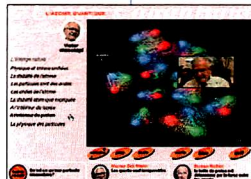
ils vous présentent chaque notion clairement et sans mathématiques.

2 h 30 de vidéo-clips et 30 minutes d'animation,

des centaines de photos, dessins et images fractales vous accompagnent dans votre voyage dans l'infiniment petit et le big-bang.

Une nouvelle façon d'aborder les connaissances

Des liens hypervidéo permettent de relier les idées entre elles. Naviguez de l'une à l'autre, construisez votre parcours pédagogique avec la carte des connaissances. Des tables rondes virtuelles introduisent les grands débats scientifiques en confrontant les points de vue.



DECouvertes
MULTIMEDIA

MAC
WIN

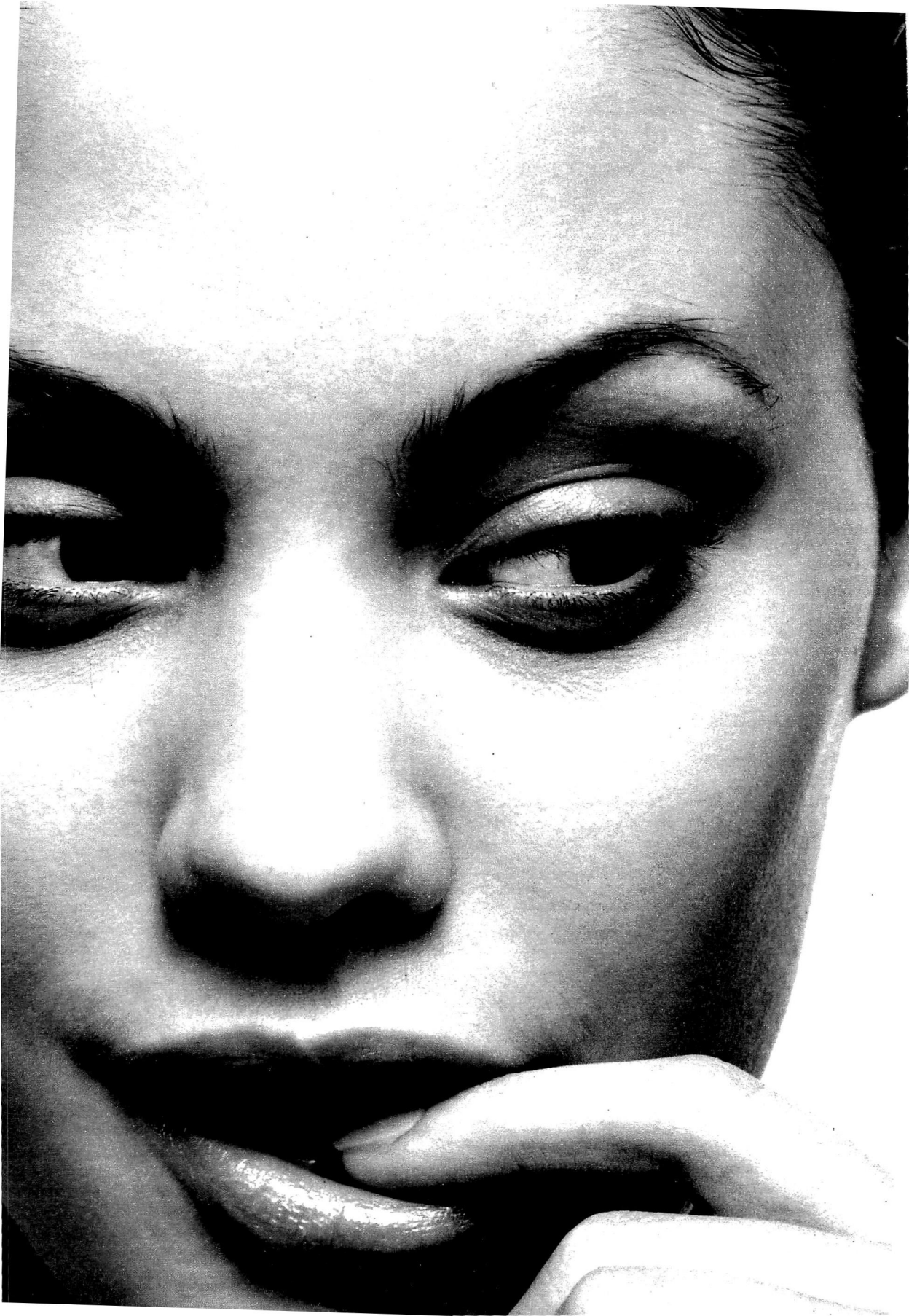
hypermind

Bon de commande à retourner à **Hypermind - 37, avenue du Roule - 92000 Neuilly**

Je souhaite recevoir 1 exemplaire du CD Rom *Le Défi de l'Univers* au prix unitaire de 279 F TTC (port inclus). Je joins la somme de 279 F par chèque à l'ordre d'Hypermind.

Nom Prénom
Adresse
Code Postal Ville

Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 06/01/79 (art. 27) vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez recevoir des propositions d'autres entreprises. Si vous ne le souhaitez pas, écrivez-nous.

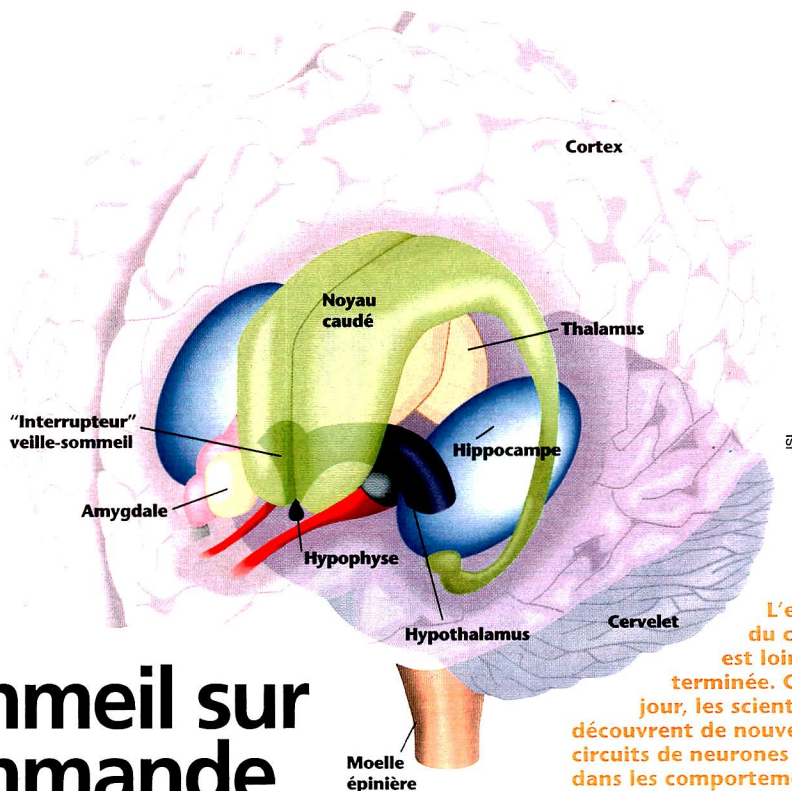




LEVI'S 517

**Le jean plus
large pour les
garçons.**

par Philippe Chambon



Le sommeil sur commande

L'exploration du cerveau est loin d'être terminée. Chaque jour, les scientifiques découvrent de nouveaux circuits de neurones impliqués dans les comportements et les fonctions biologiques.

Cachés au plus profond du cerveau, un petit groupe de neurones gouvernent le sommeil. La compréhension de leur fonctionnement permet d'envisager des somnifères moins nocifs.

C'est un groupe de neurones pas plus gros qu'une tête d'épingle qui gouverne l'endormissement et le réveil. Cet "interrupteur", étudié par l'équipe de Clifford Saper, de l'hôpital Beth-Israël, à Boston, est situé au cœur du cerveau,

dans l'hypothalamus, une formation impliquée dans l'activité sexuelle, l'appétit, la soif et le sommeil.

On soupçonnait le rôle de ce groupe de neurones depuis les années 40, grâce aux premières observations faites par le Néerlandais Wally

Nauta sur des rats rendus insomniaques après ablation de cette partie de l'hypothalamus. Mais personne n'avait compris comment cet interrupteur est "câblé". Il s'avère que ces neurones sont les inhibiteurs d'autres neurones de l'hypothalamus, impliqués, eux, dans le maintien de la vigilance. Les neuromédiateurs en jeu sont connus : il s'agit, entre autres, de l'histamine.

Clifford Saper estime que ses travaux permettront de découvrir des somnifères – ou, au contraire, des "éveilleurs" – plus naturels et moins nocifs que les

barbituriques, les amphétamines et autres produits chimiques, efficaces mais aux effets secondaires préjudiciables à l'équilibre comportemental.

HÉCATOMBE TABAGIQUE

● Le tabac serait responsable de la mort de 165 Français par jour, selon une étude du Comité national contre le tabagisme. Le département de la Moselle arrive en tête.

UNE CAUSE DE PRÉMATURITÉ

● Le *New England Journal of Medicine* révèle que 6 % des naissances prématurées sont dues à une infection du vagin passant inaperçue. Or, de telles infections (qui seraient également à l'origine d'une mortalité néonatale importante) peuvent être facilement combattues par de banals antibiotiques.

ÉPIDÉMIOLOGIE

Des tomates pour la prostate

Mangez des pizzas et des pâtes à la tomate, c'est bon pour la prostate ! La liste des anticancéreux naturels ne cesse de s'allonger. Cette fois, c'est à la tomate, ou, plus exactement, à la sauce tomate, qu'on attribue des vertus. Les hommes

qui en mangent quatre fois par semaine réduisent de 20 % le risque de cancer de la prostate. Réduction qui peut atteindre 50 % à raison de dix repas hebdomadaires à la sauce tomate.

Ces résultats sont le fruit d'une enquête menée sur

48 000 personnes par une équipe de Harvard dirigée par Edward Giovannucci. La substance protectrice serait le lycopène, un antioxydant proche du β -carotène. La cuisson favorise sa production en grande quantité et son absorption par l'estomac. ■



CHIRURGIE

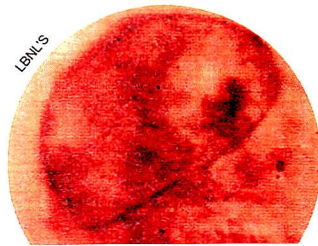
L'ASTICOT QUI CICATRISE



■ Les médecins californiens remettent au goût du jour une vieille recette africaine et asiatique : utiliser des larves d'insectes pour nettoyer et cicatrifier les plaies importantes. Les larves de la mouche *Lucilia sericata*, testées par Ronald Sherman (université de Californie) et David Rogers (université d'Oxford), se nourrissent exclusivement de tissus morts et de bactéries. Il suffit de les placer sur la plaie, à raison d'une dizaine par centimètre carré, et de les renouveler tous les cinq jours, juste avant leur métamorphose, pour obtenir une excellente cicatrisation. Les médecins assurent qu'il n'y a pas d'effets secondaires... hormis le dégoût des patients !

REMÈDE CHINOIS CONTRE LE PALUDISME

● L'efficacité de la pyronaridine, une substance synthétisée par des chercheurs chinois il y a plus de vingt ans et censée soigner le paludisme, vient d'être comparée à celle de la chloroquine, un médicament auquel résistent aujourd'hui la plupart des parasites responsables de la maladie (ci-dessous, parasite dans un globule rouge, vu au microscope à rayons X). Au cours d'un premier essai, la pyronaridine a guéri à 100 % les paludéens, tandis que la chloroquine n'a réussi que dans 40 % des cas.



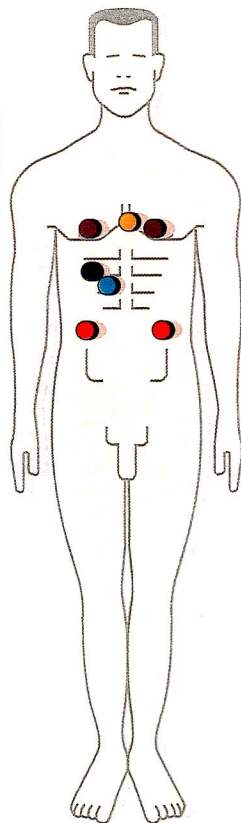
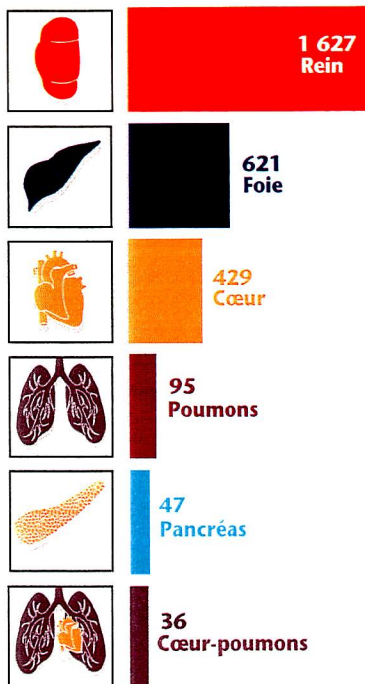
Les GREFFES et les dons d'organes en France

■ En 1994, 2 855 organes ont été greffés en France. Cette technique chirurgicale, qui a aujourd'hui 45 ans, représente le seul espoir de guérison pour de nombreux malades.

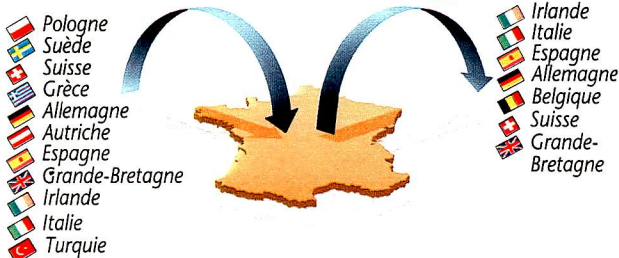
PAR SONIA FEERTCHAK

Le DONNEUR

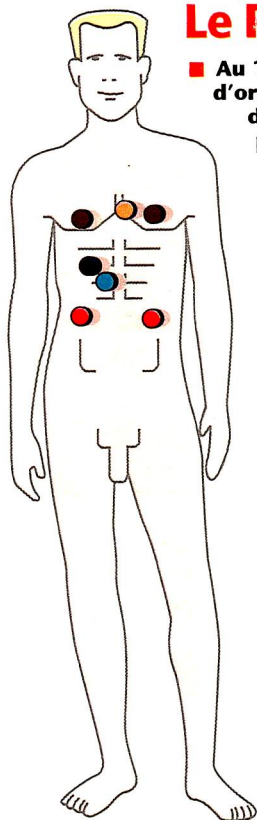
■ Le donneur potentiel d'organes est une personne victime d'un accident mortel qui se trouve en état de "mort encéphalique" (encéphalogramme plat). On le maintient dans un état de vie végétative afin de préserver les organes et les tissus qui seront prélevés. En 1994, en France, 40 % des donneurs potentiels ont été victimes d'accidents cardiovasculaires, 27 % d'accidents de la route, 13 % de traumatismes non liés à des accidents de la route, 15 % de suicides et 5 % d'autres causes de décès. Sur 1 562 sujets en état de mort encéphalique susceptibles d'être donneurs, 876 (56 %) ont effectivement fait l'objet d'un prélèvement. Pour les organes qui peuvent être "partagés" (foie et reins), le don entre vivants (parents très proches exclusivement) est autorisé. Ainsi, 66 des 1 627 reins greffés provenaient de donneurs vivants (4 %).



Les ÉCHANGES internationaux d'organes



■ Comme le nombre de malades en attente d'une greffe est supérieur au nombre d'organes disponibles, il existe des règles d'attribution des greffons (fondées sur des critères médicaux de compatibilité, de distance à parcourir, etc.). Si, dans le respect de ces règles – nationales –, un greffon ne trouve pas de receveur, il est proposé à d'autres pays. En 1994, 50 organes provenant de l'étranger ont ainsi été greffés en France (sur les 322 proposés). Et 22 organes français ont été greffés à l'étranger.



Le RECEVEUR

- Au 1^{er} novembre 1995, 4 933 malades attendaient une greffe d'organe. Ce sont des personnes atteintes de leucémie, d'hépatite fulminante, de problèmes cardiovasculaires et/ou pulmonaires, d'insuffisance rénale, de diabète grave... L'Etablissement français des greffes (créé en 1994) prend en compte toutes ces demandes. Il a connaissance de tous les organes disponibles. Toujours selon les règles nationales, les organes sont attribués en priorité aux patients dont la vie est menacée à très court terme, aux enfants de moins de 16 ans, aux malades en attente de greffes multiples (si l'un des organes est vital), etc.

Les chances de SURVIE

- Les greffes prolongent aujourd'hui la vie de nombreux malades. Malheureusement, elles ne sont pas toujours synonymes de guérison. Ces études du taux de survie (ci-contre) portent sur plusieurs milliers de malades greffés entre le 1^{er} janvier 1985 et le 1^{er} janvier 1994. Ces statistiques peuvent être modifiées par divers paramètres. Par exemple, pour les transplantations hépatiques, le taux de survie de l'enfant est plus grand – sans doute parce que les maladies du foie récidivent rarement chez les plus jeunes.



Rein	87 % à 1 an
	71 % à 5 ans



Foie	70 % à 1 an
	61 % à 5 ans



Cœur	68 % à 1 an
	56 % à 5 ans



Poumons	54 % à 1 an
	32 % à 5 ans



Cœur-poumons	48 % à 1 an
	33 % à 5 ans



BIOÉTHIQUE : la loi du 29 juillet 1994



- **CONSENTEMENT PRÉSUMÉ :** si le donneur potentiel ne s'était pas opposé au prélèvement d'un ou de plusieurs de ses organes, les médecins sont autorisés

à le faire. Si le praticien ignore sa volonté, il doit s'efforcer de recueillir le témoignage de la famille (qui peut, en fait, faire entendre sa propre volonté). D'ailleurs, en 1994, la principale cause de non prélèvement sur des donneurs potentiels a été l'opposition des familles (66 % des cas).



- **GRATUITÉ :** en France, la pratique de la greffe est fondée sur la non-commercialisation du corps humain et sur l'esprit de solidarité. En aucun cas, le donneur (ou sa famille) ne peut tirer profit du don d'organes. Mais il n'en est pas de même partout : ce triste commerce s'exerce dans de nombreux pays du tiers monde.



- **ANONYMAT :** au nom de la liberté et de l'autonomie de la personne humaine, le don d'organes est anonyme. Le receveur ignore l'identité du donneur et la famille du donneur ignore celle du receveur. Le cas du don d'organes (partageables) entre vivants apparentés fait évidemment exception.

La France malade de ses MÉDICAMENTS

■ La surconsommation pharmaceutique coûte cher, très cher à la Sécurité sociale et au pays. Hormis une autodiscipline des professions concernées, sur laquelle il ne faut pas trop compter, un remède pourrait se faire jour : la prescription des médicaments "généralistes".

PAR LOÏC CHAUVÉ

Le plan Juppé de réforme de la Sécurité sociale, présenté le 15 novembre dernier, frappe directement à la caisse l'industrie pharmaceutique française. Les 300 entreprises de ce secteur devront verser une "contribution exceptionnelle et provisoire" de 2,5 milliards de francs à la Sécu. Cette mesure brutale est une sanction. En 1995, le remboursement des médicaments a augmenté de 8,5 %, alors que les accords passés entre l'industrie pharmaceutique et le ministère de la Santé prévoyaient une hausse de 3 %. L'industrie pharmaceutique, via ses visiteurs médicaux, vante auprès des médecins les médicaments les plus récents et les plus chers. C'est ce mécanisme du tou-jours-plus que l'industrie s'était engagée à ralentir. Mais l'Etat qui se dit aujourd'hui floué est celui qui autorise la mise sur le marché de ces médicaments onéreux qui plombent les comptes de la Sécu.

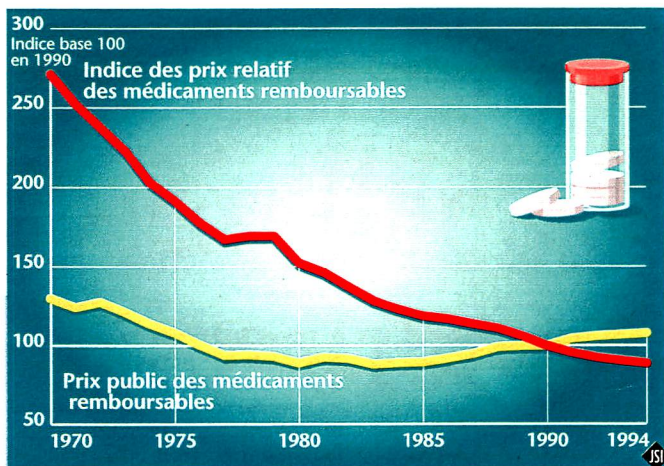
Le secteur a toujours vu ses prix sévèrement encadrés par les pouvoirs publics. En échange, l'industrie pharmaceutique n'a qu'un seul client, la Sécu, qui paie sans jamais protester. Mais l'encadrement des

prix n'empêche pas le dérapage des dépenses de santé. Et la présence d'un seul client, forcément solvable, a incité à la paresse. La France y a perdu l'essentiel de sa recherche

pharmaceutique. Les découvertes de nouvelles molécules se font désormais ailleurs sur la planète. Pourquoi, en effet, favoriser les découvertes quand le prix du médicament est fixé sur des règles économiques de gestion publique et non sur le coût effectif d'un programme de recherche ?

« Je sais bien que, pendant toutes ces années, nous nous sommes mal comportés, reconnaît humblement Bernard Mesuré, président du Syndicat national de l'industrie pharmaceutique (SNIP). Mais c'est la faute de l'Etat, qui nous a contraints à vivre selon des règles malsaines. »

Selon les Comptes de la nation, les 120 milliards dépensés en 1994



Des prescriptions hors de prix

Bien que le prix moyen des médicaments remboursables continue de baisser, la prescription – pas toujours justifiée – de nouvelles molécules ou de *me-too* (ces spécialités, au prix plus élevé, n'ont de nouveau que l'emballage) fait croître la dépense globale des médicaments vendus.

SOURCE : CREDES



M. NASCIMENTO/REA

Sécu sacrée

Si, en décembre dernier, les Français ont défendu avec tant d'acharnement leur Sécurité sociale, c'est qu'elle représente pour eux une certaine égalité dans l'accès aux soins médicaux.

inférieures à l'évolution générale des prix.» Les pouvoirs publics ont réduit le taux de TVA des médicaments remboursables, baissé la marge des grossistes et des pharmaciens d'officine. Surtout, le taux moyen de remboursement de la Sécu est passé de 81,5 % en 1974 à 70 % actuellement. Voilà pourquoi le taux de croissance de la pharmacie est inférieur à celui des autres postes de santé. Ces tripatouillages d'étiquette n'ont cependant servi à rien.

DEUX MILLIARDS DE FRANCS PAR MOLÉCULE

L'industrie pharmaceutique a, en effet, remplacé petit à petit ses anciens produits par des cocktails plus ou moins innovants. Chaque année, seuls deux ou trois médicaments commercialisés marquent un réel progrès. Il faut compter 2 milliards de francs pour définir une telle molécule sur la pailleasse des laboratoires, et entre dix et seize ans de développement, d'essais thérapeutiques, d'études pour obtenir l'autorisation de mise sur le marché (AMM). Au fil du temps, sous des marques et des habillages différents, les mêmes molécules reviennent dans les consoles des pharmaciens affublées d'un nom nouveau et surtout d'un prix largement supérieur.

Aujourd'hui, le prix d'un médicament est fixé «d'une façon bêtasse», affirme un haut fonctionnaire du ministère de la Santé. Au vu du dossier d'AMM, le Comité économique du médicament, qui dépend de ce ministère, compare les vertus thérapeutiques du produit avec celles des médicaments présents sur le marché. Selon l'importance du progrès apporté, le prix est plus ou moins haut. «Le problème pour les

dans les produits pharmaceutiques représentent 16 % des 750 milliards de francs de la consommation médicale totale (CMT) du pays. Mais, entre 1970 et 1994, l'évolution moyenne annuelle en volume des médicaments a été de 7,4 %, celle de la CMT de 5,7 %. Les Français sont les premiers consommateurs européens de pilules, ceux, aussi, qui utilisent les médicaments les plus chers et les plus sophistiqués.

« Malheureusement, poursuit Bernard Mesuré, nous ne les consommons pas forcément. La Sécurité sociale rembourse des médicaments qui pourrissent dans les armoires à pharmacie.» Selon la

Caisse nationale d'assurance maladie, en 1993, la seule médecine libérale a prescrit 80,5 milliards de francs de pharmacie, soit 1 265 368 F par médecin généraliste et 239 825 F par spécialiste.

La France a une histoire très différente de celle de ses voisins européens. «Le médicament remboursable constitue, avec le tabac et le livre, les trois exceptions à la liberté des prix des produits industriels prévue par l'ordonnance du 1^{er} décembre 1986, rappelle le Centre de recherche d'étude et de documentation en économie de la santé (CREDES). Les hausses des prix [du médicament] ont toujours été

■ ■ ■ industriels, c'est qu'il n'existe plus de marché vierge, explique un bon connaisseur du dossier. Les marques prétendument nouvelles arrivent sur un marché déjà encombré. Pour se faire une place, elles doivent se différencier par d'autres qualités que leurs seules vertus thérapeutiques, par exemple la prise du médicament une fois par jour au lieu de trois ou, mieux, la disparition d'un effet secondaire indésirable.»

Joliment surnommés les "me-too" (moi aussi), ces médicaments copieurs sont à l'origine de l'augmentation de l'indice des prix publics des produits remboursables ou non. Ils expliquent aussi pourquoi une même molécule peut voir son prix varier de 1 à 10. C'est le cas de l'Ibuprofène 200 mg, une molécule destinée à combattre les règles douloureuses, les gripes, les douleurs musculaires...

Le brevet

boursable (donc libre de prix), la même molécule est proposée par les pharmaciens, sous le nom de Gelufène, à 1,40 F le cachet.

Ayant l'assurance de garder un marché en constante progression, à des prix garantis par les organismes sociaux, l'industrie pharmaceutique n'a pas connu de grandes restructurations. Elle compte encore plus de 300 laboratoires, dont la majorité ont un chiffre d'affaires inférieur à 100 millions de francs. Seul Rhône-Poulenc-Rorer a vraiment une dimension internationale.

La France n'est plus dans les dix premières nations "découvreuses" de molécules. Elle a loupé le virage des biotechnologies. C'est le Japon qui est en tête pour l'"invention" d'antibiotiques. Signe de vieillisse-

sur une personne bien portante.»

L'industrie française dépense pourtant 10 milliards de francs par an en recherche pharmaceutique – presque autant que les autres pays européens et que le Japon –, mais, morcelée, cette recherche ne dépose plus de brevets.

Le mal français ne tient cependant pas au fait que la recherche représente 11 % du prix d'un médicament, mais plutôt au constat que la commercialisation pèse, elle, 18 %. Puisque les prix sont bas, il faut vendre beaucoup. D'où l'importance d'un bon réseau commercial, relayé par une presse médicale peu regardante sur les publi-reportages à l'heure de communication scientifique.

Certes, les ordonnances à rallonge sont une tradition



Trois boîtes, trois prix, mais la même molécule

Suivant le nom inscrit sur l'emballage, une même molécule peut être vendue plus ou moins cher. Si le principe actif ne change pas, une présentation différente de la pilule, l'éventuelle amélioration de sa posologie permettent au laboratoire de proposer au public un pseudo-nouveau médicament dont le prix aura parfois été multiplié par dix.

est tombé dans le domaine public depuis plus de vingt ans. Vendue aux Etats-Unis en tant que médicament libre de droit (médicament "générique"), la gélule d'Ibuprofène coûte au patient 17 centimes. Commercialisée en France par un laboratoire américain sous la marque Advil, elle passe à 58 centimes. Repris par un industriel français, l'Ibuprofène reçoit une AMM et se trouve vendu sous la marque Nurofen à 64 centimes la gélule. Non rem-

ment : plus de la moitié du "portefeuille" de molécules détenu par nos laboratoires est en passe de tomber dans le domaine public. Mais, «aujourd'hui, dit un cadre du SNIP, l'important n'est pas tant de trouver la molécule que de savoir la développer, la porter au stade du médicament, puis de vendre celui-ci au niveau international. Or, en France, nous n'avons pas de laboratoire pour mener la première phase de développement d'un principe actif, l'essai

française.

Mais, explique Jean-Pierre Lancry, du CREDES, «dans notre étude sur la consommation de pharmacie en Europe (1), nous avons constaté qu'en France on prescrivait toujours le médicament le plus cher. Ainsi, pour soigner l'hypertension artérielle, le médecin allemand restera fidèle aux diurétiques et aux bêtabloquants. Son confrère français indiquera, même si ce n'est pas nécessaire, les tout nouveaux inhibiteurs d'enzyme de conversion (IEC).» Cette étude montre aussi que les Français consomment deux fois plus d'anti-ulcéreux, d'IEC et d'antibiotiques que les Britanniques et les Allemands et trois fois plus de tranquillisants que leurs voisins européens (voir *Science & Vie* n° 856, p. 30).

Dans un rapport publié en 1995 (2), le président de la Mutualité

française, Jean-Pierre Davant, s'attaque au laxisme des pouvoirs publics, qui, selon lui, « ne surveillent même pas si les médicaments sont correctement prescrits ». Il donne l'exemple d'un produit dont l'emploi est recommandé lorsque que le patient atteint 3 g de cholestérol dans le sang. « Il est devenu courant de le prescrire à partir de 2,5 g, s'insurge-t-il. Le laboratoire qui le vend achète de pleines pages de publicité dans la presse médicale pour affirmer, de surcroît, que ce médicament permet de faire des économies ! » Une étude confidentielle a révélé que 97 % des hypercholestérolémiants n'étaient pas utilisés à bon escient. Une autre étude de la revue britannique *The Lancet* (13 novembre 1993) affirme que, parmi les 50 produits les plus prescrits, 46 en Grande-Bretagne, 35 en Allemagne, 26 en France et 25 en Italie ont fait la preuve de leur efficacité thérapeutique. Les autres n'ont pas d'efficacité clairement démontrée ou n'auraient pas dû être prescrits, tout simplement parce qu'il existe un médicament moins cher tout aussi efficace.

FORMATION CONTINUE POUR LES MÉDECINS

L'information des médecins ne doit plus passer uniquement par la presse spécialisée et par les visiteurs médicaux – l'informatisation des cabinets, en cours, va d'ailleurs faciliter cette information. Les pouvoirs publics songent aussi à obliger les praticiens à suivre une formation continue. Mais ces réformes n'auront des effets qu'à long terme. Pour contrer l'accélération des dépenses pharmaceutiques, deux solutions d'urgence s'imposent : l'autodiscipline du secteur commercial de l'industrie pharmaceutique et la promotion des « génériques ».

L'autodiscipline n'est pas pour demain. La décision d'Alain Juppé de taxer l'industrie pharmaceutique a enterré le donnant-donnant, pour tant novateur, signé en janvier 1994. En échange d'une hausse substantielle du prix du médicament, les in-

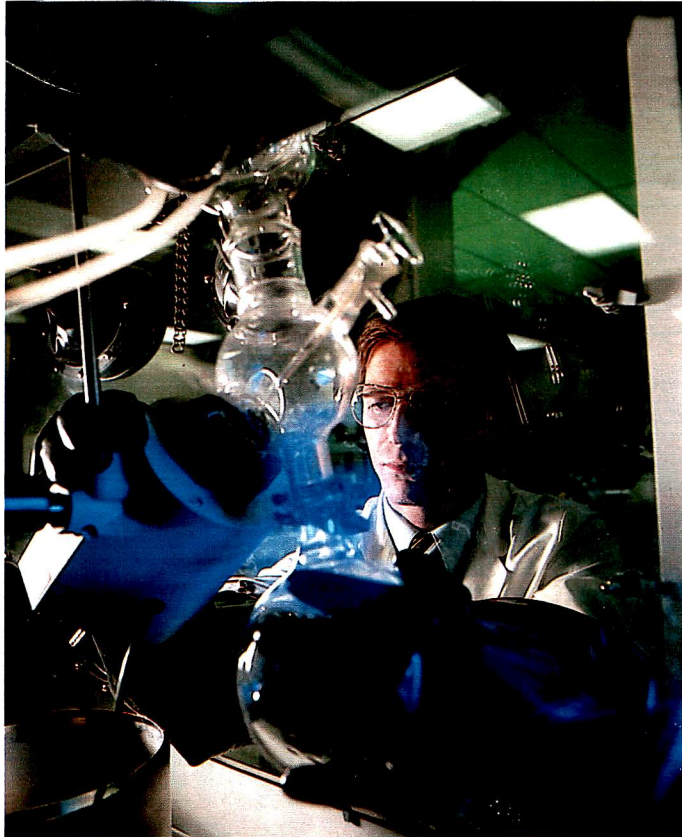
dustriels s'étaient engagés à vendre moins de boîte auprès des médecins et pharmaciens. Il s'agissait donc de réduire l'offre de médicament pour freiner la surconsommation médicale. Plus de la moitié des laboratoires ont signé, dans l'opacité la plus totale, des engagements particuliers. En effet, personne ne savait quels produits étaient concernés ni pour quels volumes. Après une petite décreue au cours du deuxième semestre 1994, la consommation est repartie à la hausse en 1995.

LES RIGUEURS DE LA LOI

La vente des génériques est une autre piste de réflexion. Ces molécules tombées dans le domaine public peuvent être vendues à un prix inférieur aux médicaments de marque. Malheureusement, en France, la vente d'une molécule sous son nom propre se heurte à de forts obstacles structurels.

La loi oblige, en effet, les médecins à prescrire une marque et non une molécule. Et les pharmaciens n'ont pas le « droit de substitution », c'est-à-dire qu'ils ne peuvent, de leur propre initiative, vendre la molécule de base à la place du produit de marque. Enfin, même si, aujourd'hui, en France, les prix des médicaments nouveaux ont rejoint les prix européens, les effets de dizaines d'années d'une politique de bas prix se font toujours sentir. Et il est bien difficile pour un industriel de commercialiser moins cher une molécule générique qui se vend déjà à vil prix sous un nom de marque. ■

(1) Par Thérèse Lecomte et Valérie Paris. CREDES, 1, rue Paul-Cézanne, 75008 Paris.
(2) Rapport du Comité de concertation sur le médicament, Mutualité française, 255 rue de Vaugirard, 75719 Paris Cedex 15. La Mutualité française regroupe 6 000 mutuelles et compte 12,5 millions d'adhérents. Elle rembourse 13 milliards de francs de médicaments par an.



M. FIELDING, J. M. THIEY FLOSPIL

Une recherche démotivée

Les laboratoires français de recherche pharmaceutique ne déposent pratiquement plus de brevets. Les nouvelles molécules sont découvertes à l'étranger, surtout au Japon.



La vie est aussi. Le virus d

vaginales ou le sang

Plus le nombre d

contact avec le virus

l'effet de chaîne. La

protéger les autres

vatif. Il empêche la

maladies sexuelle

Pour en parler, Sida

(appel confidentiel

Protégez-vous du sida

faite de rencontres. Le sida

ida se transmet par le sperme, les sécrétions

se transmet donc lors des relations sexuelles.

artenaires augmente, plus le risque d'être en

ugmente lui aussi. C'est ce qu'on pourrait appeler

açon la plus sûre, alors, de se protéger et de

'est d'utiliser systématiquement un présér-

ransmission du virus du sida (VIH) et des

ment transmissibles (MST).

nfo Service au 05.36.66.36

nonyme et gratuit).

rotégez les autres.



ASTRONOMIE

A la rencontre des astéroïdes

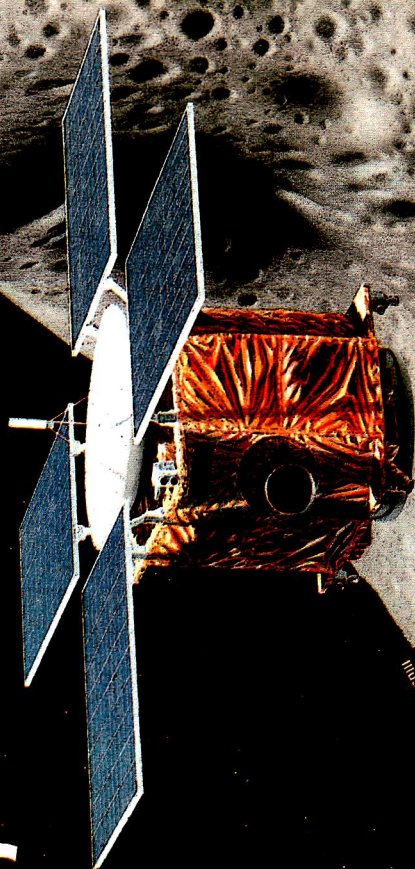



Illustration L. BRET



■ Les astéroïdes sont probablement les vestiges d'une époque où la Terre n'existait pas. La sonde américaine *NEAR* va percer une partie de leur mystère, pour mieux comprendre la formation de l'ensemble des planètes.

PAR PHILIPPE HENAREJOS

Il y aura bientôt deux siècles que les astronomes ont découvert l'existence des astéroïdes dans le système solaire. Pourtant, bien que la sonde *Galileo* en ait photographié deux de très près – Gaspra et Ida –, ils restent mystérieux. Ces petits corps rocheux regroupés, pour la plupart, dans une "ceinture" située entre les orbites de Mars et de Jupiter gardent les secrets de leur origine, de leur évolution et de leur composition. Comme les comètes et les météorites, ils sont vraisemblablement les restes d'une époque où la Terre n'existait pas. Et sont censés témoigner de la manière dont les planètes sont apparues.

Pour toutes ces raisons, il devenait indispensable aux astronomes ■ ■ ■

■ ■ ■ d'envoyer une sonde à leur rencontre. C'est chose faite avec *NEAR* (Near Earth Asteroid Rendezvous), la première mission du nouveau programme d'exploration Discovery de la NASA. Mais le

Une trajectoire astucieuse pour pallier un petit budget

temps des épopées ambitieuses et coûteuses est révolu. *NEAR* s'inscrit dans la gamme, désormais unique, des petites sondes mises au point en moins de trois ans, qui reviennent au maximum à 150 millions de dollars.

Avec une masse totale de 805 kg, dont seulement 60 kg d'instruments scientifiques, elle devrait avoir pris la route des étoiles, le 16 février dernier, du sommet d'une modeste fusée *Delta II* lancée de cap Kennedy. Objectif : l'astéroïde 433 Eros (), un "ballon de rugby" de 14 x 14 x 40 km découvert en 1898, qui tourne sur lui-même en 5 heures 27 minutes et a la fâ-

cheuse tendance à venir flirter périodiquement avec l'orbite de la Terre. Evoluant entre 1,78 et 1,13 UA (°) du Soleil, il appartient aux astéroïdes de la famille Apollo, dont les trajectoires coupent celle de notre planète, lui faisant courir le risque d'une collision.

«Ejecté de la ceinture d'astéroïdes par les perturbations gravitationnelles de Jupiter, Eros suit une orbite instable, précise Jean-Pierre Barriot, ingénieur du Centre national d'études spatiales (CNES) à l'observatoire de Midi-Pyrénées. Son destin peut être de s'écraser sur le Soleil ou même de s'échapper du système solaire.»

Malgré la proximité relative d'Eros, *NEAR* ne l'atteindra qu'en janvier 1999, au terme d'un périple de trois ans. La cause de ce long trajet réside, là encore, dans les restrictions budgétaires imposées à la NASA. Un envoi de la sonde en ligne directe vers sa cible aurait en effet exigé beaucoup plus de carburant nécessitant l'emploi d'une fusée plus puissante, donc plus chère. Les ingénieurs ont contourné la difficulté en utilisant la vitesse de la Terre. Une faible impulsion supplémentaire a suffi à placer la sonde

sur une orbite solaire qui la conduira, le 27 juin 1997, à la hauteur de la ceinture principale, où elle croquera furtivement 253 Mathilde, un gros astéroïde quasi sphérique. Une correction de trajectoire la fera alors revenir vers la Terre, qu'elle survolera à seulement 478 km d'altitude, le 22 janvier 1998. Poursuivant sa ronde autour du Soleil, elle arrivera à destination exactement un an plus tard.

«La sonde se mettra alors en orbite autour d'Eros à environ 2 000 km de distance, reprend Jean-Pierre Barriot. Grâce à cette orbite lointaine, nous allons pouvoir mesurer la masse de l'astéroïde, que nous ignorons complètement. Ensuite, progressivement, la sonde se rapprochera. Les variations de vitesse de l'engin, enregistrées par les décalages de fréquences radio, nous fourniront des détails de plus en plus précis sur la gravité d'Eros. Enfin, l'orbite sera stabilisée à une distance de 30 à 40 km du centre de l'objet.»

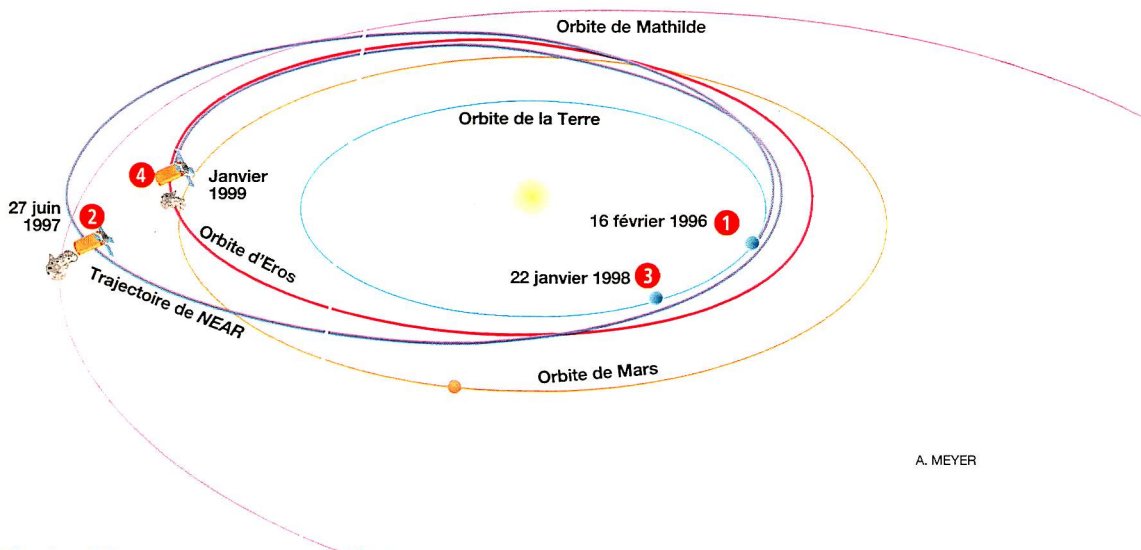
Les mesures effectuées dès que l'orbite éloignée aura été atteinte donneront une première idée de la densité et de la structure interne de l'astéroïde. La caméra embarquée, alors mise en action, servira essentiellement à la navigation "à vue" du vaisseau. Encore trop loin pour déceler des détails significatifs de la surface, elle pourra cependant chercher à savoir si, comme Ida,

Quand la Terre n'existait pas...

Il y a plus de 4,5 milliards d'années, lorsque la Terre n'existait pas encore, le système solaire ne contenait que des astéroïdes et des comètes, qui, en s'agglutinant, formèrent les planètes.

D. HARDY / COSMOS





A. MEYER

Voir Eros et mourir

Après son lancement, le 16 février 1996 ①, *NEAR* profitera de la vitesse de la Terre pour suivre une orbite solaire et atteindre la ceinture d'astéroïdes, où elle survolera 253 Mathilde ② le 27 juin 1997. Elle repassera au voisinage de la Terre ③ le 22 janvier 1998, avant de se satelliser autour de 433 Eros en janvier 1999 ④ pour procéder, pendant un an, à la première exploration systématique d'un astéroïde. Avant de disparaître à jamais.

Eros possède de petits satellites. C'est seulement lorsque *NEAR* parviendra à l'altitude de 100 km que la première carte générale de l'astéroïde sera réalisée, avec une résolution de 12 m.

Une fois stabilisée à 35 km, la sonde commencera véritablement sa mission. Des détails d'environ 3 m apparaîtront sur les images. Grâce à sept filtres de couleur (donnant sept spectres lumineux), des variations de composition des structures géologiques ressortiront. Ces mesures, corréliées avec celles d'un spectromètre infrarouge observant entre 800 et 2 700 nanomètres (nm) et avec celles d'un spectromètre en rayons X et γ , donneront la dis-

tribution, l'abondance et la composition des minéraux. L'histoire de la formation d'Eros pourra être reconstituée. Et l'origine de tous les astéroïdes et leur relation avec les météorites s'éclaircira.

Car, pour l'instant, si les astronomes ont quelques idées sur les processus d'apparition des astéroïdes, ils n'ont que peu de moyens de les vérifier. «Au début du siècle, le fait que la grande majorité des astéroïdes soient regroupés entre Mars et Jupiter laissait croire qu'ils étaient nés d'une planète brisée lors d'une collision, précise Antonella Barucci, astronome à l'Observatoire de Paris-Meudon. Mais, aujourd'hui, nous pensons plutôt qu'il s'agit de planètes qui n'ont jamais pu se former, à cause des perturbations gravitationnelles engendrées par Jupiter. Il en résulte que beaucoup d'astéroïdes sont sans doute des objets originaux du système solaire.»

En effet, selon les modèles couramment admis, peu après la formation du Soleil, il y a 4,5 milliards

d'années, dans le disque de gaz et de poussières en rotation qui l'encerclait, des processus d'accrétion ont commencé. Les particules se sont agglomérées pour former des grains de plus en plus gros. En quelques millions d'années, des blocs de plusieurs kilomètres de diamètre ont apparus. «A moins de 3 UA du Soleil, le gaz a été volatilisé par la chaleur et seules les poussières sont restées pour former des astéroïdes rocheux, explique Antonella Barucci. Au-delà, la température était suffisamment basse pour que des grains de glace subsistent. Mélangés à de la poussière, ils ont formé des comètes. Les astéroïdes et les comètes ont donc été façonnés par les mêmes mécanismes, et leur différence n'est due qu'à des disparités de température.»

GLACE ET POUSSIÈRES

Le lien de parenté entre astéroïdes et comètes est d'ailleurs de plus en plus évident, puisque certaines comètes semblent contenir de grandes quantités de poussières et que les astéroïdes les plus éloignés de la ceinture principale contiennent de la glace. A mi-chemin entre les deux, la comète de Wilson-Harrington, découverte en 1949, a été

(¹) Chaque astéroïde porte un nom, précédé de son numéro d'ordre de découverte. Eros est le 433^e.

(²) Une unité astronomique équivaut à la distance de la Terre au Soleil, environ 150 millions de kilomètres.

■ ■ ■ “retrouvée” en 1979 en tant qu’astéroïde (voir photo ci-contre).

L’accrétion des astéroïdes et des comètes – également nommés planétésimaux – a donné naissance aux planètes telluriques, près du Soleil, et aux planètes géantes gazeuses, plus loin. En quelques centaines de millions d’années, la plupart des planétésimaux ont été attirés par les planètes et ont disparu. Sauf à la hauteur de la ceinture d’astéroïdes, où aucune planète ne s’est formée.

Vus de la Terre, dans les plus puissants télescopes, les milliers d’astéroïdes connus ne se montrent que sous la forme de petits points. La photométrie et l’astronomie infrarouge, depuis le sol, ont cependant permis d’obtenir sur eux quelques informations générales et d’établir une classification. Ainsi,

En survolant Gaspra et Ida, Galileo a ouvert la voie à NEAR

les astéroïdes de type C, les plus nombreux (environ 60 % de la population), sont les plus sombres. Leur faible pouvoir de réflexion de la lumière solaire est dû à leur composition : des silicates hydratés (poussières et eau) et du carbone (qui assombrir). Ils se localisent dans la région externe de la ceinture principale, à environ 4 UA du Soleil. Les météorites chondrites carbonées les plus primitives du système solaire) retrouvées sur Terre, offrent des analogies spectrales avec ces astéroïdes, ce qui suggère qu’elles en sont issues. Les astéroïdes de type S (dont fait partie Eros), qui représentent 30 % de la population, occupent la région interne de la ceinture principale, autour de 2 UA. Ce sont des corps rocheux constitués d’olivine et de pyroxène (des minéraux), avec quelques pour-cent de fer et de nic-



D.R.

La comète aux deux visages

Découverte en 1949 sur ce cliché, la comète Wilson-Harrington est revenue en 1979. Mais elle a d’abord été prise pour un astéroïde : entre-temps son noyau avait en effet cessé toute activité. Une preuve du lien de parenté entre les comètes et les astéroïdes.

kel. Les météorites pierreuses leur sont associées. Il existe aussi des astéroïdes très fortement métalliques (classe M), contenant surtout du fer et du nickel, qui donnent probablement les météorites métallo-pierreuses. Enfin, quelques astéroïdes, tels que Vesta, restent inclassables.

Ces différents types suggèrent que tous les astéroïdes ne datent pas du système solaire primitif. Ils résulteraient de la fragmentation de corps assez gros (au minimum 200 km de diamètre) pour avoir subi une différenciation ⁽³⁾. De ce fait, certains astéroïdes rocheux de type S pourraient correspondre à des morceaux de manteau et des astéroïdes métalliques de type M s’apparenteraient à des parties internes, ou noyaux.

L’observation de Gaspra et d’Ida par la sonde *Galileo* est venue renforcer cette thèse. Le nombre de cratères d’impact à leur surface a révélé des âges relativement jeunes : respectivement 1 et 200 millions d’années. De plus, la présence d’un satellite – baptisé *Dactyl* – autour d’Ida semble montrer que les deux objets proviennent d’une même fragmentation. Sinon, les astronomes ne voient pas com-

ment Ida, dont la gravité est très faible, aurait pu capturer son compagnon. « Enfin, note Antonella Barucci, si Ida était un objet primitif, vu sa taille assez petite, il n’aurait pas dû, statistiquement, survivre jusqu’à aujourd’hui. Il aurait forcément heurté d’autres astéroïdes et aurait été détruit. »

CORPS PRIMITIF OU DÉBRIS D’UN ASTRE ?

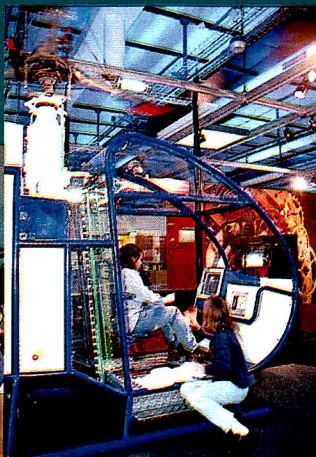
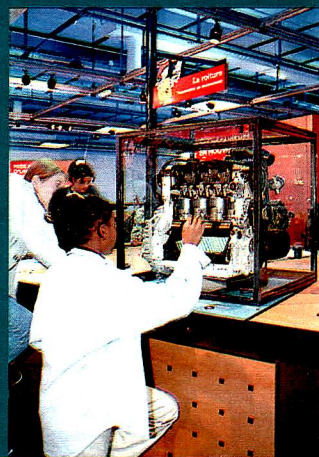
L’exploration minutieuse d’Eros par *NEAR* devrait préciser s’il s’agit d’un corps à part entière ou s’il s’est détaché d’un astre plus gros. Quelle que soit la réponse, sa structure trahira sans doute la manière dont se forment une partie de ces rochers de l’espace. Des observations radio des astéroïdes Castalia, Hector ou Toutatis et la rencontre *Galileo*-Gaspra font penser qu’un certain nombre d’astéroïdes sont constitués de deux corps qui se sont rapprochés lentement jusqu’à n’en faire plus qu’un seul. Ces astéroïdes “bicéphales” témoigneraient du processus d’accrétion par lequel tous les corps du système solaire se seraient formés.

NEAR ne lèvera qu’un coin de voile. En 2003, la mission européenne *ROSETTA*, à destination de la comète Wirtanen, en fera autant. Mais l’univers des astéroïdes reste tout entier à découvrir. ■

(3) Sous l’effet de la chaleur due à la force de gravité, les éléments lourds, tels que les métaux, sombrent pour former un noyau. Les éléments plus légers, comme les silicates, restent en surface pour former un manteau.

Mettre au point un prototype
Fabriquer un casse-tête
Stimuler des capteurs
Concevoir un logiciel
Actionner des mécanismes

Techno cité c'est excitant



60 manipulations
pour découvrir
la technologie

Vous avez 11 ans et plus,
découvrez Techno cité :

- seul, avec vos amis ou en famille,
les mercredis et samedis après-midi
et pendant les vacances scolaires ;
- avec votre classe de collège,
du mardi au samedi,
sur réservation au 3615 Villette *.

Séance d'1 h 30

cité des Sciences
et de l'Industrie
La Villette
Paris

Ouverte tous les jours
 de 10h à 18h, sauf lundi
 Tél. : 36 68 29 30 *
 ou 36 15 Villette **

L'atome est-il divisible à l'infini?

■ Coup de tonnerre dans le ciel de la physique. On croyait que le quark était l'ultime particule, or, d'après une expérience américaine, il serait lui-même constitué de "sous-quarks". Le Modèle standard de la physique fondamentale tremble sur ses bases!

PAR HÉLÈNE GUILLEMOT

Les quarks sont des corpuscules que les physiciens considéraient, il y a seulement quelques semaines, comme les ultimes et indivisibles constituants de la matière (voir *Science & Vie* n° 916, p. 42, et n° 931, p. 6). En fait, ils ne seraient pas si élémentaires que ça : telle est l'excitante conclusion d'une expérience conduite dans l'accélérateur géant Tevatron du laboratoire Fermi, près de Chicago, et rapportée par l'hebdomadaire spécialisé américain *Science* dans son numéro du 9 février. Moins d'un an après la découverte, dans ce même "Fermilab", du sixième et dernier quark – le "top" –, qui mettait magnifiquement un terme au tableau des particules élémentaires, l'édifice semble s'écrouler. La quête de l'élémentarité repartirait de plus belle vers le toujours plus petit...

DE DÉMOCRITE À RUTHERFORD

Le conditionnel s'impose, car l'existence de "sous-quarks" n'est encore que l'une des hypothèses proposées pour expliquer d'étranges anomalies dans le résultat de l'expérience CDF (Collider Detector at Fermilab). Mais l'hypothèse

émoustille déjà les physiciens des particules, un peu las des succès répétés et sans surprise du trop fameux Modèle standard, l'édifice théorique qui décrit les particules et les forces élémentaires de la matière. « Enfin il se passe quelque chose ! Un événement imprévu va ébranler cette forteresse théorique », pensent tous les physiciens.

La nature semblait donner raison à la superbe intuition du philosophe grec Démocrite (460-370 avant notre ère), qui, le premier, imagina que toute la matière était composée d'atomes insécables (le mot atome signifie en grec "qu'on ne peut couper"), assemblés de diverses manières, au moyen de "crochets", pour former l'infinie variété de tous les objets qui nous entourent. Il fallut attendre la fin du XIX^e siècle pour voir se confirmer la réalité des atomes, ultimes constituants de la centaine d'éléments chimiques qui composent la table de Mendeleïev (de l'hydrogène à l'uranium, en passant par le carbone, le fer ou l'or).

Mais il a suffi de quelques années pour que les progrès de la physique détruisent le mythe non pas de l'atome mais de son caractère insécable. C'est d'abord, en 1897, la découverte de l'électron, premier cor-

Trois quarks, et après...

Ceci est la représentation des trois quarks d'un proton. On les croyait élémentaires. L'expérience américaine va-t-elle remettre ce dogme en question ?



ARSCOMED

■ ■ ■ puscule subatomique. Puis, en 1911, le prix Nobel de chimie britannique Ernest Rutherford élucide la structure de l'atome. Son expérience, célèbre et magistrale, vaut d'être racontée, car c'est l'ancêtre de bien des expériences de physique des particules, y compris, peut-être, de celle du Fermilab...

Pour sonder les atomes, Rutherford a eu en effet l'idée de bombarder une mince feuille d'or avec des particules α émises par du radium. Il remarque que, si la plupart des particules α sont faiblement déviées en traversant la feuille, une minorité d'entre elles subissent au contraire une forte déviation et parfois même bondissent en arrière, comme si elles avaient heurté quelque chose de dur... Rutherford comprend que les atomes qui constituent la feuille d'or ont une structure très peu homogène : ils sont formés d'un noyau central, petit, très massif et de charge électrique positive,

autour duquel gravitent des électrons, légers et négatifs – si bien que le volume des atomes est en réalité essentiellement du vide !

Vingt ans plus tard, les physiciens dévoilaient la structure du noyau atomique : il est constitué de deux sortes de particules, les protons (positifs) et les neutrons (neutres).

DES GERBES DE HADRONS

C'est seulement dans les années 60 que sera franchi le pas suivant sur le chemin de l'élémentarité. En bombardant des particules cibles avec des particules projectiles dans des accélérateurs, les scientifiques se trouvent confrontés à toute une ménagerie d'étranges particules issues de ces réactions, la plupart d'entre elles appartenant à la même famille que les protons et les neutrons (la famille des hadrons). La situation s'éclaircit beaucoup quand les théoriciens américains Murray Gell-Mann et George Zweig suggèrent que les hadrons

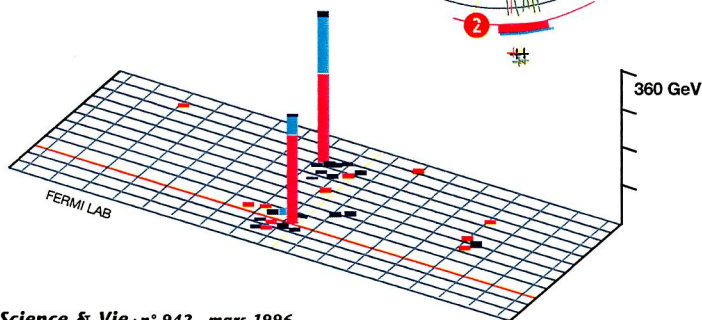
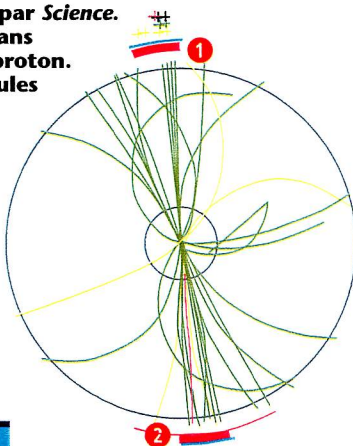
ne sont pas élémentaires, mais qu'ils sont formés de sous-particules, qu'ils baptisent quarks (d'après le nom de personnages du romancier irlandais James Joyce). Avec seulement trois sortes de quarks ("u", "d" et "s"), on peut reconstituer le proton, le neutron et tous les autres hadrons connus à l'époque. Plus tard, trois autres quarks, "c", "b" et "t", viendront compléter le tableau.

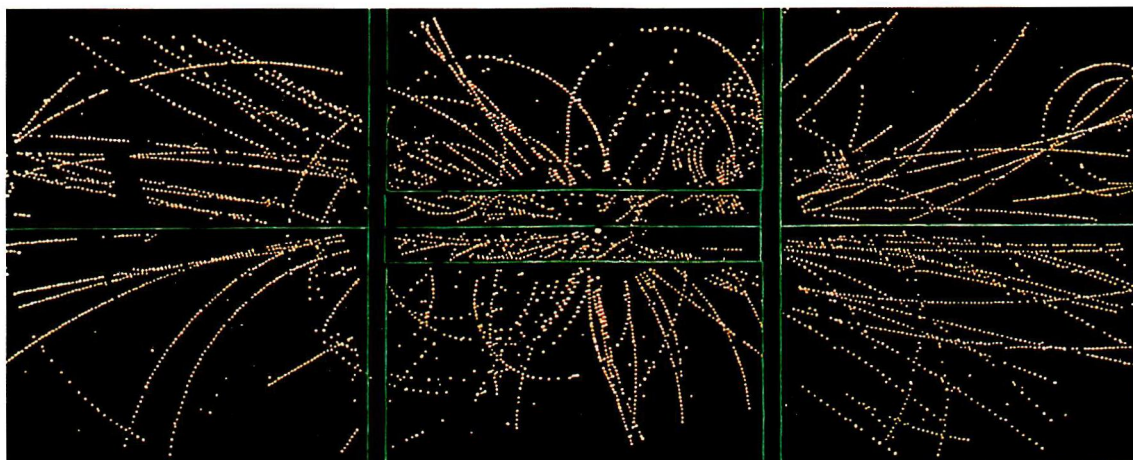
Pourtant cette construction séduisante avait un défaut majeur : il était impossible d'isoler les quarks. A défaut de les extirper de leur hadron, ce qui est en réalité impossible (à cause d'une propriété qui leur est spécifique, le "confinement"), on réussit quand même à les détecter à l'intérieur même des protons, en 1967, dans l'accélérateur linéaire de Standford (Californie). Depuis, les physiciens ont édifié une théorie décrivant la "force forte", qui lie les quarks à l'intérieur des hadrons par l'intermédiaire de particules nommées gluons (parce qu'ils "collent" les quarks entre eux).

Plus de vingt ans après, au Fermilab, des protons et des antiprotons tournent en sens contraire à une vitesse très proche de celle de la lumière, pour se heurter dans des collisions qui libèrent une énergie de 1,8 Tev (1 800 milliards d'électronvolts), d'où le nom de Tevatron donné à cet accélérateur, aujourd'hui le plus puissant du monde. A ces énergies colossales, «chaque proton peut être considéré comme un petit faisceau de quarks et de gluons», explique John Ellis, théoricien au CERN (le laboratoire européen de physique des particules, près de Genève). Et il en va de même pour chaque antiproton, ce qui donne des collisions plutôt compliquées entre quarks, antiquarks, gluons et antigluons ! L'énergie libérée dans ces chocs se rematérialise immédiatement en toutes sortes de particules, surtout en quarks (et en antiquarks) qui, ne pouvant vivre seuls, engen-

Une première preuve ?

Voici le document publié par Science. Il montre une anomalie dans une collision proton-antiproton. Dans les traces des particules issues de cette collision (ci-contre), on voit deux "jets" étroits d'énergie anormalement élevée (424 et 371 GeV), ① et ②, représentés par les deux pics du diagramme ci-dessous. L'anomalie pourrait être due à l'existence de sous-particules à l'intérieur des quarks.





CERN

Les collisions lèvent le voile

Quand un proton et un antiproton se heurtent à haute énergie, ils s'annihilent mutuellement et l'énergie dégagée se matérialise dans la création de plusieurs dizaines de particules. C'est lors d'une expérience similaire au Fermilab qu'est apparue la fameuse anomalie (voir documents page ci-contre).

drent des gerbes de hadrons, des "jets" dans le jargon des physiciens.

Or, depuis plusieurs mois, l'expérience CDF met en lumière « un nombre étonnamment élevé de collisions violentes entre quarks ». Plus précisément, il y a une proportion anormalement forte de jets très énergétiques concentrés dans des angles très étroits (voir schéma page ci-contre). « C'est précisément le genre d'effet qu'on observerait si les quarks étaient non pas des particules fondamentales mais possédaient une structure interne », commente, dans *Science*, le porte-parole de l'expérience, William Carithers.

L'expérience serait alors un *remake* de celle de Rutherford : les chocs violents révéleraient des interactions entre sous-quarks à l'intérieur des quarks, tout comme les particules α très déviées témoignaient de l'existence du noyau atomique.

En fait, si les physiciens de l'expérience CDF affirment clairement qu'il y a bien un excès de collisions violentes au Tevatron, il est encore trop tôt pour en déduire l'existence révolutionnaire des sous-quarks. Le texte de présentation de *Science* est prometteur, mais l'article proprement scientifique est beaucoup plus prudent. Car, à en croire John Ellis, il existe plusieurs autres explications, moins fantastiques mais plus probables. Il faut d'abord reconsidérer le Modèle standard, et chercher à savoir si l'on n'a pas oublié, ou sous-estimé, certains effets

qui expliqueraient les anomalies.

Il pourrait également exister une particule lourde jusqu'alors inconnue (un "cousin" du boson faible Z^0 , la particule qui véhicule la force dite faible). La désintégration de cette particule serait responsable du taux apparemment élevé d'interactions à haute énergie. L'existence d'une telle particule pourrait en outre justifier d'autres petites anomalies, observées cette fois dans une expérience du CERN. Et elle n'exigerait que de légères modifications du Modèle standard.

C'est seulement si ces explications "banales" sont rejetées qu'on pourra envisager sérieusement des hypothèses plus spéculatives, telle que la "non-élémentarité" des quarks. Ces précautions feraient croire que les physiciens sont d'incorrigibles conservateurs, accrochés à leur cher Modèle standard. En réalité, ils ne sont pas dupes. Ils savent bien que le fameux Modèle n'est pas "la" théorie définitive de la physique des particules et des forces, ne serait-ce que parce qu'il n'inclut pas la gravitation et n'explique pas, par exemple, les masses et les charges des particules.

Cependant, aucune loi physique n'interdit que les quarks possèdent

une étendue et une structure interne. Alors se posent les inévitables questions (méta ?) physiques. Cette course s'arrêtera-t-elle un jour ? Trouvera-t-on des particules vraiment élémentaires, ou la matière se subdivise-t-elle à l'infini ? La réponse des physiciens est à la fois pragmatique et vertigineuse. Au-

Autre hypothèse : une particule lourde...

jourd'hui, les énergies délivrées par le Tevatron permettent d'explorer la matière jusqu'à l'échelle de 10^{-17} cm. Mais plus l'énergie augmente, plus on progresse vers les petites dimensions. Jusqu'où ?

D'autre part, lorsqu'on cherche à unifier les théories quantiques régissant le monde des particules et la relativité générale d'Einstein, qui décrit la gravitation à l'échelle de l'Univers, les calculs donnent une dimension (10^{-33} cm) où toutes les forces se rejoignent. S'il y a une taille minimale, c'est peut-être celle-là, ce qui laisse une certaine marge... ■

**Le Professeur Luc MONTAGNIER ouvre
le 1er Centre Recherche & Traitement,
à l'hôpital Saint Joseph Paris**

**Son but : faire en sorte que le SIDA soit arrêté
au stade d'une infection chronique,
qu'il n'y ait plus de SIDA conduisant à la mort.**

AIDONS LA RECHERCHE

Sans intermédiaires

AIDONS L'ESPOIR

FONDATION MONDIALE RECHERCHE ET PRÉVENTION SIDA



Oui, je souhaite aider la recherche, aider l'espoir,

Je fais un don de : ☐ 200 F ☐ 500 F ☐ 1 000 F ☐ Autres : F

par : ☐ Chèque bancaire ☐ Chèque postal ☐ Virement CCP 11-12

(Chèque à l'ordre de la Fondation Mondiale Recherche et Prévention SIDA)

Nom : Prénom :

Adresse

Code Postal : Ville :

Bulletin à découper et à retourner accompagné de votre don à :

Fondation Mondiale Recherche et Prévention SIDA, BP 500, 75726 Paris Cedex 15.

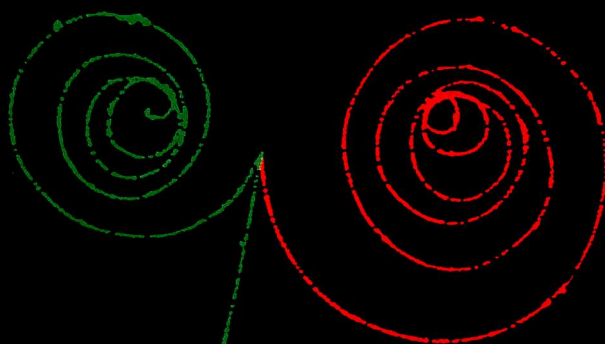
VOUS RECEVREZ UN RECU FISCAL.

Complément à la loi N078-17 du 16 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification pour toute information vous concernant figurant sur notre fichier. Il suffit de nous écrire.

Cette page est offerte par le magazine Science et Vie

DOSSIER ANTIMATIÈRE

Au seuil de l'antimonde



Un rayon γ vient de donner naissance à de la matière (un électron, en vert) et à de l'antimatière (un positron, en rouge)



Grande première au CERN de Genève : les **physiciens** viennent d'assembler des **antiélectrons** et des **antiprotons** pour former les neuf premiers **antiatomes d'hydrogène**. L'aboutissement d'une longue quête. Et l'amorce de la réponse à une question clé : l'**antimonde** respecte-t-il les mêmes lois que notre monde ? On savait qu'au mo-

ment du big bang, il existait dans l'Univers autant de matière que d'**antimatière**. Mais justement la nature a choisi la première. Pourquoi ? Comment ? L'expérience du CERN va permettre de mieux le comprendre. Du coup, on se prend à imaginer l'impossible : ira-t-on demain visiter les étoiles, à bord de vaisseaux propulsés par l'**antimatière** ? Ce "carburant" très spécial ne manque pas d'arguments. Et fait déjà rêver quelques ingénieurs...

**Ils ont créé
des
antiatomes**
p. 58

**Pourquoi le monde
a vaincu
l'antimonde**
p. 62

**Du carburant
pour visiter
les galaxies**
p. 68



ILS ONT CRÉÉ DES ANTI-

■ On connaissait déjà les antiparticules. Les physiciens viennent d'assembler des antiélectrons

et des antiprotons pour former les premiers antiatomes d'hydrogène. L'aboutissement d'une longue quête. Et une étape décisive dans la compréhension de l'Univers.

PAR HÉLENE GUILLEMOT

Neuf antiatomes ont vécu, l'espace de quelques milliardièmes de seconde, à l'intérieur d'un accélérateur du CERN (le Centre européen de recherche sur la physique des particules). Ces antiatomes d'hydrogène, les premiers créés par l'homme, sont-ils les seuls de l'Univers? Ou bien ont-ils, quelque part, des frères naturels que nous ignorons, au sein d'un antimonde, symétrique du nôtre, qui n'a jamais laissé entrevoir le moindre signe de son existence? Mystère. En un sens, le plus extraordinaire n'est pas qu'on ait réussi à fabriquer de l'antimatière, c'est bien qu'il n'y ait pas davantage!

PREMIÈRE APPARITION DANS UNE ÉQUATION EN 1931

Car les lois de la physique sont symétriques. Et l'on voit mal pourquoi elles auraient façonné un monde unilatéral uniquement composé de matière (voir "Pourquoi le monde a vaincu l'antimonde", p. 62).

L'antimatière a d'abord été une théorie avant d'être matérialisée en laboratoire. C'est dans une équation qu'elle a fait sa première apparition, en 1931. En ces décennies 20 et 30, qui furent l'âge d'or de la physique contemporaine, chaque année apportait sa moisson de nouvelles particules et de découvertes "révolutionnaires" sur la structure de l'atome. La toute nouvelle théorie quantique révélait le comportement étrange et paradoxal de ce monde microscopique.

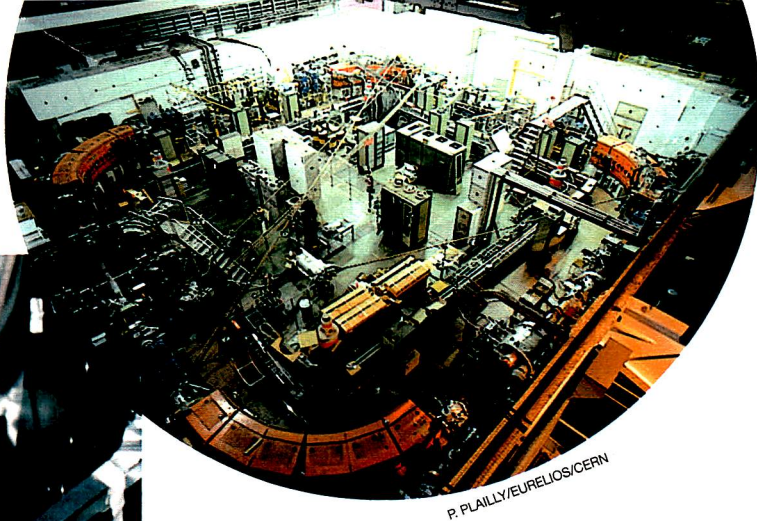
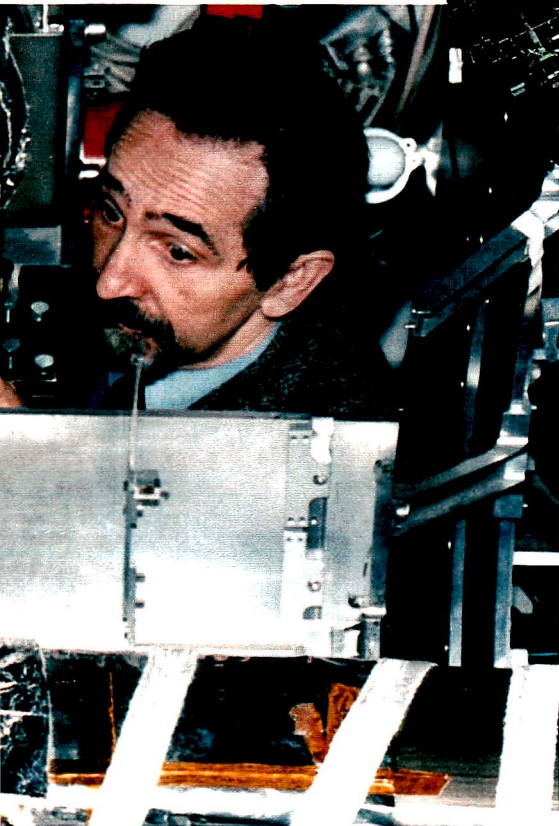


CERN

Un jeune mathématicien britannique, Paul Dirac (1902-1984), cherchait alors à décrire mathématiquement le comportement des électrons, en conciliant les deux grands principes de la physique moderne : la théorie quantique et la relativité restreinte d'Einstein (qui s'applique aux objets dont la vitesse est proche de celle de la lumière). Dirac voulait en fait généraliser l'équation quantique de l'électron, de sorte qu'elle s'applique aussi à un électron très rapide, « relativiste » comme disent les physiciens. Il trouva effectivement une magnifique équation, à la fois quantique et relativiste, qui, de surcroît, faisait apparaître spontanément, comme par miracle, des propriétés de l'électron qu'on avait mesurées par l'expérience.

Pourtant cette équation souffrait d'une incohérence apparente : elle admettait deux solutions, l'une décrivait un électron "normal", l'autre semblait correspondre à une particule d'énergie négative. Ce qui est rigoureusement impossible, car, si l'énergie était négative, la

ATOMES



P. PLAILLY/EURELIOS/CERN

Ici est née l'antimatière

Dans l'accélérateur d'antiprotons LEAR du CERN, à la forme d'un carré aux coins arrondis (ci-dessus), les deux responsables de l'expérience, Walter Oelert (à gauche) et Mario Macri, montrent le point précis où les antiprotons (circulant dans le tube horizontal) ont heurté les noyaux de xénon (injectés dans le tuyau perpendiculaire), donnant ainsi naissance à quelques rares antiatomes d'hydrogène.

matière, qui tend à avoir l'état d'énergie le plus bas possible, s'effondrerait sur elle-même. De plus, un électron d'énergie négative serait affublé d'une fréquence négative (en physique quantique, toute particule est associée à une onde, dont la fréquence est proportionnelle à l'énergie de la particule). Ce qui revient à dire qu'il remonterait le temps ! Or la relativité repose sur un principe intangible : la cause doit toujours précéder l'effet. Dans ce cadre, le renversement, du temps, qui implique que l'effet précède la cause (le film passant à l'envers), est inacceptable.

Malgré ces apparentes contradictions, Dirac ne voulait pas abandonner son équation, par ailleurs si satisfaisante. Aussi proposa-t-il une autre interprétation, qui retournait la situation. Une particule d'énergie négative remontant le temps est mathématiquement équivalente à une particule d'énergie positive parcourant le temps dans le bon sens, qui aurait la même masse mais une charge électrique opposée : un élec-

tron de charge positive et non plus négative, autrement dit un antiélectron.

Moins d'un an plus tard, en étudiant le rayonnement cosmique, l'Américain Carl Anderson – qui ignorait tout de l'audacieuse hypothèse de Dirac – observe sur un cliché de détecteur la trace d'une particule inconnue. Sa courbure, dans le champ magnétique de la chambre, désignait une particule positive, mais de masse égale à celle d'un électron : c'était l'antiélectron (également appelé positron, ou encore positon) prédit par Dirac ! En fait, cette particule étrange était issue d'un rayon cosmique qui, en entrant en contact avec les atomes de l'atmosphère, avait "matérialisé" une partie de son énergie en une paire électron-positron. En effet, les rares antiparticules naturelles qu'on observe sur Terre sont des produits "secondaires" des particules cosmiques.

TOUTE PARTICULE POSSÈDE UNE ANTIPARTICULE

Plus tard, généralisant son équation, Dirac montrera que, dans le cadre d'une théorie à la fois quantique et relativiste, la matière doit nécessairement posséder une image symétrique. Autrement dit, toute particule admet une antiparticule dont toutes les charges sont opposées. ■ ■ ■



■ ■ ■ “Les” charges, et pas seulement la charge électrique ! Si cette dernière est bien connue, les autres “charges” sont des propriétés purement quantiques (agissant au niveau microscopique), qui déterminent l’identité de chaque particule, mais n’ont pas de tra-

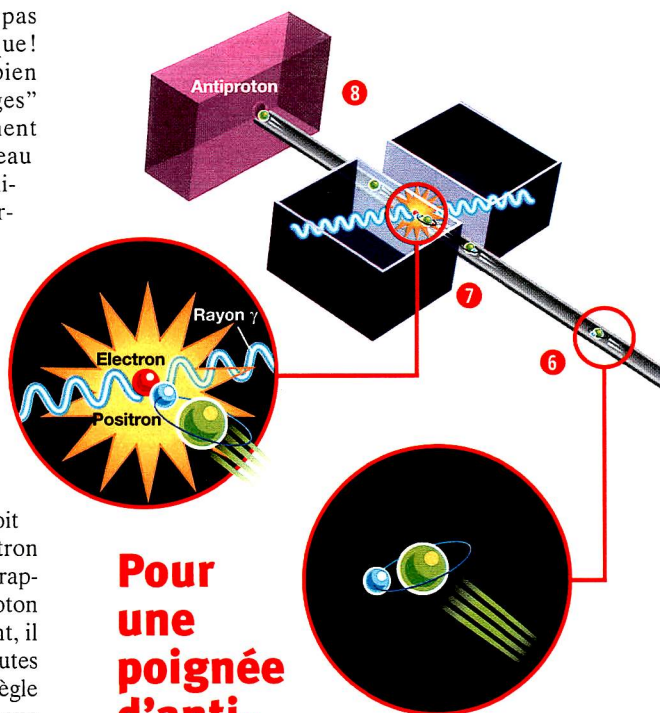
duction dans le monde qui nous est familier (macroscopique).

Ainsi, de même que la charge électrique définit la façon dont la particule réagit vis-à-vis de la force électromagnétique, les autres charges (appelées isospin, charge de couleur, hypercharge...) caractérisent la particule vis-à-vis d’autres interactions, cantonnées au niveau microscopique. Ainsi, bien que le neutron soit électriquement neutre, il existe un antineutron dont le moment magnétique est inversé par rapport à celui du neutron. En revanche, le photon n’a pas d’antiparticule, ou, plus exactement, il est lui-même sa propre antiparticule, car toutes ses charges sont nulles. Jusqu’à présent, la règle s’est toujours vérifiée : toute particule connue possède bien une antiparticule.

DES MILLIARDS DE COLLISIONS EN TROIS SEMAINES...

Depuis la découverte de l’antiproton, en 1955, l’antimatière s’est banalisée, puisque les physiciens ont appris à la fabriquer (par des chocs de particules), à la récupérer et à l’utiliser sous forme de faisceaux pour provoquer de nouvelles collisions. Plusieurs collisionneurs électrons-positrons ont ainsi été construits à travers le monde, le plus puissant étant le LEP du CERN. Car les antiparticules ont un grand avantage pratique : elles permettent de réduire de moitié les systèmes d’accélération électrique et de guidage magnétique des collisionneurs. En effet, les électrons et les positrons ayant des charges électriques opposées, un unique champ électrique et un unique champ magnétique imposent aux deux faisceaux des trajectoires rigoureusement inversées.

Poursuivant un objectif analogue, le physicien néerlandais Simon Van der Meer trouva le moyen, en 1975, de réaliser des faisceaux denses d’antiprotons, ce qui permit de transformer un cyclotron du CERN en collisionneur protons-antiprotons. C’est dans ce collisionneur qu’une équipe internationale dirigée par Carlo Rubbia découvrit, en 1983, les bosons W et Z (particules qui véhiculent la force faible). L’année suivan-



Pour une poignée d’anti-hydrogènes

Après avoir été injectés **1** les antiprotons tournent dans l’accélérateur **2** où ils croisent, à chaque tour, un jet de gaz xénon **3**. Quand un proton heurte un noyau de xénon **4**, il arrive – rarement – qu’une partie de son énergie se reconvertisse en une paire électron-antiélectron (ou positron), et encore plus rarement que le positron s’accroche à l’antiproton pour former un antiatome d’hydrogène **5**. Comme il est neutre, celui-ci poursuit son chemin en ligne droite **6** jusqu’à rencontrer une plaque de silicium. Là, l’antiélectron s’annihile au contact d’un électron **7**, en émettant deux rayons γ opposés. Quant à l’antiproton, il est détecté un peu plus loin. Ces deux détectations attestent de la brève existence d’un antiatome.

te, cet exploit expérimental valut au physicien italien un prix Nobel partagé avec Van der Meer.

La production de ces antiparticules “libres” étant maîtrisée, il restait à découvrir, ou à fabriquer, des antiatomes, c’est-à-dire de l’antimatière au vrai sens du terme. L’exploit vient d’être accompli, au CERN, par vingt-trois physiciens allemands et italiens réunis, sous la hou-

lette de Walter Oelert, autour de l'accélérateur LEAR (Low Energy Antiproton Ring). Des antiprotons ont rencontré des antiélectrons, pour donner naissance à neuf antiatomes d'hydrogène. Le principe est très simple,

culs parviennent à s'unir pour former – enfin – un antiatome d'hydrogène. Celui-ci poursuit sa route en ligne droite sans être dévié par les aimants, car, tout comme un atome ordinaire, il est électriquement neutre. Il aboutit, 10 mètres et 40 milliardièmes de seconde plus

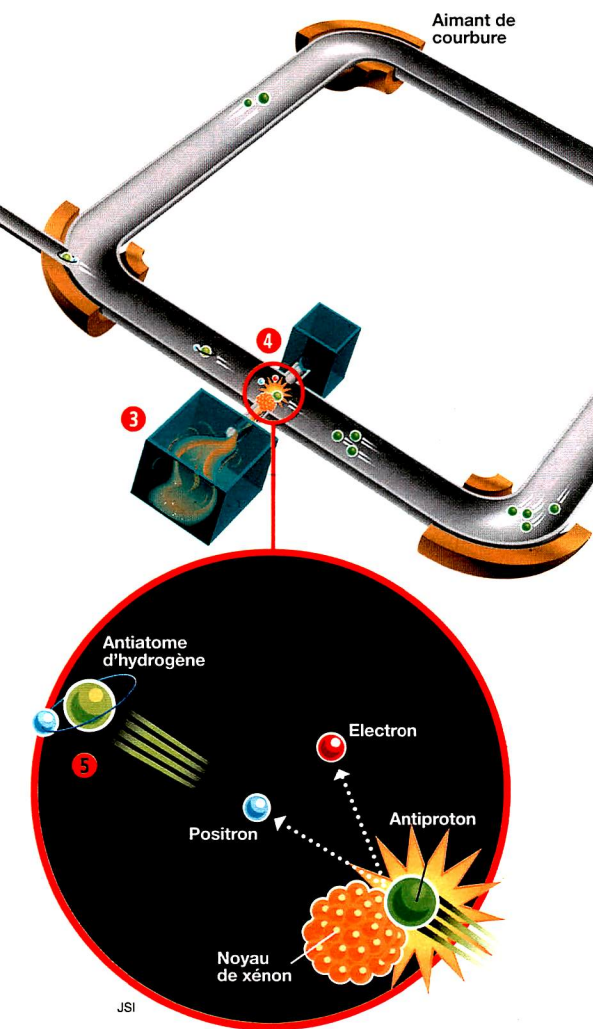
loin, sur une plaque de silicium. La rencontre avec la matière lui est fatale : il s'annihile instantanément.

C'est cette double désintégration d'un antiélectron et d'un antiproton, mesurée par deux détecteurs (voir dessin ci-contre), qui prouve la création d'un antiatome. Les milliards de collisions enregistrées en trois semaines d'expérience ont donné naissance à neuf antiatomes d'hydrogène. C'est ce qu'affirment Oelert et son équipe, après avoir minutieusement vérifié, pendant trois mois, les calculs et les enregistrements. Même si, en raison de l'importance du bruit de fond, certains de leurs collègues doutent de la valeur du résultat...

UNE ANTIPOMME TOMBERAIT-ELLE DE SON ANTIARBRE ?

Mais on ne crée pas des antiatomes pour le plaisir de relever un défi. Ou pas seulement. L'objectif réel, primordial, est de vérifier si la symétrie la plus fondamentale de toute la physique, dite CPT, est toujours respectée (voir "Pourquoi le monde a vaincu l'antimonde", p. 62). Il s'agit de répondre à des questions de fond : les antiatomes se comportent-ils bien comme des atomes vis-à-vis de la gravitation ? Une antipomme tomberait-elle de son antiarbre ? Pour le vérifier, neuf antiatomes d'hydrogène éphémères ne suffisent pas, on aurait besoin de milliards d'antiatomes stables.

En fait, les espoirs se tournent vers une autre voie, explorée en particulier par Gerald Gabrielse, de l'université Harvard, la création d'antimatière "froide". Ainsi, le physicien américain parvient déjà à conserver des antiprotons à -269°C pendant des semaines, dans un "piège" magnétique. On sait également mettre des positrons en "bouteille". Reste le plus difficile : verser le contenu de la bouteille dans l'autre !



l'expérience plus délicate.

Dans le cyclotron LEAR, un carré aux coins arrondis de 20 m de côté, un milliard d'antiprotons effectuent trois millions de tours par seconde. On injecte sur leur trajet un fin jet de gaz xénon : à chaque tour, quelques antiprotons rencontrent des noyaux de xénon, et il arrive – très rarement – qu'une partie de l'énergie du choc se matérialise en paire électron-positron.

Quand, de plus (par bonheur...), la différence entre la vitesse du positron et celle de l'antiproton est suffisamment faible, ces deux antiparti-

POURQUOI LE MONDE A

■ Au départ, il y a le big bang.

A ce moment, il existe dans l'Univers autant de matière que d'antimatière.

La nature choisira la première. Pourquoi?

Comment? La science commence à le comprendre...

PAR ROMAN IKONICOFF

S'il est une énigme qui a longtemps hanté le sommeil des astrophysiciens, c'est bien celle de l'antimatière. Son absence les dérangeait : ils avaient beau la chercher dans les recoins les plus éloignés de l'univers visible, ils n'arrivaient pas à mettre la main dessus. Or, cette absence mettait à mal les théories les plus cohérentes sur l'origine de l'Univers. Jusqu'à récemment, l'astrophysique ne parvenait pas à expliquer qu'il puisse y avoir de la matière sans qu'il existe une quantité égale d'antimatière...

Mais, grâce à une intuition géniale du théoricien soviétique de l'antimatière Andreï Sakharov (ou plutôt du théoricien antisoviétique de la matière), les scientifiques sont aujourd'hui en passe de résoudre l'énigme. La création, au CERN, du premier atome d'antihydrogène (voir "Ils ont créé des antiatomes", p. 58) va confirmer – ils l'espèrent – leurs hypothèses. Essayons de comprendre pourquoi.

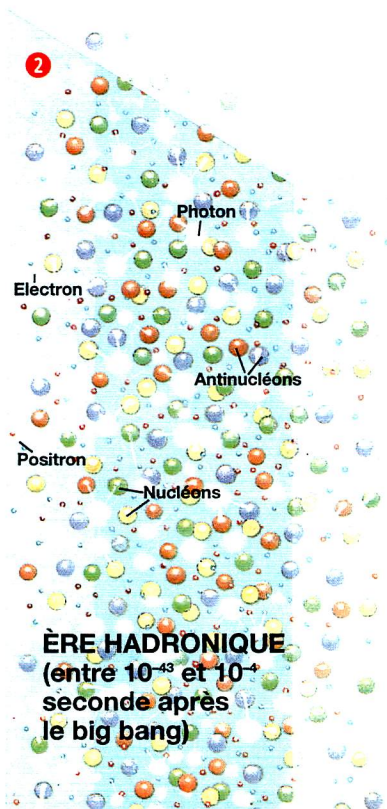
Quoi de plus naturel, lorsqu'on croque une pomme, de se dire que plus on en mange, moins on en a, autrement dit qu'on réduit la pomme d'une quantité égale à celle du morceau qu'on a croqué. Cette expérience a beau être intuiti-

Tout s'est décidé en 10 000 secondes

La "théorie standard" du big bang stipule qu'une immense fluctuation d'énergie du vide ① a engendré un rayonnement qui s'est lui-même transformé en matière et en antimatière (nucléons, électrons, et leurs antiparticules) ②. Au fur et à mesure de l'expansion de l'Univers, l'annihilation des nucléons par leurs antiparticules ne laissa que "quelques" nucléons célibataires et de nombreux électrons et positrons ③ qui s'annihilèrent également. Il ne restait alors qu'une "petite" quantité d'électrons et de nucléons qui donnèrent naissance aux premiers atomes ④. L'Univers était entré dans l'ère stellaire ⑤, qui dure encore...



FLUCTUATION
"ORIGINELLE"



ÈRE HADRONIQUE
(entre 10^{-4} et 10^{-3}
seconde après
le big bang)

VAINCU L'ANTIMONDE

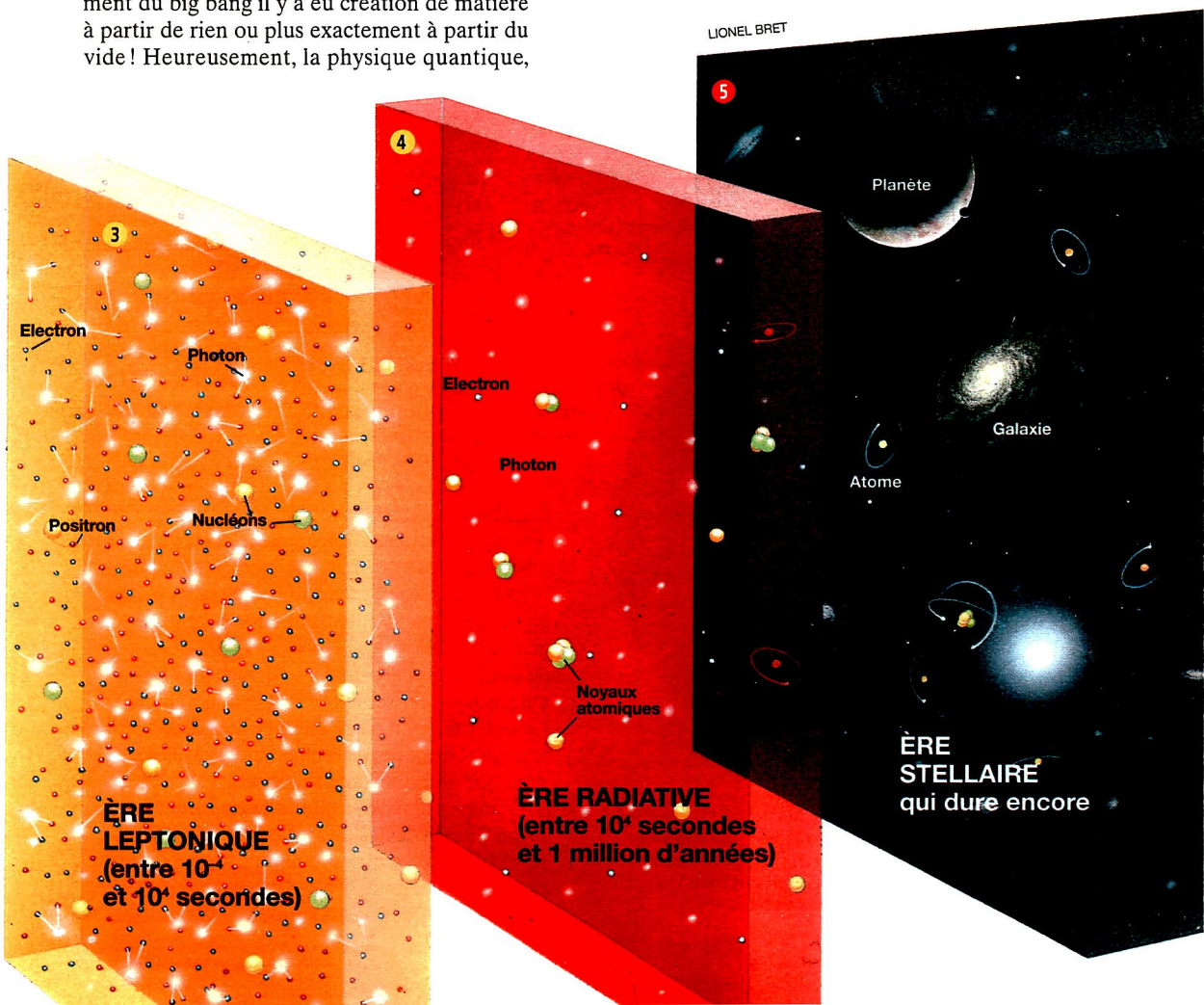
ve, elle n'en porte pas moins un nom savant : le principe de symétrie. Celui-ci veut que ce qui disparaît ici – dans la pomme – apparaisse là – dans la bouche –, de sorte que se conserve toujours la même quantité de matière. Pourtant, l'astrophysicien se méfie de ce principe, et il n'a pas tort. Car ce qui fait que nous existons, c'est justement la violation de la symétrie. Bref, l'Univers doit son existence à un drôle de principe qui veut qu'une pomme qu'on croque demeure toujours entière.

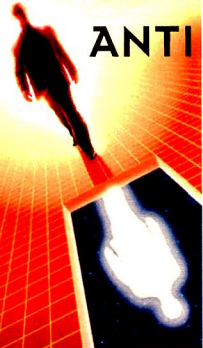
Un exemple : selon l'hypothèse la plus vraisemblable aujourd'hui, l'Univers a eu un commencement, c'est la théorie du big bang. Bien qu'il soit impossible de parler d'un "avant big bang" – car celui-ci marque le début de l'espace et du temps –, on s'accorde à dire qu'au moment du big bang il y a eu création de matière à partir de rien ou plus exactement à partir du vide ! Heureusement, la physique quantique,

celle qui s'occupe de l'infiniment petit, a réussi à expliquer ce phénomène sans porter atteinte au principe de symétrie, grâce au paradigme matière-antimatière.

En effet, s'il se crée dans le vide une particule de matière, il faut que simultanément se crée son antiparticule : le volume de "vide" dans la pomme doit être le même que le volume de pomme qu'on a croqué. Le principe de symétrie est sauvé. Mais comment le vide peut-il engendrer quelque chose ? Suivant la physique quantique, quelle que soit la situation, une probabilité constamment nulle n'existe pas. Ce qui veut dire qu'il ne peut y avoir de vide total tout le temps.

Le vide quantique est donc non pas le néant mais un lieu où il n'y a pas de particules réelles. ■ ■ ■





■ ■ ■ Il est le siège de fluctuations d'énergie. Reprenons le scénario classique du big bang : c'est d'une immense fluctuation quantique du vide qu'est né un intense rayonnement (les photons), dégageant une chaleur de l'ordre de 10^{32} degrés ! L'énergie de fluctuation s'est chan-

gée en énergie rayonnante.

Comme l'a expliqué Einstein, au début du siècle, l'énergie peut se transformer en matière et vice-versa (la fameuse équation $E = mc^2$). Voilà donc des milliards de photons super-énergétiques qui se muent en particules et en antiparticules antagonistes (surtout des quarks, mais aussi des électrons... avec leur antiparticules) suivant la théorie élaborée par Dirac en 1931. Elles s'annihilent à nouveau pour donner des photons – car lorsqu'une particule rencontre son antiparticule, elles se désintègrent mutuelle-

ment en produisant un feu d'artifice de lumière. Pendant ce temps, la température chute, du fait de l'expansion de l'Univers : ce magma de rayonnement, matière et antimatière, se répand dans toutes les directions.

Dans les années 60, les physiciens pensaient que, puisque au début il y a du vide, il faut que l'union de toutes les particules et antiparticules créées redonne du vide, toujours pour respecter le principe de symétrie. Bref, à ce moment de l'histoire de l'Univers, on trouve autant d'antiparticules que de particules. La suite de l'histoire était la suivante : plus la température baisse, plus les photons ont du mal à se transformer en

couples de particules antagonistes puisqu'ils perdent de l'énergie.

L'expansion rend plus rare la rencontre

– donc l'annihilation – des particules et de leurs antiparticules. Selon cette hypothèse, simple, la séparation de la matière et de l'antimatière expliquerait l'existence de l'Univers.

On aurait pu s'en tenir à ce scénario à condition de "retrouver" l'antimatière censée être née avec la matière. Où est-elle passée ? Telle était

2. Le big bang

Aujourd'hui, la faveur des scientifiques va à la théorie du big bang, selon laquelle la nature a une préférence pour la matière.

la question. Hélas, les observations ne fournirent pas la réponse : notre galaxie et les galaxies environnantes sont constituées de matière pure !

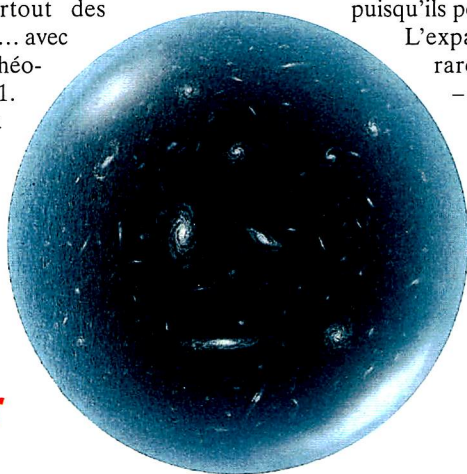
L'astrophysicien suédois Hannes Alfvén, prix Nobel de physique 1970, émit une hypothèse légèrement différente : l'Univers est bien constitué de matière et d'antimatière en quantités égales, mais isolées, car se repoussant comme l'huile et l'eau. Il existerait alors, quelque part dans l'univers, une "frontière d'annihilation" trop éloignée pour que nous puissions l'observer.

Comment justifier une telle hypothèse ? *A priori*, les particules de matière et d'antimatière s'attirent. On observe depuis longtemps ce phénomène dans les accélérateurs de particules. Mais cette attraction est surtout de nature élec-

Quatre hypothèses pour expliquer l'Univers :

1. L'Univers éternel

Une hypothèse "marginale" considère l'Univers comme éternel et immuable – sans début ni fin. L'antimatière n'aurait alors jamais existé.



4. Les bulles

Certains astrophysiciens ont émis l'hypothèse – invérifiable – que notre Univers n'est qu'une bulle parmi d'autres "univers bulles". L'absence d'antimatière dans notre bulle serait compensée par la prédominance d'antimatière dans une autre.

tromagnétique, car leurs charges électriques sont opposées. Cependant, on ne sait quel rôle joue dans cette attraction la force de gravité, celle qui est en jeu dans les grandes structures de l'Univers. Les lois de la gravitation universelle – énoncées par Newton et élargies par Einstein dans la relativité générale – veulent que deux corps solides s'attirent d'autant plus intensément que leur densité est grande. C'est notamment la raison pour laquelle nous restons les pieds sur terre.

La Lune, elle, est six fois moins dense que la Terre. Son attraction est donc six fois moins importante : les sauts de "sept lieues" des astronautes américains d'*Apollo 11* sur la surface de la Lune l'illustrèrent de belle façon. Toujours est-il qu'on ne sait pas si cette loi d'attraction est valable pour l'antimatière. En effet, entre les particules et les antiparticules obtenues jusqu'à

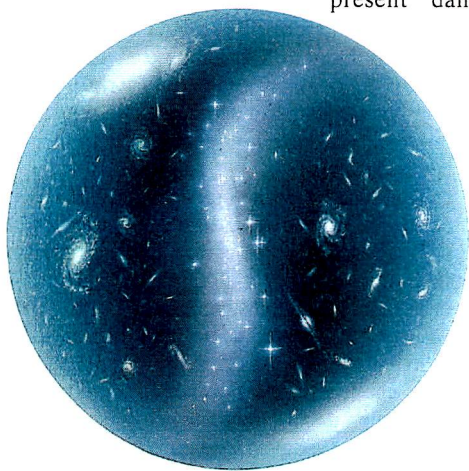
présent dans les accélérateurs, l'attraction électromagnétique masquait l'attraction gravitationnelle (moins forte à cette échelle).

L'obtention d'atomes d'antihydrogène (de charge électrique nulle) au CERN pourrait permettre d'observer l'interaction gravitationnelle avec des atomes d'hydrogène. Si la matière et l'antimatière se repoussent gravitationnellement, alors l'hypothèse d'un monde séparé d'un antimonde par une frontière est plausible. Mais l'existence d'une telle "répulsion gravitationnelle" est fortement improbable. Comme nous l'indique le physicien Alain Bouquet, du laboratoire de physique corpusculaire du Collège de France, « imaginer un effet répulsif de nature gravitationnelle contredirait l'une des hypothèses de base de la relativité générale, qui veut que tout corps plongé dans l'espace produise un effet d'attraction (principe d'équivalence), et cela vaut aussi bien sûr pour l'antimatière ».

La relativité générale, qui, depuis plus de soixante-dix ans, n'a pas rencontré de contradiction expérimentale, a donné à l'Univers un cadre théorique très cohérent. Il y a peu de chances qu'elle soit contredite. De ce côté-là, c'est donc l'impasse... même si quelques astrophysiciens francs-tireurs n'ont pas perdu espoir.

Parallèlement à cette théorie de l'existence de deux antimondes séparés, Andreï Sakharov

ILLUSTRATIONS
L. BRET



3. La frontière d'annihilation

L'absence d'antimatière dans l'Univers visible implique que celle-ci occupe un portion de l'Univers (non visible car trop lointaine) séparée de la nôtre par une "frontière d'annihilation". Une théorie surtout défendue dans les années 70.

ANTIMATIÈRE



■ ■ ■ émit, en 1967, une hypothèse qui s'intégrait parfaitement au modèle du big bang : grâce aux fluctuations d'énergie (mécanisme décrit plus haut), le vide a engendré autant de matière que d'antimatière, mais c'est pendant le refroidissement et l'expansion de

l'Univers que la nature a opté pour la matière. L'antimatière n'y existe donc plus. Sakharov expliquait ce "choix arbitraire" de la nature par ce qu'il a appelé la "brisure de la symétrie". Et nous voilà revenus au problème de symétrie!

Les physiciens disposent en effet d'un très beau théorème mathématique qui permet de garder leur hypothèse dans le droit chemin de la science. D'après celui-ci, toute théorie physique doit respecter certains principes, notamment ne pas engendrer de contresens logique du type "la conséquence précède la cause". Ainsi, une théorie qui aurait pour conséquence qu'une pièce soit éclairée avant que la lumière soit réellement allumée serait immédiatement écartée.

Ce théorème fut démontré dans les années 40. Sous son appellation quelque peu barbare de "théorème CPT" se cache un concept simple : un événement à l'échelle des particules peut se produire dans la nature si l'événement opposé peut également survenir avec la même probabilité. En d'autres termes, les équations doivent rester valables si on remplace la charge de la particule par sa charge opposée (C) (1), si on inverse la distribution spatiale (P) – comme si on regar-

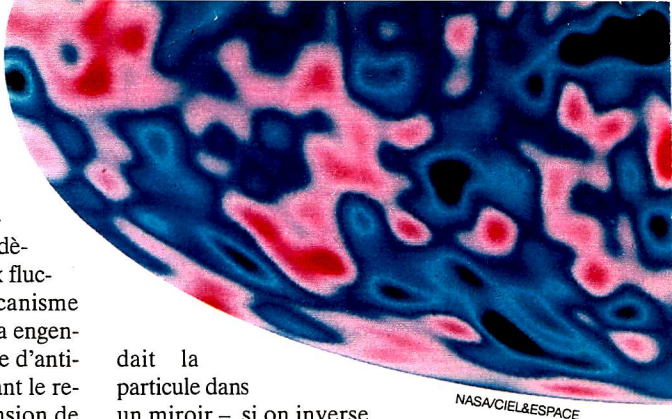
dait la particule dans un miroir –, si on inverse enfin le déroulement du temps (T), c'est-à-dire si on change le paramètre t en $-t$.

Un exemple plus concret : si l'on provoque un choc violent entre un proton et un électron, on obtient un neutron et un neutrino. Imaginons qu'on filme cet événement. On le projette ensuite en sens inverse (symétrie T), on le regarde dans un miroir (symétrie P) en ayant au préalable "trafiqué" la pellicule afin d'inverser les charges des particules (symétrie C). Cette nouvelle version du film montrerait un antineutron et un antineutrino se heurtant pour donner naissance à un antiproton et à un antiélectron. Si cet événement-là se produit dans un accélérateur de particules avec la même fréquence que le premier, alors la théorie est cohérente.

Mais un risque de contresens surgit lorsqu'on s'évertue à interpréter le théorème CPT. Le fait de changer t en $-t$ (symétrie T) veut-il dire que les particules remontent le temps? La symétrie P signifie-t-elle qu'il existe une anti-Terre qui serait l'image de la Terre donnée par un miroir, peuplée d'antihumains en majorité gauchers? Le théorème laisserait-il présager qu'un vaisseau spatial utilisant de l'antimatière en guise de carburant pourrait, comme dans la série *Star Trek*, remonter le temps ou dépasser la vitesse de la lumière? C'est là que la science-fiction se substitue à la science pure.

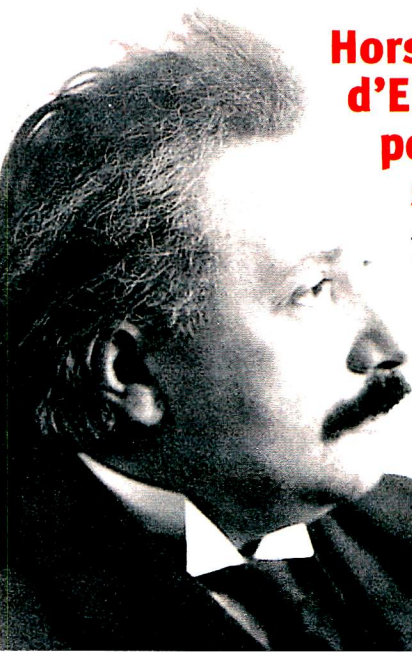
Toujours est-il que les scientifiques ont rencontré les pires difficultés avec leur théorème CPT. Bien que la symétrie CPT ne soit pas remise en question, cela n'implique pas que C, P et T soient isolément symétriques. De fait, il n'en est rien! Un beau puzzle peut être formé de morceaux disgracieux. En 1956, l'expérience de trois chercheurs de l'université de Columbia (Caroline du Sud), Lee, Yang et Wu, montra que la symétrie P pouvait être dans certains cas violée. Ils mirent en évidence que, dans la désintégration du cobalt, les particules émises ont une préférence pour certaines directions spatiales. Bref, la nature distingue la droite de la gauche!

D'autres expériences menées sur des "kaons neutres" (particules fort rares, réclamant de très



Hors d'Einstein point de salut...

Albert Einstein a posé, dans la relativité générale, le cadre que toutes les théories sur l'Univers se doivent de respecter pour être vraisemblables.



(1) Par charge, on entend la charge électrique mais aussi toutes les charges quantiques.



Le rayonnement fondateur

Le satellite d'observation Cobe a été le premier à photographier intégralement le rayonnement "fossile" qui aurait été engendré au moment du big bang. L'existence de ce rayonnement est un des piliers de la théorie de la naissance de l'Univers.

fortes énergies pour être créées dans les accélérateurs) prouvèrent que la symétrie C était aussi violée. Enfin, en 1964, deux chercheurs américains, James Cronin et Val Fitch, et un chercheur français, René Turlay, montrèrent que ces mêmes kaons neutres violaient également la symétrie CP (ce qui valut à Cronin et à Fitch le prix Nobel de physique en 1980 – Turlay ayant été jugé trop jeune pour une telle distinction).

Ces travaux permirent à Sakharov d'émettre l'hypothèse en accord avec le modèle du big bang : si la symétrie CP pouvait être violée en laboratoire, pourquoi ne pas supposer qu'elle aurait pu l'être dans le mégalaoratoire des origines de l'Univers? Surtout si cette théorie permettait d'expliquer pourquoi la nature avait préféré la matière à l'antimatière! Depuis l'intuition du savant soviétique (par ailleurs prix Nobel de la paix 1975), l'idée a fait son chemin et s'est parée des beaux habits de la cohérence.

Voici donc le scénario complet : au tout début de l'Univers, au moment de la grande explosion, le vide engendre un fort rayonnement de photons. Ces photons – qui sont leurs propres antiparticules (voir p. 58) – possèdent une énergie si élevée (10^{19} GeV) qu'ils peuvent facilement se décomposer en deux bosons opposés, X et anti-X. Là est la grande trouvaille. Les bosons sont des particules qui matérialisent les forces de la nature (électromagnétique, faible, forte et de gravitation). C'est la théorie de grande unification (GUT) : plus on remonte dans le temps près du big bang, plus les quatre forces s'unissent pour n'en faire qu'une.

Au moment qui nous intéresse, entre 10^{-35} et 10^{-30} seconde, il n'existe que deux forces : la force gravitationnelle et la force unifiée électro-

faible-forte. Comme chaque photon se décompose en un X et un anti-X, il y a exactement autant de matière que d'antimatière : la symétrie demeure. Les bosons X et anti-X, porteurs de la triple force unifiée, donnent naissance à de la matière (quarks et électrons) et à de l'antimatière (antiquarks et anti-électrons), dans une proportion légèrement plus forte pour la matière. Ils violent ainsi la symétrie CP. Mais, à cette température (plus de 10^{28} degrés), la réaction est réversible : la matière et l'antimatière se condensent à nouveau en bosons X et anti-X, recréant la symétrie.

Mais, nouveau problème, la température se met à décroître très vite du fait de l'expansion de l'Univers. Vers 10^{-30} seconde, elle n'est plus que de 3.10^{27} degrés. Les bosons X et anti-X peuvent se décomposer en matière et antimatière, mais celles-ci ne peuvent plus se recomposer en bosons et antibosons. Or, comme les X et les anti-X ont une prédilection pour la matière, la symétrie est irrévocablement brisée... A peine 1 particule de plus pour 1 milliard de couples particule-antiparticule. Mais ce milliardième de matière supplémentaire suffira à engendrer l'Univers actuel, galaxies, étoiles, planètes, êtres vivants.

Les hommes aiment se raconter des histoires qui finissent bien. Ce scénario, en harmonie avec le big bang, est pour l'instant le plus vraisemblable. Cependant, rien ne dit qu'un autre synopsis ne viendra pas le reléguer un jour au rang des contes de fées scientifiques. En attendant, les astrophysiciens ont recouvré le sommeil. ■

L'intuition géniale de Sakharov

Andreï Sakharov eut, le premier, l'intuition de la préférence de la nature pour la matière. Celle-ci s'expliquerait par une brisure de symétrie moins de 10^{-4} s après le big bang.

S. SIMONISIRA PRESS



ANTI-MATIÈRE

DU CARBURANT POUR VISITER LES GALAXIES

■ Et si on explorait les étoiles ?
Aujourd'hui, c'est impossible.
Demain, pourquoi pas, avec le seul "carburant"
que la science nous propose : l'antimatière.
Quelques ingénieurs en rêvent déjà...

PAR FRED GUTERL

TRADUIT ET ADAPTÉ PAR GILLES MOINE

**Mille fois
la puissance
des réactions
nucléaires !**

Le réacteur à antimatière permettrait d'atteindre les étoiles proches dans le temps d'une vie humaine... Mais trouvera-t-on, entre autres, un matériau capable de résister à un tel dégagement d'énergie ?

Aussi incroyable que cela paraisse, la navette spatiale américaine pourrait atteindre Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche du Soleil (4,3 années-lumière), en moins de dix ans. Ses réacteurs lui procurant une accélération de 1,7 fois l'attraction terrestre, il suffirait de la faire fonctionner à plein régime pendant un peu plus de deux mois. A un détail près : en dehors des problèmes de fiabilité du matériel, le simple poids de carburant nécessaire à un tel exploit la clouerait au sol, qu'elle n'arriverait jamais à quitter...

Et ce n'est pas le seul obstacle : pour atteindre Proxima du Centaure en moins de dix ans, on doit se propulser à une vitesse moyenne proche de la moitié de celle de la lumière (150 000 km/s). On se heurte alors aux lois relativistes d'Albert Einstein. Celles-ci n'imposent pas seulement une vitesse limite à toute chose dans l'Univers, mais alourdissent la masse de tout engin flirtant avec ces records. Ce qui signifie qu'on doit injecter encore plus d'énergie dans les réacteurs, à mesure qu'on veut gagner ne serait-ce qu'un petit supplément de vitesse. Par exemple, alors qu'on file aux trois quarts des fatidiques 300 000 km/s, la masse augmente de 50 %. A ce stade, accroître la puissance de la poussée n'apporte presque plus rien.

FISSION OU FUSION ?

Ces limitations obligent le concepteur à maintenir au strict minimum le poids de départ du vaisseau spatial. Pour donner un ordre d'idée, propulser le plus petit vaisseau ha-

bité jusqu'au tiers de la vitesse de la lumière réclamerait la puissance produite pendant plusieurs années par toutes les centrales électriques terrestres ! On peut bien sûr imaginer des plans de science-fiction de longue durée, comprenant la construction de centrales énergétiques spatiales, d'usines en orbite, de mines sur des astéroïdes, sans oublier les stations spatiales destinées au logement des mineurs.

On pourrait plus raisonnablement songer à la propulsion nucléaire électrique, par laquelle on obtiendrait, pour le même poids embarqué, 10 millions de fois plus de puissance qu'avec les carburants classiques. Fondée sur la fission – à l'œuvre dans les premières bombes atomiques –, cette technique soulève cependant quelques problèmes. La fission doit tout d'abord être contenue dans le volume d'un réacteur approprié... qui fondrait aux températures nécessaires à la propulsion. De plus, elle produit des ions lourds, qui se meuvent lentement et n'autorisent donc pas d'accéléérations rapides.

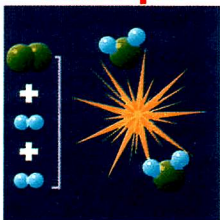
En théorie, la fusion est plus adéquate. Une simple boulette de combustible bombardée par des rayons lasers produirait la réaction de fusion dans une chambre de combustion, libérant suffisamment d'énergie pour atteindre de hautes vitesses. Inutile de dire que pas mal d'ingénieurs doutent que la chose soit faisable.

Pour toutes ces raisons, certains ingénieurs voient dans l'antimatière la bonne réponse. Malgré sa connotation de "science-fiction", celle-ci est bien connue des physiciens. ■ ■ ■

LES CARBURANTS AU BANC D'ESSAI

(échelle : 1 = 28 500 kilojoules d'énergie dégagés par kilogramme de carburant)

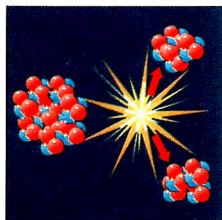
Classique



1

La réaction chimique entre l'oxygène (O_2) et l'hydrogène (H_2) dégage de l'énergie et produit de l'eau.

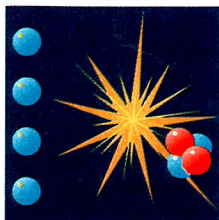
Fission



30 000

La fission est la "coupure" d'un atome lourd (U 235) en deux fragments plus légers avec dégagement d'énergie.

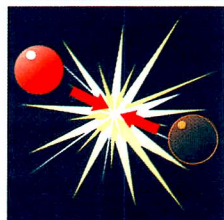
Fusion



200 000

Avec 4 atomes d'hydrogène, on peut obtenir (après quelques étapes) un atome d'hélium avec dégagement d'énergie.

Antimatière

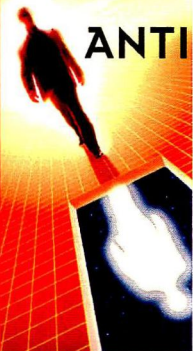


30 millions

La réaction la plus énergétique, car, dans la collision matière-antimatière, toute la masse est transformée en énergie.

A. MEYER

ANTI-MATIÈRE

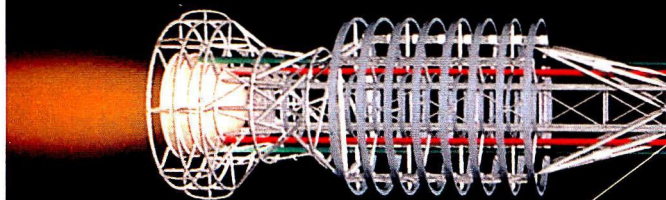


■ ■ ■ Aucune réaction connue ne dégage plus d'énergie que la collision matière-antimatière : elle produit des quantités phénoménales de rayons γ et de mésons π . Ce sont ces derniers qui intéressent les concepteurs de réacteurs. Théoriquement, cette réaction libère de 100 à 1 000 fois plus d'énergie que la fusion ou la fission. Ce qui signifie qu'un réacteur à antimatière accélérerait une masse de 1 tonne jusqu'à un dixième de la vitesse de la lumière avec seulement 9 kg de carburant !

NEUF MILLIARDS D'ANNÉES POUR FABRIQUER LE CARBURANT

La première difficulté consiste à fabriquer ces 9 kg d'antimatière. Imaginons qu'on utilise le célèbre accélérateur du CERN de Genève, celui qui a récemment créé les anti-atomes (voir "Ils ont créé des anti-atomes", p. 58). Il produit environ 1 milliard d'antiprotons toutes les dix minutes. Ils sont si rapides et si énergétiques qu'ils passent à travers toutes les cibles qu'on met sur leur chemin. Il est donc nécessaire les ralentir si l'on veut conserver un espoir de les capter. Par exemple en plaçant sur leur parcours des feuilles de métal. Ils entrent alors en collision avec les électrons de la matière et perdent progressivement leur énergie. Il faut ensuite les confiner dans un champ magnétique, avant qu'ils rencontrent des protons du voisinage. Si tout va bien, il en restera un bon million, qui pourront être capturés. Mais il en faut beaucoup plus pour fabriquer du carburant : avec environ 1 milliard de milliards d'antiprotons, on en obtient 1 gramme... Comme le piège magnétique est parfaitement fiable, on peut imaginer d'attendre le temps nécessaire pour en obtenir suffisamment. Mais un nouveau problème surgit : le piège magnétique commence à brûler quand une centaine de milliards d'antiprotons se sont accumulés. La force électrostatique par laquelle ils se repoussent mutuellement leur fait frôler dangereusement les parois du piège. Il faut donc employer d'énormes aimants supraconducteurs et beaucoup d'énergie pour les maintenir confinés.

Une autre solution consiste à utiliser des anti-



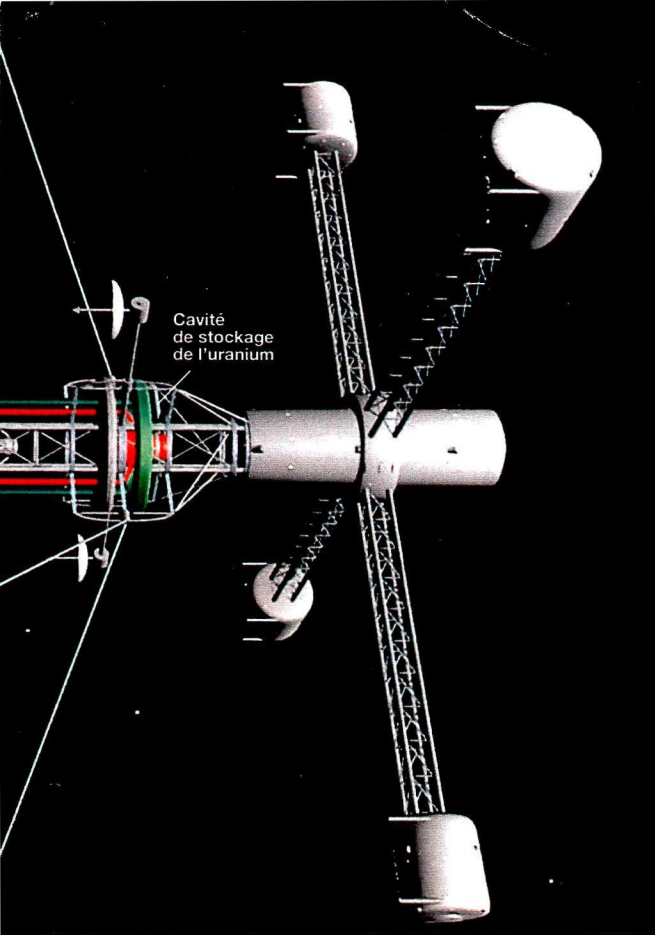
Trajectoire des antiprotons

De la Terre à Pluton en trois ans...

... avec pour carburant de l'uranium et des antiprotons. Lorsqu'un antiproton rencontre un atome d'uranium, les neutrons émis sont, en effet, six fois plus nombreux que lors d'une fission classique, de quoi augmenter considérablement la quantité d'énergie produite par la réaction en chaîne alors enclenchée. On peut toujours rêver !

atomes, parfaitement neutres, en fabriquant, par un procédé presque similaire, des anti-électrons (positons), et en les faisant orbiter autour des antiprotons après les avoir ralentis. Les deux antiparticules produisent des moments magnétiques qui, contrariés par un champ correctement orienté, engendrent une force qui repousse tous les anti-atomes vers le centre du piège, évitant le choc catastrophique avec les parois. On obtient de l'anti-hydrogène, qu'on peut, en le réfrigérant, condenser en gouttes ou en cristaux. Ce qui permettrait même de se passer de piège magnétique.

Mais, en supposant les problèmes de stockage résolus, et en investissant des sommes colossales dans des usines à antimatière, il faudrait, au



D. BERRY/DISCOVER MAGAZINE

dant plusieurs jours, on atteindra Pluton en trois ans.

Beaucoup d'ingénieurs, dont certains de la NASA, ne croient pas une seconde à cette chimère. D'abord parce que la propulsion d'une fusée obéit au principe d'action-réaction. Par quelque bout qu'on prenne le problème, il faut rejeter de la masse par l'arrière si l'on veut aller de l'avant. Il faut donc charger la fusée d'une masse gigantesque. Ensuite, il faut employer des tuyères capables de résister à d'énormes températures. Or, tous les métaux connus, même les alliages les plus sophistiqués et les plus chers, fondent irrémédiablement. Car ces réactions produisent beaucoup de rayons gamma, les plus énergétiques, donc les plus "chauds".

DES TUYÈRES QUI FONDENT COMME NEIGE AU SOLEIL

Est-il possible de canaliser une telle puissance ? Peut-être, dans un filtre en plomb, ce qui transformerait les rayons gamma en rayons X.

Ils frapperaient ensuite des plaques de titanium, qui se vaporiseraient au fur et à mesure. Les atomes de métal arrachés agiraient comme la masse nécessaire à la réaction, et la tuyère se consumerait lentement pendant le voyage. Mais, pour l'instant du moins, aucune tuyère ne peut résister non plus à ce traitement. En fin de compte, le pari semble perdu d'avance : trop d'obstacles infranchissables subsistent, des métaux qui fondent à la durée de production du carburant, en passant par les contraintes de sécurité liées à l'utilisation d'une énergie si dévorante.

Cependant, un signe ne trompe pas : les militaires, notamment américains, gardent dans leur ligne de mire ce mode de propulsion (ou d'explosion...), qui leur rendrait, on s'en doute, bien des services. Ils n'ignorent pas que, dans les années 50, aucun métal n'était en mesure de résister aux formidables pressions subies par les turbopompes d'une fusée comme Ariane V, qui n'est pas la plus puissante.

La route des étoiles est-elle pour autant fermée ? Quels que soient les problèmes techniques, dans le rapport énergie dégagée-poids embarqué, l'antimatière est sans concurrence. L'enjeu vaut qu'on y réfléchisse encore. ■

Copyright Discover, octobre 1995.

rythme très optimiste de 1 millionième de gramme par an, environ neuf milliards d'années pour obtenir les 9 kg requis de carburant ! Les étoiles nous attendront-elles ?

Alors, science-fiction ? Tout n'est pas perdu. En l'état actuel de la technologie, une solution consisterait à utiliser une propulsion qui ne soit pas fondée uniquement sur l'antimatière "pure". Il est concevable d'utiliser celle-ci comme une sorte de catalyseur des réactions de fission ou de fusion, qu'on peut amorcer avec une simple "boulette" d'uranium. Pour éviter de tout faire sauter, on fabrique de petites capsules d'uranium dans lesquelles on intègre un cœur de deutérium et de tritium. On bombarde ensuite d'antiprotons. Quand un antiproton frappe un atome d'uranium, il s'annihile avec l'un des protons du noyau. Les quelques pions alors émis achèvent de désintégrer le noyau, ce qui libère d'énormes quantités de neutrons, six fois plus qu'une fission nucléaire classique. La réaction en chaîne qui en résulte crée assez de chaleur et de pression pour enclencher une fusion dans le cœur de deutérium-tritium.

Chaque micro-explosion produit autant d'énergie qu'une bombe de 15 tonnes de TNT. Si l'on en provoque une par seconde pen-

Le cristal est vivant!

■ On a longtemps cru que l'état cristallin, celui du quartz ou du flocon de neige, caractérisait le règne minéral et marquait la frontière entre monde inanimé et monde vivant. Puis on a réussi, en 1935, à cristalliser des virus, et on sait maintenant obtenir des cristaux, non seulement de corps organiques simples, mais aussi de protéines complexes.

PAR RENAUD
DE LA TAILLE

Marqueurs irisés

Ces draperies multicolores ne sont autres que les strates cristallisées de l'urée, ce composé organique qui constitue 20 % de l'urine que tout mammifère élimine chaque jour par litres, et qui sert si bien aux chiens et aux chats à marquer leur territoire.



La géométrie des acides aminés

L'asparagine, un acide aminé très répandu dans les tissus végétaux, dessine ici des réseaux géométriques réguliers qui témoignent de l'ordre rigoureux dans lequel se rangent les atomes au sein d'un cristal. C'est d'ailleurs cet assemblage ordonné en trois dimensions qui caractérise l'état cristallin.

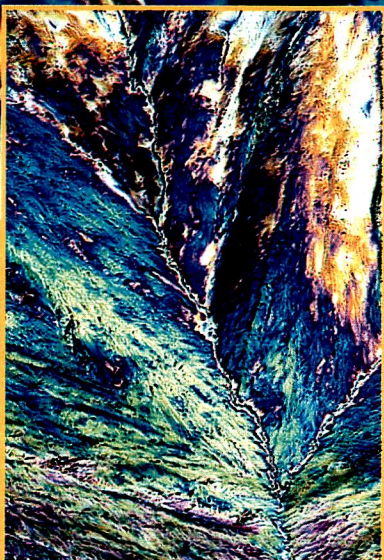


PHOTO J. SOLO

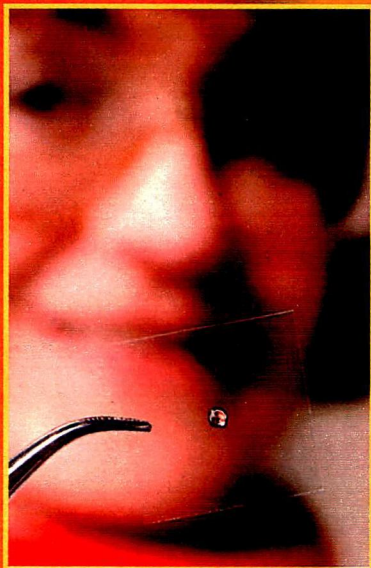
Cette vallée fluviale : la vitamine PP

Ces formations cristallines irrégulières à bords déchirés, qui évoquent une vallée martienne prise par satellite, sont celles de la vitamine PP. Celle-ci est encore un composé organique simple, mais dont l'absence entraîne une maladie redoutable, la pellagre.

L'ORDRE règne sur la cellule

CAHIER PHOTOS

LE CRISTAL



PHOTOS ALLARD/REA

Un état encore amorphe

Il faut une longue préparation pour obtenir une seule goutte de protéine qui, étant liquide, ne présente aucune structure régulière de ses atomes ou molécules. Cette répartition désordonnée est le propre de l'état amorphe, qu'on trouve aussi bien dans des minéraux comme l'opale ou le verre que dans tous les tissus animaux et végétaux.

Fragment de quartz? Non, protéine

On dirait un bâton de quartz pris sur un rocher : en réalité, il s'agit d'un cristal de protéine – ce constituant complexe de toute matière vivante – de quelques millimètres. Mais il a fallu un grand nombre d'essais pour obtenir un cristal qui se prête bien à la diffraction aux rayons X.



Ces étoiles, les atomes du cristal

En émergeant d'un cristal, les rayons X dessinent des points dont l'arrangement révèle l'ordre selon lequel sont disposés les atomes. L'ensemble des intensités de ces points permet alors de connaître le motif de la maille cristalline et de préciser auquel des sept systèmes elle appartient.

Les RAYONS X dessinent la maille cristalline



L'ordinateur fait le tri

Tandis que l'un des chercheurs, à droite, règle le générateur de rayons X et le dirige sur l'échantillon, le second étudie sur écran les données recueillies par un compteur tridimensionnel.

Ces données sont traitées par ordinateur, puis mémorisées pour bâtir ensuite le modèle.

LE CRISTAL

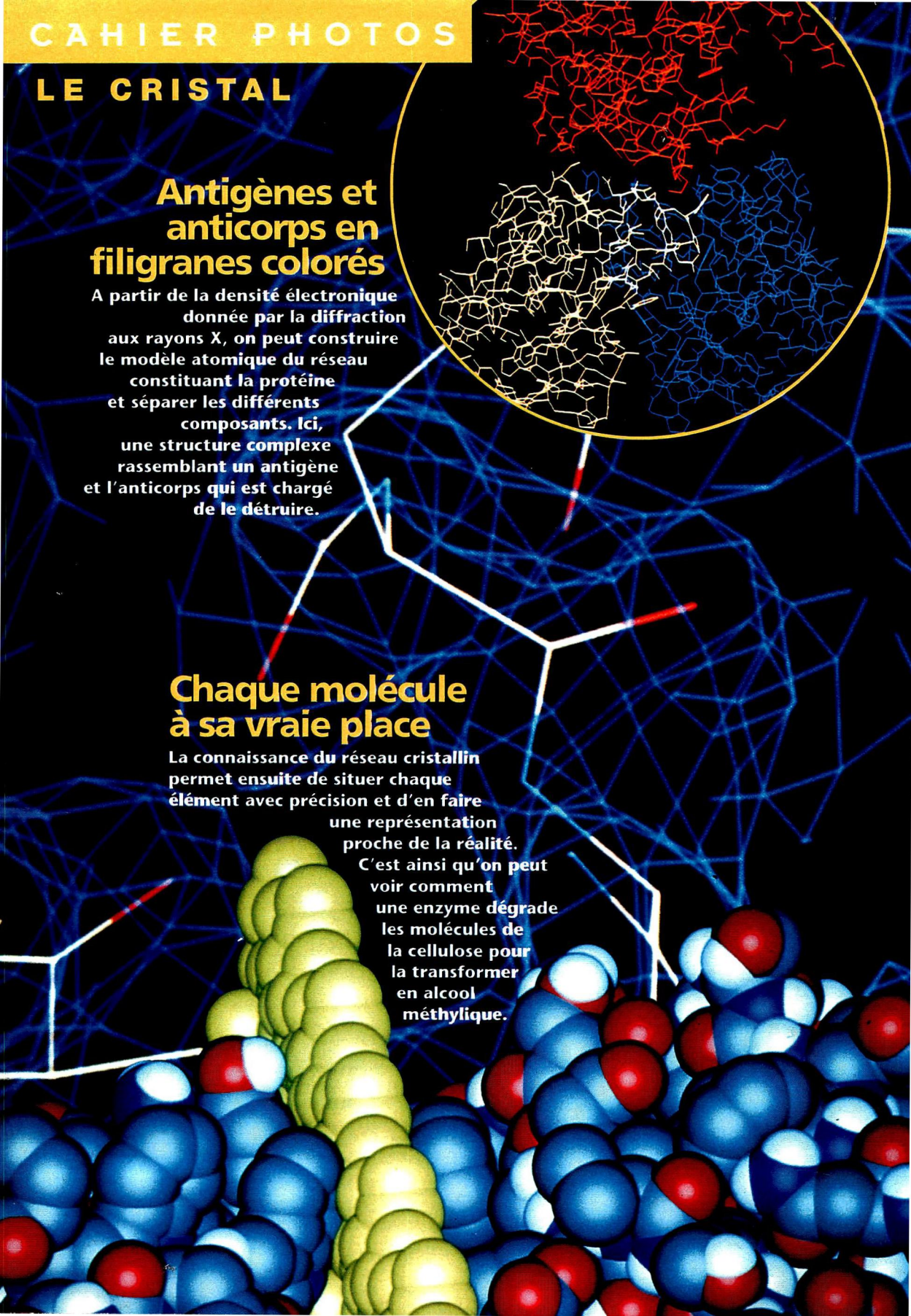
Antigènes et anticorps en filigranes colorés

A partir de la densité électronique donnée par la diffraction aux rayons X, on peut construire le modèle atomique du réseau constituant la protéine et séparer les différents composants. Ici, une structure complexe rassemblant un antigène et l'anticorps qui est chargé de le détruire.

Chaque molécule à sa vraie place

La connaissance du réseau cristallin permet ensuite de situer chaque élément avec précision et d'en faire une représentation proche de la réalité.

C'est ainsi qu'on peut voir comment une enzyme dégrade les molécules de la cellulose pour la transformer en alcool méthylique.



La trame du réseau atomique

La carte de la densité électronique, ici en bleu, permet de reconstituer la trame, en jaune, du réseau formé par les atomes du cristal.

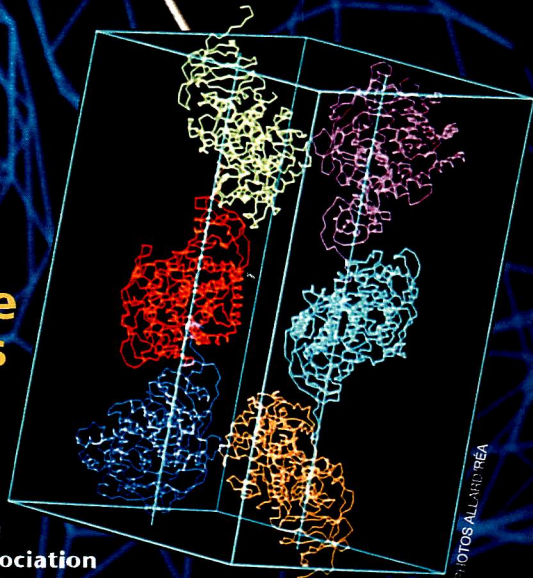
La disposition ordonnée de cette trame sert ensuite à construire un modèle en trois dimensions de chaque maille élémentaire et à en préciser la nature.

Pièce par pièce, le MODELE s'assemble

La figure en trois dimensions

Connaissant la maille élémentaire, on peut obtenir une représentation exacte de la structure du cristal, qui est fait d'une association indéfinie mais régulière de telles mailles.

Chacune d'elles est constituée d'un arrangement géométrique précis, et spécifique pour chaque protéine.



PHOTOS ALLARD-REA

Le sang pur sera artificiel

■ Des banques du sang sont menacées en France par la désaffection des donateurs et par les problèmes de contamination. Il est plus que jamais urgent de trouver un substitut universel, abondant, sans risque, bon marché. Un liquide qui sauverait tous les blessés du monde. La recherche est sur le point d'aboutir.

PAR PHILIPPE CHAMBON

On dirait de l'eau. Dans un flacon de verre semblable à une bonbonne de perfusion, le liquide est parfaitement fluide et translucide. Sur une petite étiquette, ce mot imprimé en noir, "Oxygent®".

« Ce produit peut remplacer le sang », dit Peter Keipert, biologiste chez Alliance Pharmaceutical, un laboratoire de La Jolla (prononcez laroïa), petite ville universitaire, sorte de "biotech valley", près de San Diego, dans le sud de la Californie. Keipert ne tarit pas d'éloges sur les vertus de ce substitut du sang, capable de capter l'oxygène dans les poumons et de le distribuer à tous les organes, à travers les plus infimes capillaires. Tout comme le fait le sang naturel. « Et, mieux encore, lance Keipert, parce qu'il pénètre plus loin dans les capillaires que les globules rouges.

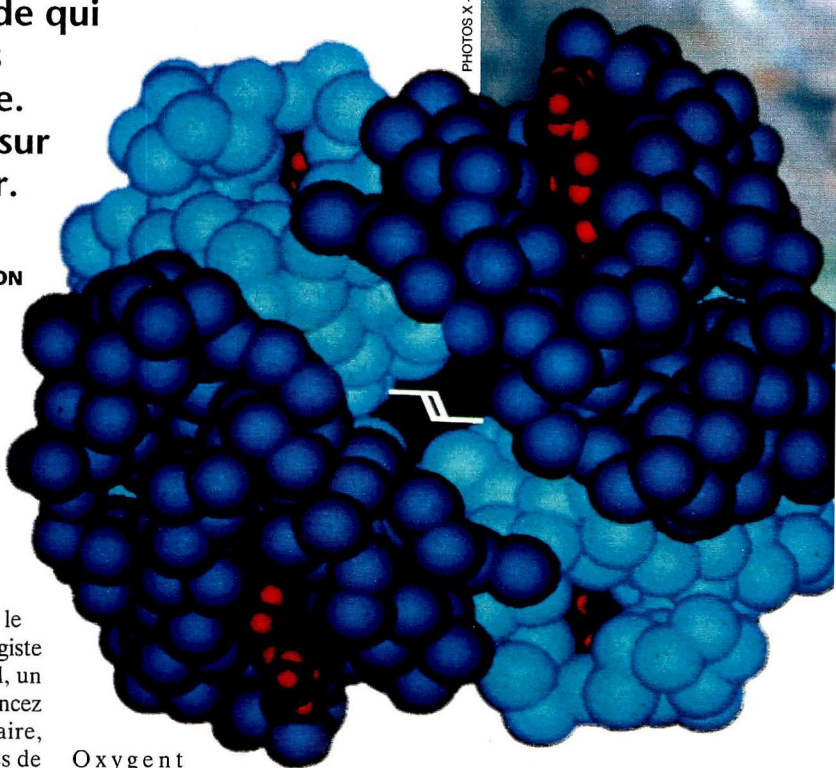
Oxygent

est formé d'une émulsion de perfluorocarbure, d'eau et d'émulsifiant. »

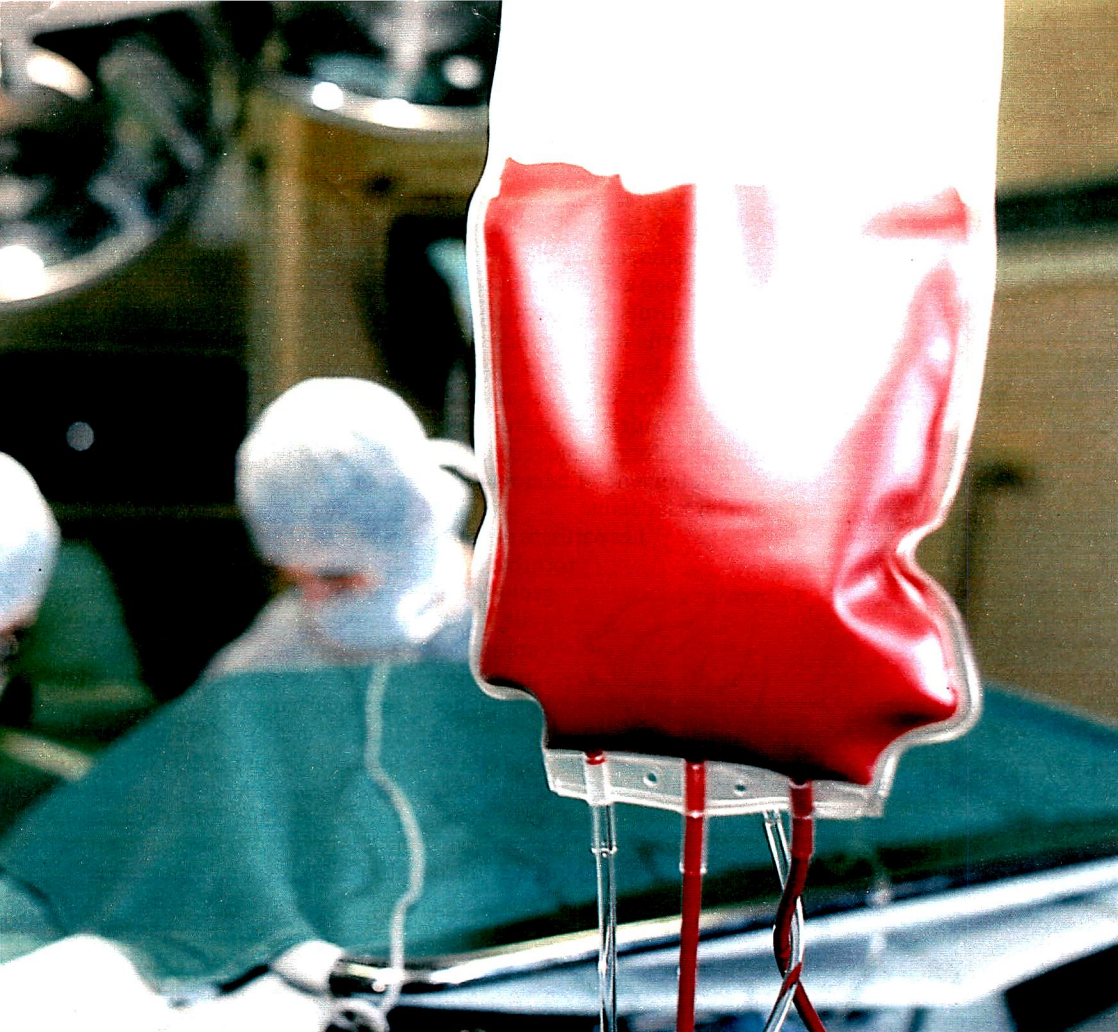
Voilà vingt ans que la recherche tente de mettre au point un produit de ce type (voir l'encadré "Un siècle d'espairs déçus"). Les premières expériences se sont soldées par des échecs, mais le rêve est en train de devenir réalité. Aujourd'hui, les tests cliniques donnent des résultats satisfaisants. Selon les estimations

des experts et selon les législations en vigueur, des substituts du sang fiables devraient arriver sur le marché d'ici deux à cinq ans.

Un liquide inoffensif pour remplacer le sang ? C'est le rêve des transfuseurs et des chirurgiens pour en finir, notamment, avec les problèmes d'approvisionnement. La nécessité d'un substitut se fait d'autant plus sentir que la transfu-



PHOTOS X - TOUS DROITS RESERVES



Pour une transfusion "propre"

Deux substituts du sang devraient, d'ici à moins de cinq ans, supprimer les risques liés aux transfusions : d'une part, une émulsion chimique qui transporte de l'oxygène, d'autre part, de l'hémoglobine libre consolidée chimiquement (ci-contre, en blanc, le pont chimique "ajouté" à la molécule d'hémoglobine).

sion est devenue une hantise, en raison des risques de contaminations diverses qu'elle présente. Au point que les Américains la considèrent comme une pratique dangereuse, à éviter si possible. On a donc développé des stratégies d'autotransfusion, lourdes à mettre en œuvre, qui ne peuvent pas toujours être appliquées, surtout en cas d'urgence. La biochimie aurait-elle enfin inventé le sang universel, abondant, propre, bon marché ? Le liquide qui sauverait d'une mort certaine les milliers de blessés de toutes les guerres et de

tous les accidents du monde, frappés d'asphyxie parce qu'il n'y a pas assez de sang pour compenser leurs hémorragies...

Une poignée de sociétés et de laboratoires spécialisés sont engagés dans la course et il est bien difficile de deviner qui l'emportera. Deux options s'affrontent : d'un côté, l'hémoglobine, qu'elle soit d'origine humaine et "améliorée", animale ou biotechnologique ; de l'autre, les perfluorocarbures en émulsion, comme celui que développe Alliance Pharmaceutical.

Les perfluorocarbures sont com-

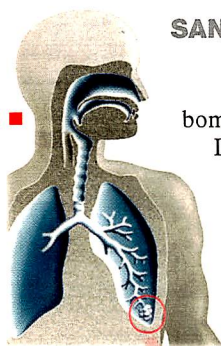
posés d'un enchaînement d'atomes de carbone et de fluor. «La liaison carbone-fluor étant particulièrement forte, les fluorocarbures sont les substances organiques les plus inertes que l'on connaisse. Ce sont aussi les plus denses, les plus compressibles et les plus hydrophobes», explique Jean Riess, directeur du laboratoire de chimie moléculaire du CNRS (URA 426), à Sophia-Antipolis, l'un des pionniers dans ce domaine, consultant et maître à penser de l'équipe d'Alliance Pharmaceutical.

LE PRODUIT SE CONSERVE UN AN ET DEMI À 5 °C

Inventés pendant la Seconde Guerre mondiale, les perfluorocarbures ont une remarquable inertie, qui facilita la manipulation des dérivés d'uranium de la première



SANG ARTIFICIEL



bombe atomique. Inertes chimiquement, les fluorocarbures le sont aussi biologiquement, mais

sont en outre d'excellents solvants des gaz, d'où leur intérêt dans la fabrication du "sang artificiel". L'expression, commode, ne plaît pas beaucoup aux scientifiques, car ces substituts ne remplissent qu'une partie des fonctions du liquide vital, le transport gazeux. De plus, cette fonction n'est assumée que de manière transitoire, le temps que l'organisme reconstitue "naturellement" l'hémoglobine qui lui fait défaut.

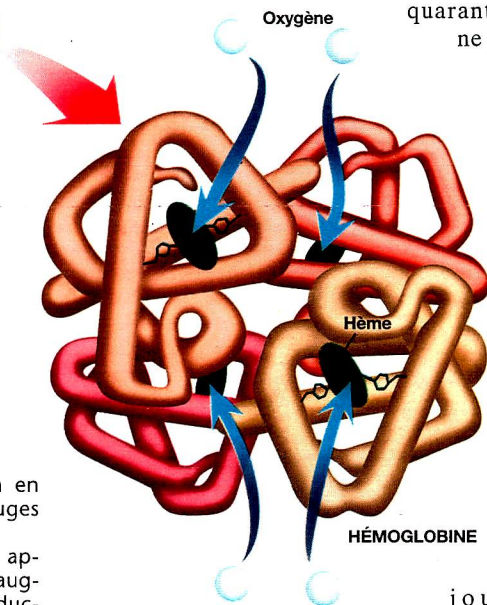
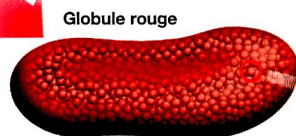
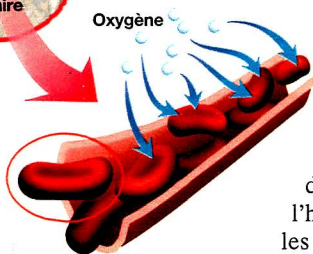
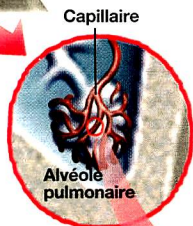
Les partisans des fluorocarbures jugent plus facile de mimer les processus biologiques que de tenter de reproduire l'hémoglobine et les globules rouges. Pourquoi pas ? Mais les diffi-

cultés sont de taille. Les premiers fluorocarbures utilisés étaient mal éliminés par l'organisme. Ils provoquaient des effets secondaires importants, dont une forte fièvre. Les émulsions étaient trop instables et ne persistaient pas assez longtemps dans les vaisseaux sanguins. Le Fluosol, premier transporteur d'oxygène de ce type mis sur le marché, souffrait de tous ces inconvénients et fut un échec.

Avec Oxygent, Alliance Pharmaceutical, en association avec Johnson & Johnson, semble avoir franchi ces obstacles. Les chercheurs ont choisi une émulsion aqueuse contenant du bromure de perfluorooctyle, le perfluobron, un fluorocarbonate facilement éliminé (il est excrété sous forme vaporisée par les poumons), et des phospholipides, tensioactifs bien tolérés par l'organisme. Autre avantage, le produit se conserve un an et demi à 5 °C et plus de quatre mois à 30 °C (contre une quarantaine de

Comment le sang transporte l'oxygène

Tandis que, pendant l'expiration, le sang libère, à travers la paroi des alvéoles pulmonaires, le gaz carbonique dont il s'est chargé, lors de l'inspiration, il capte au contraire l'oxygène de l'air pour le délivrer aux zones de basse pression en oxygène des tissus. Ce sont les globules rouges qui assurent le transport grâce aux molécules d'hémoglobine qu'ils contiennent. Ces molécules complexes portent chacune 4 molécules d'hèmes qui sont les sites de fixation de l'oxygène.



FABRIQUER DU SANG NATUREL

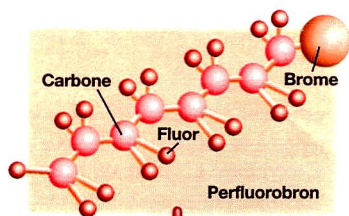
■ Les substituts du sang ont tous leurs limites : ils sont mal tolérés à forte dose, leur durée d'oxygénation est trop courte, etc. Le sang naturel, s'il n'était pas si rare, serait bien plus satisfaisant. C'est pourquoi plusieurs équipes de recherche à travers le monde

tentent de mettre au point des systèmes de production de sang véritable, *in vitro*. L'astuce consiste à isoler les cellules souches de la moelle osseuse qui se transforment en globules rouges, puis à les modifier génétiquement afin d'accélérer leur multiplication et

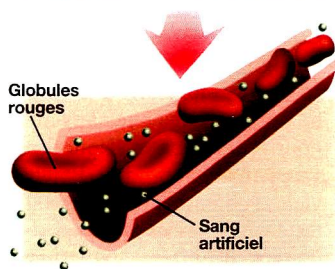
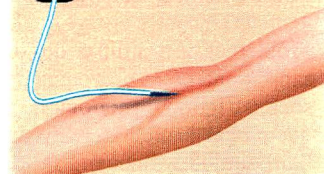
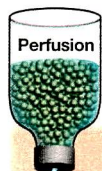
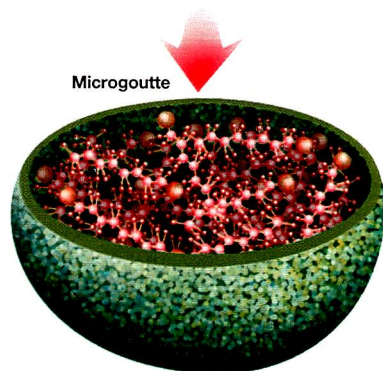
leur évolution en globules rouges matures.

Une autre approche vise à augmenter la production des globules rouges par l'organisme lui-même, à l'aide d'érythropoïétine, une hormone sécrétée par les reins qui stimule leur fabrication.

jours pour le sang naturel). De plus, ne coûtant que 30 dollars (150 F) les 100 grammes, il est de six à dix fois moins cher que les substituts du sang en cours de développement. Enfin, Alliance estime que, à quan-



Eau
Phospholipides



Du fluor dans les artères

Le sang artificiel des laboratoires Alliance est composé d'une émulsion de perfluorobron, d'eau et de phospholipides. Perfusées dans la circulation sanguine, les microgouttes de l'émulsion se chargent d'oxygène dans les capillaires des poumons. Le gaz y est alors stocké en solution et se dégage dans les zones de basse pression en oxygène. Il vient compléter l'action du sang naturel. Ci-dessous, ce rat de laboratoire, qui n'a plus que 5 % de son propre sang dans les veines, survit grâce à la perfusion d'une émulsion de perfluorocarbure.

tité égale, son produit délivre trois fois plus d'oxygène que l'hémoglobine, à condition que le patient reçoive, par assistance respiratoire, un apport d'oxygène adapté.

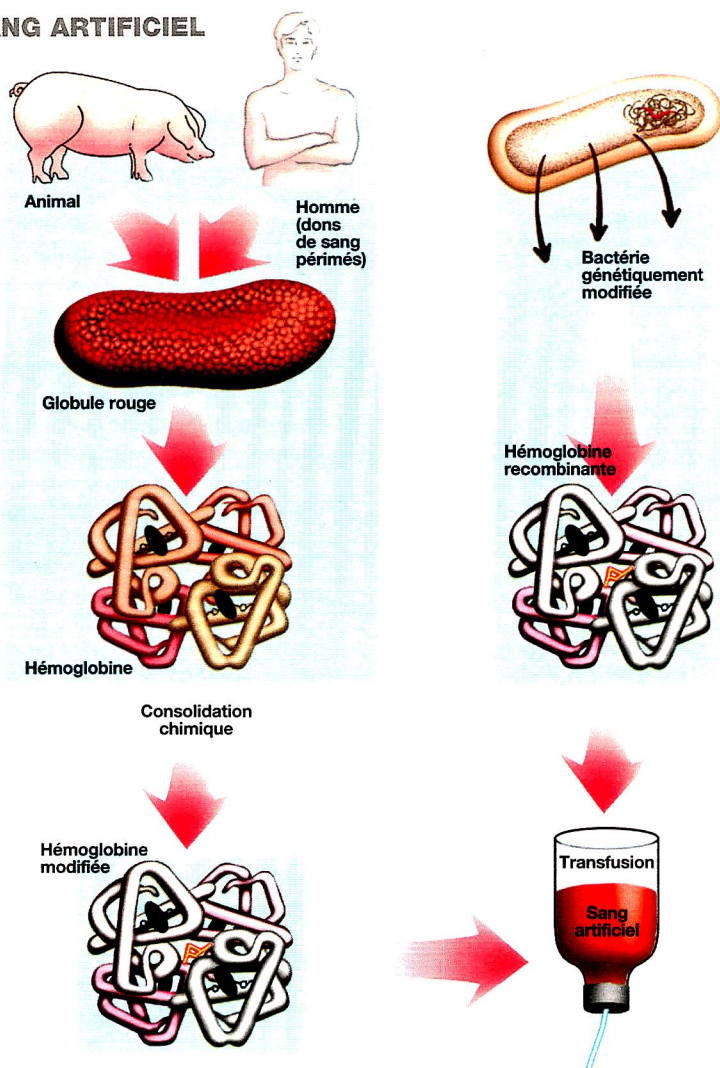
Sérieux concurrent des perfluorocarbures, l'hémoglobine pourrait aussi fournir bientôt un excellent substitut du sang. Ceux qui ont emprunté cette voie ont adopté une philosophie radicalement opposée : plutôt que de chercher à faire mieux que la nature, mieux vaut utiliser

le transporteur de l'oxygène qu'elle a façonné elle-même au cours de l'évolution. On peut extraire l'hémoglobine des échantillons de sang humain périmé, ou mieux, car il est plus facile de se la procurer, l'extraire du sang d'animaux tels que le bœuf ou le porc. On peut aussi la faire synthétiser par des bactéries génétiquement manipulées. Qu'importe son origine : avec l'hémoglobine pure, la question des groupes sanguins ne se pose plus.

Malheureusement, dès qu'elle n'est plus "emballée" dans les globules rouges (chacun en contient 280 millions de molécules), l'hémoglobine cesse d'être fonctionnelle. Constituée de l'assemblage de quatre protéines, elle forme normalement un tétramère (voir dessin page ci-contre). Mais, hors du globe, elle a tendance à se scinder en deux dimères. Plusieurs techniques permettent de la consolider. Les laboratoires qui produisent de l'hémoglobine par génie génétique modifient ses gènes de façon à créer des liens chimiques solides entre les quatre éléments de la molécule. Cette hémoglobine recombinante est très séduisante, car, une fois purifiée et filtrée, elle ne présente aucun risque de



SANG ARTIFICIEL



pour rendre ses propriétés originales à la molécule transporteuse d'oxygène. L'encapsulation dans une membrane lipidique a été envisagée, mais ce procédé coûte cher et risque de mettre ce substitut sanguin hors de prix. Les experts considèrent en effet que, au-delà de 150 dollars (750 F) les 100 grammes, un substitut du sang n'a aucun avenir commercial. De plus, ces membranes risquent de s'accumuler dans les vaisseaux, entraînant la formation d'un dépôt qui peut provoquer des troubles cardiovasculaires. Les travaux les plus prometteurs visent plutôt à trouver un compromis entre affinité et oxydation, en jouant sur la structure même de l'hémoglobine.

UN MARCHÉ DE 2 À 4 MILLIARDS DE DOLLARS

Plusieurs laboratoires sont désormais passés de la recherche au développement et multiplient les essais cliniques. Somatogen, une société américaine associée aux laboratoires Lilly, teste un substitut à base d'hémoglobine recombinante, mais rencontre encore quelques problèmes pour utiliser des doses satisfaisantes sans provoquer de vasoconstriction, phénomène fréquent et mal compris. A Evanston, banlieue de Chicago, la firme Northfield semble très avancée. Elle propose une hémoglobine d'origine humaine, polymérisée (plusieurs molécules d'hémoglobine attachées les unes aux autres) pour prolonger son séjour dans les vaisseaux. Son produit, Polyheme, vient d'obtenir l'autorisation d'être testé aux doses les plus importantes jamais atteintes, 300 grammes, l'équivalent de 6 unités de sang transfusé (les trois cinquièmes du volume total du sang). Mais Northfield est une petite société indépendante, dotée de faibles moyens financiers. De plus, l'hémoglobine humaine, même extraite du sang périmé, n'est pas toujours disponible en quantité importante.

Beaucoup plus solide financière-

Du faux sang avec du vrai

L'hémoglobine qui entre dans la composition de certains sangs artificiels peut être extraite soit des globules rouges d'un animal (porc, bovin) ou de dons de sang périmés, soit de bactéries auxquelles on a ajouté le gène nécessaire à sa synthèse. Cette dernière hémoglobine est dite recombinante. Contrairement à l'hémoglobine naturelle, qui doit être ensuite "consolidée" pour conserver sa cohésion hors des globules, la recombinante est directement modifiée dans les bactéries.

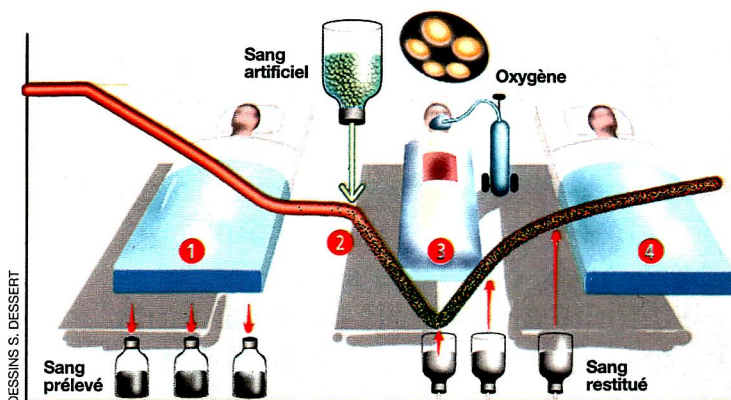
■ ■ ■ contamination virale. Propre, certes, mais pas facile à fabriquer en grande quantité. A moins qu'on ne fasse produire de l'hémoglobine à des plantes transgéniques, comme l'espèrent les chercheurs des laboratoires Biocem, à Clermont-Ferrand.

Autre obstacle, peut-être le plus considérable, hors des globules

rouges l'hémoglobine ne libère plus l'oxygène qu'elle a accumulé. Il faut donc réduire son affinité pour le gaz vital. Mais, curieusement, plus l'affinité est faible, plus l'hémoglobine a tendance à s'auto-oxyder. Un vrai casse-tête. Une solution consisterait peut-être à mener plus loin l'analogie avec la nature et à reconstituer le globule rouge,

ment, la multinationale Baxter mène ses travaux en Europe, surtout en Suisse, sur de l'hémoglobine humaine modifiée. Ses essais portent sur un plus grand nombre de patients que Northfield, mais à des doses moindres. Ces deux sociétés estiment que leurs produits seront prêts dans le courant de l'année prochaine. Tout comme ceux d'Alliance Pharmaceutical, dont les essais sur Oxygent seraient les plus avancés. Qui régnera sur ce marché mondial évalué entre 2 et 4 milliards de dollars par an? «Il y a de la place pour tout le monde», estime-t-on chez Baxter.

En effet, les substituts du sang ne visent pas – au moins dans un premier temps – à compenser les hémorragies très importantes et soudaines, mais ils peuvent trouver de précieuses applications. Notamment en chirurgie : dans un pays comme la France, les hôpitaux consomment plus de 1,2 million de litres de sang par an. Les substituts du sang réduiraient, par exemple,



Dans la salle d'opération

Avant l'opération, on prélève au malade une certaine quantité de sang (2 ou 3 poches) ①. Un transporteur d'oxygène artificiel (hémo-globine ou émulsion de perfluorocarbone) est ensuite perfusé au patient ② pour maintenir l'oxygénation de ses tissus, évitant ainsi le besoin d'une transfusion de sang. Enfin, au cours ③ et après l'opération ④, on restitue au patient son propre sang pour que celui-ci prenne le relais du sang artificiel. On favorise ainsi la récupération postopératoire.

les risques de privation d'oxygène du muscle cardiaque pendant les angioplasties. Ces interventions consistent à conduire un ballonnet

gonflable, à travers l'artère coronaire, jusqu'à l'endroit où un dépôt – la plaque athéromateuse – freine la circulation sanguine. Là, le ballon est gonflé de façon à écraser l'athérome contre la paroi du vaisseau. Pendant un court instant, la circulation, complètement interrompue, prive le cœur du gaz vital. On pourrait supprimer cet inconvénient en injectant un transporteur d'oxygène en aval du ballon.

Les neurologues sont également intéressés, car un substitut du sang limiterait les conséquences des accidents vasculaires cérébraux. Quant aux cancérologues, ils trouveraient ainsi un moyen d'oxygéner les tumeurs, ce qui les rend plus vulnérables à la radiothérapie.

Voyant chaque jour plus proche l'aboutissement de ces travaux, le National Institute of Health, équivalent américain de l'INSERM, a doublé ses investissements dans les substituts du sang (de 3 à 6 millions de dollars). En France, Claude Poyart, spécialiste de l'hémoglobine recombinante, directeur de l'unité INSERM 299, au Kremlin-Bicêtre, se sent bien seul et déplore que personne ici n'y croie vraiment... ■

UN SIÈCLE D'ESPOIRS DÉÇUS

■ Les dangers de la transfusion sanguine apparaissent dès les premières tentatives, au XVII^e siècle. Comme on ignore l'existence des groupes sanguins et les problèmes de compatibilité et de réaction immunitaire, les premiers bénéficiaires en sont les victimes.

La recherche de substituts commence à la fin du XIX^e siècle. Le précurseur est probablement un médecin américain, Gaillard Thomas, qui publie en 1878 les résultats – décevants – de l'injection à plusieurs de ses patients de lait de vache... en guise de transfusion.

Dans les années 60, une expérience désor-

mais célèbre, menée au laboratoire de Leland Clark, à l'université de Cincinnati (Ohio), ouvre plus sérieusement la voie. Elle consiste à immerger une souris dans un fluorocarbone liquide saturé d'oxygène. L'animal ne se noie pas. Contraint de respirer le liquide qui emplit ses poumons, il y trouve l'oxygène nécessaire à sa survie. La photo de l'expérience fera le tour du monde. Aussitôt, plusieurs laboratoires préparent des émulsions de fluorocarbone, les testent sur des organes isolés, puis les injectent à des rats.

«En 1973, déjà, la qualité des émulsions permet la survie d'ani-

maux auxquels on a retiré 95 % du sang. Curieusement, le rat ne semble montrer aucun trouble. Mieux, il survit dans une atmosphère à forte teneur en gaz carbonique, qui serait fatale à un rat normal», se souvient Jean Riess, directeur du laboratoire de chimie moléculaire du CNRS (URA 426), à Sophia-Antipolis, l'un des pionniers dans ce domaine.

À l'époque, les scientifiques pensent, un peu naïvement, avoir atteint leur but. Ils croient entendre sonner les trompettes de la renommée, voire de la fortune. Vingt ans plus tard, on mesure les obstacles qu'il restait à franchir.

Sida : trois médicaments

■ L'annonce a défrayé la chronique : des chercheurs auraient trouvé un remède contre le sida en administrant trois médicaments en même temps. Les virologistes suivaient cette piste depuis plus d'un an. De là à crier victoire, il y a un pas à ne pas franchir.

PAR PHILIPPE CHAMBON

Récemment encore, les médecins ne disposaient que d'une seule classe de médicaments contre le sida : les inhibiteurs de la transcriptase inverse, qui empêchent le virus de se multiplier dans les cellules. Le plus connu d'entre eux, l'AZT, n'a qu'une action de trois à six mois sur la concentration de virus. Il n'est donc pas très utile chez les séropositifs, mais permet en revanche de prolonger la survie d'un malade en situation désespérée, et d'éviter la transmission de la mère au nouveau-né au moment de l'accouchement. Cependant, ses effets secondaires (anémie, douleurs musculaires, troubles digestifs, etc.) sont parfois difficiles à supporter. Tout comme les deux autres médicaments de ce type qu'on trouve aujourd'hui sur le marché, la ddC, et la ddI. La publicité apportée aux huit autres produits (1) de ce type, plus ou moins actifs, ne doit pas faire oublier qu'ils ne sont pas disponibles hors des essais cliniques en cours.

Dans l'espoir de limiter les possibilités de résistance du virus, les chercheurs ont très vite songé à essayer des cocktails de ces molé-

cules. Las ! les résultats n'ont rien de sensationnel. Les associations AZT-ddI et AZT-ddC ont donné quelques espoirs d'amélioration. Mais, en réalité, la ddI seule semble tout aussi efficace qu'en bithérapie, permettant aussi de retarder de deux ans la chute des lymphocytes T4, les cellules clés du système immunitaire.

Une nouvelle classe de molécules, mises au point depuis quelques mois seulement, est en cours d'étude par plusieurs laboratoires américains. Ce sont des antiprotéases, substances qui bloquent une enzyme indispensable à la fabrication du virus. Sans cette étape ultime, le virus n'est pas infectieux. Indinavir, séquanivir, ritonavir..., toutes ces substances ont, semble-t-il, des effets sur le virus. Mais, là encore, une résistance apparaît en quelques mois, et plus rapidement encore lorsque les patients n'observent pas la prescription à la lettre.

De plus, ces molécules sont incompatibles avec certains antibiotiques, le paracétamol et d'autres médicaments d'usage courant. Elles provoquent aussi des effets secondaires parfois très difficiles à supporter, à tel point que plusieurs

dizaines de quelques centaines de patients qui participaient aux essais ont dû abandonner.

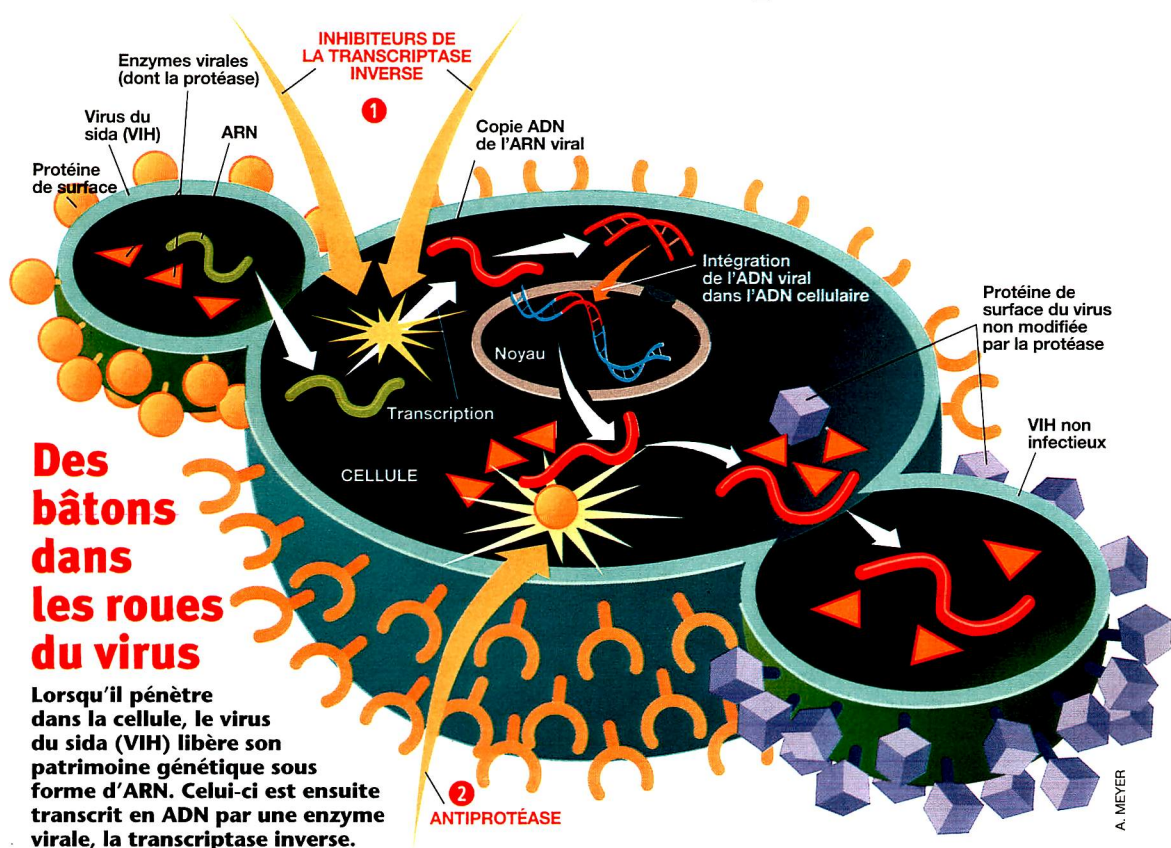
Cependant, l'association des inhibiteurs de transcriptase inverse et des antiprotéases s'impose. L'ère des trithérapies s'ouvre. Les premiers résultats sont annoncés à la fin du mois de janvier dernier, lors d'une conférence internationale sur les rétrovirus et les infections opportunistes, à Washington. Les "cocktails" utilisés contiennent deux inhibiteurs de transcriptase inverse et une antiprotéase. L'association AZT-ddI-indinavir, testée par une équipe des laboratoires Merck, divise par 100, par 500, voir par mille dans le meilleur des cas, la concentration de virus dans le sang. Idem pour l'association AZT-ddC-ritonavir, évaluée sur un petit nombre de patients par l'équipe de Jacques Leibowitch, à l'hôpital de Garches. Même chose pour l'association AZT-3TC-indinavir.

AU BOUT DE QUELQUES MOIS, PLUS TRACÉ DU VIH

En fait, au bout de quatre à six mois de ces trithérapies, le virus devient parfois indétectable. Mais les moyens actuels de dépistage, incapables de déceler moins de quelques milliers de virus par millilitre de sang, ne garantissent nullement que le virus soit éliminé en totalité. En reste-t-il ? En quelle quantité ? S'il resurgit, quelle sera sa virulence ? Dans la mesure où la durée de ces études n'excède guère six mois, on ne dispose encore d'aucune information sur le devenir de l'infection.

De plus, la réduction de la charge virale ne suffit pas : il faudrait qu'elle s'accompagne d'un accroissement du nombre des CD 4, les cellules cibles du virus, indispensables au bon fonctionnement du système immunitaire. De ce

valent-ils mieux qu'un?



Des bâtons dans les roues du virus

Lorsqu'il pénètre dans la cellule, le virus du sida (VIH) libère son patrimoine génétique sous forme d'ARN. Celui-ci est ensuite transcrit en ADN par une enzyme virale, la transcriptase inverse.

Cet ADN parvient dans le noyau où il prend place dans le génome de la cellule. La cellule infectée se met alors à produire du virus comme s'il s'agissait de l'une de ses sécrétions normales. Dans la dernière phase de fabrication du virus, une autre enzyme virale, la protéase, apporte la touche finale à une protéine de l'enveloppe du virus. Les médicaments actuellement utilisés ① inhibent la transcriptase inverse. Les nouveaux produits à l'étude ②, les antiprotéases, bloquent l'action de la protéase : les protéines de surface ne sont plus conformes, et le virus n'est donc plus infectieux.

côté, les résultats sont beaucoup plus mitigés : l'augmentation du nombre des CD 4 varie entre 50 et 200 cellules par millimètre cube de sang, selon le niveau pour chaque sujet au moment de l'entrée dans l'essai. Surtout, rien ne permet de dire si cette amélioration se maintiendra dans le temps. D'où l'intérêt d'autres approches destinées à agir directement sur le système im-

munitaire. Ainsi, à l'hôpital Laennec, à Paris, Jean-Marie Andrieux explore la piste de la cortisone. Mais, pour l'instant, globalement, les résultats sont trop préliminaires, effectués sur un nombre trop restreint de patients et sur une courte durée, pour guider la prescription des médecins.

Les cliniciens, eux, se demandent comment utiliser les trithérapies.

Faudra-t-il les commencer le plus tôt possible après la séroconversion ou, au contraire, y recourir seulement quand les autres thérapies ont échoué? Les opinions divergent.

Mais une chose est sûre : les antiprotéases coûteront très cher (leur prix n'est pas encore connu). Les hôpitaux seront-ils prêts à engager de lourdes dépenses pour une efficacité encore incertaine? Et les laboratoires continueront-ils à investir dans un domaine finalement peu rentable, vu le faible nombre de malades dans les pays qui ont les moyens de s'offrir ces médicaments? ■

(1) D4T, 3TC, Névirapine, Pyridinone, Pipérazine, Imidazo-benzodiazépine, Délaviridine, HBY097.

Le microscope capable de voir les gènes

PAR HENRI-PIERRE PENEL

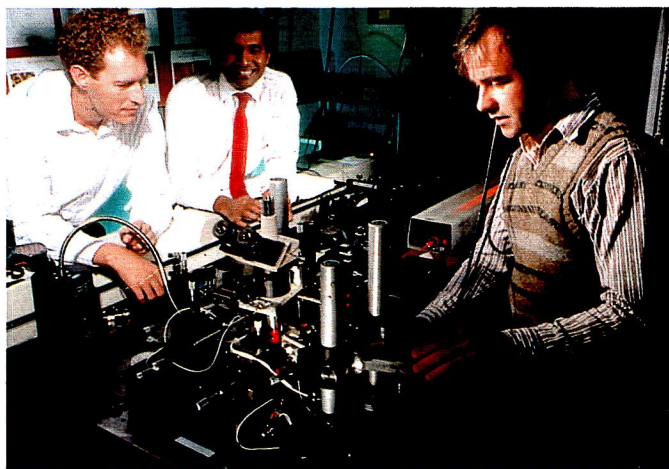
Jusqu'ici, on pensait que la résolution d'un système optique (l'écart minimal nécessaire entre deux lignes afin de les distinguer) était directement liée à la longueur d'onde de la lumière. Pour la lumière visible, cette longueur est comprise entre 0,45 et 0,75 micromètre. Impossible, donc, d'atteindre des résolutions inférieures à 450 nanomètres. Or, un tout nouveau microscope, baptisé SIAM (Scanning Interferometric Apertureless Microscope), possède une résolution de 1 nanomètre (10^{-9} mètre : une dimension de l'ordre de l'atome), 450 fois supérieure à celle que prédit la théorie !

LA LAMELLE VIBRE 250 000 FOIS PAR SECONDE

Le procédé, inventé par le Suisse Frédéric Zenhausern dans les laboratoires d'IBM, à New York, consiste à s'affranchir des limites de la longueur d'onde. La technique employée rappelle l'holographie : l'image n'est pas observée directement. C'est l'analyse de la réflexion de faisceaux lumineux qui permet la "reconstruction" de l'image.

L'échantillon à observer est éclairé par un laser dont la longueur d'onde est de 0,6 micromètre (une lumière rouge typique des lasers équipés de tube au néon). Le faisceau lumineux est divisé en deux faisceaux secondaires (voir le dessin page suivante). Le premier – le faisceau d'analyse – est focalisé sur l'échantillon, qui le réfléchit, mais il est en

■ IBM vient de concevoir un microscope qui semble ignorer la nature : il est 450 fois plus puissant que ne le permettent théoriquement les lois de l'optique ! Parmi ses innombrables applications, la possibilité de voir directement les gènes...



PHOTOS IBM

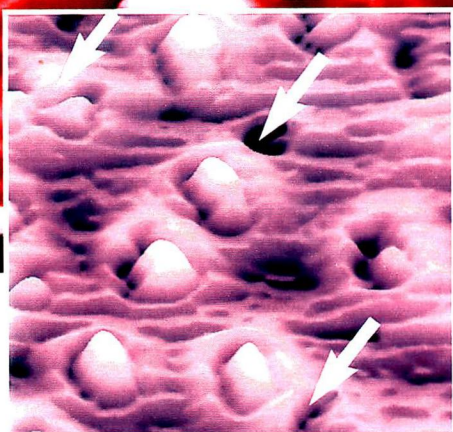
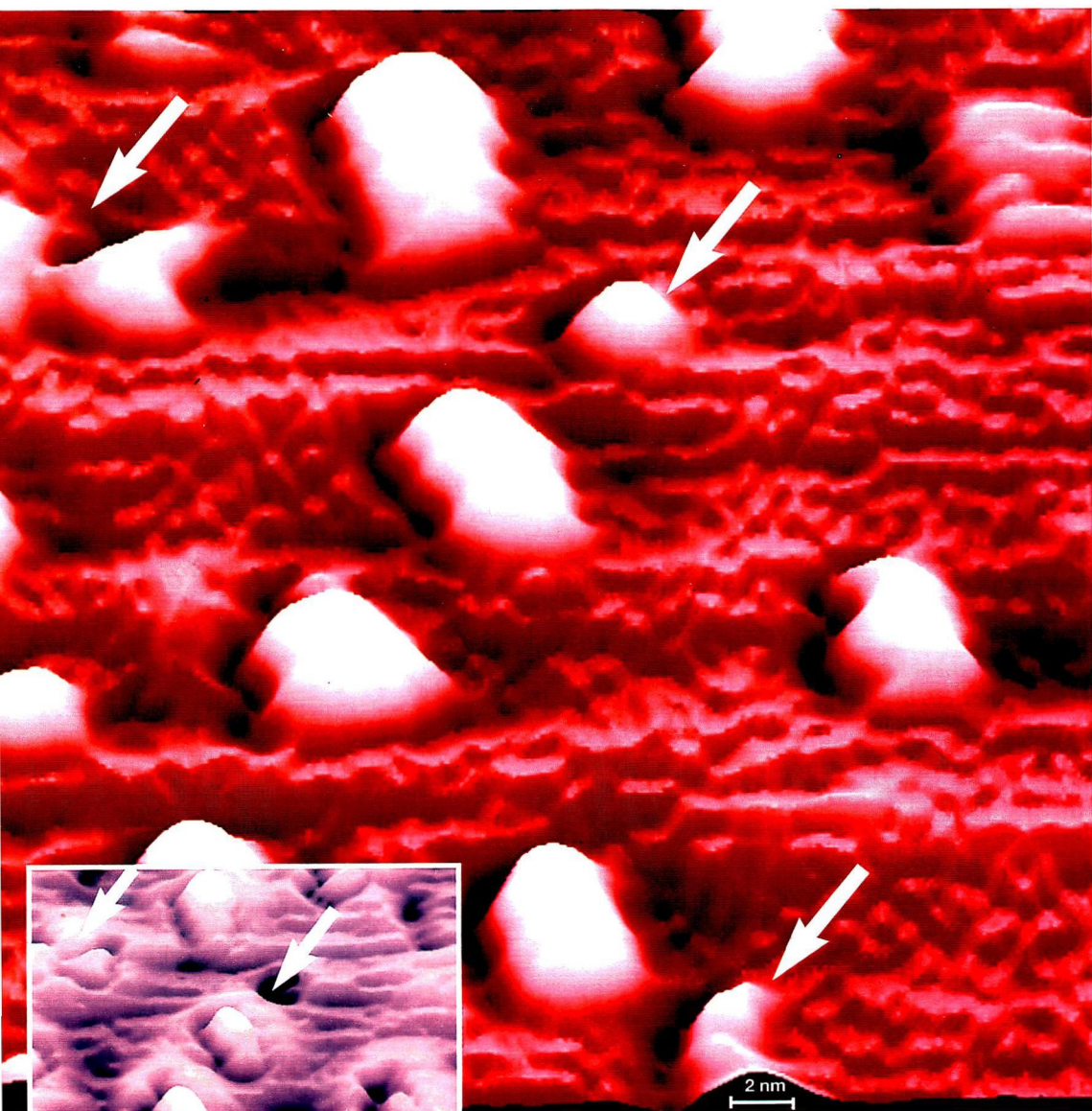
Un défi à la lumière

C'est dans les laboratoires d'IBM à New York qu'a été mis au point le SIAM, un microscope dont le dispositif mécanique permet de se libérer des contraintes de la lumière.

même temps affecté par les vibrations d'une lamelle microscopique placée sur son trajet. Le second faisceau fait office de référence, après réflexion sur la plaquette de verre porte-échantillon. Les deux faisceaux sont "mêlés" de manière qu'apparaisse entre eux ce qu'on appelle un réseau de franges d'interférences.

Tant que la vibration de la

lamelle est constante, ces interférences sont stables. Mais, si cette vibration varie, les interférences sont modifiées. La clef du procédé est donc cette lamelle. Elle est équipée d'une micropointe si fine que son extrémité n'est constituée que d'un seul atome de matière. Un dispositif d'excitation fait vibrer la lamelle 250 000 fois par seconde.



Tous les reliefs de l'huile

Vues par le SIAM (en haut), ces microgouttes d'huile sont conformes à la réalité. La même image en microscopie à effet tunnel (à g.) fournit des volumes inversés et erronés. L'échelle de 2 nm correspond à environ 10 atomes.

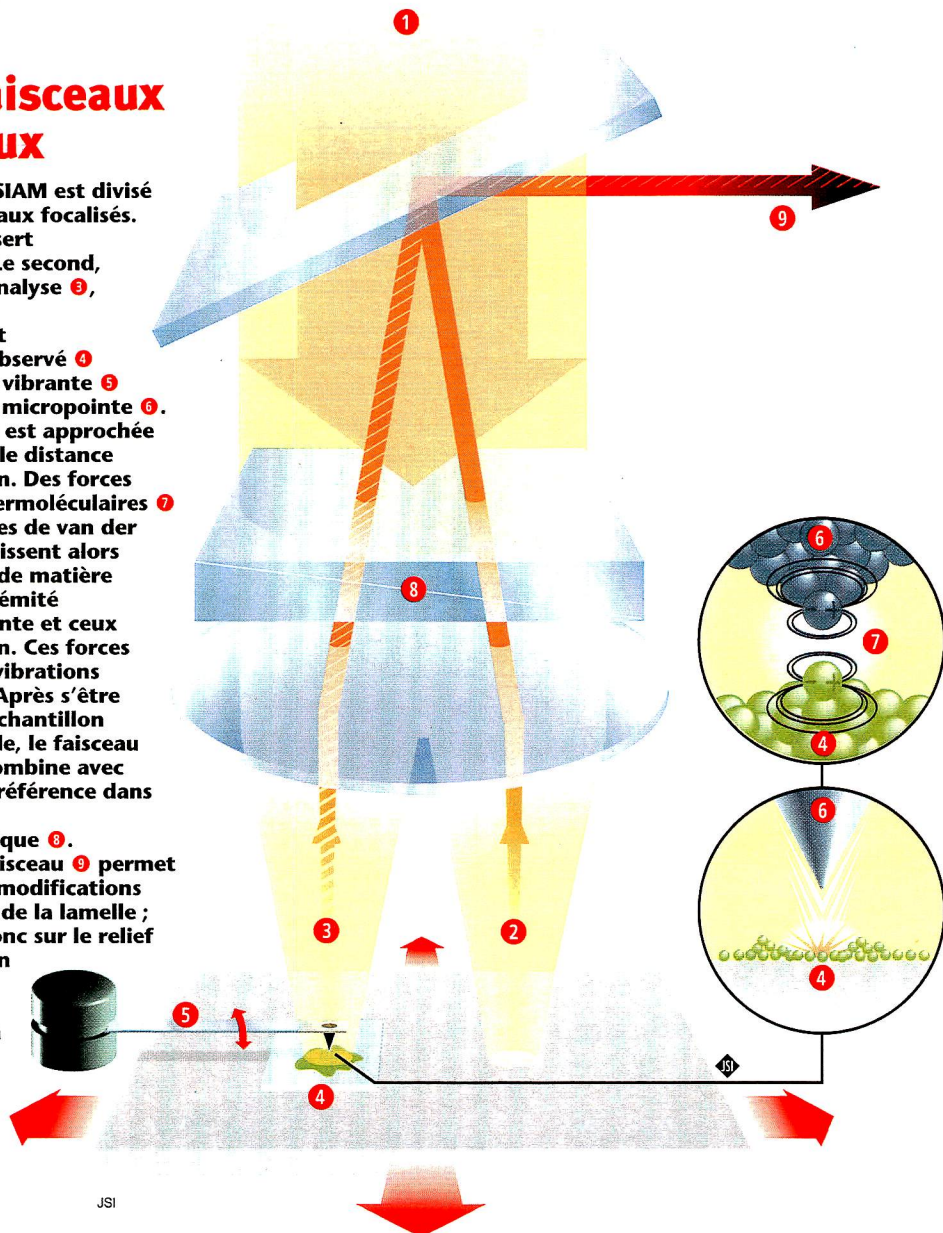
La micropointe est approchée de l'échantillon à analyser à une si courte distance que des forces s'exercent entre l'atome de l'extrémité de la pointe et celles de l'échantillon. Ces forces, non magnétoélectriques, sont connues sous le nom de "forces de van der Waals". Comparables à la force de

gravitation qui s'exerce entre deux masses, elles assurent la cohésion intermoléculaire. Leur apparition modifie la fréquence et l'amplitude des vibrations de la lamelle. L'intensité des forces de van der Waals est proportionnelle à la distance qui sépare la micropointe de l'échantillon. Or, chaque molé-

cule de ce dernier forme une "bosse". La présence de chacune de ces bosses se traduit par une réduction de la distance pointe-échantillon, ce qui modifie les vibrations de la lamelle. Lorsqu'on "promène" la micropointe au-dessus de l'échantillon, les variations des vibrations de la lamelle reflè-

Deux faisceaux lumineux

Le laser ① du SIAM est divisé en deux faisceaux focalisés. Le premier ② sert de référence. Le second, le faisceau d'analyse ③, vient éclairer simultanément l'échantillon observé ④ et une lamelle vibrante ⑤ équipée d'une micropointe ⑥. Cette dernière est approchée à une très faible distance de l'échantillon. Des forces de liaisons intermoléculaires (appelées forces de van der Waals) apparaissent alors entre l'atome de matière formant l'extrémité de la micropointe et ceux de l'échantillon. Ces forces modifient les vibrations de la lamelle. Après s'être réfléchi sur l'échantillon et sur la lamelle, le faisceau d'analyse se combine avec le faisceau de référence dans un dispositif interférométrique ⑧. Un nouveau faisceau ⑨ permet d'analyser les modifications des vibrations de la lamelle ; il renseigne donc sur le relief de l'échantillon observé. En promenant ce dernier sous la micropointe, on peut reconstruire son image point par point avec une extrême précision.



■ ■ ■ tent donc la topographie de celui-ci.

C'est pour quantifier ces variations qu'intervient la lumière. En effet, les variations des vibrations modifient les interférences entre les faisceaux lumineux. C'est par l'analyse de ces modifications qu'on peut reconstruire l'image de la surface de l'échantillon. Cette image n'est donc pas obtenue par la réflexion directe de la lumière, comme en microscopie conven-

tionnelle, mais par analyse des modifications de la réflexion de la lumière. Les interférences permettent de détecter des détails d'une taille inférieure à la longueur d'onde de la lumière, d'où l'extrême précision du procédé.

L'analyse de l'échantillon se fait "point par point", la micropointe explorant l'ensemble de la surface de l'échantillon pour obtenir les informations nécessaires au

système informatique qui "reconstruit" l'image.

L'énorme intérêt du SIAM réside dans le fait qu'il peut analyser des échantillons électriquement non conducteurs. Ce qui n'est pas le cas, par exemple, des microscopes "à effet tunnel". Ces derniers offrent une résolution proche de celle du SIAM, mais leur fonctionnement est basé sur le passage d'un courant électrique - d'où

l'obligation de rendre l'échantillon conducteur. Avec le SIAM, il devient possible d'étudier des préparations issues du milieu vivant sans risque de les dégrader par un traitement physicochimique.

Enfin, en modifiant la longueur d'onde de la lumière du laser (sa couleur), on peut obtenir des informations complémentaires sur la composition de l'échantillon analysé. Chaque molécule est identifiable.

UN MOIS POUR ÉTABLIR LA CARTE GÉNÉTIQUE

L'une des applications les plus prometteuses du SIAM, dans ce domaine, est la cartographie du génome humain. La génétique moléculaire s'est donné pour mission d'établir la cartographie de nombreux génomes, dont celui de l'homme. Mais les méthodes d'analyse actuelles, vieilles de plus de trente ans, sont si "lentes" qu'elles rendent l'entreprise titanesque. Décoder les trois milliards de nucléotides de l'ADN humain au moyen de tels procédés demanderait plus de dix ans. Le SIAM pourrait diviser cette durée par cent : à peine plus d'un mois pour établir la cartographie génique d'un individu. Dora Chérif, spécialiste en microscopie à fluorescence auprès du généticien Daniel Cohen, à la Fondation Jean-Dausset (Centre d'étude du polymorphisme humain), est formelle : « Si le SIAM tient ses promesses, il apportera une véritable révolution en cartographie génique, notamment en matière de séquençage. D'autres dispositifs permettent d'obtenir une résolution comparable à celle qu'annonce le SIAM, mais leur emploi pour l'analyse des gènes est inefficace. Soit l'information utile est noyée dans le "bruit de fond", c'est-à-dire les parasites qui entourent la mesure, soit le traitement que doit subir l'échantillon avant l'analyse crée des artefacts inacceptables. »

Ce microscope devrait donc améliorer de façon spectaculaire

les performances des généticiens, qui pourraient également le transformer en outil de diagnostic des maladies génétiques. Cet appareil devrait aussi permettre de vérifier rapidement les effets d'une thérapie génique.

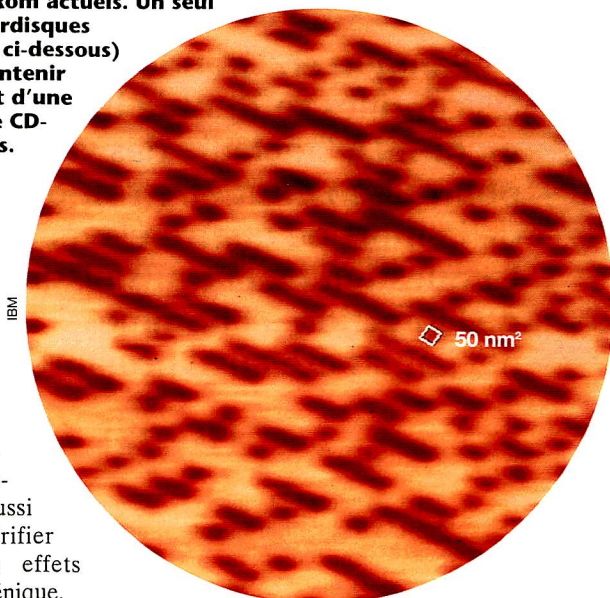
STRUCTURE CRISTALLINE DES ALLIAGES

Une autre application intéressante du SIAM, dans le domaine technique, cette fois, concerne le stockage des données numériques. Sur les CD-Rom, par exemple, la densité d'information est limitée par la taille relativement importante des microcouples (de l'ordre de quelques micromètres) chargées de diffuser le faisceau du laser de lecture. Leur miniaturisation permettrait d'en loger un plus grand nombre sur le disque. Une opération rendue possible par le SIAM, capable, grâce à sa résolution exceptionnelle, de détecter des objets dont la taille n'est que de quelques nanomètres.

Ce procédé offrirait alors la possibilité de loger le contenu de cent CD-Rom sur un disque unique de même format ! Un seul disque contiendrait ainsi plusieurs films, dans un format vidéo de très haute résolution. Ce support pour-

Cent CD-Rom sur un seul disque !

Autre application possible du SIAM : la lecture de "super-CD-Rom". Le dispositif étant capable de détecter des éléments d'une taille de l'ordre du nanomètre, on envisage de coder les données numériques à l'aide de microcouples beaucoup plus petites que celles utilisées sur les CD-Rom actuels. Un seul de ces superdisques (document ci-dessous) pourrait contenir l'équivalent d'une centaine de CD-Rom actuels.



rait être utilisé pour l'archivage informatique de très grandes quantités de données.

Les ingénieurs, en tout cas, fourmillent d'idées sur les applications futures du procédé. Toutes les techniques qui nécessitent l'observation d'éléments microscopiques sont concernées par le SIAM. Notamment le traitement de surface des éléments mécaniques de très haute précision, ou encore l'étude des phénomènes de dé-mouillage – c'est-à-dire la répartition d'une teinture, d'une huile, d'une colle ou de tout autre produit sur une surface. Pour le moment, ces problèmes sont souvent résolus de manière empirique. Le SIAM serait aussi un excellent outil d'analyse fine de la structure cristalline des alliages ou des céramiques. Bref, des pans entiers de l'industrie bénéficieraient de ce nouveau regard porté sur l'univers des nanodimensions. ■

Vaches folles : de mal en pis?

■ **Panique en Grande-Bretagne : les cantines retirent le bœuf de leurs menus. La "maladie des vaches folles" pourrait en effet être responsable de la mort de quatre éleveurs. La question de la transmissibilité de l'infection à l'homme n'a jamais été aussi brûlante.**

PAR EMMANUELLE EYLES

Quatre fermiers britanniques dont le bétail était infecté par l'encéphalite spongiforme bovine (ESB), dite "maladie de la vache folle", viennent de mourir de la maladie de Creutzfeldt-Jakob (CJD), une dégénérescence du cerveau qui rappelle étrangement l'ESB. En dix ans, les cas de CJD ont doublé en Grande-Bretagne (55 l'année dernière).

Ces décès inquiètent les Britanniques. En effet, c'est le même agent pathogène, le prion, une particule protéique infectieuse, qui est responsable des deux maladies (CJD et ESB). Les ventes de viande ont chuté de 15 %, des milliers d'écoles ont retiré le bœuf des menus des cantines, et le traditionnel *roastbeef and Yorkshire pudding* est boudé dans les restaurants.

LES FRANÇAIS DOIVENT-ILS S'INQUIÉTER?

C'est en 1986 qu'apparaissent en Grande-Bretagne les premiers cas d'ESB. Aussitôt, on s'emploie à éradiquer la maladie en tuant et en incinérant les bêtes malades. Alors que la panique s'empare du pays, le gouvernement interdit, en 1989, la

commercialisation et l'exportation des abats de bovins de plus de 6 mois, ainsi que l'utilisation de certains déchets (moelle épinière, abats) dans l'alimentation animale.

Il s'avère en effet que l'épizootie a éclaté à la suite de l'ingestion par le bétail de compléments alimentaires contenant de la viande de moutons contaminés par l'agent infectieux. Seule la Grande-Bretagne a été touchée, car seul ce pays, dans un but de rentabilité, réduisait la température de cuisson des farines de viande données aux bovins. Le prion échappait donc à une stérilisation complète.

Aujourd'hui, une enquête de la BBC révèle que, en dépit des contrôles (140 000 bovins ont été abattus en dix ans), 600 bovins malades finissent chaque semaine dans l'assiette du consommateur.



S. STAMMERS/SPL/COSMO

H. LANE/SIPA



140 000 bovins abattus en dix ans

Malgré l'abattage et l'incinération des animaux touchés par l'infection, quelque 600 "vaches folles" finiraient chaque semaine dans l'assiette des consommateurs anglais... Or, on ne sait toujours pas si la maladie peut être transmise à l'homme.

teur ! Il est en effet impossible de détecter la maladie chez les animaux atteints qui ne l'ont pas encore développée complètement.

De plus, des expériences menées en 1994 à Edimbourg ont révélé que l'ESB était transmissible de la vache au veau *in utero*. Cette découverte a dicté un nouvel arrêté interdisant la commercialisation des abats de veau quel que soit l'âge de l'animal. Comme le remarque Jeanne Brugère-Picoux, agrégée de pathologie médicale du bétail à l'Ecole vétérinaire de Maisons-Alfort, «il est regrettable que cette mesure ne s'applique pas au veau exporté en France». Les Français apprécient en effet particulièrement, sous le

nom de "ris de veau", le thymus, une glande située devant la trachée et qui est une réserve de protéines... donc de protéines infectieuses chez l'animal malade.

On ignore encore presque tout de l'agent de l'ESB. Coriace, il se joue des radiations ionisantes et des rayonnements ultraviolets, qui, d'ordinaire, neutralisent les virus et les bactéries les plus robustes. Il survit vingt-quatre heures à une température de 160 °C.

Selon le Pr Stanley Prusiner, de l'université de San Francisco, lorsque la protéine infectieuse (prion) pénètre dans les cellules nerveuses du cerveau, elle transforme les protéines saines PrP en pro-

téines infectieuses PrPsc. Les formules chimiques des deux protéines étant proches, la transformation n'est pas décelée par le système immunitaire, qui ne réagit pas. Les prions se multiplient (sans acide nucléique et sans ADN, ce qui constitue un mystère biologique...) à l'intérieur de la cellule, jusqu'à ce que celle-ci éclate. Ainsi s'explique l'aspect spongieux que prend le cerveau, modifié par la dégénérescence progressive du système nerveux central.

EXPÉRIENCES EN COURS À LONDRES

Il est impossible d'établir un lien entre la CJD et l'ESB, d'autant que la période d'incubation de la maladie chez l'homme est de quinze à vingt ans. Les seules données nouvelles proviennent de John Collinge et de son équipe, au Saint Mary's Hospital de Londres. Ils viennent de publier, dans la revue *Nature*, les résultats de six mois d'expériences : ils ont inoculé de la CJD à des souris manipulées génétiquement afin de pouvoir exprimer le prion humain, ainsi qu'à des souris non manipulées. Les souris transgéniques ont contracté l'infection tout comme des êtres humains l'auraient fait, tandis que les souris non manipulées n'ont pas été contaminées.

Dans la seconde partie de l'expérience, John Collinge a tenté d'évaluer la possibilité pour la maladie des vaches folles (ESB) de franchir la barrière des espèces, en l'inoculant à des souris porteuses du prion humain et à des souris non manipulées. Ces dernières ont toutes péri, mais les souris porteuses du prion humain ont jusqu'à présent survécu. On pourrait en conclure que l'ESB n'est pas transmissible à l'homme, mais, comme le précise Collinge, «les souris survivantes sont peut-être en période d'incubation. Il est encore trop tôt pour se prononcer».

Le mystère reste donc entier. Les bouchers n'ont pas fini de manger de la vache enragée... ■

Les insectes font de

■ Disposant d'armes chimiques de plus en plus efficaces, l'homme croyait avoir gagné la guerre contre les insectes. Pourtant, ils sont chaque jour plus nombreux à "résister". Les agronomes préparent la contre-attaque.

PAR CATHERINE PERROT

Qu'ils ravagent nos cultures, véhiculent des maladies ou trahissent un manque d'hygiène, les insectes sont souvent jugés indésirables par l'homme. DDT, organophosphorés, carbamates et autres pyréthrinoides ont été et sont encore utilisés pour les détruire. Pour la plupart neurotoxiques, ces produits sont normalement d'une efficacité redoutable. Pourtant, les traitements connaissent des échecs de plus en plus fréquents. Le premier cas connu de résistance d'un insecte à un insecticide fut celui du "pou de San José" (1908). La liste des espèces résistantes comprend aujourd'hui plusieurs centaines de noms.

Certes, les quelque 4 500 tonnes d'insecticides répandues chaque année en France n'ont pas totalement perdu leur efficacité. Mais, çà et là, la résistance s'organise : les aleurodes, le psylle du poirier, le carpocapse de la pomme, la mineuse du feuillage ou le puceron vert du pêcher se jouent des poisons chimiques. Quant aux assaillants de l'homme, tels que les mouches domestiques, les moustiques *Culex pipiens* (notamment autour de la Mé-

diterranée) et les poux, ils sont également devenus insensibles à certains insecticides.

On imagine l'ampleur des conséquences de ce phénomène : la nuisance, la perte de cultures, parfois de grande valeur (arboriculture, horticulture), et aussi... le manque à gagner pour les fabricants d'insecticides, quand on sait que la mise sur le marché d'un produit nécessite des années de recherche et de tests d'homologation. Ailleurs dans le monde, en particulier dans les pays en voie de développement, les effets de l'apparition de résistances chez les insectes ravageurs du riz (première ressource alimentaire mondiale) ou chez le moustique anophèle, vecteur du paludisme, sont encore plus dramatiques.

« Les phénomènes de résistance se rencontrent dans l'ensemble du ■ ■ ■



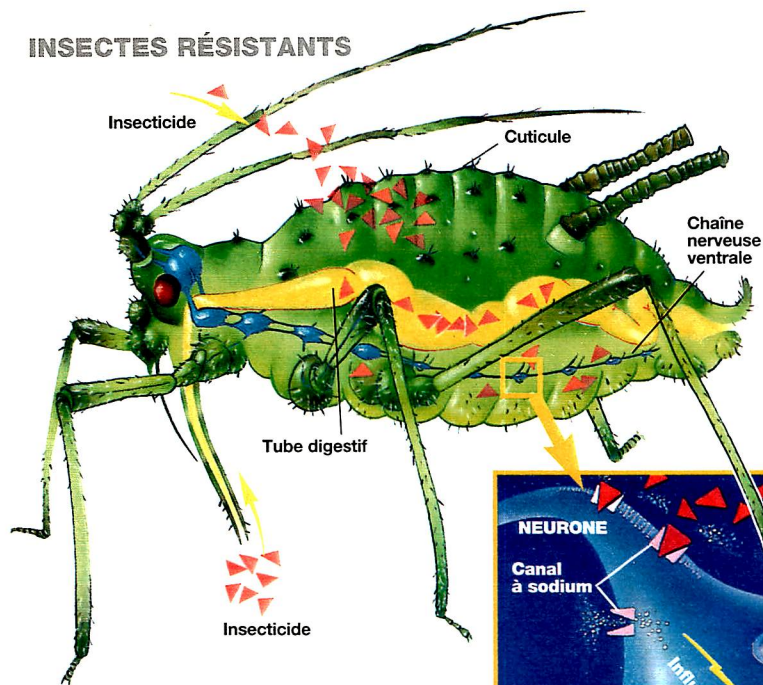
M. KEZAR/FOTOGAM-STONE

Ce puceron n'a peur de rien !

Face à la batterie d'armes chimiques déployée par l'homme, les insectes ripostent. Le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*) résiste ainsi désormais à tous les insecticides classiques.

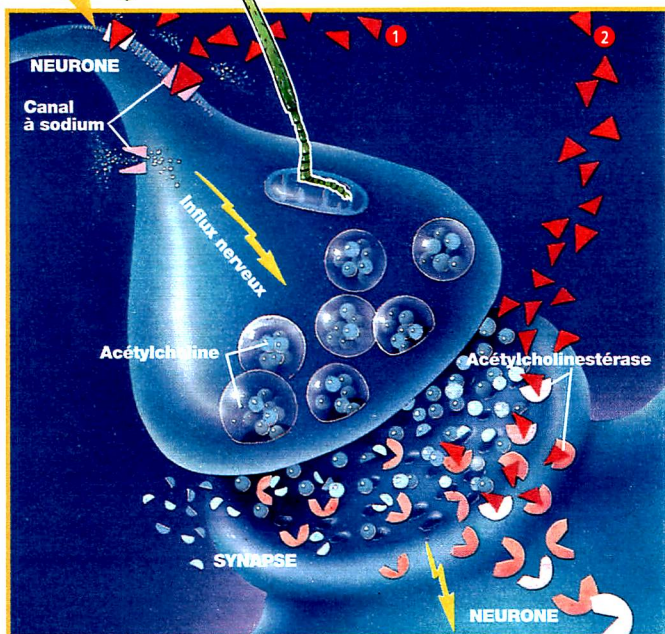
la résistance





L'agression de l'insecticide

L'insecticide pénètre dans le corps de l'insecte à travers sa cuticule ou par ingestion. Le DDT et les pyréthrinoides ❶ se fixent au niveau de la membrane des neurones, sur une protéine des canaux à sodium responsables du passage de l'influx nerveux. Les organophosphates et



DESSINS C. WITT-DEGUILLAUME

■ ■ ■ monde vivant. Que ce soit chez des cellules, des bactéries ou des organismes plus complexes, des caractères adaptatifs peuvent apparaître », explique Robert Delorme, qui, à la station de phytopharmacie de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), à Versailles, étudie depuis quinze ans la résistance des insectes aux insecticides. Les médecins sont ainsi confrontés à des cellules cancéreuses résistant aux antitumoraux et à des bactéries rebelles aux antibiotiques. On trouve aussi des résistances aux fongicides chez les champignons, aux herbicides chez les plantes, aux ratides chez les rats...

LE COTON ET LE RIZ SONT TRÈS MENACÉS

On pourrait imaginer qu'il s'agit simplement de "sélection naturelle" (quoique pas très naturelle), la "survie des plus aptes", aurait dit Darwin. Parmi les milliers, voire les millions d'insectes touchés par un traitement insecticide, quelques individus peuvent, par hasard, posséder un "antidote". Ces individus, protégés des effets de l'insecticide, seront donc les plus aptes à se reproduire et transmettront massivement les gènes de résistance à leurs

descendants. De génération en génération, et tant que la pression de sélection s'exercera (c'est-à-dire tant que le traitement insecticide sera appliqué), le patrimoine génétique de la population s'enrichira en "gènes d'antidote". Si aucune "dilution" par des gènes d'individus sensibles n'intervient, une nouvelle population, adaptée aux conditions extrêmes du milieu, aura été sélectionnée.

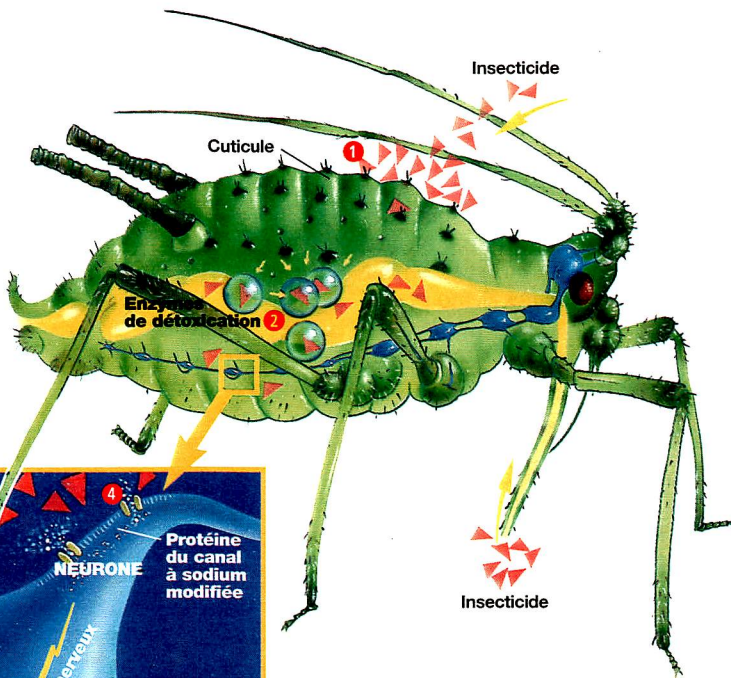
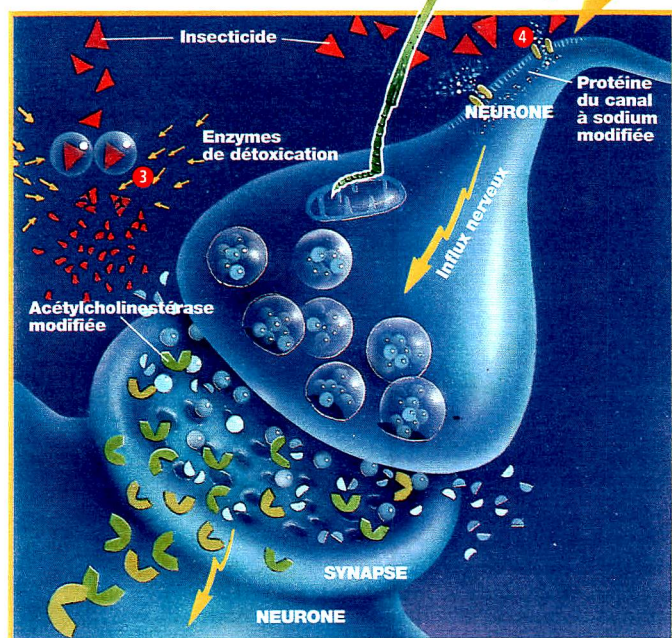
« Lorsque des phénomènes de résistance sont mis en évidence dans une population, il est déjà trop tard. La seule solution consiste à abandonner le produit inefficace au profit d'un autre, de structure chimique et de mode d'action diffé-

les carbamates ❷, eux, se fixent au niveau de la synapse (jonction entre deux neurones) sur l'acétylcholinestérase, une enzyme responsable de la dégradation et du recyclage de l'acétylcholine, messager chimique entre les neurones. Avec les deux types d'insecticides, le résultat est le même : l'influx nerveux ne peut plus circuler correctement. L'insecte entre alors en ataxie (mouvements désordonnés) et meurt.

rents », explique Robert Delorme. Cependant, le développement d'une résistance contre un produit particulier engendre parfois une insensibilité à d'autres produits : on

La parade de l'insecte

L'insecte peut se défendre de plusieurs manières : en ralentissant sa pénétration par l'épaississement de sa cuticule ① ; en piégeant le produit ② ou en l'hydrolysant ③ par des enzymes de détoxication ; ou en modifiant la molécule cible de l'insecticide ④ pour l'empêcher de se fixer sur celle-ci.



individus résistants par ceux d'individus sensibles venant de l'extérieur.

C'est ainsi que des populations de mouches des légumes, qui ont trois ou quatre générations par an, ont développé une résistance après cinq années de traitement, tandis que le ver de la canne de Taiwan, espèce bisannuelle, a mis vingt ans pour devenir résistante. Dans les pays tropicaux, où la clémence de la température ne provoque pas de rupture du cycle biologique des insectes, le nombre annuel de générations est très élevé. Des cultures de la plus haute importance économique, comme le coton et le riz, sont actuellement très menacées.

Le problème est particulièrement critique lorsque des traitements insecticides sont appliqués dans des milieux fermés tels que les serres : les individus résistants sont sélectionnés, et ils se reproduisent exclusivement entre eux, sans dilution des gènes par ceux d'individus sensibles. C'est en serre que sont apparues les résistances des aleurodes (sur cultures florales, concombres et tomates), de la mineuse du feuillage (sur chrysanthèmes et tomates), et c'est là aussi que les pucerons *Aphis gossypii* (sur cucurbitacées) et *Myzus persicae*

parle alors de "résistance croisée". Ainsi, chez *Myzus persicae*, le puceron vert du pêcher, la résistance développée contre les organophosphates a entraîné l'inefficacité des organochlorés, des carbamates et des pyréthrinoides, ce qui a conduit à une impasse de la lutte chimique classique contre cet insecte !

Aurait-on pu prévoir l'apparition de ce cycle infernal ? « Difficilement, répond Robert Delorme, car, lorsqu'on a engagé la lutte chimique contre les insectes (après la Seconde Guerre mondiale), on connaissait mal les phénomènes de résistance. A l'époque, le mot d'ordre était l'amélioration de la productivité et de la qualité des

productions agricoles. »

Aujourd'hui encore, on ne dispose pas de méthodes fiables pour prédire l'émergence de tels phénomènes. Dans une population "normalement" sensible, la fréquence des gènes de résistance est si faible qu'on ne peut les détecter : moins d'un individu sur un million serait porteur de l'"antidote" à l'insecticide. On connaît seulement les facteurs les plus favorables à l'apparition d'une résistance dans une population d'insectes : un temps de génération court (de dix jours à quelques mois), une pression de sélection – exercée par l'insecticide – importante en quantité et en durée, et l'absence de dilution des gènes des

■ ■ ■ (sur semences de colzas, chrysanthèmes, choux-fleurs) sont particulièrement nuisibles. On peut même imaginer qu'une population entièrement résistante puisse y être créée, et qu'elle s'en échappe pour coloniser les champs alentour !

Mais quelle est la nature de l'"antidote" utilisé par les insectes pour

Pour tromper l'insecticide, l'insecte devient mutant

se protéger des insecticides ? L'équipe de Jean-Baptiste Bergé, à l'INRA d'Antibes, s'intéresse de près à cette question. La plupart des insecticides ont leurs cibles moléculaires au niveau du système nerveux (voir le schéma page précédente). Ainsi, les organophosphates et les carbamates sont des inhibiteurs de l'acétylcholinestérase, une enzyme participant à la médiation chimique au niveau des synapses, régions de contact entre les neurones (1). Le DDT et les pyréthrinoides se fixent, quant à eux, sur la protéine du canal à sodium de la membrane des neurones. Or, c'est ce canal à sodium qui permet le passage de l'influx nerveux le long des neurones.

L'ENZYME EXTERMINATRICE

Pour atteindre son but, l'insecticide doit franchir plusieurs étapes : rencontrer l'insecte, pénétrer à l'intérieur de son corps, échapper aux mécanismes de détoxification et, enfin, reconnaître sa cible, une protéine du système nerveux. Les insectes ont développé de multiples stratégies pour lutter contre les insecticides. Certaines sont spécifiques à un seul type d'insecticide ; d'autres, comme la parade développée par le puceron du pêcher, sont presque "universelles".

(1) Ils agissent de manière analogue au gaz sarin. A ce sujet, voir *Science & Vie* n° 932.



A. HUSMOFOTOGRAF-STONE

La serre, alliée des résistants

De nombreuses résistances aux insecticides sont apparues en serre. En effet, dans ce milieu clos, les insectes "mutants", qui survivent aux traitements grâce à leurs gènes de résistance, se reproduisent exclusivement entre eux et prolifèrent.

La première stratégie consiste tout simplement à éviter la rencontre fatale. Ce type de résistance est très peu étudié, mais on peut imaginer que certains insectes ont développé une faculté aigüe de détection des molécules toxiques, qui les dissuade de s'approcher des zones traitées.

La seconde stratégie s'apparente au port d'un "impermeable", limitant la diffusion du produit toxique à l'intérieur du corps. Chez certaines mouches et blattes, on a constaté que la présence d'un gène appelé "pen" rend leur cuticule plus épaisse, plus riche en lipides et en protéines, donc plus imperméable. C'est néanmoins une solu-

tion de fortune, qui ne fait que retarder l'effet de l'insecticide. Les insectes ont souvent recours à des solutions autrement efficaces...

Ils possèdent en effet, comme beaucoup d'êtres vivants, des enzymes de détoxification destinées à éliminer les composés dangereux. Ces mécanismes sont cependant rapidement débordés quand il s'agit de doses d'insecticide importantes. Chez les individus résistants, on observe une modification qualitative (meilleure efficacité des enzymes) ou quantitative (enzymes produites en plus grande quantité) de ces systèmes. C'est ainsi qu'on a mis en évidence, chez certains moustiques, la production

en grande quantité d'une enzyme appelée estérase, capable d'inactiver les organophosphates. Cette production intensive résulte de l'augmentation du nombre de copies du gène codant pour cette enzyme (jusqu'à 250 fois plus d'exemplaires que chez les individus sensibles). Cette amplification génique serait également à l'origine des résistances développées par d'autres types d'organismes : cellules, plantes, protozoaires...

TRAITER MIEUX...

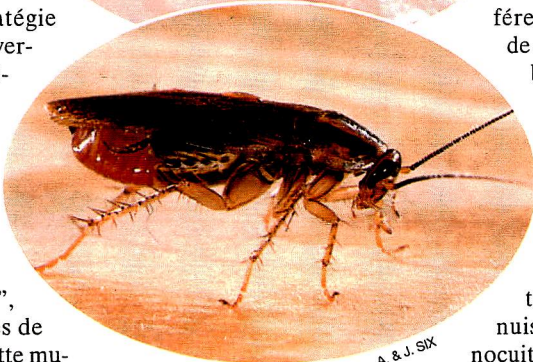
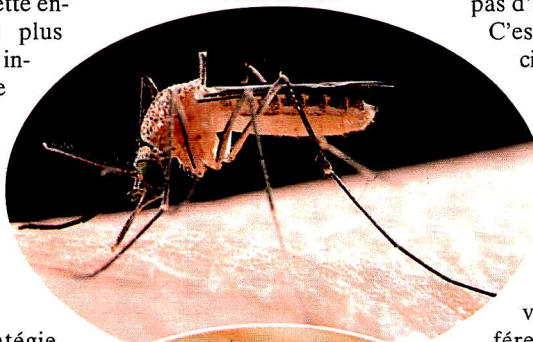
Enfin, la dernière stratégie consisterait à tromper l'adversaire en modifiant la molécule cible de l'insecticide. A la suite d'une mutation ponctuelle, un individu peut se trouver porteur d'une acétylcholinestérase mutée précisément dans le site de fixation de l'insecticide. Le "mutant", protégé des effets toxiques de l'insecticide, transmettra cette mutation à sa descendance. Ce phénomène a été très bien décrit chez le moustique du Sud de la France, où la fréquence du gène Ace R (acétylcholinestérase résistante) s'est continuellement accrue depuis vingt ans.

Face à cette riposte des insectes, les recours paraissent bien limités. Lorsqu'une résistance à un produit est apparue au sein d'une espèce, la solution la plus simple est d'abandonner ce produit au profit d'un autre. Cette stratégie est cependant fragile ; d'une part, parce que la découverte de nouvelles molécules actives ne suit pas le rythme d'apparition des résistances et, d'autre part, parce que certains mécanismes protègent les insectes contre la quasi-totalité des insecticides connus.

« Le seul moyen efficace d'empêcher l'apparition de résistances consisterait à ne pas traiter ! » ironise Robert Delorme. En fait, il faut

apprendre à traiter mieux, c'est-à-dire non plus systématiquement mais seulement quand la population d'insectes a atteint un seuil

P. LORNE/SUNSET



A. & J. SIX

L'armée des ombres

Deux grandes figures de la résistance aux insecticides : le moustique *Culex pipiens* et la blatte domestique (*Blattella germanica*).

critique. Ce qui implique, bien entendu, une excellente connaissance de la biologie des populations de ravageurs de cultures. On considère ainsi que le seuil dangereux est de 50 individus par feuille pour le puceron du pommier, mais d'à peine 1 individu par feuille pour le puceron cendré. Autant dire que l'agriculteur confronté à un problème de pucerons doit déployer des trésors de patience et d'attention.

« Il y a quelques années encore, la résistance des insectes aux insecticides était un thème tabou chez les fabricants, dit Robert Delorme.

Aujourd'hui, ils prennent très sérieusement en compte les risques encourus. » Ils doivent en effet commercialiser des produits "rentables", c'est-à-dire n'entraînant pas d'insensibilité à court terme.

C'est pourquoi certains insecticides (notamment les produits utilisés en arboriculture) portent la mention "ne pas utiliser plus d'une fois par an". Il reste à espérer que ces consignes sont effectivement respectées.

Traiter mieux, cela peut vouloir dire aussi traiter différemment, avec les méthodes de la lutte biologique : toxines bactériennes, champignons pathogènes, phéromones, insectes prédateurs... Les insecticides actuellement sur le marché sont de plus en plus respectueux des auxiliaires de culture, c'est-à-dire de la faune naturellement prédatrice des nuisibles. Le fait que cette innocuité est devenue un argument de vente montre aussi la préoccupation des fabricants.

L'INRA explore une autre voie de recherche : la production de plantes résistant par elles-mêmes aux attaques des insectes. Des variétés de blé, de maïs ou de pêcher ont ainsi été créées, soit par sélection variétale classique, soit par transgénèse (génie génétique).

On doit cependant garder à l'esprit que tous les moyens de lutte, qu'ils soient biologiques ou chimiques, peuvent être contournés par les insectes. Selon la loi de la sélection naturelle, l'adaptation à un milieu en perpétuel changement est la condition de survie. La connaissance des conditions d'apparition des résistances et de leurs mécanismes biochimiques devrait permettre de "limiter les dégâts" et de ne pas reproduire certaines erreurs du passé. Il faudra cependant peut-être apprendre à vivre avec les insectes !

Amiante : le

■ Les Français ont peur de l'amiante. Ce produit cancérigène est partout, comment s'en débarrasser?

Pour la première fois au monde, on vient d'expérimenter, à la faculté de Jussieu, une technique qui élimine les risques de contamination.

PAR HENRI-PIERRE PENEL

L'amiante est devenu un fléau national : de 2000 à 3000 décès par an seraient liés à l'inhalation de microfibrilles d'amiante, qui provoquent des cancers du poumon. En effet, au fil des ans, ces fibres d'amiante éclatent et se désagrègent pour se transformer en microscopiques aiguilles d'une dizaine de micromètres de longueur et de moins de 3 micromètres de diamètre. Ces microaiguilles, extrêmement légères, flottent dans l'air ambiant. Pénétrant dans les poumons, elles se fixent sur les alvéoles pulmonaires, et finissent par provoquer des cancers tels que le mésothéliome pleural.

poison pris au piège

Douceur trompeuse

L'amiante est une roche fibreuse douce au toucher ❶.

Il cache bien son jeu : au fil des ans, ses fibres éclatent en milliers de microaiguilles invisibles ❷, responsables de cancers du poumon.



LHCF

■ ■ ■ Les experts les plus pessimistes affirment qu'à l'orée du **xxi^e** siècle une véritable épidémie touchera notre pays, provoquant chaque année la mort de 10000 personnes. La France importe en effet plus de 35000 tonnes d'amiante par an, ce qui en fait le premier importateur d'Europe et le cinquième du monde.

A grand renfort de campagnes médiatiques, le gouvernement a soudain affirmé qu'il fallait éliminer ce produit cancérogène de notre environnement urbain. Très bien, mais comment ? On estime que les travaux de réhabilitation des construc-

On redoute 10000 morts par an au **xxi^e** siècle

tions devrait coûter la bagatelle de 30 milliards de francs. D'ailleurs, deux décrets viennent d'être publiés au *Journal officiel* (8 février 1996). Le premier impose le dépistage de l'amiante dans les constructions collectives, le second précise les mesures de protection des travailleurs exposés à l'amiante. Un véritable cadeau pour les associations de victimes de l'amiante, qui se battent depuis des années pour la reconnaissance officielle de ce fléau. Pour leur part, les médecins redoutent que la peur de l'amiante ne pousse certaines entreprises, voire des particuliers, à s'en débarrasser. Là encore, les décrets précisent les conditions de la décontamination. C'est lors de sa manipulation que l'amiante libère le plus de fibres et qu'il est donc le plus dangereux. Pire, « on vient de découvrir qu'une exposition ponctuelle à une forte concentration de poussières d'amiante était aussi nocive que l'inhalation de faibles doses durant des années », explique Marie-Madeleine Jeanroy, responsable du service d'hygiène et de sécurité de la faculté de Jussieu.

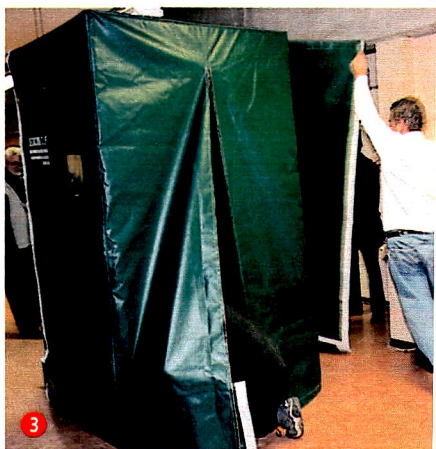
Dix minutes pour écarter tout danger

Plaqué sur le point d'intervention, le Setacium CP empêche le nuage de microfibres d'amiante d'envahir les locaux avoisinants. Il s'assemble à la manière d'une tente. Un jeu de tubes ① métalliques permet d'ajuster ses dimensions au lieu d'intervention. Fixées sur cette structure, des bâches en PVC (② et ③) forment un double sas étanche, grâce à une séparation interne. Des fermetures à glissière permettent d'entrer dans le Setacium CP et de passer d'une zone à l'autre. La circulation d'air est assurée par des ouvertures munies de filtres absolus ④. Les agents de maintenance s'équipent dans la première partie du sas et ouvrent la séparation interne ⑤ pour accéder au point d'intervention. Durant toute l'opération, le Setacium CP est maintenu en dépression par un groupe équipé d'un filtre absolu ⑥. Il ne faut qu'une dizaine de minutes pour mettre en place le dispositif.

Du coup, dans cet établissement, les travaux d'entretien les plus simples, comme le remplacement d'une ampoule dans un faux plafond, posent un sérieux problème. Et toute la maintenance de Paris VI et VII est paralysée. Jussieu compte 250000 m² de surface amiantée, notamment dans les gaines techniques où passent les câbles téléphoniques et électriques et les conduites de chauffage. Pour toute intervention, le personnel doit être équipé de combinaisons jetables et de

masques respiratoires. En revanche, les étudiants qui circulent dans les couloirs ne sont pas protégés. Devra-t-on évacuer la fac chaque fois qu'il faudra fermer un robinet ?

Pour limiter la pollution, Marie-Madeleine Jeanroy et Guy Jean, directeur de la société Costanzo Protection, ont mis au point et testé avec succès un dispositif astucieux, le Setacium CP, qui permet d'isoler totalement la zone d'intervention. Une première mondiale, qui intéresse déjà bon nombre de





PHOTOS J. NICOLAS

pays soumis à ce grave problème de santé publique.

Le Setacium CP est un double sas qui empêche le "nuage" de micro-fibres d'amiante, libéré par le flocage lors de l'intervention, de gagner les locaux. La base du dispositif est une sorte de tente étanche composée d'un assemblage de tubes métalliques, sur lesquels sont fixés un tapis de sol et des bâches en PVC antistatique afin que les poussières d'amiante ne s'y collent pas. Le Setacium CP est di-

visé en deux compartiments, l'un en contact avec le site d'intervention, l'autre formant un sas d'entrée.

UN DOUBLE SAS ÉTANCHE

Deux zones de sécurité sont ainsi délimitées. Pour assurer le passage de l'une à l'autre, les bâches sont équipées de fermetures à glissière. Il est possible de modifier leur position grâce à des bandes velcro, en fonction de l'emplacement du point d'intervention (ouverture latérale pour une trappe technique placée

sur un mur, ouverture du haut en cas d'intervention dans un faux plafond, etc.). Une fois le Setacium assemblé et correctement placé, il est mis en dépression. A cet effet, on utilise un groupe d'aspiration (une sorte de gros aspirateur, capable d'évacuer jusqu'à 400 m³ d'air à l'heure). L'air rejeté est débarrassé des poussières d'amiante par un filtre absolu (un filtre dont les pores sont si fins qu'aucune particule ne peut les traverser). Le groupe aspirant l'air dans la zone de travail,



■ ■ ■ c'est là qu'on trouve la pression la plus basse. En fait, grâce à un jeu de filtres portés par les bâches, l'air vicié ne peut sortir du Setacium CP, alors que l'air "pur" peut y entrer.

Des mesures effectuées par l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ont confirmé l'efficacité du dispositif. Alors que, dans la zone de travail, la concentration en poussières d'amiante atteignait les 3000 particules par litre, l'augmentation de l'indice de pollution aux abords du sas n'était pas significative. Cependant, cette solution reste

s'échinent à traquer le "poison" sans précaution. Ces travaux libèrent des microfibrilles d'amiante, jusqu'alors totalement inoffensives puisqu'elles étaient piégées dans la masse du matériau (ciment de la cheminée, liant du flocage, etc.).

A ce sujet, le Pr Jean Bignon, spécialiste des maladies pulmonaires à l'hôpital intercommunal de Créteil, est formel : « Il faut à tout prix calmer les esprits. La médiatisation du problème risque de pousser des personnes à prendre des risques inutiles. En cas de doute, il faut faire pratiquer des analyses et, éventuellement, réclamer l'intervention d'une équipe de spécialistes. Il ne faut absolument pas tenter d'agir soi-même : un risque très limité pourrait tourner au drame. »

La décontamination, c'est-à-dire l'élimination de l'amiante d'un local, n'a rien de simple. Seule une équipe expérimentée peut y procéder. Afin d'écarter tout danger pour l'environnement, elle doit être impérativement réalisée en milieu

confiné. Le local à décontaminer doit être placé en dépression, pour éviter, comme y parvient le Setacium, la fuite de fibres vers l'extérieur. De plus, il faut travailler en atmosphère humide, pour que les fibres libérées lors de l'arrachement, s'il s'agit d'un flocage, s'agglutinent.

Le coût de ces opérations est très élevé. Pour défloquer un local, il faut compter environ 1500 F par mètre carré.

Un cas typique de "désamiantage sauvage" est celui qui a été réalisé dans une usine de torréfaction de café du le Fuy-de-Dôme. Pratiquée sans respecter les règles de sécurité les plus élémentaires, cette opération avait été confiée à une société de nettoyage dont les employés n'étaient guère experts en matière de décontamination. Ils

ont retiré le flocage sans prendre la moindre précaution. L'amiante était arraché à la main et simplement déposé dans une benne en plein air, à proximité d'habitations et d'un groupe scolaire. Aucun ensachage – pourtant rendu obligatoire par le décret du 17 août 1977 – n'était prévu, et encore moins le confinement de la zone d'intervention.

Certes, il s'agit là d'un cas extrême. Les particuliers, eux, courent un double risque : recevoir les propositions de sociétés prétendument spécialisées dans la décontamination, ou tenter de "désamiantier" eux-mêmes. Le nuage de poussières créé par de telles opérations peut atteindre des concentrations supérieures à 5000 particules par litre et mettre en réel danger tant les "bricoleurs" que leur entourage.

Pour éviter les accidents, il vaut mieux contacter l'une des nombreuses entreprises agréées par le ministère de la Santé. Une liste dé-



Surtout éviter le "désamiantage sauvage"

provisoire, l'idéal étant bien entendu de décontaminer le site en éliminant totalement l'amiante.

De plus, si la technique est valable pour un grand immeuble comme Jussieu, elle ne résout pas le problème des particuliers qui vivent dans un environnement où l'amiante est également présent. On le trouve aussi bien dans les isolants thermiques que dans les dalles de sol ou le bloc d'une cheminée. Depuis que la psychose a gagné la France, bon nombre de bricoleurs du dimanche

DES SUBSTITUTS NON POLLUANTS

■ L'amiante peut être remplacé par de la fibre de verre ou par de la laine de roche. Comme son nom l'indique, la fibre de verre est du verre filé à haute température. La laine de roche est obtenue par centrifugation de roches en fusion.

Dans les deux cas, on obtient une fibre composée d'une pâte amorphe. Elle conser-

ve, tout au long de son existence, le diamètre qui lui a été donné lors de sa fabrication. Avantage : contrairement à l'amiante, ces fibres ne se délitent pas et ne créent pas de nuage polluant. Tout au plus se brisent-elles en petits segments. Mais elles ne se transforment jamais en microaiguilles. Cepen-

dant, des petits morceaux de laine de verre ou de roche peuvent se planter dans la peau et provoquer des démangeaisons importantes.

Inconvénient de ces substituts : ils résistent moins bien à la chaleur. La fibre de verre fond à 600 °C, alors que la température de fusion de l'amiante est de 1500 °C.

SÉCURITÉ : QUE FAIRE DES DÉCHETS?



Les sacs d'amiante étanches sont enfouis dans des centres de stockage de classe 1.

J. NICOLAS

■ Il existe deux filières de stockage des déchets d'amiante. Une partie de ceux-ci est vitrifiée à la torche à plasma. Une température de 1 500 °C fait fondre les fibres et les transforme en blocs amorphes, inoffensifs. Mais cette technique est très onéreuse : le traitement d'un mètre cube de fibres coûte environ 5 000 F. La méthode n'est utilisée que par EDF.

Autre filière : les dé-

chets sont dirigés vers des centres de stockage de classe 1. Cependant, l'amiante ne représente pour l'instant que 1,2 % des déchets industriels traités par ces centres. France Déchets, par exemple, ne traite guère plus de 6 000 tonnes d'amiante par an, tous produits amiantés confondus. Ce chiffre laisse supposer que le déflocage reste une opération marginale.

L'amiante est apporté par camion dans des sacs étanches munis d'une double paroi. A l'arrivée, l'étanchéité des sacs est contrôlée. Tout sac douteux présentant la moindre déchirure est mis de côté pour être immédiatement enfoui. Les autres sont disposés dans de vastes tranchées, régulièrement recouvertes de terre. En effet, avec ces résidus toxiques, c'est la pollution de l'air

qui est le plus à redouter.

Bien que les mesures de cette pollution dans les centres de stockage n'aient pas révélé de taux anormaux de microfibrilles en suspension, l'amiante sera soumis, dès 1998, aux réglementations en vigueur pour les autres déchets industriels polluants : les déchets d'amiante seront mélangés à du béton avant d'être stockés sous forme de dalles.

taillée est fournie par les services administratifs de toutes les directions départementales de l'Équipement (DDE) ou par ceux des directions départementales de l'Action sanitaire et sociale (DDASS).

Les autres matériaux à base d'amiante, tels que les blocs d'isolation des cheminées, les plaques de

fibrociment, les revêtements de sol, etc., présentent des risques comparables. L'essentiel est de préserver l'efficacité du liant. Il faut donc proscrire le perçage, le sciage ou le ponçage de ce type d'éléments. D'une manière générale, il faut avant tout surveiller leur vieillissement. Un flocage qui commence à

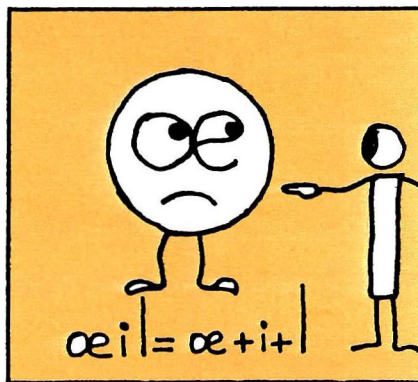
se décoller ou une dalle en fibrociment qui s'effrite sont dangereux. En revanche, un revêtement de sol visiblement "sain" ne demande – provisoirement, du moins – qu'à être laissé en paix.

Bref, il faut se méfier de l'eau qui dort, et ne pas la réveiller, sous peine de déclencher la tempête... ■

On a perdu la méthode

■ Expérimentée avec succès dans les années soixante-dix, la méthode Bordesoules facilitait l'apprentissage de la lecture à l'école primaire. A l'heure où l'OCDE révèle que 40 % des Français lisent difficilement, l'Education nationale prétend que les rapports se sont égarés...

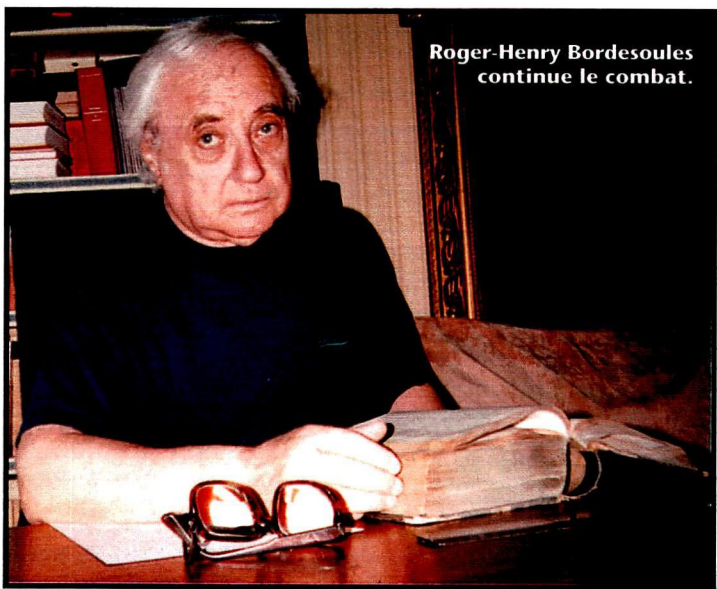
PAR PIERRE ROSSION



Où est passé le dossier Bordesoules ? Les parents des enfants qui ont des difficultés à lire (un sur quatre, en France) voudraient bien le savoir. Car ce dossier contient une méthode révolutionnaire permettant d'apprendre rapidement à lire non seulement aux écoliers "normaux" mais aussi aux enfants atteints de dyslexie (voir *Science & Vie* n° 802).

Or, une récente enquête, menée par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) dans sept pays (Allemagne, Canada, Etats-Unis, France, Pays-Bas, Pologne et Suède), fait ressortir que 40 % des Français ont de graves problèmes de lecture. Ce qui les place dans le peloton de queue, juste devant les Polonais mais loin derrière les Suédois. Un chiffre (révélé par notre confrère *Libération*) que la France aurait préféré garder secret...

Défendue au sein du ministère de l'Education nationale par Angèle Synquintyn, inspectrice d'académie, la méthode Bordesoules avait, en 1976, fait l'objet de plusieurs rapports de l'Institut national de recherche pédagogique (INRP). Ils faisaient suite à une enquête favorable, diligentée par le



Roger-Henry Bordesoules continue le combat.

Photo X, tous droits réservés

ministère de l'Education nationale, auprès de Roger-Henry Bordesoules, enseignant à l'époque en cours préparatoire, à Paris.

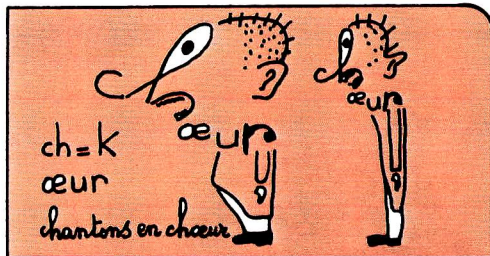
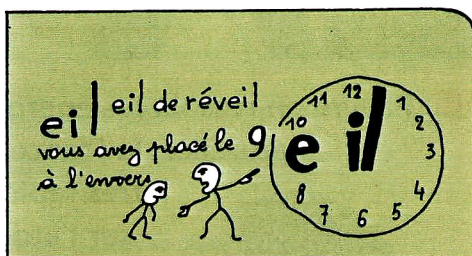
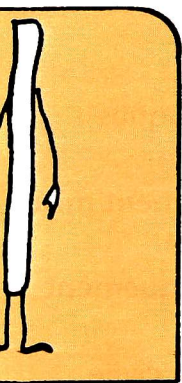
SONS CONTRE LETTRES

Mais, à l'INRP, ces rapports sont introuvables... M. Bordesoules, aujourd'hui à la retraite, pense que sa méthode a été "enterrée". Car, comme l'a rappelé François Bayrou, ministre de l'Education nationale :

«En France, le problème de l'apprentissage de la lecture ne peut être abordé sans donner lieu à des affrontements idéologiques autour des méthodes utilisées.»

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'INRP oblige les instituteurs à appliquer, pour des raisons idéologiques obscures, la méthode globale, ou semi-globale, plutôt que la méthode traditionnelle, dite syllabique, qui a pourtant fait

de lecture !



Histoires de syllabes

Pour apprendre à lire les syllabes difficiles, R.-H. Bordesoules a eu l'idée de raconter une histoire avec les lettres qui les composent.

Par exemple (ci-dessus, à gauche), l'œil droit (o) regarde de travers l'œil gauche (e) dirigé vers l'enfant (i) donnant la main à sa mère (l). Dès qu'on connaît l'histoire, on sait qu'œil = œ+i+l.

ses preuves chez plusieurs générations d'écoliers.

La méthode syllabique va du simple au complexe. C'est d'abord l'étude des lettres, qu'on associe ensuite en phonèmes (*b, a, ba*), pour former des mots, puis des phrases. Quant à la méthode globale, elle procède par une décomposition postérieure à l'acquisition globale de la phrase, c'est-à-dire qu'on apprend d'abord à entendre les divers sons qui la composent, pour ensuite les disséquer un à un.

INSPIRATION ÉGYPTIENNE

Cette méthode a deux graves inconvénients, souvent dénoncés par les parents et les pédagogues avertis. Une fois le son enregistré, l'enfant s'estime satisfait et ne se préoccupe plus guère de savoir comment il s'écrit. Ainsi, quand il entend le son "dan", il l'écrit, au hasard, dent, dans ou dant. Ce qui explique qu'aujourd'hui les candidats au baccalauréat et aux concours des grandes écoles, formés avec cette méthode, remettent des copies truffées de fautes d'orthographe. De plus, fau-

te d'un apprentissage – certes contraignant – des lettres et des phonèmes, l'enfant sujet à la dyslexie, c'est-à-dire qui a tendance à lire de travers (au lieu de lire germe, il lira mégère), verra ses troubles s'aggraver. La méthode Bordesoules est une variante de la méthode syllabique. Elle consiste à habiller chaque lettre du mot étudié avec un dessin représentant, par exemple, un objet ou un personnage, et à raconter une histoire en suivant l'ordre des lettres dans le mot étudié (voir les illustrations ci-dessus). Pour suivre la logique de l'histoire, l'enfant est donc obligé de lire les lettres dans le bon ordre, ce qui l'amène, finalement, à lire et à écrire le mot correctement. La méthode s'apparente en quelque sorte à l'égyptien ancien, où les mots sont imagés par des pictogrammes. Dès qu'on ignore le sens de l'un de ces signes, la phrase devient incompréhensible.

Les résultats obtenus par M. Bordesoules lorsqu'il était en exercice étaient particulièrement brillants. De 1972 à 1982, sur les 238 élèves qui ont fréquenté sa classe (1), 228 sont passés en cours élémentaire première

année, 10 seulement ont redoublé (soit 4,2 %, au lieu des 20 % habituellement enregistrés et reconnus par le ministère). Sur les 29 "cas difficiles" confiés par d'autres instituteurs à M. Bordesoules, 27 savaient lire en fin d'année scolaire et sont passés en cours élémentaire. Or, sur ces 29 élèves, 9 avaient déjà redoublé plusieurs fois. Des résultats aussi remarquables n'échappèrent pas à une étudiante, Anna Cortella, qui en fit le sujet de sa thèse de médecine en 1987.

M. Bordesoules, sollicité par des parents, lutte aujourd'hui pour la reconnaissance de sa méthode. Son combat est relayé par le Groupement pour la promotion de la méthode Bordesoules, une association loi de 1901 (2). En février dernier, François Bayrou décidait de créer une sorte d'"académie de la lecture" chargé de repérer les meilleures méthodes de lecture à signaler aux enseignants. «Car, précisait-il, aujourd'hui, il n'est plus question de contraindre les maîtres à appliquer telle ou telle méthode d'apprentissage.» Saisissant l'occasion, le GPPMB, a alerté François Bayrou, qui s'est déclaré intéressé, mais n'a pu prendre de décision, parce que ses services ne trouvaient pas les fameux rapports. Étonnant ! ■

(1) Successivement à l'école Félix-Pécaut, celle de la rue des Epinettes et celle du boulevard Bessières, toutes situées dans le 17^e arrondissement de Paris.

(2) GPPMB : 36, rue de Lyon, 29200 Brest.

HISTOIRES

Et la France devint

■ Pauvre en ressources énergétiques naturelles, la France

a très rapidement misé sur l'atome.

Et pas uniquement pour son utilisation civile...

Le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) fête ses 50 ans.



L'atome, de la reconstruction à la puissance

Dès 1939, Frédéric Joliot (à gauche), assisté de Hans Halban (au centre) et de Lew Kowarski (assis), cherche à tirer parti de la fission de l'uranium pour fabriquer un réacteur nucléaire. Interrompus par la guerre, ils reprennent leurs travaux en 1945 au sein du tout nouveau CEA, dans une France exsangue (photo de droite : pénurie de pain) mais en pleine reconstruction.

nucléaire...



KEYSTONE - SYGMA

Automne 1945. La guerre qui s'achève a laissé la France en ruine. Industrie effondrée, nourriture rationnée, manque de chauffage, pénurie de produits de première nécessité, marché noir, procès des collaborateurs, âpres luttes politiques... Mais grands espoirs, aussi : tout est à reconstruire ! C'est dans ce contexte que, le 18 octobre, le général de Gaulle, chef du gouvernement provisoire, promulgue une loi dont l'urgence ne saute pas aux yeux : la création du Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Sa mission consistera, selon les mots officiels, à « poursuivre les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale ».

Pourquoi cette priorité clairement affichée, alors que la science française est exsangue, et l'énergie atomique, à

peine embryonnaire ? De puissantes motivations scientifiques, historiques et politiques ont présidé à la naissance du CEA... et sont à l'origine de l'imposant parc de centrales nucléaires qui, cinquante ans après, fait de la France le pays le plus « nucléarisé » du monde.

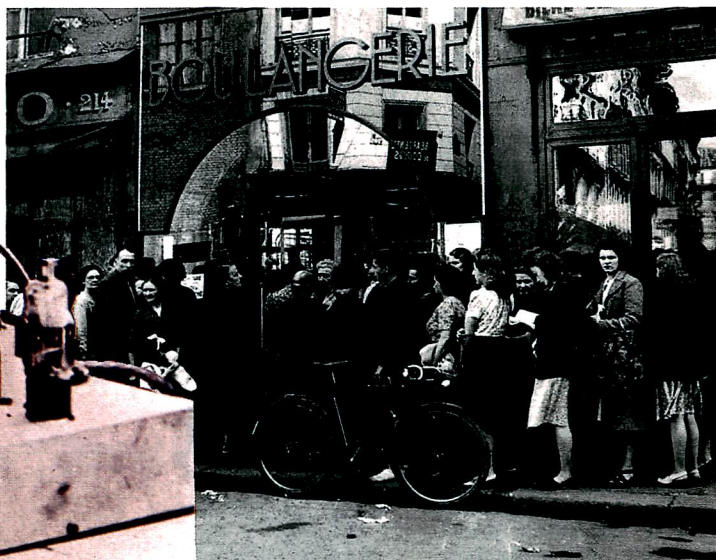
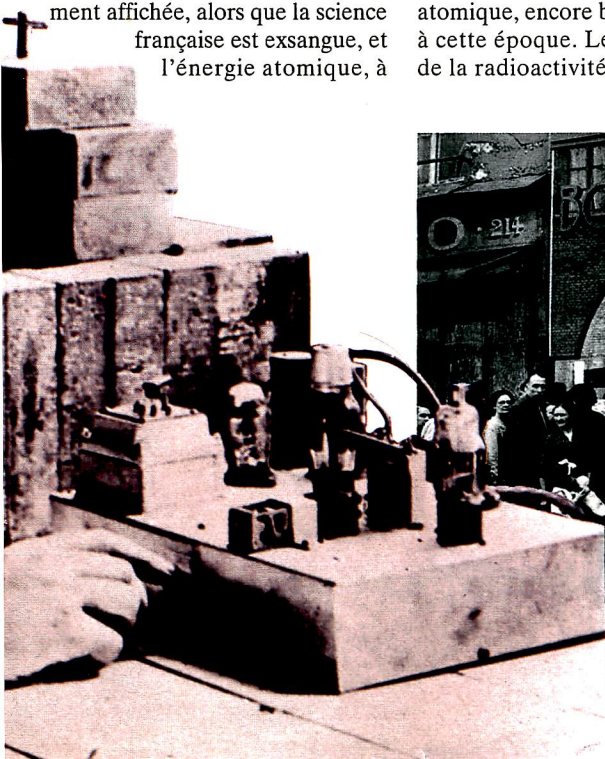
LES PHYSICIENS FRANÇAIS À L'AVANT-GARDE

Si le CEA a vu le jour, c'est d'abord parce que les savants français étaient à la pointe de la physique nucléaire d'avant-guerre – tout particulièrement Frédéric Joliot. En 1927, ce jeune ingénieur, devenu préparateur à l'Institut du radium, avait épousé Irène, fille de Pierre et Marie Curie. Le jeune couple, suivant la tradition familiale, poursuivait de brillantes recherches sur le noyau atomique, encore bien mystérieux à cette époque. Leur découverte de la radioactivité artificielle, en

1933, leur vaut un prix Nobel de chimie deux ans plus tard.

Mais l'aventure nucléaire débute vraiment – fatale coïncidence – à la veille de la Seconde Guerre mondiale. Depuis plusieurs années, les physiciens du noyau tentaient d'élucider l'étrange comportement de l'uranium. Quand on bombardait ce dernier avec des neutrons, il donnait des sous-produits qu'on ne parvenait pas à identifier. Fin décembre 1938, trois chercheurs allemands, Otto Hahn, Lise Meitner et Fritz Strassmann, comprennent enfin ce qui se passe : sous l'impact des neutrons, le noyau d'uranium se brise en deux morceaux. Autrement dit, il fissionne.

C'est la révolution dans la petite communauté des physiciens nucléaires ! Car ils sont plusieurs à entrevoir aussitôt les implications capitales de cette découverte : en se brisant, le noyau d'uranium doit dégager une grande énergie et éjec-



LAPI - VIOLET

« La science au service du progrès »

■■■ ter des neutrons. Or, si ces neutrons sont capables de pénétrer dans des noyaux d'uranium voisins, ils les feront fissionner à leur tour en émettant d'autres neutrons, qui feront éclater de nouveaux noyaux... et ainsi de suite, en libérant une énergie colossale.

UNE RÉACTION EN CHAÎNE EST DONC POSSIBLE !

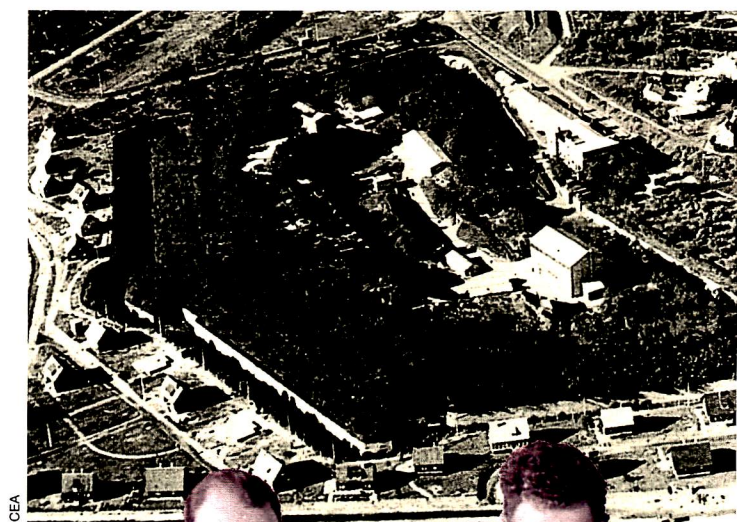
Comme d'autres avant lui, Joliot avait prédit que les forces emprisonnées dans le noyau des atomes pourraient un jour être libérées par une réaction en chaîne... Ce jour était peut-être arrivé; encore fallait-il le vérifier. Dans son laboratoire du Collège de France, Joliot s'y consacre toute affaire cessante. Il montre que la fission dégage une énergie considérable, et surtout qu'elle libère effectivement plusieurs neutrons; résultats vite confirmés par l'Italien Enrico Fermi et le Hongrois Léo Szilard à New York. La réaction de fission en chaîne est donc – en principe – possible.

Joliot est le premier à en tirer les conséquences. Dès le printemps 1939, ayant fait équipe avec le Russe Lew Kowarski et l'Autrichien Hans Halban, il dépose trois brevets secrets donnant le principe d'un réacteur nucléaire comprenant de l'uranium mélangé à un ralentisseur de neutrons (1), et une circulation d'eau ou de gaz pour récupérer la chaleur produite. Parallèlement,

Joliot commande cinq tonnes d'oxyde d'uranium en poudre à l'Union minière du Haut-Katanga, trust belge leader mondial de l'uranium. Objectif : réaliser le premier réacteur nucléaire.

Juin 1940 : l'invasion allemande interrompt brusquement les travaux des trois savants. Halban et

Kowarski s'embarquent pour l'Angleterre, mais Joliot refuse de quitter la France. Pendant l'occupation, il poursuit son enseignement et des recherches mineures... tout en menant une seconde vie, clandestine, comme chef du Front national de la résistance. En 1942, il s'inscrit au Parti communiste.



CEA



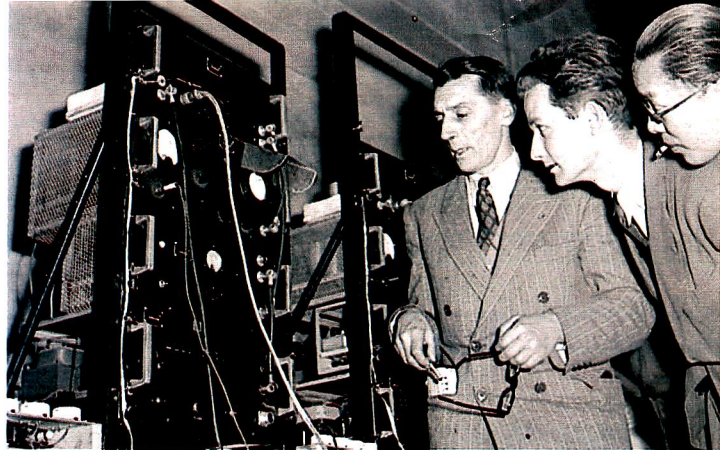
Les pionniers

En 1946, le premier comité scientifique du CEA compte les meilleurs physiciens et chimistes nucléaires de l'époque (photo ci-contre). Les laboratoires, plutôt rudimentaires, sont installés au fort de Châtillon, près de Paris (photo ci-dessus).

social. »

Pendant ce temps, Halban et Kowarski continuent leurs recherches sur le réacteur; d'abord en Angleterre, puis au Canada, où ils sont rejoints par des Français. Mais le théâtre des activités nucléaires s'est désormais déplacé aux Etats-Unis. A Chicago, Fermi est le premier à obtenir une réaction en chaîne dans un réacteur, et, dans le plus grand secret, les Américains jettent toute leur puissance technique et industrielle dans la course à la bombe atomique.

Août 1944. Après la libération de Paris, à laquelle il a participé les armes à la main, Joliot est nommé directeur du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), qu'il entreprend aussitôt de moderniser et d'agrandir. Car il a toujours été le contraire d'un savant enfermé dans sa tour d'ivoire, et son engagement dans la vie publique ne date pas de la guerre. Comme sa



KEYSTONE - SYGMA

ZOE, première pile atomique française

Un cube de béton de 5 m de côté, agrémenté de quelques tuyaux et d'interrupteurs, au milieu d'un hangar... Voilà à quoi ressemblait le réacteur ZOE, que Joliot présenta à la presse fin 1948 (photo ci-dessus).

femme, et comme d'autres scientifiques de grande envergure des années 20 et 30 (tels que Jean Perrin et Paul Langevin, qui ont créé le CNRS), il est un fervent partisan du progrès social, persuadé que la science doit en être le moteur. Habitué des meetings, actif dans différentes organisations, tel que le Comité des intellectuels antifascistes, il a soutenu les débuts du Front populaire. Irène Curie a même occupé quelques mois la fonction de sous-secrétaire d'Etat à la Recherche.

En automne 1944, c'est avec stupéfaction que Joliot apprend, de la bouche d'Halban, l'ampleur sans précédent et les résultats déjà bien avancés de l'entreprise nucléaire aux Etats-Unis. Dans les années 1939 et 1940, il était persuadé, comme la grande majorité des physiciens, qu'une bombe atomique ne serait pas réalisable avant des décennies. Resté quatre ans à l'écart des travaux sur la fission, il n'en est que plus désireux de reprendre ses recherches sur l'énergie nucléaire, dont il est convaincu qu'elle est indispensable à la France. Il a pour cela de solides arguments.

La France a toujours été pauvre en ressources énergétiques (pas de pétrole, peu de charbon), et, durant les rudes

hivers de l'après-guerre, la pénurie était plus criante que jamais. Un soir de janvier 1945, au cours d'un meeting de Joliot à Orléans, le courant est coupé, et c'est dans l'obscurité que le physicien poursuit son discours sur l'importance de la science et de la technique pour la renaissance de la nation! On imagine qu'il n'a pas eu grand mal à convaincre son public. D'autant que la guerre avait déjà donné une démonstration éclatante du rôle décisif de la science – avec le radar, l'arme atomique, bien sûr, mais aussi les antibiotiques ou le caoutchouc artificiel.

Dès 1944, puis au début de l'année 1945, Joliot rencontre de Gaulle pour évoquer la création d'un organisme consacré à l'énergie nucléaire. Mais ce n'est qu'après la destruction d'Hiroshima et de Nagasaki, en août 1945, que le général est vraiment convaincu... Tout va alors très vite. Joliot et ses amis



(1) Seuls des neutrons lents peuvent déclencher la fission de l'uranium. En se brisant, le noyau éjecte des neutrons rapides, qu'il faut donc ralentir pour que la fission se propage en chaîne.



« Sans l'armement nucléaire, un pays

■ ■ ■ concoctent un projet en quelques semaines, et, le 18 octobre 1945, un décret proclame la naissance du Commissariat à l'énergie atomique.

Avec Joliot comme haut-commissaire scientifique, Raoul Dautry comme administrateur général, et un comité directeur comptant plusieurs spécialistes

du nucléaire, ne dépendant d'aucun ministère, le CEA jouissait d'une

autonomie remarquable, qui lui permit de traverser sans perturbation la valse des gouvernements de la fin des années quarante. A ses débuts, c'était un organisme selon les vœux de Joliot : sous le contrôle des savants. Il est vrai qu'en janvier 1946 le CEA ne comptait que douze personnes.

Sa première tâche était évidemment de construire un réacteur nucléaire. Mais les Français avaient pris du retard. Plusieurs réacteurs fonctionnaient déjà aux Etats-Unis ou étaient sur le point

de démarrer au Canada, en Grande-Bretagne et en URSS. En France, on souffrait encore de l'isolement dû à la guerre ; il n'y avait à l'époque aucun enseignement moderne de la physique. Seuls Kowarski et les chimistes Goldschmidt et Guéron avaient acquis une expérience récente en participant à la réalisation d'un réacteur au Canada. Ils en avaient ramené des petits carnets remplis de notes, au grand dam des Américains, qui craignaient que les communistes du CEA ne transmettent leur savoir à Moscou...

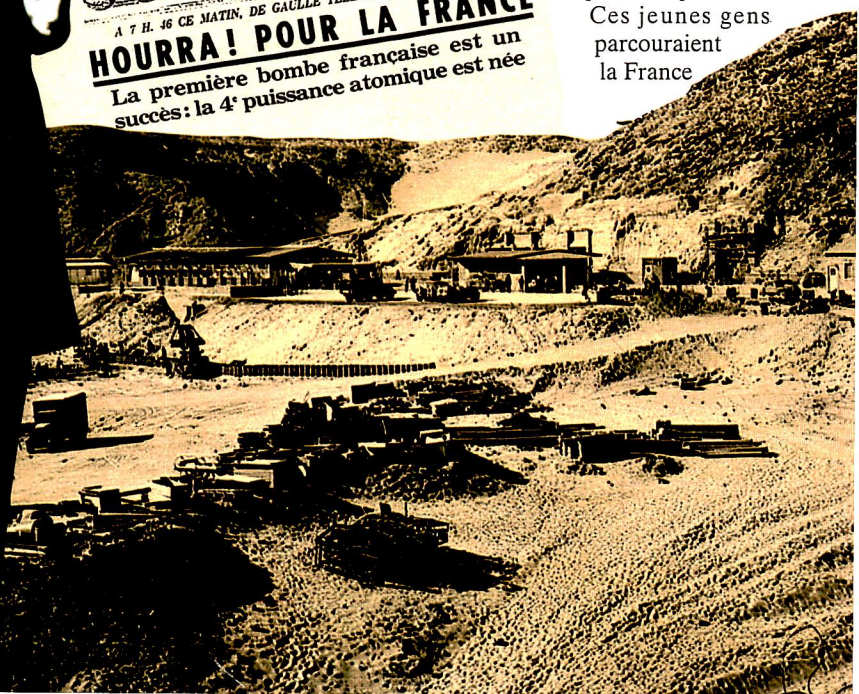
Installés provisoirement dans un ancien fort à Châtillon, près de Paris, les pionniers du nucléaire durent affronter les pénuries de matériel de base et fabriquer eux-mêmes leurs instruments. En revanche, ils disposaient de

16 tonnes d'uranium, rassemblées avant la guerre. Mais il fallait voir plus loin. Aussi, le CEA se mit à former des prospecteurs par dizaines. Ces jeunes gens parcouraient la France

Indépendance militaire

En créant le CEA, en 1945, de Gaulle envisageait déjà la fabrication de l'arme atomique, pour libérer la France de la tutelle américaine. La première bombe française explosa le 13 février 1960, au-dessus de Reggane (photo ci-dessous), dans le désert du Sud de l'Algérie.

Paris-pressé 8^h
L'intransigeant
A 7 H. 46 CE MATIN, DE GAULLE TÉLÉGRAPHIE A REGGANE :
HOURLA ! POUR LA FRANCE
La première bombe française est un succès : la 4^e puissance atomique est née



n'est rien. »

Pierre Mendès France

à bicyclette, munis d'un compteur Geiger qui détectait les sols radioactifs, trahissant la présence de minerais d'uranium. Plusieurs gisements furent bientôt exploités dans le centre de la France, ainsi qu'à Madagascar et au Congo.

Devant les difficultés des industries françaises, les responsables du CEA décidèrent finalement de réaliser un réacteur moins ambitieux que prévu, mais de le faire le plus rapidement possible. Baptisé ZOE (pour zéro-énergie, oxyde d'uranium, eau lourde), ce réacteur plutôt rudimentaire ne fournirait pas de chaleur, mais permettrait d'acquérir des données scientifiques – et, surtout, conférerait une crédibilité au projet atomique du CEA. Le

comité scientifique lui donna la priorité absolue, et, le 15 décembre 1948, dans les délais prévus, la fission de l'uranium se propagea en chaîne dans la première pile atomique française, déclenchant l'enthousiasme unanime de la presse et du public.

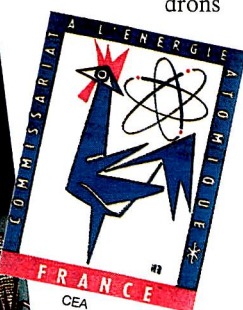
Dès lors, le CEA se développe à toute vitesse, recrutant à tour de bras de jeunes chercheurs et ingénieurs : il compte 1600 personnes en 1950. Ses subventions doublent tous les ans, et un vaste centre de recherche est construit à Saclay, dans l'Essonne. Après ZOE, qui marque l'achèvement de l'époque héroïque, le CEA se lance dans la fabrication de réacteurs plus performants.

Mais les temps ont changé, et les

problèmes politiques se font de plus en plus pesants. Dès la fin de la guerre, le premier souci de Joliot est de promouvoir la paix et de faire interdire les armes nucléaires... Il avait participé aux pourparlers de l'ONU pour leur contrôle, créé une Fédération mondiale des travailleurs scientifiques pour s'opposer à leur utilisation, et multiplié les déclarations publiques. « Si demain on nous demande du travail de guerre, de faire la bombe

atomique, nous répondrons

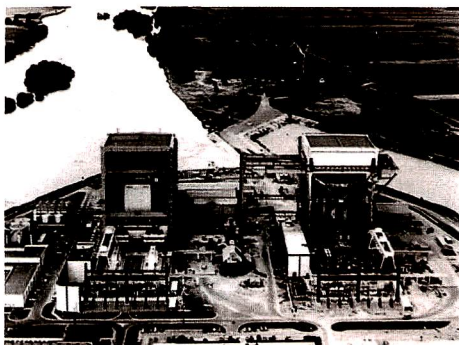
A. GESGON/CIRIP



non ! » affirmait-il. Son pacifisme était en accord avec la

politique du Parti communiste, où il se montrait plus actif que jamais. Mais la guerre froide s'était installée, divisant le monde en deux blocs ; l'anticommunisme grandissait, et l'attitude de Joliot soulevait de plus en plus de critiques. En avril 1950, il est renvoyé du CEA, qui est réorganisé pour donner plus de place à l'administration et aux industriels (2).

Cette reprise en main du CEA coïncide avec la première production de plutonium par les nouveaux réacteurs. Sous-produit de la



KEYSTONE - SYGMA

Applications civiles

Les premières centrales nucléaires françaises (ci-dessus, celle de Saint-Laurent-des-Eaux, sur la Loire, mise en service en 1969) fonctionnaient à l'uranium naturel, avec du graphite comme ralentisseur de neutrons et du gaz comme refroidisseur. A partir de 1970, la France adoptera la filière américaine PWR : uranium enrichi et eau sous pression.

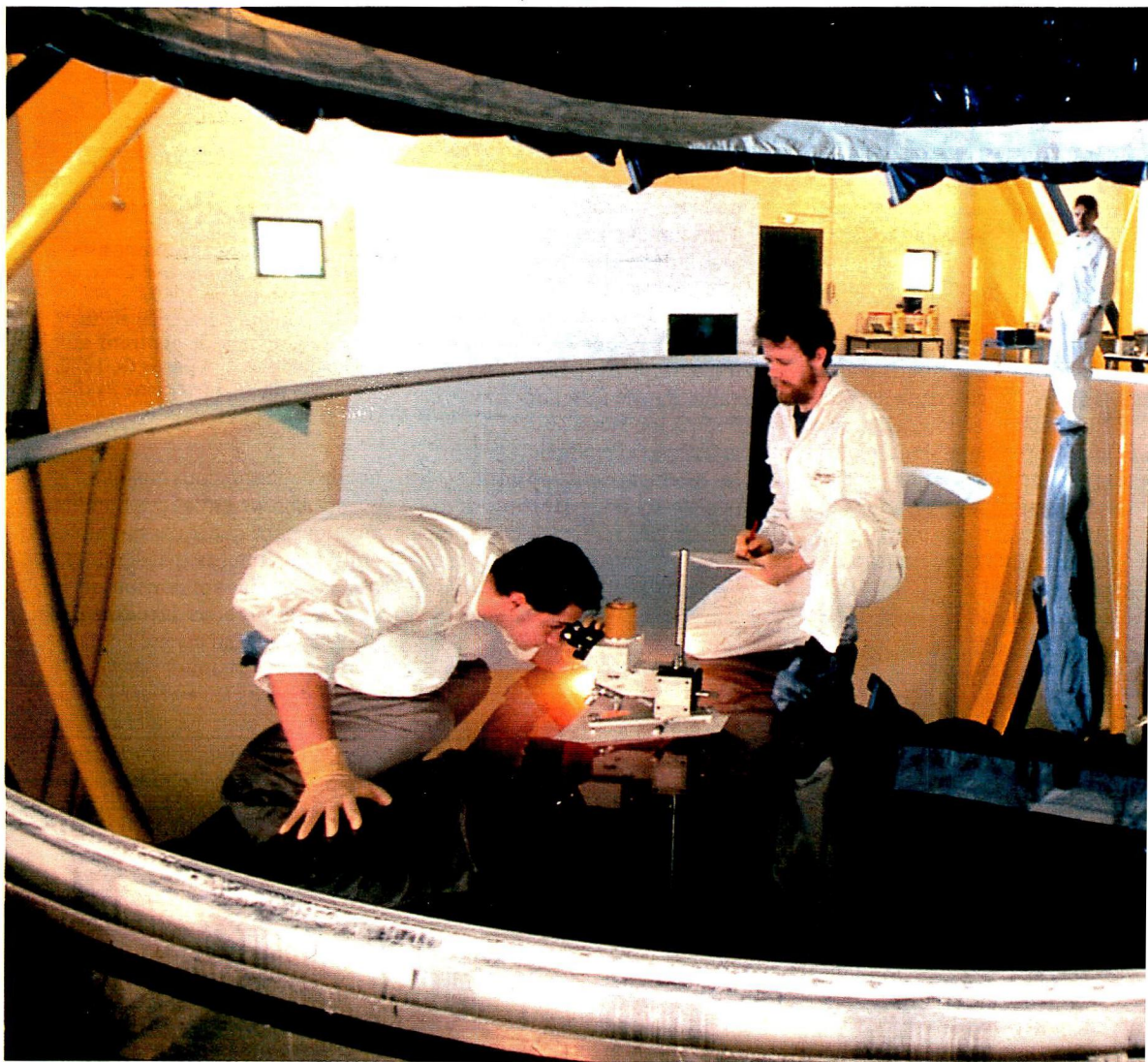
fission de l'uranium, celui-ci est le constituant essentiel des bombes atomiques, ce que les responsables politiques et militaires n'ignorent pas. En fait, les applications militaires étaient sous-jacentes dès l'origine du CEA, malgré l'opposition radicale de Joliot : de Gaulle devait même affirmer qu'il avait créé le CEA pour que la France ait ses propres bombes atomiques. Peu à peu, cela apparut comme inéluctable : « Sans l'armement nucléaire, un pays n'est rien », constatait en 1954 Pierre Mendès France, président du Conseil.

LE COUP D'ENVOI D'UNE PROLIFÉRATION INÉVITABLE

En 1960, deux ans après le retour de de Gaulle au pouvoir, la première bombe française explose au Sahara. Ni Joliot ni personne n'a pu s'opposer à la prolifération des armes nucléaires. Mais, il y a près de cinquante ans, Joliot avait un projet à long terme : que toute la puissance électrique en France soit fournie par une vingtaine de centrales nucléaires. Cette partie-là du programme – quoi qu'on en pense – est presque réalisée. ■

(2) Spencer Weart, *des Savants au pouvoir, Histoire des atomistes français*, éd. Fayard. Le meilleur livre sur cette période.

Télescopes : les artisans

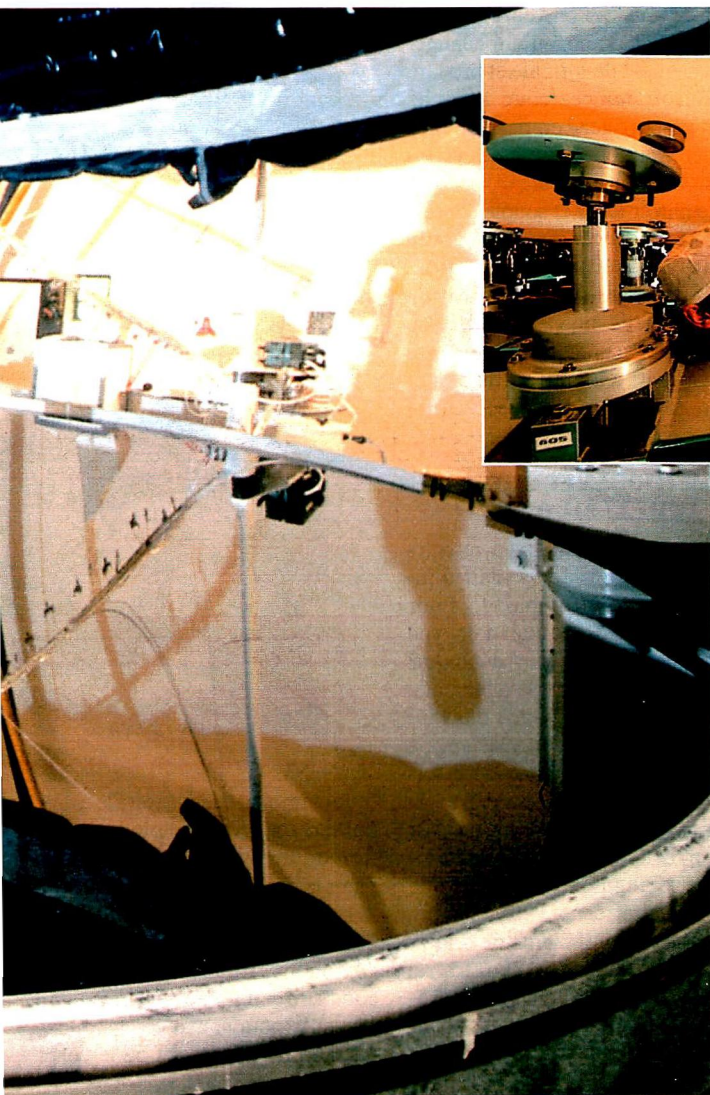


■ Il est loin, le record du télescope du mont Palomar, avec son miroir de 5 m. La firme française RÉOSC termine actuellement le polissage des miroirs de 8 m du VLT, qui sera installé au Chili. Une extraordinaire aventure technologique.

Nous sommes à 40 km au sud-est de Paris, à Saint-Pierre-du-Perray (Essonne), non loin de la forêt de Sénart. Dans cette zone semée de pavillons et de petits ateliers, le bâtiment de la RÉOSC (Recherches et études d'optique et de sciences connexes) se repère de loin : c'est le seul qui possède une tour conique de 32 m, coiffée d'une petite coupole d'ob-

du gigantisme

PAR RENAUD DE LA TAILLE



P. LANDMANN/GAMMA



P. LANDMANN/GAMMA

Du poli au superfini

La finition du miroir – dont on voit ci-dessus les 150 vérins de support – est poussée si loin qu'il faut un microscope pour déceler d'éventuels défauts de surface.

nette aux dimensions astronomiques n'est autre que l'ébauche du miroir de ce qui sera le plus grand et le plus puissant télescope du monde : 8 m de diamètre. Il faudrait d'ailleurs préciser "les plus grands", car il y en aura quatre identiques à l'observatoire européen du mont Cerro Paranal (2 650 m), au Chili.

De fait, un peu plus loin dans le même atelier, mais juste sous la tour, un deuxième verre est au polissage, alors qu'à l'autre bout un miroir fini, très, très soigneusement emballé dans une caisse spéciale de 12 tonnes, attend de partir pour le Chili. En comparaison, avec ses petits 5 m, celui du mont Palomar, en Californie, ne sera plus que le représentant vieillissant de la génération précédente. Reste à savoir quel est l'intérêt de construire des réflecteurs aussi énormes.

La réponse est simple : si l'on veut voir loin dans le ciel, il faut voir grand sur Terre. Que l'objectif

servatoire, purement fictive d'ailleurs, qui n'est là que pour rappeler la vocation astronomique du site. Vocation concrétisée, à l'intérieur du bâtiment, par une soucoupe géante en verre dépoli, immense mais si mince qu'avec les doigts en éventail on en couvre la tranche.

On fait trois fois le tour de ce grand ménisque pour en voir de plus près la surface, examiner les

dizaines de petits trépieds qui le supportent, regarder le travail des techniciens qui ajustent ces supports, et on calcule de tête qu'on a déjà parcouru... 75 m. Sur cette grande coupe de 52 m², on installerait sans peine un "2 pièces-cuisine-salle de bains".

La taille d'un petit appartement pour collecter et réfléchir la lumière des étoiles. Car ce verre de lu-

■ ■ ■ soit une lentille ou un miroir, la résolution d'un instrument, c'est-à-dire sa capacité à séparer des détails rapprochés, augmente avec le diamètre de l'objectif. Ce fait est lié à la nature ondulatoire de la lumière. Par ailleurs, sa luminosité, qui lui permet de distinguer des

comme auparavant : l'expérience a montré qu'un bloc massif, aussi dur qu'il soit, se déforme toujours sous son propre poids dès que sa taille dépasse 4 m. Si l'on veut faire nettement plus grand, autant changer radicalement de formule et prendre un miroir mince, donc flexible, dont on corrigera en permanence les déformations grâce à des vérins assistés par ordinateur.

Ce miroir léger et souple conservera le profil géométrique voulu quelle que soit son orientation. C'est là que se situe l'innovation majeure, celle qui va permettre de doubler la surface réfléchissante par rapport à un miroir de 5 m et donnera à l'Europe l'observatoire le plus puissant du monde.

Personne n'avait jamais travaillé sur un miroir de cette taille...

étoiles de plus en plus faibles, croît aussi avec le diamètre. La lentille, ou le miroir, n'est qu'un entonnoir à photons : plus il est grand, plus il en recueille.

L'ère des miroirs de très grand diamètre s'ouvre en 1918, avec le télescope de 2,50 m du mont Wilson, également en Californie, et semble culminer en 1947 avec le 5 m du mont Palomar. De fait, 5 m, c'est déjà une limite pour des techniques qui ont peu évolué depuis Foucault (1). L'instrument, malgré une vaste moisson de découvertes, n'a jamais pu être exploité au maximum de ses possibilités théoriques. La génération suivante, celle des années 1950-1985, comprendra surtout des instruments compris entre 2 m et 3,50 m qui donneront en finesse d'image des résultats supérieurs.

Pourtant, quand l'ESO, l'organisation européenne d'astronomie pour l'observation du ciel austral, doit faire un choix parmi les divers modèles de très grands télescopes (VLT), elle retient, en 1987, la formule de 4 miroirs de 8 m pouvant, par couplage optique, atteindre la résolution d'un outil de 16 m de diamètre.

Mais il n'est plus question de fabriquer des miroirs épais et rigides

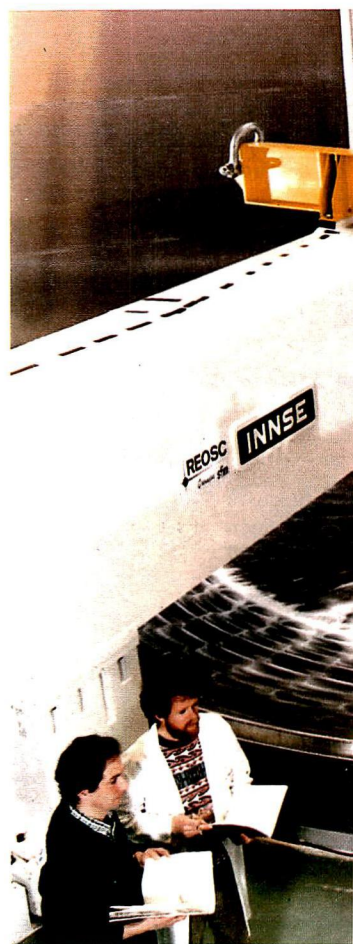
MÉTHODES ET OUTILS : TOUT ÉTAIT À CRÉER

Restait à réaliser ces miroirs flexibles, ce qui demandait d'innover en tout domaine. Pour commencer, le verre était d'un type nouveau, très particulier, dénommé Zerodur par la verrerie allemande Schott, qui l'avait conçu dans les années 70. Il s'agit d'un mélange à base de silice qui comprend à la fois la phase amorphe (verre) et la phase cristalline (céramique). Or le verre allonge quand la température augmente, alors que la céramique rétrécit.

Les deux coefficients de dilatation agissant en sens contraire, leurs effets s'annulent et le Zerodur reste immuable lors des changements de température, ce qui est

d'une importance capitale pour l'observation, car la moindre variation de dimension affecte gravement la qualité de l'image.

La masse à fondre en première ébauche est considérable : 44 tonnes. La firme Schott dut construire une unité spéciale à Mayence pour couler ces 44 tonnes dans un moule rotatif où le verre



Tour de contrôle

Il faut monter au sommet de cette tour de 32 m pour être au centre de la concavité donnée au miroir et pouvoir en contrôler la courbure exacte.

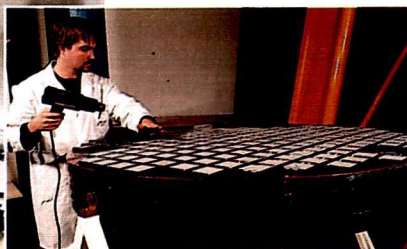
J. F. CARRERE/PHOTOSTAR



(1) Léon Foucault (1819-1868), physicien français qui imagina de remplacer le miroir en métal massif par un miroir en verre argenté.



E. CERVO



F. PERRI



F. PERRI

Des mois de polissage

Un plateau de bois couvert de carreaux montés à la main va servir à user lentement, durant des semaines et des semaines, la surface du disque de vitrocéramique.

liquide se creuse sous la force centrifuge, comme le bouillon qu'on fait tourner dans le bol. Après dégrossissage et finition du disque brut, la masse finale est encore de 23 tonnes; le diamètre, de 8,20 m; l'épaisseur, de 17,7 cm.

Cette ébauche, en forme de ménisque (celle d'un verre de lunette), que nous avons vue à Saint-Pierre-

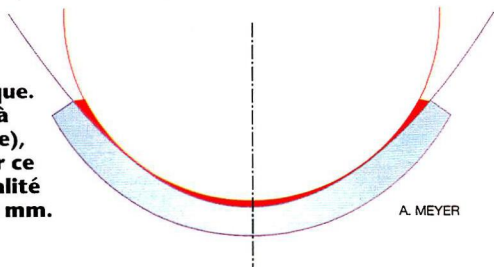
du-Perray, est déjà une merveille scientifique qui a nécessité des mois et des mois de recherche. Reste à en faire un miroir de télescope, et c'est là qu'entre en jeu la RÉOSC. Cette société, créée en 1937 par Henri Chrétien, l'inventeur de la combinaison optique dite Ritchey-Chrétien, est maintenant une filiale du groupe SFIM.

Spécialisée dans la taille et le polissage des grandes surfaces optiques, aussi bien lentilles que miroirs, la RÉOSC a été choisie par l'ESO pour polir les quatre miroirs du VLT. Comme personne au monde n'avait jamais travaillé sur un objectif de cette taille, il a fallu, là encore, bâtir une unité spécialement conçue pour ces miroirs. Tout était à créer : le hall d'entrée des ébauches, les supports pour les maintenir, les outils de doucissage et de polissage. S'y ajoutent les appareils de contrôle, qui vont du sphéromètre à l'interféromètre placé au centre de courbure du miroir, lequel se trouve à 30 m au-dessus de sa surface concave : ainsi s'explique la tour qui domine l'atelier de polissage.

Passer d'un profil sphérique (à ± 1 mm) à un profil asphérique très proche d'un hyperboloïde, mais

Du cercle à l'hyperbole

Au point de départ, la concavité du disque est sphérique, donc à profil circulaire. C'est en usant le fond et les bords du disque qu'on va passer du profil circulaire au profil hyperbolique. Mais l'épaisseur à enlever (en rouge), très exagérée sur ce dessin, est en réalité de l'ordre de 0,4 mm.



■ ■ ■ avec une tolérance qui, cette fois, n'excède pas 2 centièmes de μm ($1 \mu\text{m} = 1$ millième de mm), constitue, on s'en doute, une tâche excessivement délicate. On est devant le problème d'un sculpteur auquel on aurait livré une ébauche de marbre

La perfection d'un objectif photo sur une surface 50 000 fois plus grande

dont les contours dessinent en gros une silhouette humaine et dont il lui faut tirer un Apollon : un seul coup de ciseau en plus ou en moins suffit à changer complètement l'allure d'un geste ou l'expression du visage.

Ici, c'est l'image finale au foyer du miroir qui sera parfaite, ou seulement moyenne si l'outil de polissage a appuyé un peu plus longtemps qu'il ne l'aurait fallu, ou très légèrement plus d'un côté que de l'autre. Dans l'atelier tout neuf de la RÉOSC, nous avons pu voir simultanément la préparation du supportage de l'ébauche qui venait d'arriver pour doucissage, et le polissage de l'ébauche précédente une fois doucie.

Un coup d'œil sur ces immenses coupes de verre donne une juste idée de la perfection recherchée ici : le doucissage est l'opération qui consiste à approcher le profil voulu par un meulage très fin. Or, à ce stade, le verre nous paraît déjà aussi lisse qu'une glace – mais, pour les opticiens du centre, ce n'est encore qu'une surface grossièrement rugueuse... On a d'ailleurs du mal à imaginer qu'une vasque aussi grande puisse jamais être surfacée d'un bout à l'autre à 2 centièmes de millième de millimètre près. On l'imagine d'autant plus difficile-

ment que, vu la taille du disque, les outils de meulage ont l'air d'engins de chantier ! Qui plus est, ils n'ont rien de compliqué : un énorme bras articulé, semblable au bras de lecture d'un tourne-disque, mais aux dimensions de bulldozer, au bout duquel tourne un plateau de bois de 2 ou 3 m garni d'une multitude de petits carrés de plastique. Ce plateau rotatif appuie sur le ménisque de verre qui tourne lui-même avec son support.

Durant cette double rotation, on répand, entre plateau et verre, une suspension abrasive. Pour arriver au centième de micromètre, cela semble à première vue sommaire. C'est en y regardant de plus près qu'on découvre la somme de savoir-faire et d'ingéniosité qu'il a fallu déployer pour atteindre, avec ces gros outils, la précision requise : sur 50 m^2 , une finition égale à celle

des belles lentilles des objectifs photo qui ne font que 10 cm^2 . Avec la même perfection sur une surface 50 000 fois plus grande. Pour commencer, le bras portant le disque de polissage fait sans doute plusieurs mètres mais il se place au cinquantième de millimètre près. Ensuite, le disque de verre, qui est souple, est soutenu par 150 vérins qui exercent en chaque point une force de 1 570 newtons (le newton est à peu de chose près le poids d'une masse de 100 g ; un homme standard, dont on dit qu'il pèse 75 kg, a ainsi un poids de 750 N). Mais chaque vérin est ajustable au dixième de newton – donc, en langage plus courant, à 10 grammes près.

PRÉCISION À QUELQUES NANOMÈTRES PRÈS

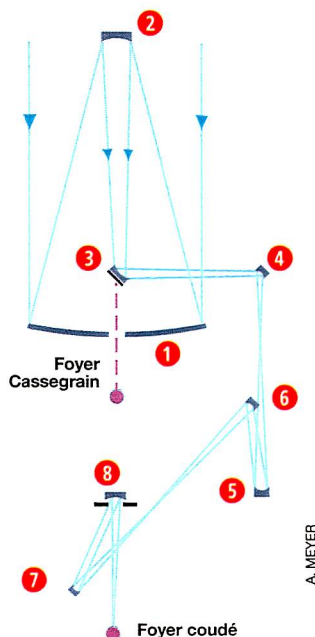
On pourrait penser qu'un si mince effort est sans effet sur un bloc de 23 tonnes. Il n'en est rien : en appuyant du doigt sur le bord du disque, la courbure change d'une manière infime, mais parfaitement mesurable avec les moyens de l'optique. En ajustant, par asservissement à un ordinateur, la force des vérins, la position du bras et la vitesse du plateau de polissage, on parvient à surfacer les 50 m^2 du ménisque aux tolérances voulues.

Mais ce polissage n'a rien à voir avec l'usinage classique où, moyennant un réglage préalable, la pièce sort de la machine-outil aux cotes prévues. Ici, le travail se fait par approches et retouches successives, par adaptation réciproque du plateau abrasif et du verre. Au départ, malgré la dextérité du spécialiste qui colle les carreaux de plastique sur le plateau, il est hors de question que la surface formée par la juxtaposition de ces carreaux ait le profil exact d'une conique.

C'est en restant posé sur le verre que le plateau prend la courbure voulue par fluage de la colle sous chaque carreau. Ensuite, le frottement des deux surfaces l'une sur l'autre provoque une

Huit miroirs pour un VLT

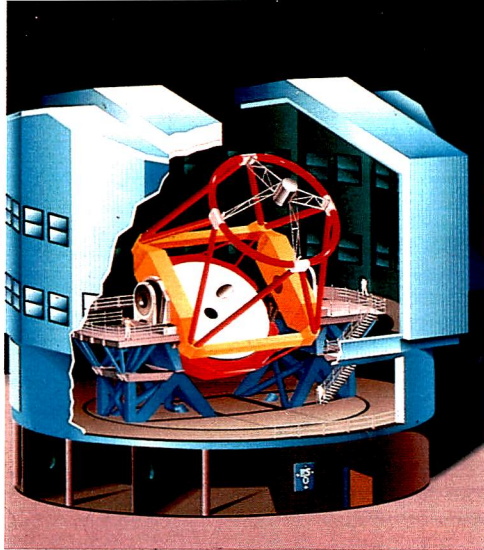
Le télescope complet comporte, outre le miroir principal ① de 8 m, un miroir secondaire ② en béryllium de 1,10 m et six autres miroirs annexes (de ③ à ⑧).



usure superficielle qui, moyennant certaines conditions de pression et de vitesse dictées par l'expérience en fonction de l'abrasif utilisé, permet d'approcher doucement la courbure voulue.

Le savoir-faire, le coup d'œil, le tour de main sont essentiels dans ce long travail d'usure qui s'apparente au talent de l'ajusteur – un bon ajusteur est capable, à la main et avec seulement quelques limes, de dresser un bloc d'acier irrégulier pour lui donner une surface qui est plane au centième de millimètre près. Les astronomes amateurs qui polissent des verres de 30 ou 40 cm à la main pour en faire des paraboles exactes au dixième de micromètre connaissent aussi ce type de travail.

Toute la difficulté vient de la taille du miroir. Au départ, l'ébauche est sensiblement sphérique. On lui donne d'abord un profil parabolique en usant le fond et le bord du verre (voir dessin double page précédente). La hauteur de matière à enlever, au centre et sur les bords, est de l'ordre de 0,4 mm. On doit ensuite, par retouches infimes (quelques μm), approcher le profil hyperbolique conçu en 1910 par Henri Chrétien comme une variante aplanétique de la combinaison Cassegrain – cette variante sera ensuite appliquée par



P. LANDMANN/GAMMA

L'instrument définitif

Dans sa coupole, le télescope est lié à une monture altazimutale dont les deux axes sont contrôlés par ordinateur.

G. W. Ritchey, en 1917, au télescope de 2,5 m du mont Wilson.

L'une des grandes difficultés du polissage des miroirs de très grand diamètre vient de ce que la surface doit non seulement être lisse partout, mais aussi avoir le profil voulu d'un bord à l'autre. Autrement dit, et à titre de comparaison, on peut faire une route lisse mais vallonnée, une route bien plate mais rugueuse, et, l'idéal, une route lisse et plane. C'est cet idéal que doit atteindre le miroir.

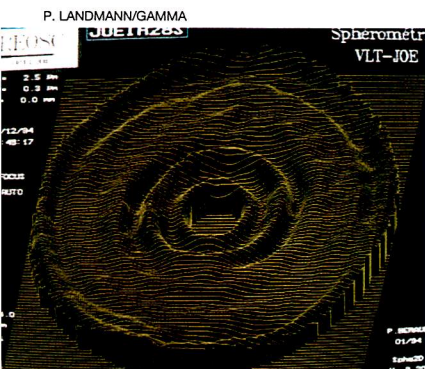
Dans ce but, il est contrôlé sans cesse : en rugosité, par examen de la surface au microscope à contraste de phase, et en profil, par sphérométrie, puis par interférométrie depuis le centre de courbure, donc depuis le haut de la tour. La précision du sphéromètre va jusqu'à quelques dixièmes de μm , alors que l'interférométrie en infrarouge, avec lentille correctrice en sélénium de zinc, permet de détecter des écarts de 50 nm

(50 millièmes de μm). L'interférométrie en visible descend, elle, à quelques nanomètres. Passer de l'ébauche au ménisque parfaitement poli demande de une à deux années, selon les difficultés rencontrées. Au début, tant qu'il s'agit d'enlever la matière par centième de millimètre, le travail va très vite, car il y a beaucoup de polissage et peu de contrôle. Au micromètre, cela va encore vite. Au centième de μm , tout devient très lent, car chaque infime retouche de polissage est suivie de longs contrôles depuis la tour, qui est isolée thermiquement et mécaniquement du reste de l'atelier – vibrations et turbulences fausseraient les mesures.

ET MAINTENANT LE PROGRAMME GEMINI !

Mais la partie optique du télescope n'est pas finie pour autant. Après le miroir primaire (8,20 m hors tout, 8 m pour la zone aluminisée, focale 14,40 m, ouverture 1 : 1,8), vient le miroir secondaire de 1,10 m, qui sera également poli à Saint-Pierre-du-Perray. Ce miroir convexe hyperbolique est en béryllium, un métal très léger ($d = 1,85$) et très rigide, ce qui permettra de le faire vibrer à 5 ou 6 Hz lors des observations en infrarouge.

Ajoutons six autres miroirs intermédiaires, et l'optique est prête. Elle partira au Chili, sera aluminisée sur place, puis installée dans la monture altazimutale où les grands miroirs de 8 m travailleront en optique dite active : grâce aux 150 vérins, la forme du miroir est maintenue quelle que soit l'orientation. Mais le travail ne s'arrêtera pas pour autant à Saint-Pierre-du-Perray. Le bâtiment spécialement construit pour le VLT servira ensuite à polir les deux miroirs de 8,20 m du programme américain Gemini, en attendant d'autres projets chinois, coréens ou russes. ■



Carte sphérométrique

La surface du miroir en cours de polissage est contrôlée par des sphéromètres dont les mesures sont affichées sur écran.

APS,

C'est en 1985 qu'ont été posés les premiers jalons de la nouvelle norme APS. Kodak, Fuji, Minolta et Canon en jetèrent les bases, et, très rapidement, une quarantaine de grands constructeurs, tels qu'Agfa ou Ilford, s'associèrent à ce développement. Le but de l'APS est de proposer un format grand public universel qui, à terme,

remplacera l'actuel 24 x 36. Pour simplifier au maximum son utilisation, toute manipulation du film est supprimée. Ainsi, la "cartouche" APS, qui rappelle une bobine 24 x 36, quoique légèrement plus petite, s'insère directement dans l'appareil.



Après le développement, le film, à l'intérieur de la cartouche, est restitué dans une boîte contenant également les tirages papier et une planche contact.



Le film ne dépasse pas de la cartouche. L'armement est entièrement automatisé. Charger un appareil APS est aussi simple que de glisser une cassette dans un autoradio. Autre avantage : la liberté de choisir le format de la prise de vue. Si le format standard des photos APS est le 16/9, on peut choisir un format identique à celui de l'actuel 24 x 36 ou, à l'opposé, un format "panoramique". Dans tous les cas, la surface complète du film est exposée. Mais la grande

nouveauté de l'APS est la piste magnétique qui recouvre le dos du film. Les fonctions de cette piste sont multiples. En premier lieu, elle mémorise la sélection du format choisi lors de la prise de vue. Cette information est ensuite exploitée par la machine de développement. De même sont mémorisées des informations techniques sur les conditions



le déclic qui libère la photo

de prise de vue.

L'utilisation du flash, une faible luminosité ou un contre-jour sont également mis en mémoire. Grâce à ces données, la machine de développement pourra optimiser ses réglages. Date, heure, numéro de vue sont également mémorisés et reportés au dos des tirages. La piste magnétique permet même de changer de film en cours de prise de vue. En effet, les nouveaux films sont proposés en trois sensibilités :

Le format standard de l'APS, le 16/9 (au milieu), est modifiable en format "panoramique" ou en 24 x 36, à partir d'une même vue, lors d'un autre tirage.



100, 200 et 400 ISO. On peut choisir la pellicule la plus adaptée à l'ambiance lumineuse. Toute pellicule entamée est automatiquement rembobinée avant son extraction de l'appareil, puis, lors de sa remise

en place, le film s'avance tout seul jusqu'au dernier cliché. En raison de son importante surface, la piste magnétique est en mesure de stocker bien d'autres informations. On envisage,

dans le futur, de stocker l'image elle-même sous forme numérique. Lors du développement du film, la numérisation de l'image pourrait être

réalisée et enregistrée sur la piste magnétique. Un lecteur approprié, connecté au téléviseur, permettrait alors d'y "projeter" les clichés.

SPORTS ET LOISIRS

La musique la plus pure

Le nouveau radiocassette portable PA 1 Max de Grundig ne manque pas de coffre. Son amplificateur d'une puissance de 60 watts efficaces (près de 200 W de puissance crête) garantit un son d'une extrême pureté. Un dispositif, baptisé Acoustical Polarized Stereo, "élargit" le champ stéréophonique de manière significative. Un point important, puisque le design futuriste du boîtier ne



permet pas de détacher les haut-parleurs. Un dispositif de renforcement des graves (Ultra Bass System) offre une bonne restitution du registre extrême basse, malgré le volume modeste de l'appareil. Les autres caractéristiques du PA 1 sont comparables

à celles d'une minichaîne : il renferme un lecteur de CD, une platine cassette et un récepteur AM-FM programmable par synthétiseur de fréquence. Une télécommande donne directement accès à l'ensemble des fonctions. Prix : 3 000 F environ. K.L.

Chaussures à géométrie variable

Nordica propose deux nouvelles gammes de chaussures de ski. La première, baptisée Nordy, s'adresse aux tout jeunes skieurs. Ces chaussures sont munies d'un adaptateur qui fournit

deux pointures, pour suivre la croissance du pied de l'enfant. Une fermeture par bande adhésive lui permet de se chauffer et de réaliser le réglage lui-même. Une guêtre protectrice empêche que la neige ne pénètre dans la chaussure. La seconde gamme, Next, réservée aux adultes, possède un sélecteur, muni de trois positions, qui modifie la rigidité de la chaussure. Les deux premières, Hard et Soft, sont réservées au ski. Elles adaptent la "réponse" de la chaussure au tempérament du skieur ou au type de neige. La troisième position, Walk, la transforme en chaussure de marche. Cette commande est aisément accessible. Un bouton situé à l'arrière de la chaussure permet la modification de la flexibilité ; il peut être actionné même en pleine action.

Prix : gamme Nordy, 299 F ; gamme Next, 1 999 F.



AUDIOVISUEL

La photo "tout numérique"

Le Casio QV-10 et le Chinon ES-3 000 sont deux appareils photo "tout numérique" différents dans leur conception ergonomique et ne visant pas la même clientèle. Leur principe de base est identique : saisie de l'image par analyseur CCD, stockage sur mémoire flash et traitement informatique des clichés.

Le Casio QV-10 est en quelque sorte l'"instamatic" de la photo numérique. Son analyseur CCD est assez sensible pour qu'on puisse prendre des photos sans flash sous pratiquement n'importe quel éclairage. Son dos est équipé d'un écran LCD couleur qui fait office de viseur et permet aussi de visionner les photos. Il peut se brancher directement sur un téléviseur.

Le Chinon ES-3000, quant à lui, est plus "professionnel". On peut regretter que le viseur ne soit qu'optique et qu'on ne puisse visualiser les clichés qu'après un traitement informatique. En revanche, la qualité des clichés est nettement supérieure à celle des photos du Casio. Autre point fort : la cartouche mémoire est extractible. Enfin, cet appareil est équipé d'un zoom et d'un flash débrayable.

Prix : **5 995 F** pour le Casio, **6 400 F** pour le Chinon.



Minibanc de reproduction

A peine plus gros qu'un livre de poche, l'"imager" FV-10 de Fujifilm est un véritable banc de reproduction. Pouvant se connecter à un ordinateur Mac ou PC, il agit comme un scanner. Mais il permet aussi de visionner photos et objets sur un écran de télévision, avec une résolution de 400 lignes horizontales et 350 lignes verticales. Un passe-vue est destiné aux diapositives et aux négatifs photo, restitués en positifs sur l'écran. Les capots latéraux inclinables servent de trépied pour scanner les images ou tout objet. Au standard PAL,



cet étonnant appareil possède un capteur CCD 1/4 pouce de 470 000 pixels et un zoom Fujinon 4x traité multicouche. La balance des blancs et le réglage des couleurs sont automatiques et débrayables. Poids : 650 g. Prix : environ **6 500 F**.

Grand son pour cassettes vidéo

La nouvelle gamme de cassettes vidéo de Basf est destinée aux magnétoscopes à son hi-fi stéréo.

Le codage Nicam

et les systèmes Home Theater ont rendu les utilisateurs exigeants sur la qualité sonore. La gamme PHG combine trois améliorations.

D'abord, une nouvelle technique de "couchage" des particules magnétiques garantit leur parfaite répartition et accroît de 10 % leur densité (6,6 milliards par millimètre carré). De même, le film polyester a été renforcé. Ceci améliore le guidage de la bande et lui confère une grande longévité.

Enfin, un revêtement antistatique élimine les charges accumulées lors du défilement. Les poussières ne se collent plus sur la bande.

Ces cassettes sont disponibles en grande surface et chez les revendeurs spécialisés.



Projecteur infatigable

Le nouveau projecteur de diapositives Pradovit P 600 de Leitz reprend le système qui équipe le modèle professionnel : il est doté d'une lampe halogène principale 24 V/250 W et d'une lampe de secours qui peut remplacer automatiquement la première pendant la projection.

Son autofocus reconnaît les diapositives montées sous verre. Du coup, la mise au point est automatique.

Ce modèle

utilise les paniers linéaires standard comme les paniers circulaires de 120 diapositives.

Il dispose d'une minuterie de trois à trente secondes pour le changement automatique des diapos. Onze objectifs peuvent être adaptés. La version IR est livrée avec télécommande infrarouge et pointeur laser.

Prix du P 600 : 4 180 F,

prix du P 600 IR : 4 990 F.



Rollei fête ses 75 ans...

...et propose une nouvelle version de son compact Prego Zoom AF. Parmi ses fonctions les plus attrayantes, on notera la possibilité de "déclencher en rafale". Une option indispensable pour saisir l'action dans sa spontanéité. De même une fonction "fill in" permet, par déclenchement forcé du flash, de faire ressortir certains détails du sujet normalement "noyés" dans les ombres trop importantes. Prix : 2 050 F. K.L.

● Ont collaboré à cette rubrique : Kooka Latombe, Marie-Laure Moinet.

VIE PRATIQUE

L'imagination au pouvoir

Nos objets familiers vont-ils changer de "look" ? Les constructeurs ne manquent pas d'idées.

Considérant que le multimédia est la prolongation de l'écrit, Telefunken n'hésite pas à faire de son lecteur de CD-Rom

un objet digne des rayonnages d'une bibliothèque de luxe.

Saba, de son côté, s'intéresse au devenir du baladeur. Il pourrait prendre la forme d'une canne ou se porter en écharpe. Les prix ne sont pas encore communiqués.



La tomate du futur

La première purée de tomates transgéniques est commercialisée en Grande-Bretagne, depuis le 5 février 1996, dans deux chaînes de supermarchés qui ont parié sur son succès : Safeway et Sainsbury.

Les tomates, sélectionnées par Zeneca Plant Science, sont cultivées en Californie, car l'Europe n'a pas encore autorisé la culture des plantes transgéniques.

C'est maintenant au consommateur, clairement informé par l'étiquette, de juger : le goût serait meilleur, la consistance moins liquide, la couleur plus belle... Car le gène introduit dans les tomates diminue la destruction de la pectine, un constituant des parois intercellulaires. Les tomates cueillies sont donc plus fermes (ce qui entraîne une diminution des pertes à la récolte) et plus riches en épaississant. Elles nécessitent moins de chauffage lors du processus industriel, rendu plus économique. La culture de ces tomates en France attend le feu vert des instances européennes. Pour la Commission française de génie biomoléculaire, seuls les êtres génétiquement modifiés, vivants, posent un problème. Cette conserve de tomate, ne contenant ni molécule active ni semence vivante, ne peut donc pas être assimilée à un organisme génétiquement modifié. M.-L.M.



Ordinateur : fais-moi un dessin

Calcomp propose une nouvelle gamme de tablettes graphiques.



Leur stylet, sans fil, distingue 256 niveaux de pression, qui commandent la graisse du trait. Le point fort de cette gamme est la fonction "effacement précis", qui autorise des retouches d'une grande finesse. Pour activer le mode effacement, il suffit d'appuyer sur l'un des boutons du stylet.

Il est ainsi possible de passer en mode effacement sans perdre le tracé, ce qui n'était pas possible sur d'autres appareils, puisque le mode effacement s'obtenait par retournement du stylet. Ces tablettes graphiques, utilisables sur Mac ou PC, sont disponibles en quatre dimensions :

du format A6 (10 x 13 cm)
au format A3 (30 x 46 cm).

Disponibles dans les boutiques spécialisées et chez de nombreux distributeurs par correspondance.

Le prix est raisonnable : à partir de 1 194 F pour le modèle A6.

Le micro dans son nid

Chez Panodia, deux modèles de valisettes souples pour micro-ordinateur portable.

Tous les deux sont habillés d'une matière façon cuir, souple et ultra légère. Des cloisons rembourrées ajustables calent parfaitement l'appareil et le protègent des chocs éventuels. De nombreuses poches internes sont prévues pour ranger disquettes, souris, cordons, etc. Le modèle le plus petit, Modulis 1, est destiné à recevoir l'ordinateur seul. Modulis 2 peut loger un ordinateur portable et une imprimante.

Dans les FNAC. Modulis 1 : 390 F ; Modulis 2 : 590 F. K.L.



L'intelligence de la

Les levures sont des champignons unicellulaires. L'homme les utilise depuis des milliers d'années pour faire lever la pâte à pain ou fabriquer des boissons alcoolisées. Ce sont des organismes particulièrement intéressants à de multiples égards. Pour les chercheurs, elles ont les avantages pratiques des micro-organismes, bien qu'elles soient des eucaryotes, c'est-à-dire des cellules possédant des compartiments (noyau, mitochondries, etc.), contrairement aux bactéries, qui sont des procaryotes (leur cellule est constituée d'un seul compartiment).

Parmi les eucaryotes, les levures sont les organismes possédant le plus petit génome connu. L'ADN de la levure de bière est formé d'à peu près 15 000 kilobases (unités élémentaires de la molécule d'ADN) et contient environ 10 000 gènes, soit à peine quatre fois plus qu'une bactérie, alors que l'ADN d'une cellule humaine comporte 3,3 milliards de bases et contient environ 100 000 gènes. Aussi, la connaissance du génome de la levure progresse-t-elle rapidement ; plusieurs chromosomes ont déjà été entièrement séquencés.

LA RESPIRATION ET LES FERMENTATIONS

Enfin, après les bactéries, les levures sont à leur tour devenues des outils du génie génétique : en leur "greffant" les gènes adéquats, on les rend capables de fabriquer et de sécréter diverses protéines étrangères. C'est ainsi que le vaccin contre l'hépatite B, formé d'une protéine de l'enveloppe virale, est produit par des levures transformées.

Comme tous les organismes hétérotrophes, les levures ont besoin de carbone organique, source de matériaux et d'énergie. A cet égard, ce sont les sucres que les levures préfèrent. L'énergie est extraite des molécules de sucre lors de réactions chimiques complexes dont il existe

deux grands types : la respiration et les fermentations – la première ayant un meilleur rendement, mais nécessitant de l'oxygène.

La levure possède d'étonnantes capacités d'adaptation. Lorsqu'il y a de l'air, elle respire, lorsqu'il n'y en a pas, elle fermente (*Science & Vie*, n° 912, p. 148). De plus, elle peut non seulement s'adapter à l'absence d'oxygène, mais aussi au type de

sucré disponible. Ainsi, en l'absence de glucose (son aliment préféré), elle sait utiliser d'autres sucres, comme le saccharose ou le maltose.

Le fonctionnement de toute cellule obéit à un principe d'économie. Pour utiliser un sucre, la cellule doit fabriquer toute une série d'enzymes spécifiques et, parallèlement, elle ne doit pas produire inutilement les enzymes correspondant à des sucres absents

Contrôler l'utilisation du

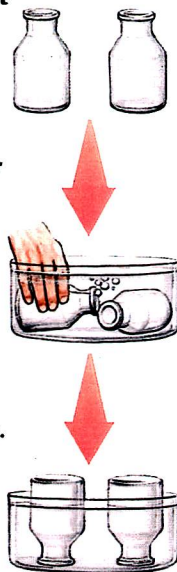
Matériel nécessaire

Levure fraîche (en boulangerie), solution de glucose à 10 % (en pharmacie), sucre en poudre (saccharose), 2 flacons identiques avec bouchon ou couvercle étanche en plastique (pots de yaourt ou flacons de médicament d'un volume d'environ 100 ml), 2 petites bouteilles identiques sans bouchon, 40 cm de tuyau de plastique (tuyau pour pompe d'aquarium, dans les magasins d'aquariophilie), un récipient d'une dizaine de centimètres de hauteur.

Mise en route de l'expérience

Emettre 5 g de levure dans 100 ml d'eau et bien agiter pour mettre les cellules en suspension. Diviser cette suspension en deux moitiés strictement égales et les verser dans les deux flacons ①. Numérotiser chaque flacon pour les identifier. Flacon 1 : ajouter 5 ml de la solution de glucose à 10 %. Flacon 2 : ajouter 5 ml d'une solution de saccharose à 5 % (5 g dans 100 ml d'eau). Bien agiter de temps en temps puis laisser

reposer vingt-quatre heures. Préparer une solution de saccharose (sucre en poudre) à 20 g/100 ml. Le lendemain, les levures ont sédimenté au fond du flacon et sont surmontées d'un liquide clair. Eliminer ce liquide, par exemple en l'aspirant avec une seringue ②, de façon à ne pas remettre les levures en suspension. Ajouter alors un volume strictement identique de la solution de saccharose dans chaque flacon de levure afin que le niveau du liquide arrive à environ 2 cm en dessous du bouchon ③. Couper le tuyau en deux moitiés égales et tailler une extrémité de chaque tuyau en biseau. Percer dans les deux couvercles ou bouchons



levure

du milieu. Leur fabrication gaspillerait de l'énergie. Ainsi, lorsque l'on donne du glucose aux levures, elles ne fabriquent pas les enzymes nécessaires à l'utilisation du saccharose ou du maltose. Ces phénomènes résultent d'un contrôle s'exerçant au niveau des gènes codant les enzymes du métabolisme des sucres. En présence de glucose, les gènes codant les enzymes nécessaires à l'utilisation du

saccharose ou du maltose sont réprimés par un signal chimique intracellulaire et ces enzymes ne sont pas fabriquées. On parle alors de répression catabolique. Inversement, si un sucre différent du glucose est fourni, un autre signal chimique intracellulaire déclenche la mise en activité des gènes correspondants. C'est l'induction enzymatique.

Ce type de contrôle métabolique

au niveau génétique est d'une très grande efficacité. Il permet aux cellules de s'adapter rapidement à un changement de milieu sans gaspillage énergétique et a donc été conservé au cours de l'évolution. Démontré d'abord chez les bactéries, il est, semble-t-il, universel, même si les mécanismes en jeu sont quelque peu différents chez les procaryotes et chez les eucaryotes. ■

saccharose



de la fermentation). Le gaz, passant dans les tuyaux, chasse l'eau, et le niveau des flacons récepteurs baisse. Plus l'intensité de la fermentation est forte, plus le volume de gaz est important. On observera que le volume de gaz produit par le flacon 2 est plus important que celui produit par le flacon 1, ce qui signifie que ses levures fermentent plus intensément que les autres.

Que s'est-il passé ?

Les levures exposées au glucose pendant vingt-quatre heures ont réprimé les gènes correspondant au métabolisme du saccharose, ce qui n'est pas le cas de celles qui ont été exposées au saccharose. Lorsque l'on a ajouté du saccharose, elles ont eu besoin d'un certain temps pour mettre en route l'ensemble de la "machinerie chimique" nécessaire à l'utilisation du saccharose. En conséquence, les levures du flacon 2 fermentent plus rapidement et plus efficacement. Elles n'ont pas eu à lever la répression des gènes correspondants, qui étaient déjà actifs.

Où l'on prouve que

Notre énigme du mois de septembre, «Un angle droit = un angle obtus», nous a valu un courrier abondant et passionné, les plus rigoureux apportant la preuve (soit par la trigonométrie, soit par la géométrie analytique) que la figure était fausse. A priori, on pouvait en effet se contenter de dire que si, partant d'une figure donnée, un raisonnement juste menait à une contradiction, c'est que la figure était fausse. En réalité, ce n'est pas suffisant : il faut le prouver.

Ceux de nos lecteurs qui avaient un logiciel de dessin géométrique ont pu voir tout de suite sur leur écran que la figure tracée par l'ordinateur n'était évidemment pas celle que nous avions proposée ici : en quelque sorte, une démonstration par l'informatique, mais qui n'a aucune valeur du point de vue mathématique. Aussi allons-nous prendre cette fois une figure parfaitement juste, dont nous allons pourtant tirer cette conséquence paradoxale que, en fractionnant une droite en deux, on ne modifie pas sa longueur.

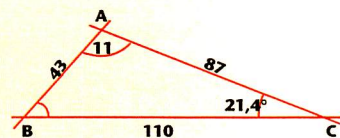
LE TRIANGLE QUELCONQUE EST UN ANIMAL RARE

Cette subtile démonstration nous a été proposée par l'un de nos lecteurs, M. Claude Fourtignon, de Bourgueil (Indre-et-Loire) : ayant apprécié le sophisme précédent prouvant qu'un angle droit est égal à un angle obtus, il nous a envoyé l'exemple suivant, qui demande, pour être suivi, quelques connaissances de géométrie du niveau de la classe de première.

On commence par tracer un triangle quelconque, chose beaucoup moins simple qu'il n'y paraît généralement : quand on dessine un triangle au hasard, on découvre après coup qu'il est le plus souvent à peu près isocèle, ou à peu près rectangle. Le triangle quelconque est un animal rare et difficile à débusquer, aussi

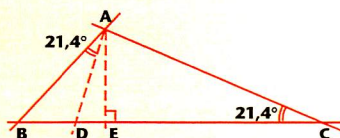
proposons nous le suivant, avec $AB = 43$, $AC = 87$ et $BC = 110$ – peu importe l'unité choisie, millimètres, centimètres ou années-lumière. Les côtés sont tous différents, donc il n'est déjà pas isocèle.

Pour leur part, les angles ont environ les valeurs suivantes : $A = 111^\circ$, $B = 47,6^\circ$ et $C = 21,4^\circ$. Donc pas d'angle droit, le triangle n'est pas rectangle. Précisons toutefois que ce modèle n'a rien de contraignant : la démonstration reste la même pour tout autre triangle que l'on voudra tracer. Celui-ci a un angle obtus, alors que celui de M. Fourtignon avait trois angles aigus : cela n'a aucune importance pour la suite.



Par le sommet A, on mène à l'intérieur du triangle une droite qui coupe BC en D et telle que l'angle BAD soit égal à l'angle ACB, ou C comme nous l'avons appelé précédemment. On trace ensuite la hauteur AE issue de A et coupant BC en E.

Première conséquence de notre



tracé, les triangles ABC et ABD sont semblables : un angle commun B et les angles BAD et ACB égaux par construction (1^{er} cas de similitude). Ces deux triangles étant semblables, leurs aires sont proportionnelles au carré du rapport de similitude – rapport entre deux côtés opposés à des angles égaux. On a donc :

$$\text{Aire(ABC)} / \text{Aire(ABD)} = AC^2 / AD^2.$$

Il s'agit là d'une propriété classique des figures semblables, et qui reste vraie quelle que soit cette figure : tri-

angle, carré, cercle, hexagone, trapèze, hypocycloïde, etc. On sait, par exemple, que si l'on double le côté d'un carré – rapport de similitude 2 – on multiplie sa surface par 4.

LE RÉSULTAT EST INADMISSIBLE

D'autre part, l'aire du triangle ABC est égale à $1/2$ de $BC \cdot AE$, puisque AE est la hauteur menée de A sur le côté BC. Quant à l'aire du triangle ABD, elle est égale à $1/2$ de $BD \cdot AE$, puisque AE est, de même, la hauteur menée de A sur le côté BD. Le rapport des surfaces de ces deux triangles est donc aussi : $\text{Aire(ABC)} / \text{Aire(ABD)} = (1/2) \cdot BC \cdot AE / (1/2) \cdot BD \cdot AE = BC / BD$.

En rapprochant cette égalité de la précédente, il vient : $AC^2 / AD^2 = BC / BD$, que l'on peut écrire aussi $AC^2 / BC = AD^2 / BD$; nous appellerons cette équation (1).

Mais les relations trigonométriques dans un triangle quelconque nous permettent d'exprimer les deux carrés AC^2 et AD^2 en fonction des deux

Solution du

■ Les élèves suivent ici un chemin logique qui ressemble au raisonnement par récurrence, mais n'en est pas un. Le principe du raisonnement par récurrence, qui a permis d'établir de nombreuses formules, est le suivant : soit $E(n)$, un énoncé dépendant d'un entier n . Si $E(0)$ est vrai et si, quel que soit $n \geq 0$, $E(n)$ vrai implique $E(n+1)$ vrai, alors l'énoncé $E(n)$ est vrai pour tout entier n . Or les élèves font le chemin inverse, ce qui les mène à une proposition indécidable : ils tentent de montrer que si $E(n)$ est vrai, alors $E(n-1)$ est vrai, et ainsi

16 = 110

autres côtés et de l'angle opposé ABC que nous avons appelé B :

$$AC^2 = AB^2 + BC^2$$

$$- 2AB \cdot BC \cdot \cos B$$

$$AD^2 = AB^2 + BD^2$$

$$- 2AB \cdot BD \cdot \cos B.$$

En reportant ces valeurs dans l'équation (1), il vient :

$$(AB^2 + BC^2$$

$$- 2AB \cdot BC \cdot \cos B) /$$

$$BC = (AB^2 + BD^2$$

$$- 2AB \cdot BD \cdot \cos B) / BD.$$

En divisant par BC d'un côté, par BD de l'autre, on obtient :

$$AB^2 / BC +$$

$$BC - 2AB \cdot \cos B$$

$$= AB^2 / BD +$$

$$BD - 2AB \cdot \cos B,$$

ce qui donne :

$$AB^2 / BC - AB^2 / BD - BD + BC$$

$$+ 2AB \cdot \cos B - 2AB \cdot \cos B = 0, \text{ qu'on}$$

peut écrire, après réduction des termes égaux :

$$AB^2 / BC - BD = AB^2 / BD - BC.$$

En réduisant au même dénominateur de part et d'autre on a :

$$(AB^2 - BD \cdot BC) / BC = (AB^2 - BC \cdot BD) / BD.$$

On simplifie par $AB^2 - BD \cdot BC$, et il reste :

$$1/BC = 1/BD, \text{ soit } BC = BD, \text{ résultat}$$

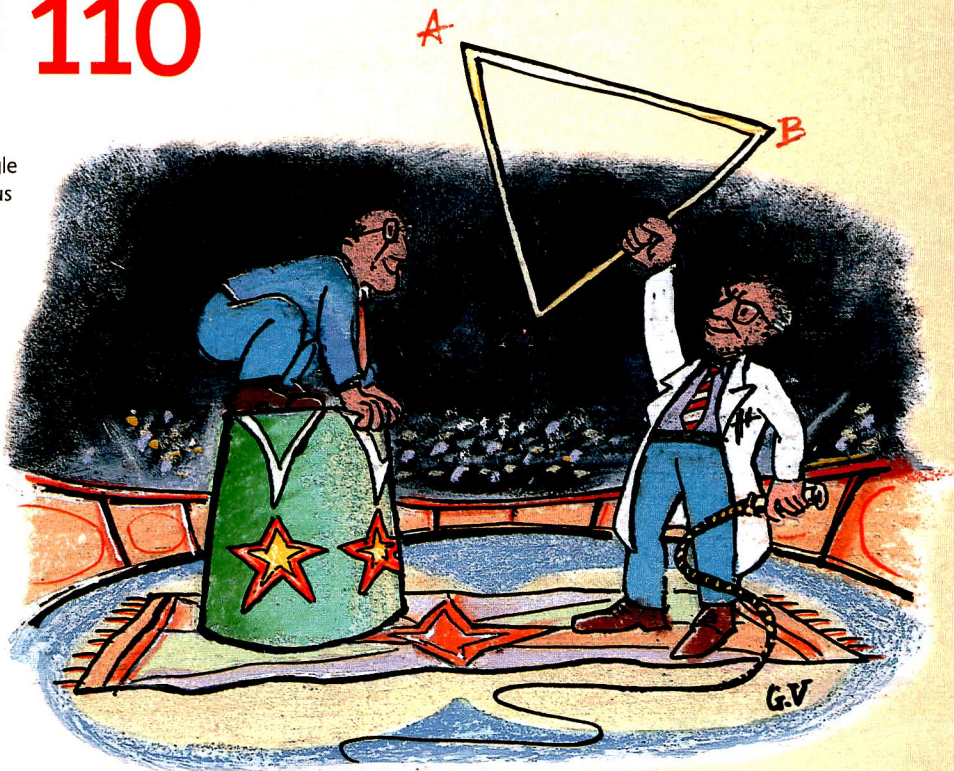
inadmissible, comme nous l'écrivit notre lecteur, puisque D est un point du segment BC qui n'est pas confondu avec C.

DE QUOI BOULEVERSER TOUTES LES MATHÉMATIQUES

Avec les longueurs que nous avons choisies pour les côtés, on a : $BC = 110$ et $BD = 16,809090...$

Non seulement ils ne sont manifestement pas égaux, mais, en plus, l'un est entier et l'autre fractionnaire. Qu'une telle égalité puisse se présenter a de quoi bouleverser toutes les mathématiques.

Ajoutons que la figure ne comporte ni erreur ni omission : elle est parfaitement juste. Les relations ou équations mentionnées sont tout aussi justes, et sont d'ailleurs connues de tous ceux qui ont fait de la simple géométrie plane. Reste donc à trouver où se situe la faille qui permet d'aboutir à un résultat aussi étrange.



G.VALLANCIEN

n° 941

de suite jusqu'à E(0) ; ce faisant, ils arrivent à une contradiction qui leur a échappé : devant rester imprévisible, l'interrogation ne peut avoir lieu aucun jour ; donc si elle survient un jour quelconque, elle sera justement restée imprévisible – et c'est d'ailleurs ce qui se passe.

Le raisonnement serait resté le même si, au lieu de parler de «semaine prochaine», le professeur avait dit «année prochaine». Du seul fait qu'il ajoute «imprévisible», aucune interrogation ne pourrait plus avoir lieu de l'année entière, ce qui est absurde. On retombe là

dans le paradoxe d'Epiménide de Crète affirmant : « Tous les Crétois sont des menteurs. »

Remarquons de plus que, si les deux propositions sont vraies pour les élèves, seule la première (une épreuve aura lieu la semaine prochaine) est vraie aussi pour le professeur, mais pas la seconde puisqu'il sait très bien, lui, quel jour il donnera l'interrogation. Les deux propositions ne sont donc pas simultanément vraies pour tout le monde (le professeur a pu mettre tout un groupe dans la confidence), ce qui leur ôte toute valeur en logique inductive.

La comète de mars

Après vingt ans sans que la moindre comète spectaculaire soit venue rendre visite à la Terre, les choses se précipitent. Il y a quelques mois, les astronomes annonçaient l'arrivée de la comète Hale-Bopp comme un véritable événement céleste pour l'année 1997. Ce qu'ils ne savaient pas, c'est que, dès ce mois de mars, ils auraient Hyakutake. Surgie à l'improviste des profondeurs du système solaire, celle-ci promet même de voler la vedette à Hale-Bopp.

Tout a commencé le 31 janvier. Cette nuit-là, un astronome amateur japonais – à qui elle doit désormais son nom – l'a découverte à l'aide d'une paire de jumelles 25 x 150. Grâce à cet équipement hors du commun, Yuji Hyakutake, décidément chanceux, avait trouvé une première comète plus tôt dans le mois. Mais, cette fois, la nouvelle venue brillait d'une magnitude 9 ; elle était aisément visible avec le plus modeste des instruments d'amateur.

Début février, Jean Lecacheux, astronome à l'Observatoire de Paris-Meudon, alors en mission au Pic du Midi, l'observait : « Son diamètre apparent est déjà de 5 ou 6 minutes d'arc, avec une coma – une chevelure – très marquée. Du fait de sa grande activité, elle pourrait, sauf surprise, devenir l'une des plus belles comètes du siècle. »

Et pour cause : elle passera, le 25 mars, à seulement 15 millions de kilomètres de la Terre. Autant dire qu'elle va littéralement nous frôler. C'est aussi à ce moment qu'elle sera la plus brillante. Les astronomes annoncent une magnitude 1, comme Aldébaran dans le Taureau ou Régulus dans le Lion,

deux des étoiles les plus éclatantes du ciel. Mais une incertitude demeure sur l'activité de son noyau, composé de glace et de poussières en train de se volatiliser sous l'action du Soleil. Ainsi, la quantité de matière éjectée pourrait être plus importante, rendant sa chevelure encore plus lumineuse, au point d'atteindre la magnitude -1. Dans ce cas, elle deviendrait l'astre le plus brillant après le Soleil et la Lune. « Un autre pic de luminosité probablement identique est à prévoir lors de son passage au plus près du Soleil,

le 1^{er} mai », précise Jean Lecacheux.

Après avoir flirté avec la Terre le 25 mars, elle s'approchera ce jour-là à moins de 35 millions de kilomètres du Soleil, c'est-à-dire largement à l'intérieur de l'orbite de Mercure. Comme la comète de Halley, Hyakutake suit une orbite rétrograde (en sens inverse de celle des planètes), que les astronomes ont commencé à calculer. Quand ils auront suffisamment accumulé d'observations, ils sauront en déduire la date de son éventuel retour.

Philippe Henarejos

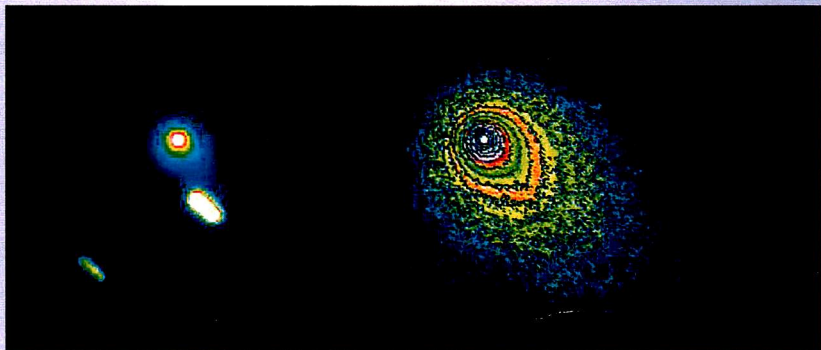
ASTROPATRIQUE

Observez-la !

Dès ce mois de mars, la comète Hyakutake sera facilement visible à l'œil nu. Dans une simple paire de jumelles, le spectacle promet d'être grandiose. Le 25 mars, elle brillera de tout son éclat au-dessus de la queue de la "grande casserole" (la Grande Ourse). Pour la trouver, il suffit donc de lever les yeux vers le nord et de repérer la constellation. Le 27, elle sera à seulement 4° de l'étoile Polaire. Ensuite, elle poursuivra sa route en direction de la constellation du Taureau et sera observable comme une belle comète du matin, avant le lever du Soleil, fin avril et début mai. A partir de juin, elle ne pourra être vue que par les observateurs de l'hémisphère sud (voir carte ci-contre).

Ph. H.

La comète Hyakutake vue depuis le Pic du Midi. A droite, un traitement fait ressortir l'étendue de sa chevelure.



LECACHEUX/COLAS/JORDA/CABOT/S DE P



Mardi 5
Jupiter est en conjonction avec deux petites étoiles du Sagittaire, Nu 1 et Nu 2. La planète passe à moins de 3' et, pendant un jour ou deux, ces étoiles pourront être confondues avec l'un des satellites galiléens. A observer avec une lunette en fin de nuit.

Samedi 9
L'astéroïde Vesta est à 10' seulement de l'étoile SAO 140614, de magnitude 5,1. Une chance pour suivre le déplacement du planétoïde.

Mercredi 13
Maximum d'activité de l'essaim d'étoiles filantes Gamma Normides.

Jeudi 14
Jupiter est en conjonction avec la Lune. A suivre le matin, tout juste avant le lever du jour, vers l'est.

Vendredi 15
C'est au tour d'Uranus et de Neptune d'être près de l'Astre de la nuit.

Mêmes conditions d'observation que la veille.

Mercredi 20
Equinoxe de printemps à 9 h 3, temps légal.

Du 21 au 25
Croissant lunaire avec lumière cendrée à observer aux jumelles, le soir vers l'ouest.

Samedi 23
Rapprochement des planètes Mercure, Mars et Saturne, qui sont dans un cercle de moins de 1,5° de diamètre ! Malheureusement, ces planètes sont très proches du Soleil et

l'observation est réservée aux amateurs des régions tropicales.

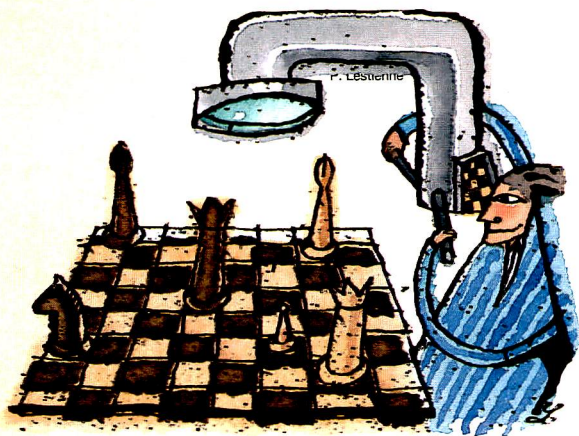
Mardi 26
Vénus se trouve à 4 minutes d'arc d'une étoile de magnitude 6,1. Belle conjonction à suivre en soirée dès le coucher du Soleil.

A ne pas manquer

L'essaim d'étoiles filantes des Virgides. Cet essaim a la particularité d'être actif du 25 janvier au 15 avril et de présenter plusieurs pics d'activité. Ces météores semblent provenir d'une vaste région comprenant la Vierge et le Lion. Ils sont généralement lents et peuvent être très brillants, avec des traînées persistantes. Le début de mars pourrait être une période particulièrement active.

ILLUSTRATION : M. ROUX-SAGET

Défaut de vision



L'échiquier est-il carré ? Bien sûr, comme on peut le vérifier sur le diagramme en fin de page. Cependant, il est rare, et d'ailleurs fort peu pratique, que l'on dispute une partie, penché à la verticale du centre du plateau de jeu... Dans la pratique donc, quand vous serez installé face à l'échiquier, celui-ci perdra sa superbe symétrie, brisée par les impitoyables lois de la perspective. Les joueurs de go le savent bien, eux qui s'affrontent sur un terrain plus long que large, justement pour compenser cet effet. Considération purement esthétique ? Pas du tout, car les conséquences en sont tout à fait

pratiques. L'expérience montre indubitablement qu'il est beaucoup plus facile de voir ce qui se passe sur les colonnes (ces larges avenues qui s'ouvrent devant vos yeux, pour parler comme les New-Yorkais) que sur les rangées (ces rues transversales que la perspective rend plus étroites). Il importe donc de corriger ce défaut de vision par une attention accrue.

a) L'attaque Trompovsky, qui permet d'éviter les débuts trop connus.
b) Les Blancs sacrifient leur paire de Fous pour s'assurer un développement tranquille tout en détériorant la structure des pions noirs.
c) La règle générale veut que l'on ramène les pions vers le centre. Mais, ici, cette prise évite un pion isolé en h7 et active le Fou f8.

d) Pour miner le centre des Blancs tant que leur Roi est au centre.
e) La bonne suite était 8. ... ♖e5 9. ♖f3 ♙xc3+ 10. bxc3 ♗a5, récupérant le pion dans d'excellentes conditions. Mais, évidemment, les Noirs n'ont pas vu la petite combinaison qui va suivre. A noter qu'elle avait échappé de la même manière au très fort grand-maître Lev Polougaïevski à Monaco en 1992, mais il est vrai que c'était en partie rapide.

f) Et bien sûr pas 9. ... ♙xf7?? 10. ♗xd8+.
g) Eh oui, il fallait voir que, en h5, la Dame blanche attaquerait le Fou c5. Un bel exemple d'aveuglement "transversal" de la part d'un joueur international.

h) Et les Blancs ont gagné un pion.
i) Achève le développement tout en soustrayant le Roi à la menace de "fourchette" 16. ... ♖c2+ suivi de 17. ... ♖xa1.

j) Et non 19. ♙xb7 ♖ab8 20. ♖c5

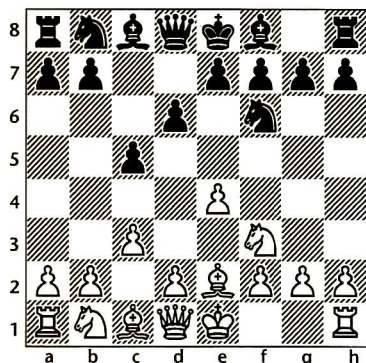
♙c4 21. ♖e1 ♙xb2, avec un beau contre-jeu pour les Noirs.

k) Ils perdent un deuxième pion, soit en b7, soit en a7 s'ils poussent b7-b6. Insuffisante est la défense 23. ... ♙d5 à cause de 24. e4 ♙c6 25. b5. ■

A vous de jouer !

La position suivante apparaît après le début 1. e4 c5 2. ♖f3 d6 3. c3 ♖f6 4. ♙e2. Le dernier coup blanc ne laisse-t-il pas le pion e4 en prise du Cavalier noir ? En fait, c'est un piège bien connu, qui vaut par exemple, il y a quelques années, deux victoires dans le même open à l'ancien champion de France Jean-Luc Seret.

Les Noirs peuvent-ils prendre le pion e4 ?



Solution du n° 941

1. ♖e4! et les noirs abandonnent, car s'ils prennent le cavalier, ils perdent leur tour et s'ils prennent la tour des blancs, ils sont mat par 2. ♖g5.

Slotchevski - Quinto Italie 1995

- | | |
|--------------|-----------|
| 1. d4 | ♖f6 |
| 2. ♙g5 (a) | d5 |
| 3. ♙xf6 (b) | exf6 (c) |
| 4. e3 | ♙d6 |
| 5. c4 | dx c4 |
| 6. ♙xc4 | 0-0 |
| 7. ♖c3 | c5 (d) |
| 8. dxc5 | ♙xc5? (e) |
| 9. ♙xf7+ | ♗xf7 (f) |
| 10. ♗h5+ (g) | ♗g8 |
| 11. ♗xc5 (h) | ♖a6 |
| 12. ♗c4+ | ♗h8 |
| 13. ♖ge2 | ♗b6 |
| 14. ♗b5 | ♗xb5 |
| 15. ♖xb5 | ♖b4 |
| 16. 0-0 (i) | ♙d7 |
| 17. ♖d6 | e6 |
| 18. a3 | ♖c6 |
| 19. ♖a1 (j) | ♖ab8 |
| 20. b4 | ♖e5 |
| 21. ♖d4 | ♙d5 |
| 22. ♖c5 | ♙g8 |
| 23. ♖c7 | |

Les Noirs abandonnent (k).

Encore

PRODUCTIONS

AVEC



PASCAL BERNARDIN PRESENTE :

Sting

en
concert

PARIS-BERCY 20H30

DIM. 14 AVRIL ET LUN. 15 AVRIL 96

TOURNEE FRANÇAISE DU 29 MARS AU 27 AVRIL 96



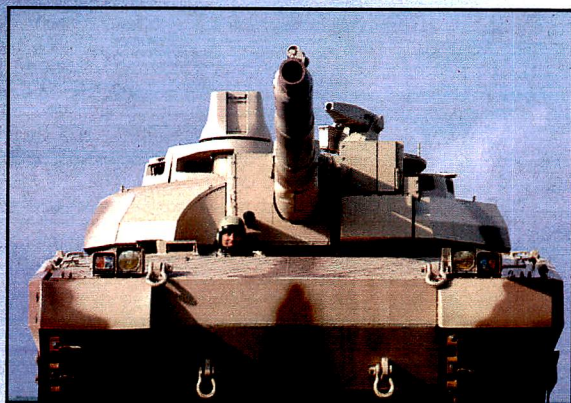
**LOCATIONS : BERCY PAR TEL : 44 68 44 68,
FNAC, VIRGIN MEGASTORE, FRANCE BILLET,
3615 M6, 3615 BERCY ET 3615 NRJ.**

POUR CONNAITRE LA FRÉQUENCE NRJ DE VOTRE VILLE : 36 68 42 48 OU TAPEZ 3615 CODE NRJ, RUBRIQUE STA.



Où va la Défense française ?

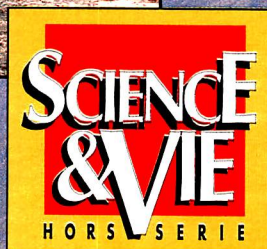
A l'heure où s'accumulent les incertitudes budgétaires, où en sont notre Marine, notre armée de l'Air, notre armée de Terre ? Quel est l'avenir de notre dissuasion nucléaire ? Bien des questions se posent aujourd'hui autour de nos choix de Défense dont les réponses passent par une analyse approfondie de la situation stratégique mondiale.



←
Le
Char
Leclerc

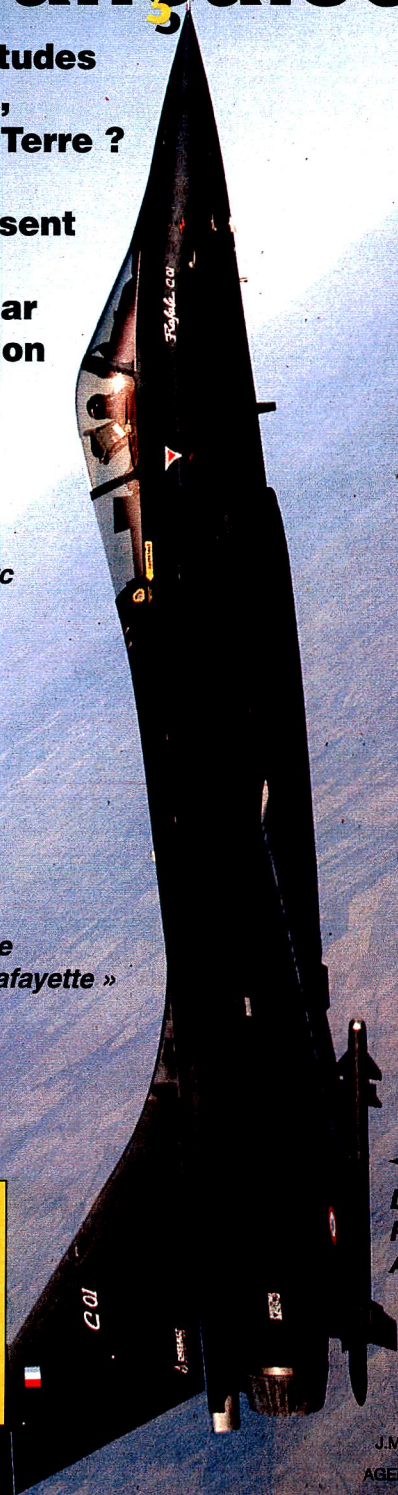


←
La
Frégate
« Le Lafayette »



LE
PROCHAIN

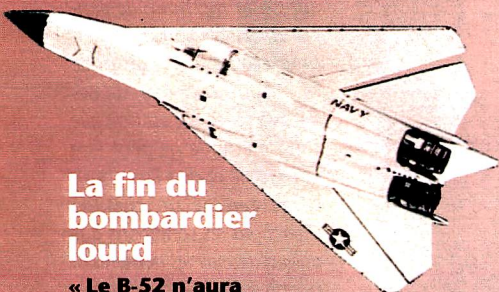
EN VENTE PARTOUT



←
Le
Rafale
Air

PHOTOS
J.M. CHOURGNOZ
A. ERNOULT
AGENCE ERNOULT

Il y a 30 ans



La fin du bombardier lourd

« Le B-52 n'aura probablement pas de successeur : ce bombardier de 221 000 kg volant à 1 000 km/h ne répond plus aux impératifs des missions stratégiques. Son successeur, la version Navy du chasseur F-111 à voilure variable (ci-dessus), pourrait emporter 50 % du poids d'explosifs d'un B-52, mais à une vitesse de 2 500 km/h. »

Le Perceptron, un cerveau "humain"

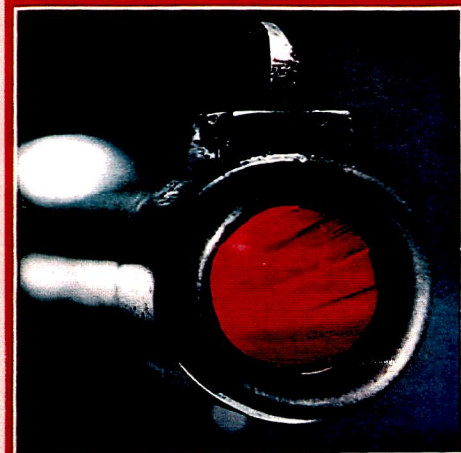
« Les cybernéticiens veulent calquer les cerveaux électroniques sur le modèle humain. Ces machines "mathématiques" pourront apprendre afin d'agir avec "intelligence". Le Perceptron de Rosenblatt est capable après 20 leçons de reconnaître une lettre, quelles que soient sa forme, sa dimension, son orientation. »



mars 1966

« C'est le même pistolet qui arme le poing de

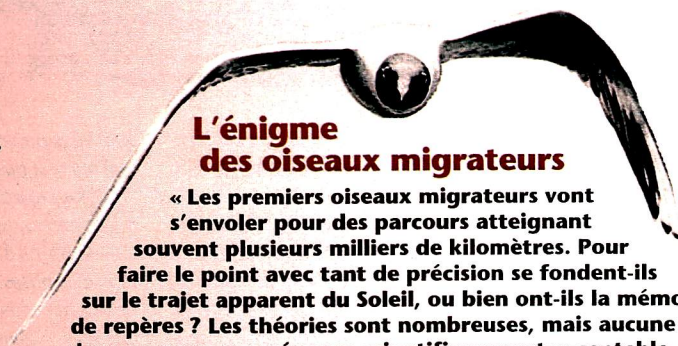
James Bond... et celui du champion du monde de tir à la cible. Des millions d'armes de poing sortent chaque année des usines. Leur majorité se retrouve dans les stands militaires ou civils, où certains préparent les championnats du monde qui auront lieu, en juillet, à Wiesbaden. »



MAR. 1966 251

LES PISTOLETS
Du roman policier aux Jeux Olympiques
étude comparative des armes de poing

PHOTOS X. TOUS DROITS RÉSERVÉS



L'énigme des oiseaux migrateurs

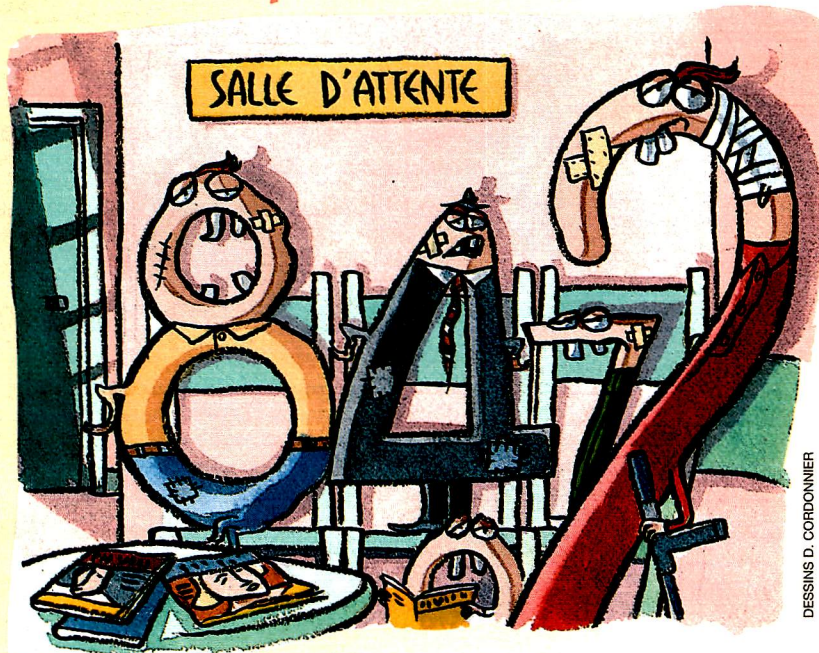
« Les premiers oiseaux migrateurs vont s'envoler pour des parcours atteignant souvent plusieurs milliers de kilomètres. Pour faire le point avec tant de précision se fondent-ils sur le trajet apparent du Soleil, ou bien ont-ils la mémoire de repères ? Les théories sont nombreuses, mais aucune ne donne encore une réponse scientifiquement acceptable. »

Un aérodrome circulaire

« En forme de bol, l'aérodrome de Mesa, en Arizona, limite les risques d'atterrissage par vents contraires et nécessite moins de place qu'un aérodrome classique. Dès qu'il se pose, l'avion est pris entre la force centrifuge, qui le rejette à l'extérieur, et l'attraction terrestre, qui le tire vers le centre, celle-ci étant la plus forte puisque la vitesse de l'avion décroît. L'appareil peut toujours amorcer un tour supplémentaire, si sa vitesse n'a pas été assez réduite. »



Fractions : une effraction trop brutale



DESSINS D. CORDONNIER

■ Très volumineux courrier à propos de notre énigme "Effraction sur les fractions" (n° 939, p. 138). Courrier qui se divise en trois tendances.

Première tendance, ulcérée : « Où est l'universalité de cette méthode qui ne souffre aucun contre-exemple ? Car les contre-exemples pullulent. Alors, expliquez-moi ce que je n'ai pas compris », s'exclame M. Pierre Martin, de Poisvilliers (Eure-et-Loir). « On ne peut rester passif devant les inepties qui jonchent l'article en question », s'indigne M. Frédéric Dufour, de Mantes (Yvelines). « C'est aberrant de trouver dans une honorable revue scientifique comme la vôtre un tel article, qui se contredit aussi facilement, et dont l'auteur s'éton-

ne ensuite qu'il y ait des sceptiques », lance Mme Lily-Ann Cabiling, de Paris.

Seconde tendance, contestatrice mais modérée : « La méthode Ruekberg est expéditive, mais elle est loin, bien loin, d'être universelle. Elle n'est au contraire valable que dans certains cas, qu'il faut aller volontairement chercher », affirme M. Pierre Viguie, de Bourg-en-Bresse (Ain). « Le spécialiste américain Ben Ruekberg me paraît rêver. Un seul exemple suffit pour démolir une théorie mathématique, et, ici, on en trouve une quantité. J'aime toujours lire votre revue, mais, néanmoins, soyez prudents », conseille M. Pierre Zurstrassen, de La Gleize (Belgique). « Connaissant "Science & Vie", je sais que vous savez de

quoi vous parlez. Donc c'est moi qui n'ai pas compris, ou un détail explicatif s'obstine à m'échapper », avoue M. Michel Guérin, de Berlin. « Je sens mes bases cartésiennes se dérober sous moi ! Et dire que je lis "Science & Vie" depuis vingt-deux ans – j'en ai 30. Que dois-je faire ? » plaisante M. Fabrice Reboulet, de Mazères (Gironde).

Enfin, troisième tendance, amusée : « La bonne question est donc celle que vous posez en fin d'article : on peut vraiment se demander avec quel crible Ben Ruekberg avait trié ses nombres pour trouver des exemples étayant sa méthode », dit M. Jean-Claude Lafay, de Passonfontaine (Doubs). « Je pense que Ben Ruekberg avait soigneusement trié ses nombres », note

M. Charles Mermet, de Grenoble (Isère). « En fait, cette méthode n'est applicable que pour une classe bien précise de fractions », explique M. Michel Lagneau, de Lyon, méthode de calcul à l'appui. « Afin de trouver des exemples autres que ceux cités dans l'article, et répondant à la méthode de simplification, j'ai conçu un petit programme », propose M. Claude Bonneau, de Benet (Vendée). « Il est clair que cette méthode ne peut être universelle et doit être considérée comme un canular. Cherchons les conditions que doivent remplir les nombres a , b , c pour que l'on ait effectivement $a/b, c = a/c$ », suggère M. Pierre Naslin, assez intéressé pour adapter une version de cette énigme à l'intention de la revue de l'amicale de Supélec.

Au premier groupe de lecteurs, nous répondrons tout de suite que nous sommes désolés que cet article ait pu être parfois mal interprété. Sans doute aurions-nous pu être plus explicites dès le départ. Mais l'article n'aurait plus respecté l'esprit de la rubrique "Enigmes", qui a déjà proposé un exercice prouvant qu'un angle droit est égal à un angle obtus ! Cette rubrique ne prétend évidemment

36 15
scv

Les forums
de Science & Vie !

Les grands débats
de notre société.

Exprimez vos
opinions.

ment pas être un cours de maths, et nous pensions avoir suffisamment insisté sur le côté paradoxal de l'énigme : « méthode expéditive », « ne marcherait pas avec d'autres fractions », « fractions tirées du même hasard », « nombres soigneusement triés », etc. Par ailleurs, la mise en garde était bien présente dans l'article : « Cette méthode ne souffre aucun contre-exemple. » Or, n'importe quelle fraction prise au hasard fournit justement ce contre-exemple ! Et l'on sait que, si, en mathématiques, il peut être extrêmement difficile de démontrer qu'une proposition est vraie (à preuve, le nombre de conjectures non résolues à ce jour), en revanche, un seul contre-exemple suffit à prouver qu'elle est fausse.

La plupart de nos lecteurs ont relevé ce fait et ne se sont donc pas laissés prendre au piège de la "théorie" de Ben Ruekberg. Les plus curieux ont alors cherché quel crible donne les fractions citées en exemple, ce qui est justement le but de cette énigme. Pour notre part, après avoir pris connaissance de la "méthode", nous avons rédigé un programme qui nous avait fourni les exemples cités. Bien entendu, les lecteurs de la troisième tendance ont fait de même.

Ainsi cette énigme (dont la solution est parue dans le n° 940, p. 121) méritait-elle sa place en décembre et non en avril, comme beaucoup de lecteurs nous l'ont suggéré.

De l'anthrax au furoncle

■ Un lecteur érudit, M. Pierre-Louis Bernard, de Lorrençon-en-Vercors (Isère), apporte une utile précision à l'article "L'anthrax exterminateur" (n° 939, p. 166), qui faisait allusion à la culture d'un staphylocoque par les Soviétiques en vue de la production d'une toxine mortelle, utilisable comme arme chimique.

« Le mot *anthrax* vient du grec par le latin et désigne la maladie éruptive, appelée charbon, dont est responsable la bactérie "*Bacillus anthracis*". Le

staphylocoque, qui n'est pas un genre très fréquentable, n'a aucune relation avec le véritable anthrax. En revanche, la tuméfaction et la nécrose qu'il provoque est celle du vulgaire furoncle (nécrose de plusieurs bulbes pilosébacés). C'est vers 1500 qu'on a utilisé en France, par confusion, le terme *anthrax* pour désigner un volumineux furoncle. Les autres langues ont conservé le terme *anthrax* uniquement pour l'agent du charbon. »

S'il est probable que le

micro-organisme manipulé par les Soviétiques était un *Bacillus anthracis*, il est certain que, quelle que soit leur origine – streptocoque ou staphylocoque –, certaines toxines sont mortelles par leur effet neurotoxique, œdématogène ou cytolytique (elles détruisent les membranes des globules rouges). Mais, faute d'informations – que ne livreront évidemment pas les militaires –, l'ambiguïté demeure...

Précieuse chlorophylle

■ « Pierre Rossion a signé un article intéressant sur la photosynthèse (n° 938, p. 54), écrit M. Alain Ferrand, de La Chaussée-Saint-Victor (Loir-et-Cher). Il y rappelle que l'énergie lumineuse dissocie la molécule d'eau suivant l'équation $H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + 1/2 O_2$. Mais il écrit, juste avant de conclure, que la dissociation s'effectue quand quatre électrons ont été pris à l'eau, sous l'action de quatre photons. Cela fait deux fois plus d'électrons qu'il n'en apparaît dans l'équation. »

La contradiction n'est qu'apparente. Puisque le relais qui permet au donneur d'électrons de redevenir neutre est composé de quatre atomes de manganèse, ce sont quatre électrons qui seront capturés à l'eau, selon le schéma : $2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$. C'est-à-dire que l'eau ne sera pas dissociée molécule par molécule mais par deux molécules à la fois.

« Au sujet de cette précieuse chlorophylle, une touche de poésie s'impose,



ajou-

te M. Guy

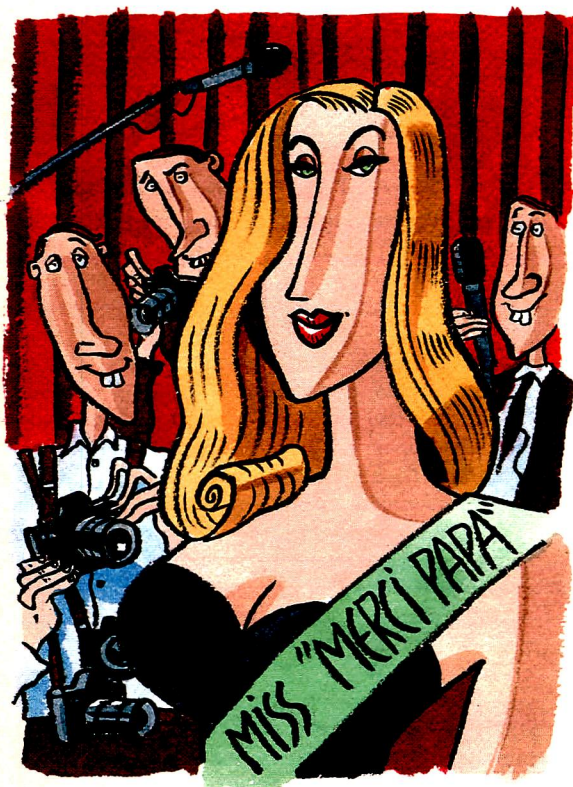
Miquet, de Courdimanche (Val-d'Oise). C'est sa disparition, à la mort des feuilles, qui permet aux autres couleurs – associées à certains pigments – d'apparaître dans toute leur splendeur, comme pour nous régaler une dernière fois avant l'arrivée de l'hiver. Mais, au printemps, ces couleurs automnales disparaîtront, car, la chlorophylle n'absorbant pas les photons dans la région verte du spectre de la lumière, les feuilles nous apparaîtront sous cette couleur verte, synonyme de renouveau. »

Les filles aussi...

■ A propos de l'article "L'opération du Saint-Esprit" (n° 939, p. 14), M. Wlady Tuczynski, de Bouillon (Belgique), fait judicieusement observer : « Vous liez la possibilité de formation de tissus extra-embryonnaires à la présence indispensable de gènes portés par le chromosome Y. Comment expliquer, alors, le développement normal d'un embryon XX et de ses tissus extra-embryonnaires ? »

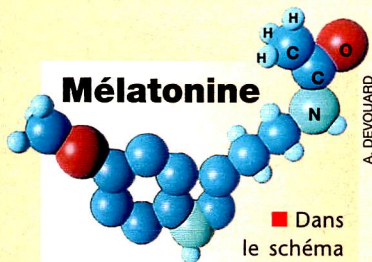
Nous aurions dû écrire, bien sûr : "Certains gènes paternels sont indispensables", formulation plus large que "certains gènes portés par le chromosome Y...". Il a été montré, en effet, chez les œufs de sou-

ris, que seuls les œufs qui ont reçu un pronucleus mâle et un pronucleus femelle se développent, à l'inverse de ceux issus de deux pronucleus mâles ou de deux femelles. Les chercheurs ont proposé l'hypothèse suivante : durant la formation des cellules sexuelles (gamétogénèse), chaque génome (paternel et maternel) reçoit une "empreinte" spécifique, de nature mal connue, qui permet de les différencier. L'empreinte paternelle est nécessaire au développement des tissus extra-embryonnaires, en particulier de la couche tissulaire se fixant au tissu utérin et jouant un rôle nourricier (le trophoblaste). Ce qui



explique qu'un embryon femelle XX puisse se développer (heureusement !),

le chromosome X paternel ayant reçu l'"empreinte" nécessaire.

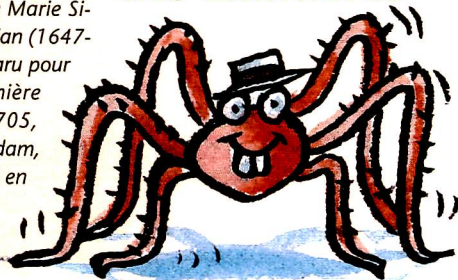


■ Dans le schéma de la molécule de la mélatonine (*Science & Vie* n° 940, p. 83), l'atome d'oxygène (O, en rouge) ne doit être relié qu'au deuxième atome de carbone (C, en bleu foncé) en partant de l'extrémité, et non au radical méthyle terminal, CH₃. Chaque atome peut ainsi établir le nombre de liaisons qui lui est propre : 1 pour l'hydrogène (H), 2 pour l'oxygène (O), 3 pour l'azote (N), 4 pour le carbone (C)...

■ « C'est avec beaucoup d'intérêt que j'ai lu votre article sur le siècle des Lumières » (n° 940, p. 90), écrit Mme Paulette Pinard, de Poitiers (Vienne), professeur agrégé d'histoire et de géographie. « Je vous signale que la gravure p. 94, à droite, est la planche XVIII de l'ouvrage "la Métamorphose des insectes du Surinam", de Marie Sibylla Merian (1647-1717), paru pour la première fois en 1705, à Amsterdam, et réédité en 1771, à Paris, chez

Desnos. Il s'agit d'araignées géantes (probablement des mygales), de fourmis géantes et d'un colibri mort sur une branche de goyave [sous la mygale de gauche, la tête cachée par le dessin des fossiles]. Un commentaire accompagne cette superbe planche gravée par P. Sluyter d'après les esquisses rapportées par M. S. Merian, botaniste et entomologiste, de son voyage au Surinam (ancienne Guyane néerlandaise). »

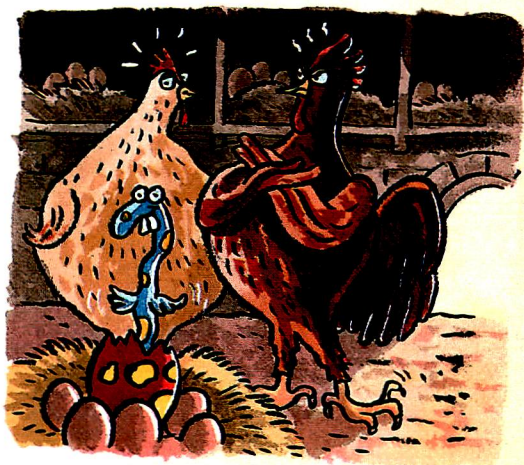
Le Surinam au temps des Lumières



La tentation eugéniste

■ « Je suis un lecteur inconditionnel de votre revue depuis l'âge de 15 ans (cela fait donc trois ans), et j'apprécie votre objectivité et la qualité scientifique de vos articles », écrit M. Thomas Spoerry, de Pau (Pyrénées-Atlantiques). « Cependant, j'aimerais vous faire part d'une remarque à propos de l'article "Les mille et une prouesses du génie génétique" [n° 937, p. 74]. Vous écrivez : "L'essor des diagnostics prénataux permet déjà d'éviter la naissance d'enfants atteints de certaines de ces maladies." Je vous avoue que, lorsque j'ai lu ces lignes, mon sang n'a fait qu'un tour. La formulation de votre phrase laisse penser que vous considérez l'existence de cette technique permettant de dépister de possibles anomalies génétiques (et non d'éviter la naissance) comme une bonne chose. Cette technique soulève actuellement de grandes questions d'éthique. En effet, a-t-on le droit d'arrêter la vie d'un fœtus sous prétexte qu'on conjecture qu'il pourrait être atteint de telle ou telle maladie ? Et si, en dehors de son anomalie génétique, le fœtus en question était amené à devenir un génie ? Ferait-on avorter aujourd'hui Mme Van Gogh si l'on découvrait une anomalie dans le génome de son fils le prédisposant, au bout de quarante ans, à la démence ? (...) Ne risque-t-on pas d'appauvrir terriblement l'humanité sous prétexte d'éviter une souffrance hypothétique ? »

Cette réaction est parfaite-



tement en accord avec notre analyse. Pour mieux nous faire comprendre, peut-être aurions-nous dû préciser que les techniques de diagnostic prénatal permettent "à ceux qui le sou-

haitent" d'éviter la naissance d'enfants atteints de certaines maladies génétiques. Mais cela ne change pas grand-chose au fond du problème. Car les médecins sont les premiers à

conseiller aux femmes enceintes d'avorter en cas de diagnostic défavorable. Est-ce un bon conseil ? A chacun de juger.

Toujours est-il que la mise au point de ces techniques de médecine prédictive – et non plus simplement préventive – correspond à un projet de société dont les aspects eugénistes sont manifestes. Les médecins ont beau souligner qu'il s'agit seulement d'éviter des souffrances futures – et une charge à la société –, il n'en reste pas moins que plus les connaissances en génétique s'affinent, plus la frontière devient floue entre geste thérapeutique et sélection, au regard d'inacceptables critères de normalité. ■

3615 SCV La question du mois

Chaque mois, la meilleure question posée sur notre serveur minitel 3615 SCV est récompensée par un abonnement d'un an à *Science & Vie*. Voici celle de février, posée par "PAT BOL" :

« Sur une publicité pour un ordinateur, la puissance est indiquée en watts DIN. Que signifie cette puissance ? Est-elle la même que la puissance efficace ? »

La puissance exprimée en watts DIN est la "puissance efficace" (volume maximal avec un son de qualité) à 1kHz, avec 1 % de distorsion. Il faut savoir qu'une "arnaque" classique des constructeurs consiste à annoncer plutôt la "puissance musicale" par canal, soit deux fois la puissance efficace par canal. Il faut donc diviser par deux la puissance annoncée pour obtenir la puissance efficace.

Quant à la "puissance totale", également fréquemment annoncée, elle correspond à la somme des puissances musicales des deux canaux. Il faut donc, dans ce cas, diviser par quatre pour connaître la puissance efficace par canal.

Le grand frisson de l'espace



Impressionnant, ce simulateur spatial gyroscopique ! Il reproduit les dispositifs utilisés lors de l'entraînement des cosmonautes. Il faut avoir le cœur bien accroché pour s'y tenir, tant l'effet est saisissant... En comparaison, les montagnes russes ne sont qu'une balançoire de jardin d'enfants. Au point que ses concepteurs conseillent de ne pas y rester plus d'une minute.

Les inventeurs qui souhaitent voir leur création publiée dans cette rubrique doivent nous envoyer un court texte, accompagné d'une copie des revendications de leur brevet et de photos couleurs. Les documents non insérés ne pourront être rendus.

Le Challenger (le nom est bien choisi : c'est un véritable défi que de s'y installer !) est constitué d'un siège placé dans un anneau pivotant autour d'un axe vertical à l'intérieur d'un autre anneau qui, lui, pivote autour d'un axe horizontal – le tout au sein d'une charpente stationnaire.

Le siège est situé exactement à l'intersection des deux axes de pivotement. Le moindre mouvement de l'occupant (qui est bien attaché par un harnais de sécurité fortement rembourré) entraîne donc un déséquilibre, un spectaculaire basculement giratoire bi-axial.

L'estomac de l'occupant, au centre des mouvements de rotation, est censé subir peu de secousses, ce qui épargnerait à l'astronaute amateur nausées et mal de l'air. Le Challenger procure néanmoins une forte sensation d'accélération, de flottement et de désorientation tout à la fois. Si nous ne sommes pas certains que le "cobaye" apprécie pleinement ce

Accélération, flottement, désorientation : Challenger procure à l'amateur (courageux !) toutes les sensations du cosmonaute...

vertige, nous pouvons, en revanche, garantir aux spectateurs une attraction... divertissante.

Le Challenger peut être exploité dans les fêtes foraines ou sur les plages sans la moindre difficulté puisqu'il n'exige même pas d'électricité. Il prend place sur une remorque qui lui permet d'être transporté sur les routes derrière une petite voiture ; et il peut passer par une ouverture de 92 cm de largeur, ce qui facilite son installation dans les bâtiments. Enfin, l'ensemble de la structure peut être rangé dans un garage de dimensions classiques.

La société qui le fabrique cherche des distributeurs dans toute la France.

HCS PARIS B 572 134 773

Darwin sans préjugés

Sous la direction
de Patrick Tort

LE DICTIONNAIRE DU DARWINISME ET DE L'ÉVOLUTION

Presses universitaires de France,
4 912 p. (3 vol.), 2 500 F jusqu'à
31 mars, 2 980 F ensuite.

La pensée de Darwin, ses prolongements scientifiques et philosophiques, ses relectures, ses récupérations, son histoire... le tout en trois tomes, par quelque 150 auteurs du monde entier, dont de nombreuses célébrités internationales. Il a fallu neuf ans à Patrick Tort, historien des sciences biologiques et humaines, auteur de nombreux ouvrages sur l'évolution et l'histoire des systèmes de pensée, pour mener à bien une entreprise à la fois didactique, prospective et critique. Elle aborde les concepts de la théorie, son histoire, ses développements modernes, les débats qu'elle suscite, ainsi que la démarche scientifique ou philosophique des hommes qui participent à son élaboration ou à sa déformation.

Son dictionnaire est à la fois accessible à tous et indispensable au spécialiste. Contrairement au principe académique, qui voudrait que la longueur des articles soit proportionnelle à l'importance du sujet traité, ici, la taille des notices est proportionnelle au degré de méconnaissance du sujet par le public. On trouvera donc de précieux développements sur les aspects les moins connus de la théorie darwinienne et de son utilisation. C'est

ainsi que les articles sur le darwinisme anglo-saxon sont moins développés que les notes consacrées au darwinisme russe, par exemple. Un ouvrage de référence, incontournable.

Science & Vie : « Pourquoi un dictionnaire encyclopédique du darwinisme ? »

Patrick Tort : « Aucune encyclopédie historique et critique embrassant le darwinisme et la formidable étendue de ses résonances extrabiologiques n'avait été mise en œuvre jusqu'à aujourd'hui. Mais ma principale motivation était d'un autre ordre : la pléthore de convictions grossières sur la personnalité scientifique et sur l'œuvre de Darwin était devenue insupportable. Pour désencombrer le paysage des dérives philosophiques et sociologiques de cet évolutionnisme vulgaire, il fallait établir un accès direct à la logique qui sous-tend la construction de Darwin, dans sa cohérence et son histoire. »

S & V : « C'est donc une encyclopédie "engagée" ? »

P. T. : « Dans le désir d'objectivité, cela ne fait aucun doute. Il fallait, par exemple, analyser le "darwinisme social" et l'eugénisme, qui sont présentés comme les conséquences rigoureuses du principe clé de la sé-

lection naturelle, alors qu'ils sont issus d'un contresens théorique, sans rapport avec les écrits de Darwin sur la civilisation. »

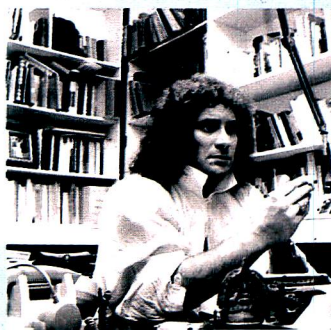
S & V : « Quelle est donc la vérité de la théorie darwinienne ? »

P. T. : « Brièvement, on peut dire que, pour Darwin, la sélection naturelle est le seul principe qui rende compte de la dynamique de l'évolution. Elle repose sur l'avantage vital des individus manifestant des variations spécialement adaptées à leurs conditions d'existence, variations qui se transmettent à leur descendance. C'est ainsi que la lutte pour l'existence, dont résulte la sélection naturelle, entraîne généralement le dépérissement ou l'extinction des organismes ou des populations les moins favorisés. L'homme étant un animal, il est lui aussi soumis à cette loi sélective. Pourtant, dans l'état de civilisation, la règle sélective est contrariée par la protection des faibles, la sympathie et l'altruisme. Or, cet altruisme est lui-même issu de la sélection naturelle, qui privilégie les instincts sociaux. Autrement dit, la sélection naturelle – par le canal des instincts sociaux – sélectionne la civilisation, qui s'oppose à la sélection naturelle. C'est ainsi que Darwin écrit : « La sympathie (...) tend toujours à devenir plus large et plus universelle. Nous ne saurions restreindre notre sympathie, en admettant même que l'inflexible raison nous en fit une loi, sans porter atteinte à la plus noble partie de notre nature. » (*La Descendance de l'homme*, chapitre 5.)

*Propos recueillis
par Philippe Chambon*



Patrick Tort



■ Grandeur et misère des ordures

Catherine de Silguy

HISTOIRE DES HOMMES ET DE LEURS ORDURES, DU MOYEN ÂGE À NOS JOURS

Cherche-Midi Editeur, 228 p., 110 F.

L'homme n'aime pas balayer devant sa porte. A lire cet ouvrage, on s'aperçoit que la propreté des villes et l'évacuation des détritiques ont nécessité de longues luttes : le civisme n'allait pas de soi. En 1782, le médecin et hygiéniste J.-H. Ronesse constate que « nombre d'édits, d'arrêts, d'ordonnances concernant le balayage ont été publiés depuis trois siècles et [que] jamais les lois n'ont été plus mal exécutées ». Ronesse est lui-même l'auteur de décrets municipaux imposant aux Parisiens le tri des ordures ménagères. Au XIX^e siècle, le préfet de la Seine, Eugène René Poubelle, exige vainement que les morceaux de poteries et de verre ne finissent pas leur carrière dans les boîtes à ordures qu'il vient d'inventer. Les Parisiens vont bien utiliser les nouvelles boîtes, mais avec tant de zèle que tout y passe, même ce qu'auparavant on récupérait. Dans les années 50, il arrive encore, rappelle Catherine de Silguy, que les citadins jettent par la fenêtre ordures et eaux usées.

Dans cet ouvrage historique très documenté, il est également question des chiffonniers de Paris, des familles qui survivent en fouillant dans les décharges, à Manille ou à Rio, des fumures ancestrales et du compost moderne, des multiples formes de recyclage... On retiendra que « les hommes entretiennent avec leurs déchets des rapports étranges, où se mêlent répulsion et attirance, culpabilité et passion ».

Loïc Chauveau

■ Le roman des oiseaux

Jean Dorst

LES OISEAUX NE SONT PAS TOMBÉS DU CIEL

Jean-Pierre de Monza, 380 p., 149 F.

Ancien directeur du Muséum national d'histoire naturelle, Jean Dorst a étudié et aimé les oiseaux toute sa vie. Témoignage de cette passion, son livre est un véritable roman des oiseaux. Les personnages y sont nombreux, et leurs caractères, fort divers – et pas toujours commodes. Jean Dorst, il le dit lui-même, n'a pas voulu composer un traité de zoologie. Pour les spécialistes, il en existe d'excellents. Dorst s'adresse simplement à ceux que les maîtres des airs émerveillent, et qui veulent comprendre. Il a donc choisi d'« évoquer les traits les plus inattendus et les plus significatifs de la vie des oiseaux ».

Même si les dessins de Denis Clavreul, rarement placés en regard du texte correspondant, sont, dans leur délicatesse et leur vie, comme le contrepoint du texte de Jean Dorst, il ne s'agit pas non plus d'un

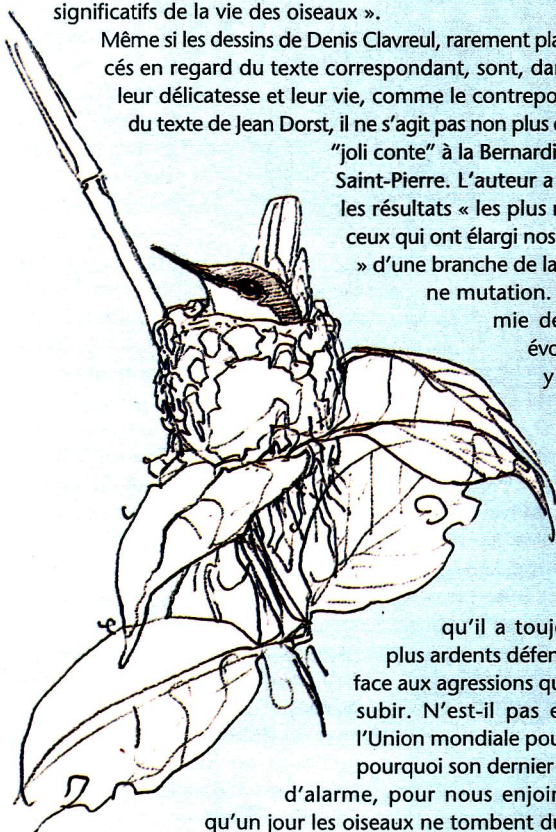
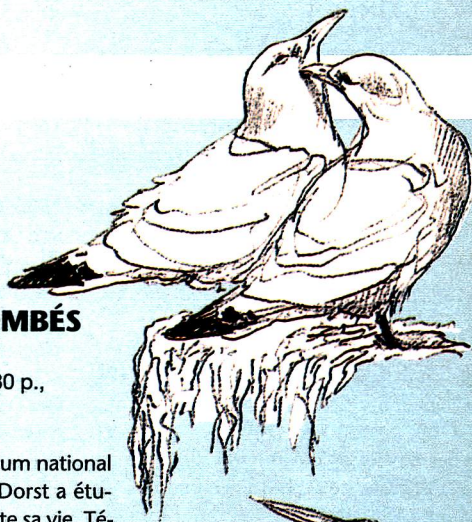
« joli conte » à la Bernardin de Saint-Pierre. L'auteur a intégré les résultats « les plus marquants, ceux qui ont élargi nos connaissances » d'une branche de la biologie en pleine

mutation. Il évoque l'anatomie des oiseaux et son évolution – quand on y songe : ce sont des reptiles... la grâce en plus ! – et nous fait découvrir leurs comportements les plus étonnants.

Il n'oublie pas

qu'il a toujours été l'un des plus ardents défenseurs de la nature face aux agressions que l'homme lui fait subir. N'est-il pas expert auprès de l'Union mondiale pour la nature ? C'est pourquoi son dernier chapitre est un cri d'alarme, pour nous enjoindre d'empêcher qu'un jour les oiseaux ne tombent du ciel...

Thierry Pilorge



Livres

■ In vino veritas

Gilbert Garrier

HISTOIRE SOCIALE ET CULTURELLE DU VIN

Bordas, 366 p., 290 F.

Petit-fils d'un vigneron du Lyonnais et professeur d'histoire contemporaine, Gilbert Garrier a voulu faire de son livre « un long voyage initiatique », avec l'espoir que le lecteur « en retirera à la fois science et agrément ». Selon lui, depuis les Gallo-Romains, « le vin est un marqueur d'identité culturelle et sociale ».

L'historien sait rendre à César ce qui appartient à César. Ainsi, la guerre des Gaules fut, au départ, une série d'opérations pour mater des bandes de Gaulois qui perturbaient la route du commerce du vin. Un certain Jules César fut chargé de la mission.

Mais Gilbert Garrier rend aussi aux Anglais ce qui leur appartient. Ces derniers apparaissent comme les grands promoteurs du vin français : les aristocrates, écartés du pouvoir par les révolutions de 1642 et de

1688, boivent, pour se singulariser, une variété rare et chère de vins, appelés "vins noirs", qui provient de Guyenne : le futur bordeaux. A la fin du XVII^e siècle, les verriers anglais révolutionnent, avec la bouteille en verre, le mode de conservation du vin. Et, en 1802, c'est encore un Anglais, Thomson, qui fait breveter le tire-bouchon à vis.

Le vœu de Gilbert Garrier est exaucé : son livre est un authentique voyage au fil de deux millénaires d'histoire sociale, culturelle, technique, et même politique, du vin. Des rites qui accompagnent l'essor du christianisme, puis des coutumes médiévales aux célébrations du "vin plaisir", des premiers "clairets", qui se boivent dans l'année, à la naissance des grands crus bordelais.

Les implications sociales de l'alcoolisme sont également abordées, et

c'est l'évocation de la colère vigneronne de 1907, en Languedoc, où Clemenceau envoie la troupe, ou du "pinard" des poilus de la Grande Guerre, servi en abondance (12 millions d'hectolitres consommés sur le front en 1917 !). Les aspects contemporains ne sont pas oubliés : politique viti-vinicole française, contrôle des appellations, fraudes, vogue des primeurs, dégustation.

Un vaste panorama, illustré de 150 reproductions (on regrettera qu'elles ne soient pas toutes en couleurs) et jalonné de textes littéraires – connus ou inconnus. Un index conclut ces 366 pages pleines de savoir et de saveur. Un grand cru.

Jean-Luc Glock

Gilbert Garrier **HISTOIRE SOCIALE & CULTURELLE DU VIN**



Bordas
Cultures

■ La saga d'un petit génie

Bill Gates

LA ROUTE DU FUTUR

Robert Laffont, 360 p., 139 F.

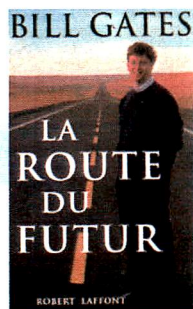
Au moment où la concurrence est plus sauvage que jamais dans la sphère des micro-ordinateurs, Bill Gates, le prodige du logiciel, se devait de délaissier un instant le monde du numérique et des réseaux pour celui – plus primitif ! – du livre imprimé.

Sa *Route du futur* est une œuvre de vulgarisation où se mêlent histoire personnelle et visions d'avenir. On apprend comment le petit Bill – qui deviendra vingt ans plus tard l'homme le plus riche du monde – a fondé Microsoft à 19 ans, avec son ami Paul Allen. Il brosse aussi, rapidement, l'histoire de l'informatique, de la première machine "analytique" de Babbage, en 1830, pour en arriver à... lui-même.

Puis il enfourche son cheval de bataille : les autoroutes de l'information et le multimédia. Comment l'entreprise deviendra de plus en plus numérique, comment nous pourrions choisir nos informations sur mesure, comment se fera l'éducation de nos enfants par l'école numérique... Bien sûr, ces bouleversements n'iront pas sans quelques dilemmes, le temps de changer nos habitudes de travail. Il consacre aussi un long chapitre à la description de sa future maison, entièrement branchée sur ordinateur.

Ce pourrait être l'œuvre d'un "savant naïf", entraîné par l'euphorie du progrès. Mais les enjeux – surtout économiques – qui se profilent à l'horizon de la révolution multimédia donnent au livre un arrière-goût de pamphlet commercial. Bill fait la promotion de Gates.

Roman Ikonoff



3615
ScV

Les forums de Science & Vie !

Les grands débats
de notre société.

Exprimez vos opinions.

■ Inventaire savant de l'ignorance

QU'EST-CE QU'ON NE SAIT PAS ?

LES RENCONTRES

PHILOSOPHIQUES DE L'UNESCO

Découvertes Gallimard, 112 p., 57 F.

Paradoxalement, *Qu'est-ce qu'on ne sait pas ?* est un très beau livre sur le savoir. Des penseurs de tous les pays, qui en savent déjà beaucoup, ont sagement mis en commun ce qu'ils savaient sur ce qu'ils ne savent pas. Bien entendu, il ne s'agit pas de « l'inventaire des objets de notre ignorance », mais plutôt d'une « interrogation sur la nature des limites entre savoir et ignorance ».

Fruits des premières rencontres philosophiques de l'UNESCO, ces morceaux choisis abordent les problèmes de la vérification, de la conscience, de la transmission et du devenir des connaissances, dans quelque domaine que ce soit. De l'histoire aux sciences exactes, en passant par Dieu, le cerveau, la musique ou Internet, ce collège de savants (philosophes, économistes, informaticiens, biologistes, médecins, etc.) se sont interrogés, voire affrontés par conférences interposées.

Ces allocutions ne seront pas toutes perçues de la même façon ; d'une part, parce qu'elles sont inégales et inégalement accessibles (Roger Schank plus "facile" que Paul Ricoeur) ; d'autre part, parce que le lecteur sera plus ou moins sensible aux discussions en fonction de ses centres d'intérêt... et de ses certitudes. On appréciera, de toute façon, que les débats auxquels se livrent ces érudits soulèvent des problèmes de société (sida, économie, rôle de l'histoire...).

A noter, le très bel échange entre Jean d'Ormesson et Jacques Schlan-

ger sur Dieu, le seul être au monde censé tout savoir. Par là-même, Dieu satisfait « la nostalgie de savoir absolu » des hommes. Mais, « de celui qui sait tout, ils ne savent rien ».

On méditera enfin cette réflexion de Bernard Michaux : « Le savoir augmente, et on ne peut pas dire de l'ignorance qu'elle diminue. »

Sonia Feertchak

■ A la cour du roi lion

Jonathan Scott

LE ROYAUME DES LIONS

Nathan, 192 p., 168 F.

Rudyard Kipling avait conté l'histoire d'un lion. Jonathan Scott en décrit le royaume. Sous la forme, à la fois, d'un carnet de voyage, d'un roman animal et d'une encyclopédie illustrée, ce zoologiste photographe britannique relate la vie des félins (et autres fauves) dans la réserve animale de Masai Mara, au Kenya.

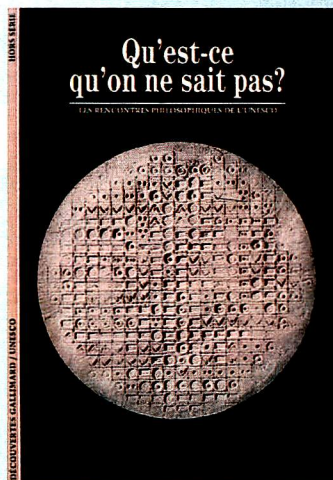
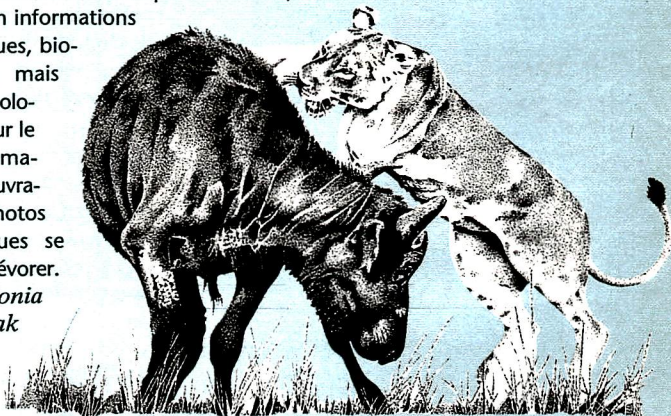
En suivant Bila Shaka, Barbe noire, La Vieille, ou encore la Femelle du paradis, on découvre que, dans les hordes de lions, les femelles sont toutes parentes, mais que des coalitions de mâles étrangers se succèdent, qui s'affrontent souvent avec violence pour conquérir le cœur des lionnes. Les lycaons, ces chiens sauvages aux oreilles de chauve-souris, font en revanche preuve de solidarité : « Après la chasse, les lycaons régurgitent la viande pour nourrir tout animal malade ou demeuré à la tanière pour surveiller les chiots. »

On apprend aussi que plus de 60 % des lionceaux n'atteignent pas l'âge adulte, que les éléphanteaux nouveau-nés pèsent 115 kilos, et que 70 % des spermatozoïdes des guépards présentent une anomalie (c'est l'une des raisons pour lesquelles ce félin figure dans la liste des espèces menacées de l'Union mondiale pour la nature).

Riche en informations

zoologiques, biologiques, mais aussi ethnologiques (sur le peuple masai), cet ouvrage aux photos magnifiques se laisse... dévorer.

Sonia Feertchak



Livres

■ Des goûts et des couleurs

Benoît Noël

L'HISTOIRE DU CINÉMA COULEUR

Press' Communication, 270 p., 290 F.

Pourquoi avoir inventé le cinéma en couleur, alors que certains réalisateurs lui préfèrent encore le noir et blanc ? A l'heure où la "colorisation" informatique d'œuvres anciennes fait couler beaucoup d'encre, il est intéressant d'apprendre que nombre de cinéastes auraient bien voulu tourner leurs films en couleurs, mais que, faute de moyens, ils durent se contenter du noir et blanc. Luchino Visconti, Louis Malle, Henri Verneuil, Claude Autant-Lara et bien d'autres furent confrontés à ce problème.

De la peinture image par image, réalisée au pochoir, à l'apparition du Technicolor, l'auteur passe en revue toutes les filières (plus de 35) utilisées pour la restitution de la couleur. On retrouve des pro-

cédés totalement oubliés, tel que le système Roux-Color. Fondée sur la synthèse additive des couleurs à partir d'un film noir et blanc, grâce à un jeu de filtres, cette technique fut abandonnée pour cause de déformation de la pellicule. Quant au Baby-Color (autre procédé tombé dans l'oubli), proposé par Pathé en version "grand public", il utilisait des

filtres tournants. La fidélité de la restitution des couleurs variant d'un procédé à l'autre, il est également intéressant de voir comment chaque réalisateur en a tiré le meilleur parti. Une étude approfondie et solidement documentée, qui enrichira la bibliothèque de tous les cinéphiles.

Henri-Pierre Penel



Becky Sharp (1935), de R. Mamoulian, fut le premier long-métrage tourné en Technicolor trichrome.

Vidéo

■ La marque de Pharaon

LES TEMPLES DE KARNAK

LE MUSÉE ÉGYPTIEN DU CAIRE

Collection "Regards sur l'Égypte", Echo, 149 F chaque vidéo.

La civilisation de l'Égypte pharaonique est si présente dans le cœur du visiteur que, à Karnak, il « a l'impression de redécouvrir quelque chose qu'il aurait oublié ». Ainsi Jean-Claude Golvin, directeur du Centre de recherches franco-égyptien, présente-t-il le gigantesque ensemble cultuel de Karnak, dédié à Amon-Râ, le "roi des dieux", où, pendant presque trois millénaires, chaque pharaon a voulu laisser sa marque. Ce fantastique enchevêtrement de temples aux dimensions colossales n'a pas livré tous ses secrets ; seule une infime partie en a été fouillée et étudiée. Pourtant, des milliers de statues et de blocs ont déjà été dégagés ! C'est par la présentation du travail des archéologues, restaurateurs et architectes du Centre, qui utilisent des moyens techniques très sophistiqués, que ce film dense et concis, prix de la meilleure œuvre télévisée au IV^e Festival international du film scientifique, nous fait entrer dans l'histoire fascinante de l'Égypte ancienne.

Au contraire, la cassette consacrée au musée égyptien du Caire serait plutôt une invitation à sortir du musée ! Quelques objets servent de prétexte à un tour d'horizon des sites célèbres et à une succession de paysages et de scènes champêtres, comme dans un film publicitaire. Les belles images, les longues prises de vue muettes, les commentaires succincts satisferont ceux qui souhaitent avoir un avant-goût de leur voyage ou se remémorer leur visite, mais décevront ceux qui s'attendraient à découvrir l'extraordinaire collection du musée ou à mieux connaître la civilisation égyptienne.

Catherine Chauveau



Sous le microscope de Pasteur

LE MONDE DE PASTEUR

Institut Pasteur, Microfolie's, Iconomics, 399 F.



Pour clore 1995, déclarée par l'UNESCO "année Pasteur" à l'occasion du centenaire de la mort du savant, il ne manquait qu'un CD-Rom. Le voici, réalisé à l'aide de la très riche iconographie du musée Pasteur et de la photothèque de l'Institut Pasteur. D'une durée de vingt-cinq minutes, il comprend 800 images plein écran, 200 images et 52 clips vidéo.

L'interactivité intervient dès qu'apparaît l'écran d'accueil. Quatre

grands chapitres aiguillent l'utilisateur vers la vie du savant, ses travaux, sa bibliographie et le monde de son époque. Un "microscope interactif" permet de prendre conscience des moyens dont Pasteur disposait pour observer les préparations qui furent, à la fin du siècle dernier, à l'origine de la révolution de la biologie et de la médecine.

Enfin, une grande fresque présente les grandes réalisations du temps

de Louis Pasteur, notamment la construction de la tour Eiffel pour l'Exposition universelle de 1889. Un simple "clic" permet d'obtenir de nombreux détails sur chaque événement. Une critique : pourquoi ce CD-Rom n'est-il disponible qu'en version PC ?

► Configuration minimale : PC 486 équipé de 4 Mo Ram, écran VGA 256 couleurs, Windows ou Windows 95. ■

Henri-Pierre Penel

SCIENCE & VIE

Publié par Excelsior Publications SA
Capital social : 11 100 000 F
durée : 99 ans.

1 rue du Colonel-Pierre-Avia,
75503 Paris Cedex 15.
Tél. : 1 46 48 48 48. Fax : 1 46 48 48 67.
Adresse télégraphique : Sienvie Paris.
Principaux associés :
Yveline Dupuy, Paul Dupuy.

DIRECTION, ADMINISTRATION

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

RÉDACTION

Rédacteur en chef : Jean-René Germain, assisté de Marie-Anne Guffroy (documentation) et Elisabeth Latsague (secrétariat). Rédacteurs en chef-adjoints : Jean-François Robredo, Didier Dubrana, Gérard Morice, assisté de Monique Vogt. Secrétaire général de la rédaction : Norbert Régina. Secrétaires de rédaction : Françoise Sergent, Nadine Raguet, Agnès Marillier, Jean-Luc Glock. Rédacteurs : Renaud de La Taille, Pierre Rossion, Marie-Laure Moinet, Henri-Pierre Penel, Isabelle Bourdail, Thierry Pilorge, Alexandre Dorozynski, Philippe Chambon. Concep-

tion graphique, direction artistique : Gilles Moine. Maquette : Lionel Crooson, Elisabeth de Garrigues. Service photo : Anne Levy. Correspondante à New York : Sheila Kraft, PO Box 1860, Hemlock Farms Hawley PA, 18428 Etats-Unis.

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

Michel Brassinne, Germain Chambost, Loïc Chauveau, Emmanuelle Eyles, Sonia Feertchak, Hélène Guillemot, Fred Guterl, Philippe Henarejos, Roman Ikoni-coff, Catherine Perrot, Marielle Véteau, Hélène Wolcke.

RELATIONS EXTÉRIEURES

Michèle Hilling, Blandine Devriendt.

MARKETING INTERNATIONAL, REVENTES

Directeur-adjoint : Marie-Ange Rouquet-Dezellus, tél. : (33) 1 46 48 47 26, fax : (33) 1 46 48 49 39.

PUBLICITÉ

Excelsior Publicité Interdéco, 23 rue Baudin, BP 311, 92303 Levallois-Perret Cedex, tél. : 1 41 34 82 08. Directeur commercial : Gilles de Becdelièvre. Directrice de la publicité : Véronique Moulin. Directeur de clientèle : Laurent Auzie. Chef de marques : Jérôme Garrido.

À NOS LECTEURS

Renseignements : Monique Vogt, tél. : 1 46 48 48 66. Commande d'anciens numéros et de reliures : Chantal Poirier, tél. : 1 46 48 47 18.

SERVICES COMMERCIAUX

Chef de produit marketing : Capucine Jahan. Chef de produit ventes : Marie Cribier. Téléphone vert : 05 43 42 08 (réservé aux dépositaires). Belgique AMP, 1 rue de la Petite-Isle, 1070 Bruxelles. Abonnements et marketing direct :

Patrick-Alexandre Sarraideil.

ABONNEMENTS

Relations clientèles abonnés : service abonnements, 1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15, tél. : 1 46 48 47 08 (à partir de 9 h). Tarifs : un an, 12 numéros, 253 F ; un an, 12 numéros + 4 hors-série, 328 F ; un an, 12 numéros + 6 cahiers, 413 F ; un an, 12 numéros + 4 hors-série + 6 cahiers, 488 F. 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 : Presse abonnements, 90 bd du Souverain, 1170 Bruxelles. Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Changement d'adresse : veuillez joindre à votre correspondance 2,80 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.



Vous avez l'ordinateur, l'indispensable modem et le bon "navigateur", le fameux logiciel Netscape prisé par 85 % des utilisateurs d'Internet : vous êtes donc prêt. Un double-clic sur l'icône du navigateur (un grand N), et vous voilà connecté au réseau : Netscape vous guide dans cette jungle du savoir et de l'actualité qu'est Internet... Cliquez sur "Rechercher" ou sur "Net Search" (dans la version anglaise du logiciel) : vous accédez alors aux outils de recherche, encore appelés "agents" ("agents de recherche", voire même "agents de renseignements"). Ces derniers sont les programmes qui vont dénicher pour vous, de part le monde et parmi 15 000 forums, 40 millions d'adresses et 750 000 services Web (il en naît entre 500 et 1 000 par jour !), les informations que vous recherchez. Et là, précisément, dans cet univers des agents de recherche, il y a du nouveau...

LES AGENTS SIMPLES

Actuellement, sur votre écran, lorsque vous cliquez sur "Rechercher" ou sur "OPEN", se présente un rectangle blanc dans lequel vous tapez un ou plusieurs mots de votre choix correspondant à votre recherche.

Après une dizaine de secondes, s'affiche une longue liste de noms de services. Il suffit de cliquer sur l'un d'entre eux pour que votre ordinateur vous mette en liaison avec ledit service, qu'il

de tous, YAHOO (<http://www.yahoo.com/>). Chacun de ces agents de recherche présente des particularités. Les meilleurs proposent, par exemple, que les deux mots que vous



soit à 20 mètres de chez vous ou à 20 000 km. Ce sont les agents simples qui ont passé en revue les services répertoriés dans des annuaires. Rien de très intelligent, seulement une très grande rapidité.

En regardant plus bas sur la même page, vous avez peut-être vu qu'il existe d'autres agents de recherche, portant des noms comme :

ALTA VISTA (ou <http://altavista.digital.com/>), LYCOS (ou <http://www.lycos.com/>), WebCRAWLER (ou <http://webcrawler.com/>), OPEN TEXT INDEX (ou <http://www.opentext.com/omw/f-omw.html>), EXCITE (ou <http://www.excite.com/>), DEJANEWS (ou <http://www.dejanews.com/>) et, enfin, l'ancêtre

tapez pour initier votre recherche ne sélectionnent que les services comprenant simultanément ces deux mots. C'est un réel progrès. Mais il y a beaucoup plus fort : les "agents intelligents"...

LES AGENTS INTELLIGENTS

● Les agents paramétrables

Il faut leur fournir de l'information : taper sur le clavier des préférences, indiquer des noms de services – bref, comme on dit en jargon d'informaticien, les "paramétrer".

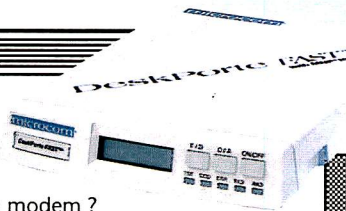
SIFT (<http://sift.stanford.edu/>) est un agent de recherche thématique d'information sur la totalité des messages écrits chaque jour dans les forums d'Internet. L'utilisateur peut décider de recevoir, quotidiennement, le résultat de la recherche demandée dans sa propre "e-mail" – pardon, boîte aux lettres électronique. Un pas en avant, qui s'appuie sur l'aspect différé de la recherche. Allons plus loin.

HOMR (<http://jeeves.media.mit.edu/zingo/> ou <http://www.ffmpeg.com/>), un agent spécialisé en musique, commence par questionner l'utilisateur sur ses préférences musicales. L'"intelligence" de cet agent réside dans le fait qu'il est capable de sélectionner pour vous des noms

L'INDISPENSABLE MODEM

■ Le Père Noël vous a apporté un modem ?

Un ordinateur multimédia avec modem incorporé ? Le moment est alors venu de vous lancer dans la grande aventure d'Internet. L'une des expériences – à vivre au quotidien – les plus prenantes qui soit. Votre ordinateur est raccordé à son modem (de préférence externe, pour pouvoir le changer facilement quand de plus puissants arriveront sur le marché). C'est lui qui permet d'émettre et de recevoir les informations sous forme de paquets de bits [un bit est un 1 ou un 0, correspondant à l'existence d'une impulsion électrique (1) ou à son absence (0)], rassemblés par huit, d'où le nom d'octet. Ces informations, dites "numériques", peuvent être tout aussi bien du texte, des images ou du son.



d'artiste et des références discographiques que vous ne connaissez sans doute pas, mais que vous devriez aimer, compte tenu des préférences que vous lui avez indiquées !



● Les agents évolutifs

LETIZIA surveille vos faits et gestes : il connaît peu à peu vos goûts et vos modes d'action, en mémorisant tout simplement les services sur lesquels vous vous rendez et les durées pendant lesquelles vous les consultez. LETIZIA est alors capable d'entamer lui-même des recherches sur un de vos sujets de prédilection pendant que vous êtes sur un autre service.

● Les agents comparatifs

BARGAIN FINDER (<http://gnn-e2a.gnn.com/gnn/wr/sept29/biz/shop/bf.html>) joue à lui tout seul (toute proportion gardée !) à "60 millions de consommateurs" : à partir d'un objet que vous souhaitez acquérir, il fait le tour de tous les "magasins électroniques" d'Internet et vous dit où trouver le meilleur prix, dans la ville que vous lui avez indiquée.

● Les agents communicants

Si, dans un conte, un bon génie vous propose de réaliser un souhait et que vous avez le réflexe de répondre : « Mon souhait est de pouvoir exaucer trois souhaits », alors vous comprendrez qu'il peut exister des agents... d'agents ! Il suffit

pour cela que vous autorisiez votre agent évolutif (celui qui apprend à vous connaître à mesure que vous l'utilisez) à parcourir lui-même Internet, de manière totalement autonome, à la recherche d'autres agents communicants.

Lorsqu'il en rencontre un, il le compare au vôtre, de manière à apprécier si leurs deux "maîtres" partagent les mêmes goûts et passions ! C'est, en définitive, tout comme s'il existait des messageries sur minitel au sein desquelles ce ne sont pas des humains qui dialogueraient mais leurs représentants virtuels...

Ces évolutions exercent sur nous une certaine fascination, tout en suscitant une pointe d'inquiétude. Mais rien ne vous empêche (pour l'instant du moins) de mettre votre programme agent dans la corbeille !

Ainsi, dès que les chercheurs du MIT (Massachusetts Institute of Technology) auront terminé ce programme déjà connu sous le nom de YENTA, des groupes entiers partageant les mêmes choix pourront automatiquement se retrouver sur un forum nouveau, créé à leur intention, ou échanger des messages par e-mail, la boîte aux lettres électronique d'Internet. France Télécom, qui décidément est très actif ces derniers temps, vient d'annoncer l'adoption pour la France de l'agent MAGIC CAP, élaboré selon un langage de programmation Téléscrip, consacré à la mise sur pied de nouveaux agents et qui ressemble beaucoup à YENTA, en encore plus évolutif !

EXTENSIONS En savoir plus sur les agents de recherche

Tapez "Anonymous agents" dans NetSearch du logiciel Netscape.
<http://www.ifi.unizh.ch/groups/ailab/portrait.html>
<http://www.msci.memphis.edu/~franklin/aagents.html>

<http://www.ifi.unizh.ch/groups/ailab/portrait.html>
<http://www.msci.memphis.edu/~franklin/aagents.html>
<http://www.dna.lth.se/Research/Al/Papers.description.htm>
<http://agents.www.media.mit.edu/groups/agents/>
<http://www.cs.brandeis.edu/~zippy/alife-library.html>
<http://yuggoth.ces.cwru.edu/picardo/home.html>
<http://arti.vub.ac.be/www/maamaw/welcome.html>
<http://www.comp.glam.ac.uk/pages/staff/mreddy/>
<http://iserv.iki.kfki.hu/asl-pub/bbs.html>
<http://www.voyagerco.com/misc/t.jaron.html>

LE BON "NAVIGATEUR"

■ Une fois le modem, l'écran et l'ordinateur allumés, il vous reste à double-cliquer sur l'icône d'un logiciel de navigation : "WinWeb", "MacWeb" ou, mieux, le très célèbre "Netscape" : un logiciel qu'il vous faudra télécharger, si vous avez commandé notre disquette Internet-Science & Vie. Car si Netscape est librement et gratuitement copiable à titre individuel, il ne peut être distribué massivement. Mais rassurez-vous, notre disquette contient une icône sur laquelle il suffit de double-cliquer pour que Netscape soit automatiquement rapatrié sur votre disque dur.

L'usage de notre accès Internet vous coûtera le prix du minitel, ni plus ni moins, mais il permet, entre autres, le téléchargement de logiciels de 12 à 24 fois plus rapidement que sur l'ancêtre des terminaux grand public. Et vous aurez ainsi le temps de voir si vous aimez vraiment Internet. Si c'est le cas, la solution de l'abonnement à une société informatique s'imposera.



FUTURS

**CHANGER
L'HOMME...**



**... POUR LE MEILLEUR
OU POUR LE PIRE ?**

■ On pourra bientôt modifier le patrimoine génétique. Faut-il redouter des technologies capables de transformer la nature même de l'homme ? Ou fonder les plus grands espoirs sur leur potentiel thérapeutique ? Les scientifiques, comme les citoyens, sont partagés.

PAR ALEXANDRE DOROZYNSKI

A. BARTEL/SPUCOSMOS

Bientôt va naître en Angleterre le premier enfant issu du "tri embryonnaire". Il s'agit, au départ, d'un traitement de la stérilité. Ce traitement hormonal provoque chez la femme la libération de plusieurs ovules. Ces ovules sont fécondés en laboratoire par le sperme du mari et donnent plusieurs embryons viables. Il faut en implanter un dans l'utérus maternel, où

il va poursuivre sa croissance jusqu'à son terme. Or, plutôt que de choisir un embryon au hasard, le

Pr Alan Handyside, du Hammersmith Hospital de Londres, a proposé au couple de faire une analyse génétique de tous les embryons fécondés et de sélectionner celui qui était exempt du défaut génétique qui affectait la future mère, Angela.

Cette manipulation est jugée éthiquement inacceptable en France, car elle pourrait mener à une forme d'eugénisme, en permettant aux parents de choisir certains caractères de leur enfant. De fabriquer, en quelque sorte, un bébé "sur mesure". ■ ■ ■

Tentation EUGÉNISTE

Les progrès de la génétique, du tri d'embryons au déchiffrement du génome humain (ci-contre, lecture d'une autoradiographie d'ADN), risquent d'ouvrir la voie à des dérives eugénistes.

J. TANAKA/PHOTOTAKE/ONRI



■ ■ ■ Angela est atteinte d'une polypose adénomateuse colique, une maladie caractérisée par le développement de polypes du côlon susceptibles d'évoluer en cancer. La mère d'Angela et deux de ses sœurs sont déjà mortes de cette forme de cancer dont la prédisposition est véhiculée par un gène connu. Il s'agissait d'éviter la transmission de ce gène à l'enfant. Le couple accepta, et le comité d'éthique de l'hôpital donna son

la *Daily Telegraph*, montrait que l'opinion publique était en majorité favorable à l'utilisation de la thérapie génique, mais que 5 % seulement des personnes interrogées considéraient qu'une telle thérapie était acceptable dans le but d'"améliorer" des traits de caractère de l'enfant.

En 1994, une enquête comparable de l'institut Gallup montrait que les opinions favorables avaient plus que doublé : 11 % en faveur du recours à la thérapie génique en vue d'améliorer l'intelligence d'un enfant, 18 % pour prévenir l'alcoolisme ou l'agressivité, et même l'homosexualité (sic), 10 % ! D'ailleurs, environ 40 % des sondés accepteraient d'utiliser des vitamines si l'on pouvait, grâce à elles, obtenir les mêmes résultats.

Le Dr Marteau remarque donc qu'une minorité non négligeable – et croissante – de l'opinion n'a rien contre l'idée de modifier les traits physiques ou comportementaux des enfants par thérapie génique. Elle affirme qu'un large débat est souhaitable, auquel le public, aussi bien que les scientifiques, devrait participer. « Il faut qu'il ait lieu maintenant, avant que de telles applications de la génétique deviennent réalisables. »

ON DÉCHIFFRE LE "LIVRE DE VIE"

Or, le débat public n'est guère lancé. Tout au plus entend-on se prononcer des "autorités" (médicales, religieuses, morales, politiques), dont les positions demeurent le plus souvent conservatrices, alors que les techniques ouvrent des voies nouvelles et que les mœurs évoluent plus vite qu'on n'aurait pu le croire.

Lorsqu'on a découvert le code génétique, voilà une quarantaine d'années, on pensait qu'on ne pourrait jamais le manipuler, tant il était complexe. Aujourd'hui, on découpe allégrement les gènes en morceaux, on injecte des gènes étrangers à des embryons (de

Les BONS côtés des MAUVAIS gènes

Doit-on vraiment supprimer le gène de l'anémie falciforme (une malformation héréditaire des globules rouges, très répandue dans la population africaine), qui a par ailleurs un effet protecteur contre le paludisme ?

① cellule falciforme, ② globule rouge infesté par le parasite responsable du paludisme, *Plasmodium falciparum*.)

mammifères, mais pas encore de l'espèce humaine), et l'on est en train de déchiffrer le génome humain, ce "livre de vie" dans lequel on a déjà identifié les gènes de bien des maladies, mais aussi des gènes qui interviennent dans des processus vitaux tels que la division cellulaire et la croissance nerveuse. On commence à identifier les gènes prédisposant à des maladies multigéniques comme les maladies cardio-vasculaires, le diabète juvénile et certains cancers.

La thérapie germinale, qui permet de remplacer, dans les cellules germinales, un gène déficient par un gène sain, n'a pas encore été tentée sur l'homme, même si de nombreuses expériences sur les mammifères donnent à penser qu'elle est possible. Les conséquences à long terme des thérapies germinales sont encore imprévisibles, et les généticiens soulignent que les "mauvais" gènes qu'on voudrait éliminer ont parfois de bons côtés. Ainsi, le gène de l'anémie falciforme, malforma-



Modifications transmises à toute la descendance

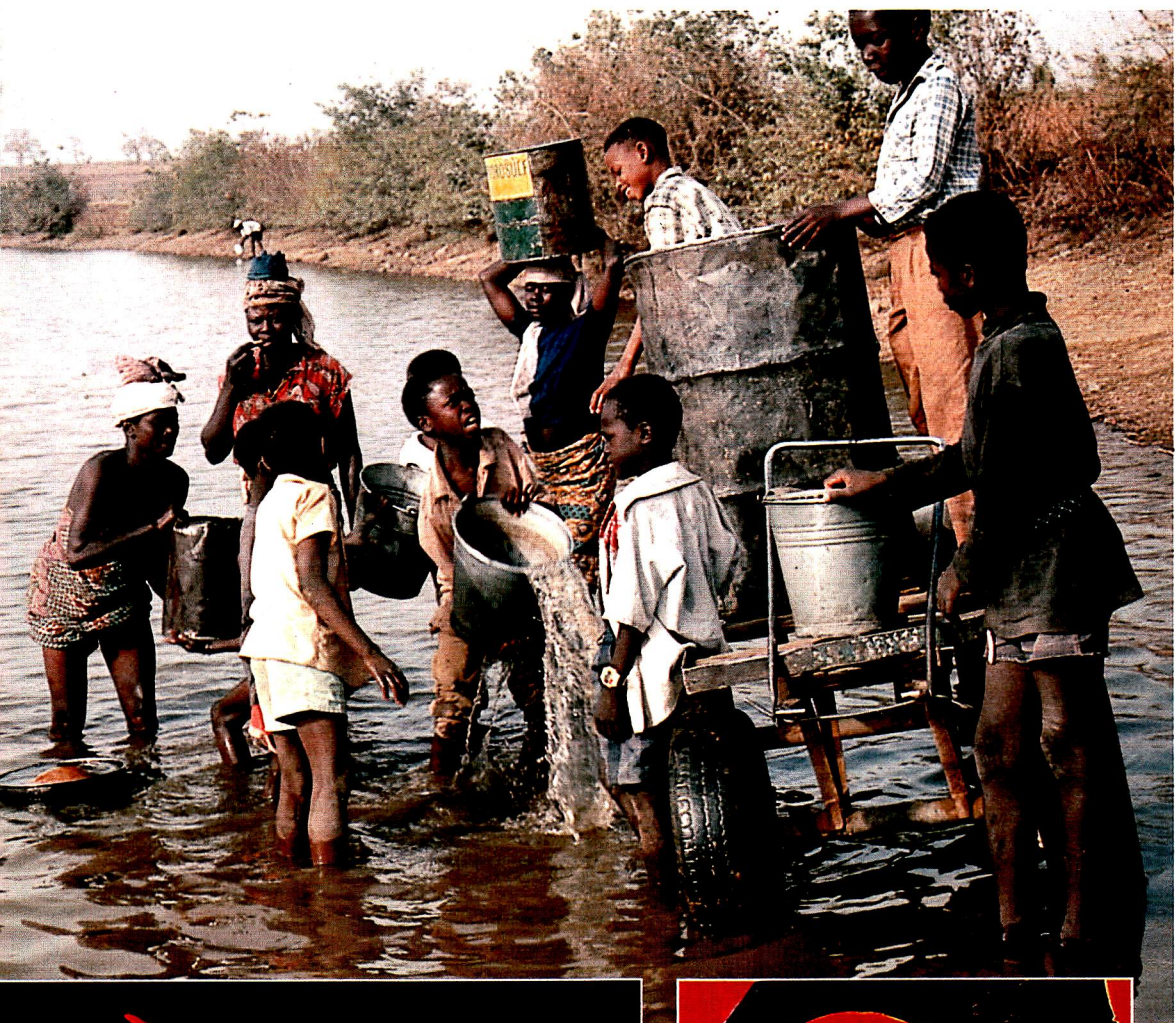
accord. On put donc implanter dans l'utérus d'Angela un embryon qui ne portait pas le gène de la maladie.

Faut-il reprocher sa manipulation au Pr Handyside ? Sans doute pas. Mais on peut s'inquiéter de voir franchie une étape qui pourrait mener, par la même méthode, à la sélection de critères "désirables" ou de "normalité" plus ou moins arbitraires (taille, couleur des yeux, etc.).

Pour d'autres raisons, la plupart des scientifiques s'opposent également à un autre type d'intervention : la "thérapie génique germinale". Elle consiste à modifier les gènes des cellules sexuelles (ovules ou spermatozoïdes). Les modifications génétiques ainsi obtenues seraient transmises à toute la descendance des individus traités.

Mais il semble que l'opinion publique, autrefois très réfractaire à l'idée de telles manipulations, y devienne plus favorable. Un article publié en octobre dernier dans le *Journal of Medical Genetics* par le Dr Theresa Marteau, du Guy's Hospital de Londres, compare deux enquêtes, menées à un an d'intervalle auprès des Britanniques.

La première, parue en 1993 dans

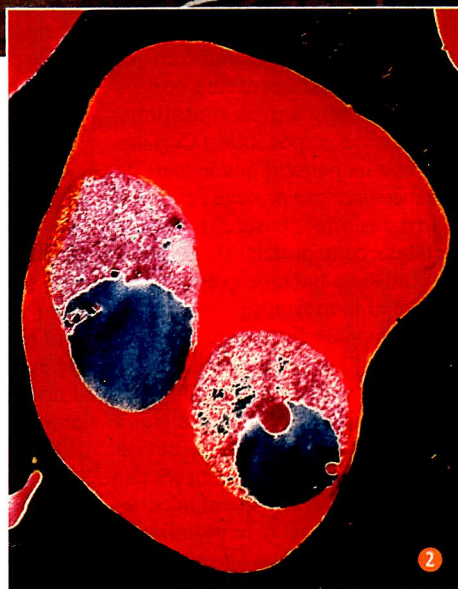


L. TAYLOR/ANA



1

DR J. WHITE/AN & P/CNRI



2

CNRI

■ ■ ■ tion héréditaire des globules rouges répandue dans la population d'origine africaine, a un effet protecteur démontré contre le paludisme, alors que les gènes de prédisposition au diabète semblent également favoriser la naissance de gros bébés, ce qui est un avantage dans les populations sous-alimentées.

Un autre exemple est celui de la mucoviscidose, maladie héréditaire caractérisée par une sécrétion excessive des glandes exocrines entraînant des troubles digestifs et

La bioéthique aujourd'hui condamne. Demain...

respiratoires. Elle est souvent fatale au nouveau-né, et débilitante chez l'adulte. L'identification du gène de la mucoviscidose est l'un des grands succès de la biologie moléculaire. Ce gène code pour une protéine de 1 480 acides aminés. Pour coder un acide aminé, il faut un codon, c'est-à-dire trois lettres consécutives du code génétique. Or, chez la plupart des personnes atteintes de mucoviscidose, il manque un codon : celui de la phénylalanine, acide aminé en position 508 sur la protéine correspondante. (D'autres mutations, plus rares, sont possibles.) Certains chercheurs pensent que le gène de la mucoviscidose protège contre les diarrhées infectieuses. Mais, bien entendu, cette protection ne saurait être mise en balance avec la souffrance et la mortalité provoquées par la maladie elle-même.

On peut, en effet, se demander si les bons côtés des mauvais gènes ont encore quelque utilité. Les Noirs américains, porteurs des gènes de l'anémie falciforme et menacés par cette maladie, ne risquent aucunement de contracter le paludisme, puisque *Plasmodium falciparum*, le parasite responsable de cette mala-

die, transmis par le moustique anophèle, a été éliminé aux Etats-Unis.

Les gènes qui favorisent l'accumulation des graisses ne sont guère utiles dans les pays développés, où l'on souffre plutôt de suralimentation que de sous-alimentation. Ils peuvent même être néfastes : ce serait le cas pour les habitants de l'île de Nauru, dans le Pacifique, que la vente d'engrais a enrichis et qui mènent – contrairement à leurs ancêtres – une vie dépourvue de grands efforts physiques. On pense que la conservation des gènes prédisposant à l'accumulation des graisses a pour conséquence le fait que près de la moitié des Nauriens sont atteints de diabète et que leur espérance de vie est raccourcie d'une dizaine d'années (voir *Science & Vie* n° 901, p. 64).

Les hommes paient un lourd tribut à d'autres gènes, dont on peut difficilement imaginer qu'ils aient le moindre effet bénéfique. C'est le cas de la chorée de Huntington. Des études familiales en Amérique

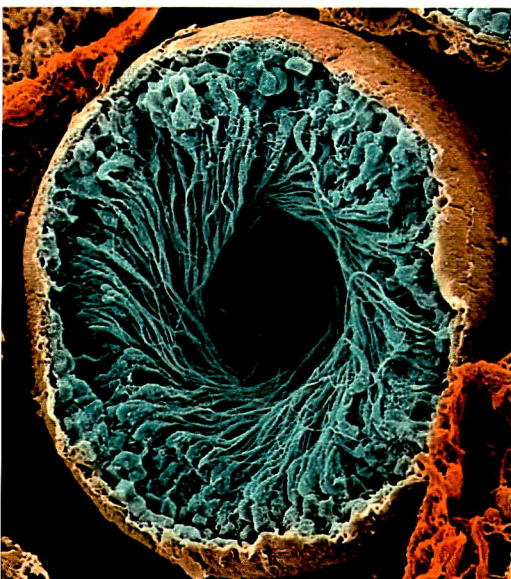
du Sud ont permis d'en attribuer l'origine à une mutation génétique qui se serait produite au XVI^e siècle. C'est une maladie héréditaire à caractère dominant : il suffit d'en hériter un gène, provenant soit du côté paternel soit du côté maternel, pour qu'elle se déclare, vers l'âge de 30 ans, entraînant des troubles neurologiques qui conduisent à la mort dans la cachexie et la démence. Une longue traque a permis d'isoler le gène coupable et d'en établir la séquence de base : il code pour une protéine de 3 144 acides aminés en chaîne, l'une des plus grandes connues, dont le mécanisme pathologique reste obscur.

CAUCHEMAR PURIFICATEUR

On ne connaît aucun traitement de cette maladie, et le seul moyen de l'annihiler est de dépister l'anomalie génétique chez l'embryon et de provoquer l'avortement. Mais le dépistage pose un problème en soi, car il peut révéler à l'un des parents potentiels qu'il est condamné à la



P. GENTIEU/FOTOGram - STONE



SECCHI - LECAQUE/ROUSSEL - UCLA/CNRI

Un bébé "SUR MESURE"

Le tri embryonnaire permettrait de sélectionner des critères "désirables", comme la couleur des yeux, ce que redoutent les comités d'éthique. Quant à la "thérapie germinale", qui consiste à modifier les gènes des cellules sexuelles (ci-dessus, spermatozoïdes), elle n'a pour l'instant aucune indication thérapeutique.

terrible maladie. On ne voit pas de raison éthique profonde qui s'opposerait au traitement génique germinale en vue d'éliminer cette menace de la descendance d'un patient, et éventuellement d'éradiquer le gène mutant comme on a éradiqué le virus de la variole.

Les autorités sanitaires de plusieurs pays n'ont guère hésité à éliminer du patrimoine de l'humanité, mais par d'autres moyens, quelques gènes néfastes, notamment ceux de la bêta-thalassémie et de la maladie de Tay-Sachs. La bêta-thalassémie est une anomalie du sang incurable et parfois mortelle, répandue dans certaines régions du pourtour méditerranéen. Le gène qui en est responsable peut être dépisté dès les premières semaines de la grossesse. En Italie, en Grèce et au Royaume-Uni (pour les immigrés porteurs de ce gène), le dépistage prénatal et

par ingénierie génétique ? On peut imaginer que les autorités religieuses qui s'opposent au "meurtre" du fœtus par avortement ne formuleront pas de grief dogmatique à l'encontre de la thérapie germinale.

Pourtant le généticien Axel Kahn, membre du Comité national d'éthique, déclarait à *Science & Vie* (n° 937, p. 83) : « Les thérapies germinales n'ont pas d'indications thérapeutiques. » Quelques mois auparavant, le Dr French Anderson, du National Center for Human Genome Research (National Institute of Health, aux Etats-Unis), l'un des pionniers de la thérapie génique, nous disait, en substance, la même chose. Mais il ajoutait, paraphrasant le titre d'une aventure de James Bond : « Dans l'état actuel de nos connaissances, *never say never* (ne dites jamais jamais). »

On a maintes fois évoqué le

l'IVG sont gratuits. Ils ont permis en quelques années de réduire l'incidence de la bêta-thalassémie d'un facteur vingt.

La maladie de Tay-Sachs, une dégénérescence nerveuse très rare mais particulièrement fréquente chez les Juifs ashkénases, est mortelle. Le dépistage du gène chez les Juifs canadiens et américains et l'avortement des fœtus contaminés ont réduit de façon spectaculaire la prévalence de cette maladie.

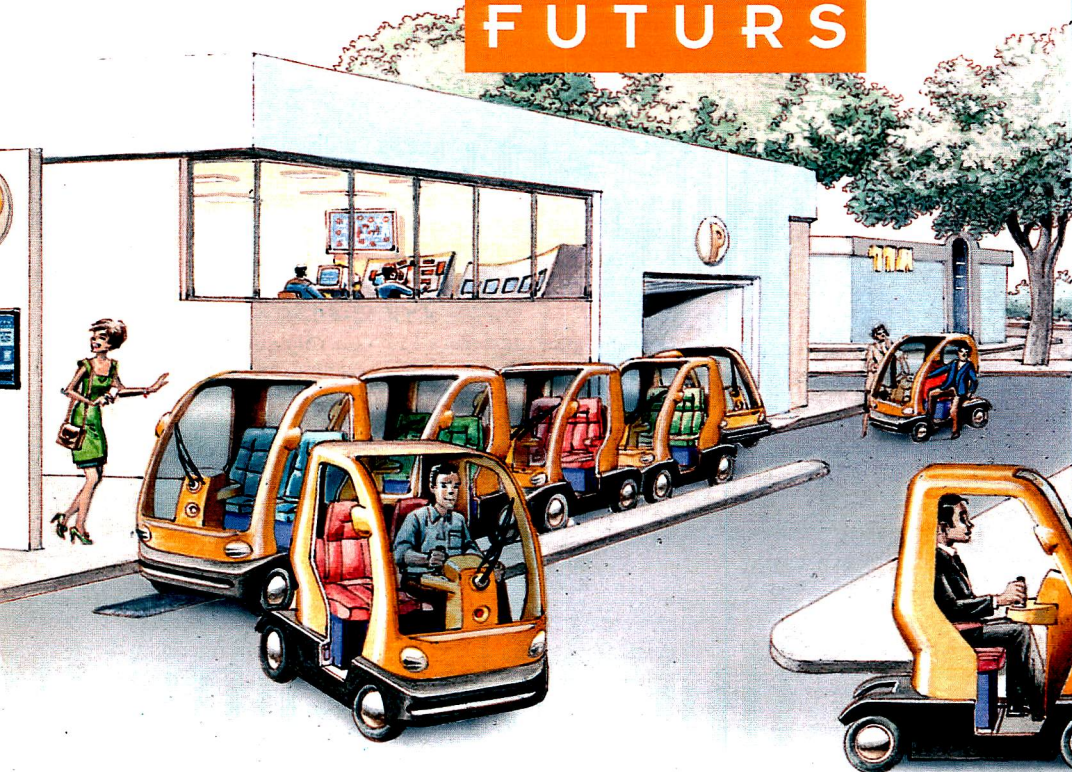
L'élimination de gènes délétères par l'avortement des fœtus porteurs est-elle conceptuellement si différente de leur élimination

risque de l'utilisation de ces techniques dans un but d'eugénisme à grande échelle. Le Dr Max Perutz, du laboratoire de biologie moléculaire de l'université de Cambridge (Grande-Bretagne), se dit conscient du cauchemar d'un Etat qui imposerait un contrôle eugénique des naissances ou toute autre technique visant à une quelconque purification ou amélioration de la race. Mais il précisait, au XVII^e Congrès international de génétique, à Birmingham : « Je suis également hanté par un autre cauchemar : celui d'une démocratie si effrayée par la science qu'elle céderait aux demandes criardes et aux intimidations de ceux qui veulent qu'on bannisse complètement l'interruption de grossesse, ainsi que la génétique et toutes ses réalisations. »

MORATOIRE MONDIAL

L'année dernière, le généticien Pierre Chambon, professeur au Collège de France, soulignait, dans sa leçon inaugurale, le manque d'information du public et exprimait le vœu que « l'enseignement de la biologie moderne [soit l'une] des priorités de l'éducation à tous les niveaux. Sans cet enseignement, le danger serait d'avoir une opinion publique désorientée ». Il se félicitait de ce que le législateur ait interdit toute intervention sur le génome humain, et ajoutait : « Dans ce domaine, un moratoire mondial d'une cinquantaine d'années me semblerait une très sage décision. »

Mais les mœurs évoluent très vite. Aujourd'hui, les codes de bioéthique, là où ils existent, réprouvent la thérapie germinale et le tri embryonnaire. Demain, ces mêmes codes évoqueront peut-être des cas où c'est leur non-utilisation qui sera répréhensible. Encore faudrait-il préciser les indications et les limitations de ces thérapies, voire légiférer à leur sujet. Car, au fil des progrès, on sera en mesure de transformer la nature même de l'homme et d'influer sur son comportement. Quelle tentation ! ■



DES VOITURES SANS PILOTE

■ **Transport public ou transport individuel électrique ? Pour désengorger les villes, il existe peut-être une troisième voie : le "transport public individuel électrique". Des véhicules sans conducteur, semblables aux "wagons d'un train à accrochage immatériel" !**

PAR GÉRARD MORICE

Un véhicule démarre. C'est une petite voiture électrique (1), pas plus longue qu'un vélo, baptisée Praxicar. On la trouve dans des stations, comparables aux stations de taxis, où elle recharge ses batteries.

Particularité, outre son design bien spécifique : elle se place automatiquement derrière un véhicule du même type, qu'elle suit. Elle est elle-même suivie par d'autres Praxicar qui vont dans la même direction. Tous ces véhicules, sauf celui de tête, n'ont pas à être pilotés : ils forment, sur des trajets prédéfinis, les "wagons d'un train à accrochage immatériel". Leurs chauff-

(1) "Feu vert pour la voiture électrique", Science & Vie n° 934, p. 119.



C. LACROIX

feurs ne prennent le volant que pour quitter la station, puis deviennent de simples passagers, qui peuvent lire tranquillement leur journal, travailler sur leur ordinateur portable, téléphoner...

Ils ne reprendront le "manche à balai" que pour changer de direction. Arrivés à destination, ils se séparent du convoi et se garent à la station Praxicar la plus proche. Se garer est, à vrai dire, un bien grand mot, car les véhicules sont entourés de balises qui les guident automatiquement dans les zones de stationnement (voir dessin ci-dessus).

Vision futuriste, utopique ? Pas tout à fait. Des démonstrations du système ont déjà été effectuées, sur des Clio spécialement aménagées, à Paris, dans la cour du ministère de l'Industrie, à Lille et à Saint-Quentin-en-Yvelines. Cette dernière ville sera d'ailleurs équipée, dans le courant de l'année, à titre expérimental, de six stations et d'une cinquantaine de Clio électriques. Les Praxicar, et l'ensemble du système Praxitèle qui les gère, se présentent comme un procédé

Le CONDUCTEUR devient PASSAGER

Les conducteurs de demain trouveront un véhicule à leur disposition dans une station Praxicar.

Après l'avoir piloté, pour rejoindre un "train" de voitures allant dans le même sens, le chauffeur pourra lâcher son volant et se laisser guider jusqu'à sa destination.

intermédiaire entre le transport collectif et le transport particulier électrique, en fait comme un véritable "transport public individuel", à conduite automatique, en libre-service. En quelque sorte, une troisième voie qui pourrait satisfaire les partisans des deux solutions antagonistes.

PLUS DE LIBERTÉ, MOINS DE POLLUTION

Comme le transport public, le système consommera moins d'essence et d'énergie. Mais, s'il fera fi de la sacro-sainte notion de propriété du véhicule, il privilégiera cependant la souplesse de déplacement, l'autonomie, la liberté – autant d'atouts qui sont ceux de la voiture individuelle. En outre, il supprimera la pollution de l'air,

souci majeur pour 80 % des citadins et le bruit, qui est devenu intolérable à 60 % d'entre eux. Tout en évitant les très impopulaires mesures drastiques de limitation de la circulation.

Les concepteurs du système – auquel ils travaillent depuis trois ans – sont essentiellement l'Institut national de recherche en informatique et automatique (INRIA), l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS), l'Ecole nationale supérieure des mines de Paris (ENSM) et le Laboratoire central des Ponts et chaussées (LCPC). L'accès aux Praxicar sera réservé aux abonnés, qui utiliseront pour se faire reconnaître une carte magnétique personnelle sans contact (il suffit de la "montrer" à l'appareil).



■ ■ ■ Une fois installés dans le Praxicar, ils devront insérer leur carte dans un second lecteur et composer leur code confidentiel. Le véhicule sera alors prêt à démarrer. Au moindre problème, l'utilisateur pourra demander par radiotéléphone l'assistance du poste central de gestion du service, le "Praxi-centre". A l'arrivée, l'abonné récupérera sa carte, bloquant du même coup le véhicule.

LE CENTRE DES VILLES RENDU AUX PIÉTONS...

En station, les batteries des véhicules seront rechargées automatiquement par induction – une première mondiale spécialement mise au point par EDF –, dispensant ainsi l'utilisateur ou le personnel exploitant de brancher et de débrancher les véhicules.

Un système de vidéo surveillance intelligent détectera en temps réel les stations perturbées et en informera le Praxi-centre. L'INRIA travaille actuellement à la possibilité pour ce centre de contrôle de déplacer les véhicules vides afin de les conduire aux stations où ils font défaut. Le "rééquilibrage du réseau" se fera grâce à des trains de véhicule à accrochage immatériel. Le premier Praxicar sera piloté manuellement par un agent de service qui effectuera, sur ordre du Praxi-centre, un "ramassage" et une redistribution des véhicules vides vers les stations déficitaires.

Ces "voitures", d'une charge uti-

Demain, des routes réservées à des véhicules automatiques

le de 250 kg, sont conçues pour transporter deux personnes et leurs bagages – le taux moyen actuel d'occupation des voitures privées est inférieur à deux personnes. Leurs dimensions : 1,70 m de long,



Pas plus encombrante qu'un VÉLO

Longue de 1,70 m et large de 1,20 m, la petite Praxicar accueillera deux personnes et leurs bagages. Son équipement high-tech prendra totalement en charge le véhicule et ses passagers.

1,20 m de large et 1,60 m de haut, pour une surface au sol de 2 m².

S'ajoutant à leur mini-encombrement, la rotation inhérente à leur exploitation en libre service diminuera considérablement les problèmes de stationnement. La plupart des voitures aujourd'hui utilisées en ville passent en effet leur temps à attendre leur propriétaire, encombrant la voie. Elles ne roulent que de temps en temps et sur des trajets très courts.

Chaque Praxicar sera équipé d'une caméra infrarouge dirigée vers l'avant et placée dans le pupitre de commande, derrière le pare-brise. Trois balises infrarouges, camouflées dans les feux arrière et la carrosserie, seront disposées à l'arrière du véhicule, à la même hauteur que la caméra. Le dispositif com-

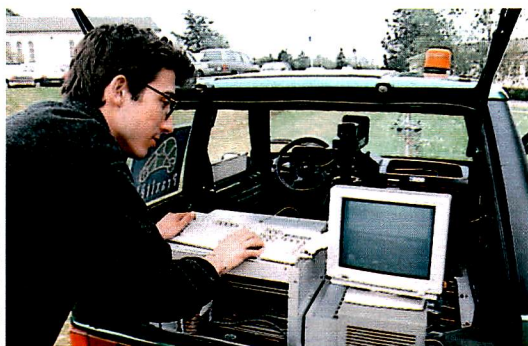
prendra aussi une antenne GPS permettant la localisation du véhicule et une antenne hertzienne non apparentes (la carrosserie en plastique n'"isole" pas le véhicule du monde extérieur). On trouvera enfin un système informatique (comprenant, entre autres, une aide au guidage) sous le pupitre de commande, avec le système de freinage, de commande électronique de puissance et de direction (le manche à balai). Des capteurs ultrasonores, intégrés dans les pare-chocs, assureront la conduite automatique et la détection d'obstacles : un enfant ou un chien qui traverse entre deux voitures du train automatique cou-
p e r a



INRIA/A. EIDELMAN



P. COUETTE



INRIA/A. EIDELMAN

Déjà en CIRCULATION

Ci-dessus, telles des chenilles processionnaires, deux Clio expérimentales équipées du système Praxitéle. La seconde n'est pas pilotée ; elle est guidée par la première. A droite, les véhicules rechargent leur batterie dans une station Praxicar. Ci-contre, le système informatique de la voiture prototype.

le signal ; la voiture suiveuse s'arrêtera jusqu'au rétablissement de ce signal et, si la voiture qui la précède est toujours dans son champ de vision, elle reprendra normalement sa place. Des codeurs magnétiques, intégrés aux

D. HEULIN/BIOS

tonomie et la distance restant à parcourir avant la prochaine station de recharge, et délivrera toutes sortes d'informations géographiques fort utiles (cartes, guides touristiques, état du trafic, etc.).

Il était initialement prévu d'équiper du système Praxitéle les pôles d'activité (La Défense...), les technopôles et les campus universitaires, les sites privés importants (industrie), les grands aéroports, les parcs d'exposition, les parcs naturels ou animaliers, certains sites touristiques (par exemple, le parc

du château de Versailles).

Et même le centre des villes, ainsi largement rendu aux piétons.

Le bilan des premières expériences a conduit l'INRIA, l'INRETS, l'ENSMP et le LCPC à voir plus loin : ils avancent aujourd'hui le concept de route automatisée. « On peut, disent les quatre partenaires, concevoir, comme cela a été fait pour le TGV, de nouvelles infrastructures routières réservées à des véhicules équipés de systèmes de conduite automatique. Cette rupture technologique permettrait aux voitures de rouler à des vitesses moyennes doublées (200 km/h), avec des débits pouvant être multipliés par 5 (10 000 véhicules par heure), sur des infrastructures beaucoup plus légères, s'insérant mieux dans l'environnement. » ■

roues, permettront de localiser en permanence le véhicule. Enfin, un terminal multimédia gèrera la facturation, reliera l'utilisateur au centre de gestion, fournira toutes les informations sur l'état du véhicule, par exemple son au-

C'EST DÉJÀ DEMAIN!

par Philippe Chambon



Technologie, luxe et gigantisme : c'est, *Phoenix World City*, le paquebot du xx^e siècle.

R.T. MAC CALL / WORLD CITY CORP.

CONSTRUCTION NAVALE

UNE CITÉ SUR LES MERS

Pendant des décennies, tandis que des millions de citoyens américains s'adressaient à des compagnies étrangères pour partir en croisière, la navigation de plaisance américaine, insatisfaisante, perdait de l'argent. Grâce au projet de paquebot mis en œuvre par la World City Corporation (WCC), les Américains en-

tendent bien rattraper le temps perdu... et renouer avec la grandeur de leur passé. Le *Phoenix World City* pourrait préfigurer le paquebot du xx^e siècle : technologie, luxe et gigantisme. Trois fois et demi plus grand (390 m de long) que les plus grands paquebots jamais construits, il comptera 6 piscines, 15 restaurants,

30 boutiques, des douzaines de cafés, une bibliothèque, un musée, un théâtre de 2 000 places, un casino, etc. 6 200 personnes pourront y vivre, sans compter les 2 600 membres de l'équipage. L'accès à bord se fera par 4 navires de 400 places chacun, qui pénétreront à l'intérieur même de la ville flottante.

Dix années d'études, de recherche de financement et de négociations auront été nécessaires à John Rogers et à son équipe de la WCC pour faire accepter ce projet par l'Administration maritime américaine. C'est chose faite : le gouvernement va se porter garant d'un emprunt de 1 milliard de dollars, destiné à aider la société à supporter le coût de la construction.

Internet, université de l'avenir?

● A l'heure où les ventes de micro-ordinateurs aux Etats-Unis ont dépassé (en volume) les ventes de télévisions, des bouleversements se dessinent dans la société du "cyberspace". La première "université" Internet, Interskills, vient d'être créée par 30 universitaires du monde entier. Le "site" contient actuellement 200 articles ou extraits d'interviews de penseurs et polémistes. Pour l'instant, pas de travaux pratiques... Interskills se définit comme l'"université des futurs talents". Une idée qui devrait faire des émules.

Voitures : conception accélérée

● Comme il est plus facile de prévoir la mode qui aura cours dans six mois que la tendance qui sera en vigueur dans trois ans, les constructeurs automobiles tentent de lancer leurs nouveaux véhicules avant que les *desiderata* des acheteurs aient trop évolué. Ils s'affrontent farouchement pour réduire la durée de développement de leurs modèles : Toyota a développé la Ipsum en tout juste dix-neuf mois, et Mazda a conçu la Capella en dix-sept mois ! Si de nouveaux modèles sortent chaque saison, les voitures ne risquent-elles pas, comme les ordinateurs, d'être obsolètes six mois après leur mise en vente ?

INFORMATIQUE

L'ordinateur ne connaît pas l'an 2000

Dans les années 60, les mémoires des ordinateurs étant limitées, les informaticiens faisaient des économies en écrivant, par exemple, 70 au lieu de 1970. Résultat : les logiciels ne font pas la différence entre 1930 et 2030. Le franchissement informatique du troisième millénaire risque d'être cocasse ou dramatique, selon les cas.

Imaginez : vous êtes à Paris, le 1^{er} janvier 2000, à 0 h 5. Vous appelez un ami londonien – qui, à cause du décalage horaire, est encore en 1999 – pour lui

souhaiter la bonne année. L'ordinateur chargé de facturer la communication risque de considérer que vous avez téléphoné du 01-01-00 au 31-12-99 et de débiter votre compte d'un appel de 99 années!

Pour tenter de remédier à ce problème, une société de consultants en informatique, 2000 AD, a été récemment créée à New York. (AD, pour *Anno Domini*, est la version latine utilisée par les Anglo-Saxons pour indiquer les années de l'ère chrétienne.)

AUTOMOBILE

RÊVE D'HYDROGÈNE

● Une idée trotte régulièrement dans la tête des constructeurs : concevoir une voiture à hydrogène. Daimler-Benz, par exemple, avait fabriqué un prototype il y a vingt ans. Mazda vient de créer le sien, le MX-5 à hydrogène, plus performant que son homologue électrique et à peine moins compétitif que le modèle à essence. Doté d'une autonomie de 230 km (contre 180 km pour la voiture électrique et 590 km pour le bon vieux moteur à explosion), pouvant atteindre une vitesse maximale de 150 km/h (contre 130 et 183), ce véhicule de rêve écolo pourrait faire des adeptes. Seul inconvénient de taille : il coûte 50 % plus cher à fabriquer que son rival traditionnel.

L'essence n'est pas près de céder sa place.

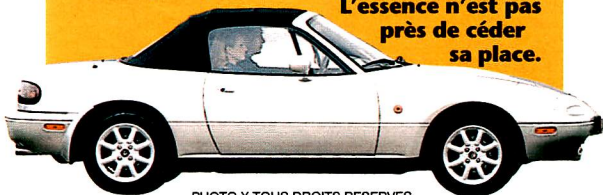


PHOTO X TOUS DROITS RESERVES

NUTRITION

MANGERONS-NOUS DES INSECTES ?

Les insectes reviennent au goût du jour. En septembre dernier, lors du symposium international sur la biodiversité de l'agriculture, à Pékin, un tiers des conférences scientifiques traitaient de l'élevage des insectes.

Rappelons-le, d'un point de vue nutritionnel, les insectes, c'est bon ! Ça contient des vitamines et des protéines (60 % en moyenne du poids "sec" d'un insecte). En Asie, en Afrique ou en Amérique du Sud, les animaux

à six pattes font d'ailleurs partie de la cuisine traditionnelle, crus ou cuits, nature ou assaisonnés.

Mais les Occidentaux, qui se délectent des fruits de mer et des escargots, répugnent à sentir la chitine crisser sous leurs dents. Des tests de consommation effectués au Canada ont pourtant révélé que le goût des abeilles frites rappelait celui de la couenne grillée et des graines de tournesol...

Au pays de Brillat-Savarin, on reste sceptique et vaguement dégoûté. Interrogés

par la SOFRES sur leurs préférences culinaires, en décembre dernier, les Français ont déclaré rester fidèles, dans l'ordre, au steak-frites et au gigot d'agneau. Cela dit, le métissage gastronomique gagne du terrain : le couscous est cité en troisième position.

De l'eau et des microbes

● Si, comme le prévoient les climatologues, le niveau de la mer grimpe de 50 cm d'ici à l'an 2100 (à la suite d'un réchauffement de 2 °C), il faudra craindre des résurgences du paludisme, de la dengue ou du choléra.

Les larves de coléoptères, accompagnées de spaghettis, sont déjà au menu des Mexicains.



P. MENZEL/COSMOS

CONSOMMATION

UNE MONTRE À PUCE

● Le progrès a d'abord consisté à fabriquer des outils qui aidaient l'homme à effectuer une tâche donnée. Aujourd'hui, les ingénieurs s'évertuent à fabriquer des produits multitâches. Ainsi, aux États-Unis, pour 20 dollars (100 francs), on peut se procurer une tétine qui prend la température des bébés (Questech International, à Tampa, Floride). De son côté, Swatch envisage de créer une montre à puce,

utilisable comme une carte bancaire, qu'il suffit de passer devant un œil électronique. Sa première version, la Swatch Access, permet déjà aux skieurs d'accéder rapidement aux pistes et aux remontées mécaniques. Il reste à trouver les associations les plus fonctionnelles. Car qui voudrait d'un poudrier-perceuse-purée ? Personne. Sauf peut-être les fans de Boris Vian.



J. VONIER

AUTOMOBILE

ATTENTION, INTERFÉRENCES !

Entre les systèmes électroniques de plus en plus sophistiqués installés sur les voitures et les systèmes de communication toujours plus performants, les interférences pourraient poser un problème. En effet, si les cas jusqu'à présent répertoriés n'ont pas eu d'incidence dramatique sur les systèmes électroniques automobiles, rien ne dit que les guidages par satellite ou les systèmes anticollision des véhicules de demain seront insensibles à l'utilisation d'un bip-bop dans l'habitacle, par exemple.

Plusieurs industriels travaillent depuis longtemps à ce problème de compatibilité électromagnétique (CEM). La plupart d'entre eux testent déjà les voitures dans des "chambres" spéciales, pourvues de murs extrêmement épais : ils les bombardent d'ondes radio allant de 10 kHz à 1 GHz, afin de vérifier que les systèmes électroniques installés résistent à toutes les interférences possibles, des

liaisons ondes courtes de la police au téléphone mobile.

Désormais, tous les constructeurs devront s'y mettre. Le 1^{er} janvier 1996, la Commission européenne a défini le niveau de résistance aux interférences exigé pour les véhicules, ainsi que les tests qui doivent être effectués pour s'assurer que ce niveau est atteint.

La privatisation rend malade

● Faut-il s'attendre à une recrudescence des demandes de soins médicaux à l'occasion de la prochaine vague de privatisations en Grande-Bretagne ? Des chercheurs en épidémiologie et santé publique de l'University College London Medical School, ainsi qu'un professeur d'épidémiologie clinique de l'université de Bristol, ont observé un déclin de la santé physique et psychique de certains fonctionnaires à l'annonce de la privatisation de leur secteur d'activité.

● Avec la participation de Sonia Feertchak. A collaboré à cette rubrique : Germain Chambost.

ENVIRONNEMENT

Les satellites espions se reconvertissent

À la fin de la guerre froide, les satellites espions américains se sont reconvertis dans l'observation des ressources terrestres. Il s'agit d'observer quelque 500 sites pour mieux comprendre l'évolution des forêts tropicales, des banquises, des glaciers, ou pour suivre les perturbations atmosphé-

riques à la surface du globe. Deux douzaines de sites ont d'ores et déjà été sélectionnés. Avantage des satellites espions : leur définition, c'est-à-dire leur capacité à photographier des détails de petite dimension, est infiniment supérieure à celle des satellites civils tels que Landsat et Spot. Mais cet

avantage constitue également un frein à la diffusion de leurs observations. Afin de ne pas révéler leurs capacités exactes, les renseignements qu'ils collecteront seront non pas rendus publics mais archivés. À l'attention des futures générations de scientifiques... G. C.

**ENFIN A LA VENTE EN VIDEOCASSETTE
ET DISQUE LASER**

**L'HISTOIRE
D'UN JEUNE HOMME
QUI S'INTÉRESSE
PRINCIPALEMENT
AU VIOL
À L'ULTRA-VIOLENCE
ET À
BEETHOVEN!**



UN FILM DE STANLEY KUBRICK

ORANGE MECANIQUE

Lors de sa sortie en salles, ce film a été interdit aux moins de 16 ans

WARNER HOME VIDEO



ENTRE VOTRE PEAU ET LA LAME,
DECOUVREZ LA PROTECTION START

START

SOINS ACTIFS HOMME

**MOUSSE A RASER &
SOIN APAISANT**

2 en 1

► **UNE TECHNOLOGIE DE POINTE
POUR UN RASAGE HAUTE PROTECTION.**

Innovation des Laboratoires Garnier, la mousse à raser START contient un actif lubrifiant breveté qui forme sur la peau un film homogène protecteur pour :

- **Une glisse parfaite de la lame** afin d'assurer le plus précis des rasages.
- **Une protection rapprochée** contre les agressions du rasoir.

► **UN SOIN APAISANT, HYDRATANT, ANTI-IRRITATIONS.**

La mousse à raser START est enrichie en Glycérum, un soin actif aux propriétés apaisante et hydratante*. Son action pendant et après le rasage :

- **Prévient les rougeurs et les irritations.**
- **Laisse la peau douce, souple, en pleine forme.**

