SCIENCE & VIE

MENSUEL - N° 903
DÉCEMBRE 1992

UN NOUVEL ESPOIR CONTRE LE CANCER

QUI A PEUR DU PLUTONIUM ?

AKATSUKI MARU

Le vrai téléphone de poche

M 2578 - 903 - 22,00 F

SELON LA LOI N° 91.32

FUMER PROVOQUE DES MALADIES GRAVES

SCIENCE & VIE

Publié par EXCELSIOR PUBLICATIONS S.A.
Capital social : 2 294 000 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 : JACQUES DUPUY, 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 commercial publicité : PATRICIA BRAULT
Directeur marketing et commercial : FRANCIS JALUZOT
Directeur marketing et commercial adjoint : JEAN-CHARLES GUÉRAULT
Directeur des études : ROGER GOLDBERGER

● RÉDACTION
Rédacteur en chef : OLIVIER POSTEL-VINAY
Rédacteur en chef adjoint : GERALD MESSADIÉ
Chef des informations,
rédacteur en chef adjoint : JEAN-RENÉ GERMAIN
Rédacteur en chef adjoint : GÉRARD MORICE,
assisté de MONIQUE VOGT
Rédacteur en chef édition : ÉLIAS AWAD
Secrétaires de rédaction : FRANÇOISE SERGENT,
NADINE RAGUET, AGNES MARILLIER
Rédacteurs : RENAUD DE LA TAILLE, ALEXANDRE DOROZYNSKI,
PIERRE ROSSION, JACQUES MARSAULT, PIERRE COURBIER,
CHRISTINE MERCIER, JACQUELINE DENIS-LEMPEREUR,
MARIE-LAURE MOINET, ROGER BELLONE, JEAN-MICHEL BADER,
DIDIER DUBRANA, HENRI-PIERRE PENEL, MARC MENNESSIER,
ISABELLE BOURDIAL, THIERRY PILORGE, EDOUARD LAUNET
Secrétaires : MARIE-ANNE GUFFROY, PAULE DARCONNAT

● ILLUSTRATION
ANNE LÉVY, JOSETTE SERREAU
Photographe : MILTOS TOSCAS

● DOCUMENTATION
EMMANUELLE BILLON-BERNHEIM

● CONCEPTION GRAPHIQUE
CHRISTINE VAN DAELE

● MAQUETTE
LIONEL CROOSON

● RELATIONS EXTÉRIEURES
MICHÈLE HILLING, assistée de NATHALIE HAPPILLON

● SERVICES COMMERCIAUX
Abonnements et marketing direct : PATRICK-ALEXANDRE SARRADEIL
Vente au numéro : PIERRE BIEURON, assisté de MARIE CRIBIER
Téléphone vert : 05 43 42 08 (réservé aux dépositaires)
Belgique : A.M.P., 1 rue de la Petite-Isle, 10.70 Bruxelles

● CORRESPONDANTS
New York : SHEILA KRAFT, PO Box 1860, Hemlock Farms,
Hawley PA 18428 - USA

● PUBLICITÉ
EXCELSIOR PUBLICITÉ INTERDECO
27 rue de Berri, 75008 Paris. Tél. : (1) 44 35 11 98
Directeur de la publicité : RICHARD TZIPINE-BERGER
Chef de publicité : KARINE PARENT

● À NOS LECTEURS
Courrier et renseignements : MONIQUE VOGT, tél. : 46 48 48 66
Vente anciens numéros et reliures : CHANTAL POIRIER, tél. : 46 48 47 18

● ABONNEMENT
Relations abonnés : Service abonnements,
1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75503 Paris Cedex 15
Tél. : (1) 46 48 47 08 (de 9 h à 12 h)
Au Canada : Periodica Inc. – C. P. 444, Outremont – Québec,
Canada H2V 4R6
En Suisse : Naville – Case postale 1211 – Genève 1 – Suisse

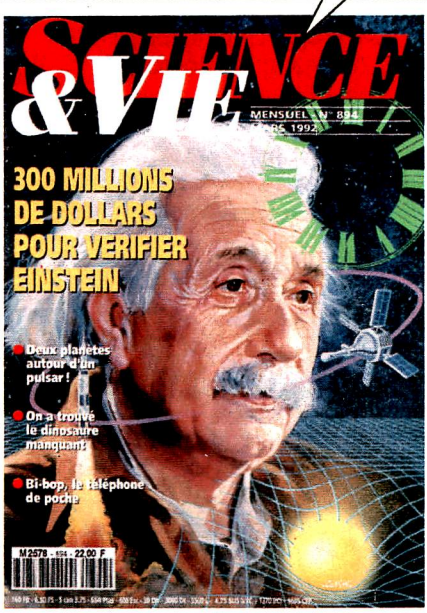
À NOS ABONNÉS
Pour toute correspondance relative à votre abonnement, envoyez-nous l'étiquette collée sur votre dernier envoi. Changement d'adresse : veuillez joindre à votre correspondance 2,50 F en timbres-poste français ou règlement à votre convenance. Les noms, prénoms et adresses de nos abonnés sont 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
COPYRIGHT 1989 SCIENCE & VIE

OJD DIFFUSION-PUBLICITÉ 1990

BVP

Et si vous vous abonniez à SCIENCE & VIE...



BULLETIN D'ABONNEMENT

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

OUI, je m'abonne à SCIENCE & VIE en cochant la formule de votre choix

☐ CLEE **1 AN + 4 hors série (16 N°) : 295 F au lieu de 364 F***

☐ CLEF **2 ANS + 8 hors série (32 N°) : 590 F au lieu de 728 F***

☐ CLEB **1 AN / 12 N° : 220 F au lieu de 264 F***

☐ CLEC **2 ANS / 24 N° : 440 F au lieu de 528 F**

Cochez SVP ***Prix de vente chez votre marchand de journaux**

Nom_____

Prénom_____

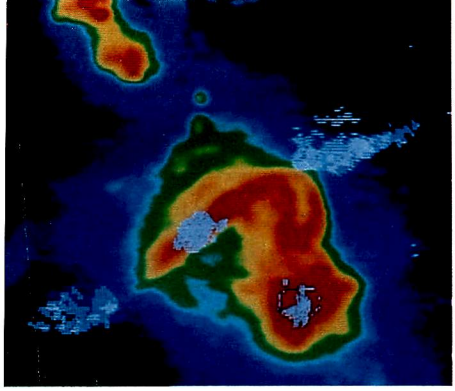
Adresse_____

_____

Code postal_____ **Ville**_____

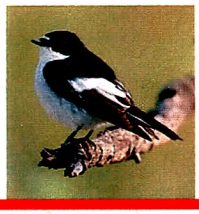
Conformément à la législation en vigueur, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification pour toute information vous concernant sur tout fichier à usage commercial de notre société.
OFFRE VALABLE JUSQU'A FIN 1992 .
ET RESERVEE A LA FRANCE METROPOLITAINE.
ETRANGER: NOUS CONSULTER RC PARIS B 572 134 773

S & V 903



Trou noir, es-tu là ? Leurs télescopes braqués vers le cœur de la Galaxie, à 25 000 années-lumière de notre système solaire, les astronomes traquent un ogre dévoreur d'étoiles. **p. 44**

Son plumage a beau égaler son ramage, le gobe-mouche mâle – robe de neige et gilet d'ébène – attire moins les prédateurs que sa terne femelle. **p. 66**



SOMMAIRE

SAVOIR

L'horloge à atomes ultrafroids
Daniel Tarnowski **36**

Un trou noir au cœur de la Voie lactée ?
Jean-Pierre Defait **44**

Charpak : de la physique des particules à la biologie
Pierre Rossion et Bernard Thesnon **50**

La famille, poumon de l'économie
Philippe Thureau-Dangin **54**

Coup de froid sur l'Europe du Nord
Hélène Guillemot **58**

Le gobe-mouche noir défie Darwin
Marc Mennessier **66**

Mer Noire, mer maudite
Marguerite Tiberti **68**

La caverne des fossiles vivants
Didier Dubrana **74**

Dans un monde obscur et presque sans oxygène, cette sangsue et de nombreux organismes subsistent grâce à un écosystème digne d'un film de science-fiction. **p. 74**

POUVOIR

Guerre des puces : bientôt à coups de rayons X
Edouard Launet **90**

Qui a peur du plutonium ?
Jacqueline Denis-Lempereur et Bertrand Latome **98**

Biocarburants : il est urgent d'attendre
Edouard Launet **112**

Un nouvel espoir contre le cancer
Pierre Rossion **116**

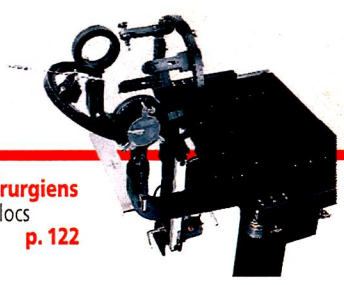
Le robot chirurgien
Jean-Michel Bader **122**

Transport militaire : l'avion qui manque à l'Europe
Serge Brosselin **130**

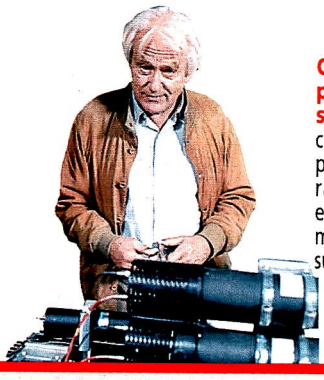
Enfin un vrai radiotéléphone de poche
Henri-Pierre Penel **134**

Consoles de jeu : le combat des samouraïs
Henri-Pierre Penel **138**

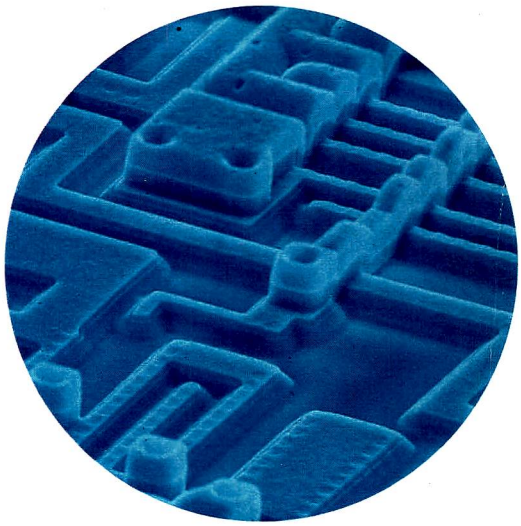
Noël 92 : des jeux écolos
Christine Mercier **142**



Les robots chirurgiens pénètrent les blocs opératoires. **p. 122**



Georges Charpak, prix Nobel de physique, a inventé la chambre à fils : un premier pas vers une radiographie qui enverra 1 000 fois moins de rayons X sur le patient...
p. 50



Les circuits intimes de la puce électronique. Toujours plus fins, toujours plus denses, grâce à la technologie des rayons X. **p. 90**

RUBRIQUES

Courrier **6**

Echos de la recherche
Dirigés par Gerald Messadié **21**

Echos de l'industrie
Dirigés par Edouard Launet **81**

Carrefour de l'innovation
Dirigés par Gérard Morice **147**
Des marchés à saisir **152**

Objets du mois
Dirigés par Roger Bellone **154**

Science & Vie a lu pour vous **172**

Agenda **180**

La mer Noire est une poubelle. Et du fond de cette poubelle risque, à tout moment, de jaillir un gaz mortel. **p. 68**

SCIENCE & JEUX

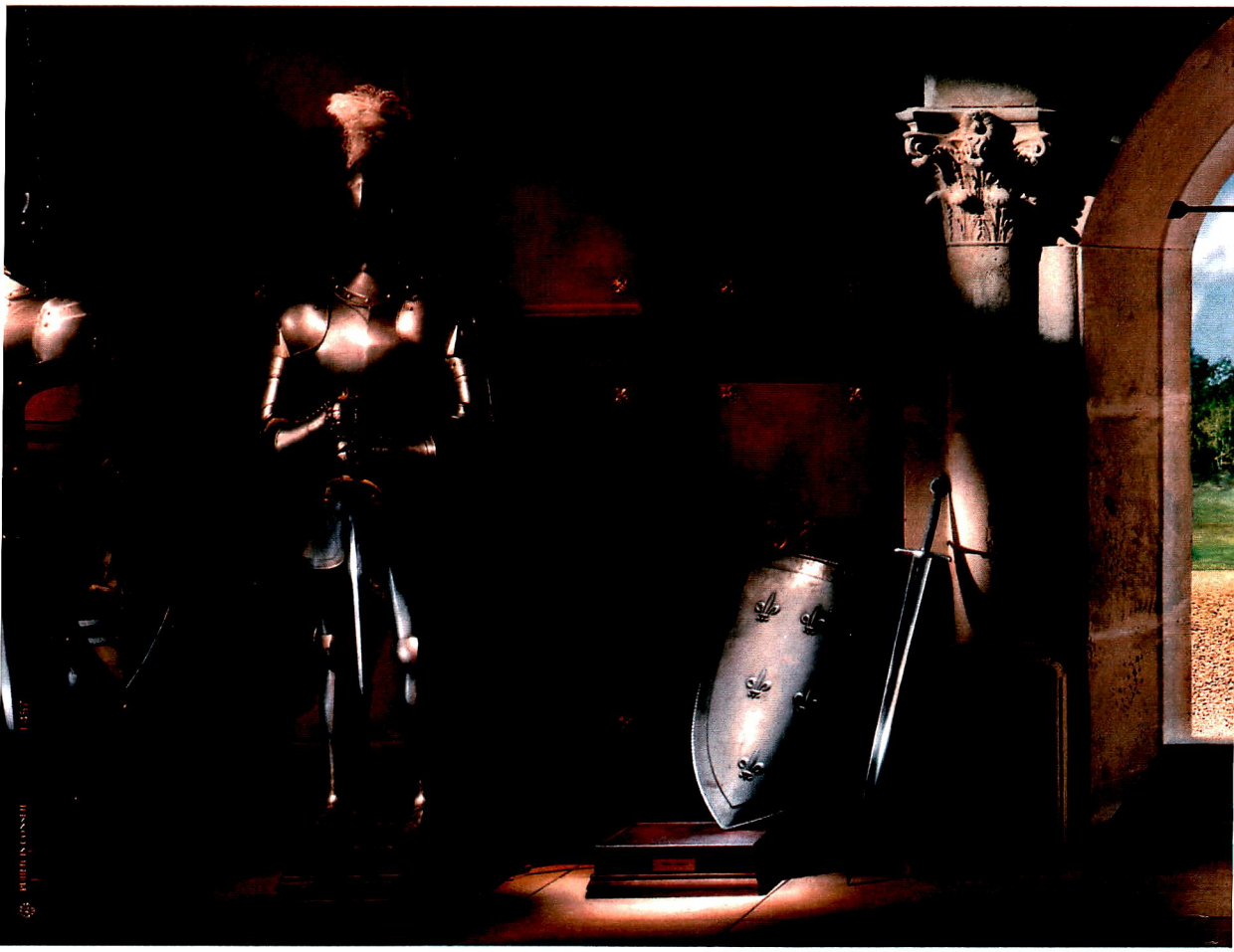
Physique amusante
par Renaud de La Taille **160**

Electronique
par Henri-Pierre Penel **164**

Journal de l'astronome
par Yves Delaye **166**

Informatique
par Henri-Pierre Penel **169**

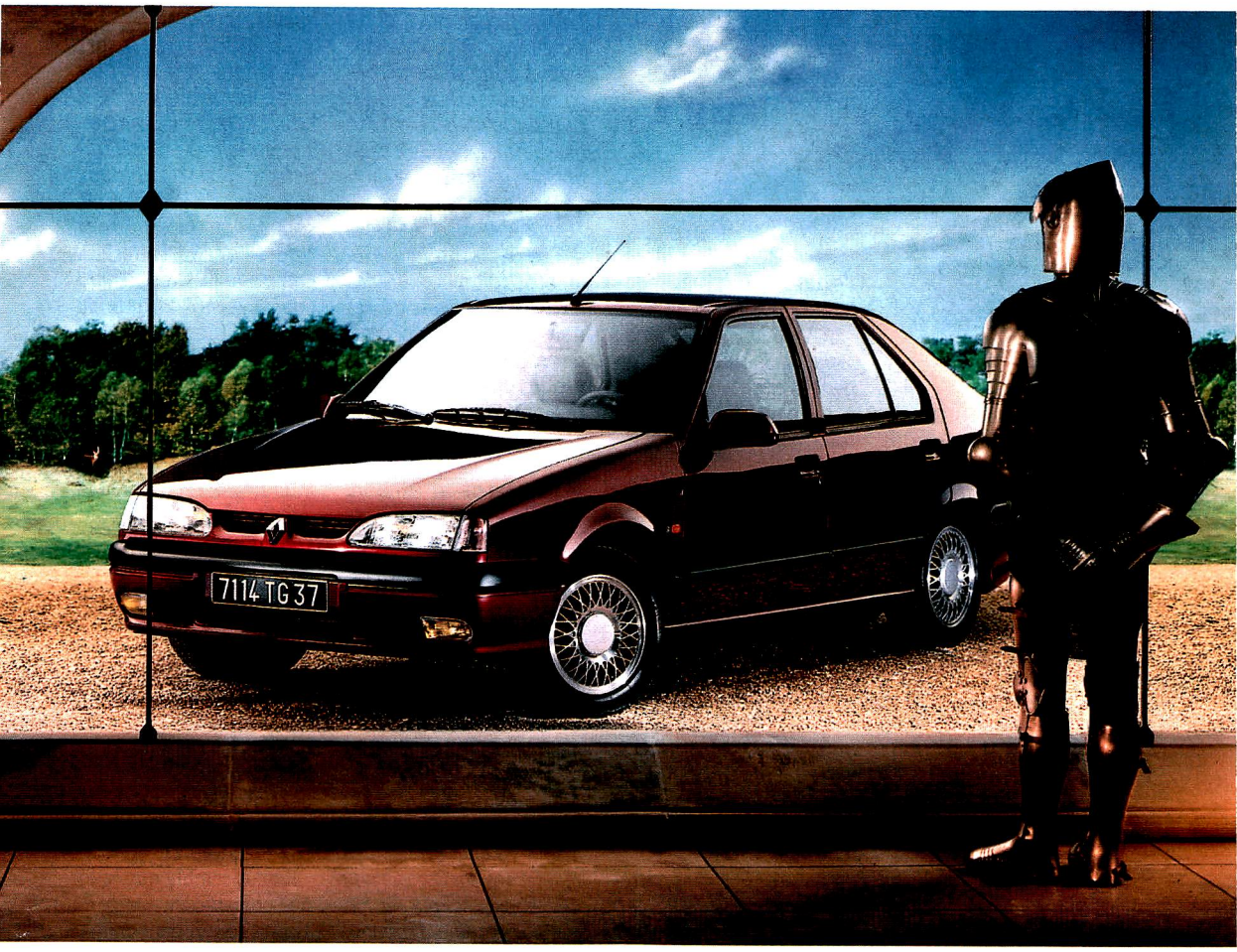
Du cuir, du bois,
nous avons réussi à mettre quelque chose d'ancien



Grâce à la finition irréprochable de son intérieur où le cuir et le bois sont savamment dosés, la nouvelle Renault 19 Baccara a de quoi séduire les plus fervents défenseurs des traditions. Cependant, nous nous sommes autorisés à ajouter le conditionnement d'air, les rétroviseurs extérieurs dégivrants à commande électrique, les jantes en alliage léger, les projecteurs antibrouillards, la housse à vêtements sous la tablette arrière, la condamnation centrale

3615 3616
RENAULT

dans la nouvelle Renault 19 Baccara.



NOUVELLE
RENAULT 19 BACCARA
nouvelle pour longtemps

des portes avec commande à distance, l'autoradio 4 x 6 W avec un satellite de commande sous le volant, codage antivol et 6 haut-parleurs, l'ordinateur de bord à 7 fonctions et bien d'autres choses encore, pour qu'ils puissent en plus goûter aux joies du progrès. Modèle présenté et décrit : Renault 19 Baccara, boîte manuelle. Garantie anti-corrosion Renault 6 ans. Diac votre financement.

RENAULT préconise elf

RENAULT
LES VOITURES
A VIVRE

COURRIER

Droit de réponse à propos des "Folies du recrutement"...

Nous avons reçu de M. François Sulger la lettre suivante :

«Mis en cause dans l'article "Les folies du recrutement", de M. Frézal (votre n° 900, p. 107, § 4), je vous demande d'user de mon droit de réponse.

1. Je ne me "dis" pas fondateur de la gestuologie, j'ai créé le terme avec la sortie de mon livre "les Gestes vérité", éditions Sand, 1986. La citation de M. Frézal est d'ailleurs tirée de mon livre, page 41.

2. Je n'ai pas écrit "gène" (unité localisée sur les chromosomes) mais "gêne", (malaise, trouble). Comment un spécialiste de la communication comme M. Frézal (du moins spécialiste en titre, sur le papier, à lire la note dithyrambique page 102) a-t-il pu commettre une erreur aussi grossière, pour se lancer dans un procès d'intention contre la gestuologie (technique d'observation) que contesteraient les travaux des généticiens !

3. Mais ce qui me choque profondément, c'est l'attitude de "Science & Vie", revue dont je suis un abonné de longue date. Comment une revue, ô combien chatouilleuse sur la rigueur "scientifique", a-t-elle pu laisser passer une pareille ineptie ? Veuillez agréer l'expression de mes sentiments stupéfaits et déçus.»

M. Vincent Frézal répond :

«François Sulger a raison de relever que "gène" n'est pas "gêne". Mais c'est bien dans son livre "les Gestes vérité" qu'il se définit comme "créateur de la gestuologie". Il a sans doute changé d'avis sur son rôle depuis 1986 : il nous dit n'avoir créé que le terme. Au-delà de ces précisions, cela ne change rien au fond du débat : dans son livre, M. Sulger présente une méthode pratique qui se veut notamment un instrument de diagnostic de la personnalité du candidat, par l'examen, en cours d'entretien, de sa communication non-verbale. Il s'agit, et nous citons, de "pénétrer dans l'intimité de l'émetteur" grâce à la communication non-verbale, "redoutable instrument d'analyse et de connaissance".

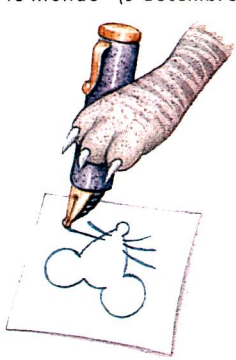
»Or, c'est cette intrusion dans l'intimité de la personnalité que nous dénonçons. Le Pr Lyon-Caen rappelle qu'à lui seul, l'article 9 du Code civil suffit à déclarer illégal ce genre de procédé, et Me André Bertrand, dans "le Monde" (9 décembre 1991), précisait que "les recruteurs ont des obligations légales qui restent méconnues, comme cette disposition sur le caractère licite des méthodes de sélection utilisées à l'insu du candidat". Le texte précise : "Quiconque collecte à l'insu d'une personne des éléments de son écriture, sa date de naissance ou ses traits (ou gestes) afin d'établir son analyse graphologique ou de caractère risque de tomber sous le coup de la loi et peut être puni d'une peine d'emprisonnement de un à cinq ans et d'une amende de 20 000 francs à 2 millions de francs ou de l'une de ces deux peines seulement.

»Ces dispositions ont de quoi désarçonner les recruteurs qui, quotidiennement, font fi de ces dispositions légales en se plaçant délibérément hors de la loi. Certains même en font état. Ainsi, les graphologues réunis sur le serveur 3617 code GRAPHO affirment qu'il est légal de réaliser ces analyses à l'insu des candidats. Pour renforcer leur argumentation, ils citent l'article 1382 du Code pénal qui irait dans leur sens. Or, l'article 1382 du Code pénal n'existe pas ! Nous avons attiré l'attention du procureur de la République sur ce point.

»D'autres affirment que la morphopsychologie prend tout naturellement sa place à l'occasion d'un entretien individuel, d'autant plus qu'elle permet d'être pratiquée "à l'insu de l'intéressé, même s'il est présent". Il est utile de préciser que la morphopsychologie n'a pas la moindre base scientifique et que l'article 416 du Code pénal, cette fois-ci, et l'article 6 de la convention du Conseil de l'Europe en interdisent la pratique.

»Ce que dit la loi, le sens scientifique et le bon sens tout court le disaient déjà. Robert Destnick, ancien vice-président de McDonald's, déclare qu'"aux Etats-Unis, la graphologie comme l'astrologie font figure de sorcellerie". Comme le faisaient remarquer M. Jean-Yves Duick, du CEREGE (Centre de recherche sur la gestion) de l'Institut d'administration des entreprises, et le Pr Claude Lévy-Leboyer, de l'université Paris V ("le Monde", décembre 1991), depuis très longtemps, aux Etats-Unis, de nombreux et retentissants procès ont été intentés contre des entreprises et gagnés par des candidats qui jugeaient que le choix des tests avait entraîné une discrimination à leur égard. Les tribunaux ont mis les employeurs en demeure de démontrer la pertinence des tests employés et donc donné tort aux employeurs.»

Il nous semble que la loi que prépare le ministère du Travail devrait dans un avenir proche faire justice des prétentions de certains recruteurs ; en effet, elle devrait interdire toute tentative de l'employeur de s'immiscer dans la vie privée du candidat ou de l'employé.



Espéranto espéré

Notre réponse, dans le n° 901, au lecteur qui proposait l'espéranto comme langue universelle n'a pas satisfait M. A.R., d'Espalion : *«En effet, vous dites qu'il n'est pas du pouvoir de quelques-uns de prendre la décision d'imposer une langue commune... Je n'ai pas lu dans la proposition de*

(suite du texte page 8)

BDDP

GRANT'S

son secret est dans les fûts qui l'ont vu naître.

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

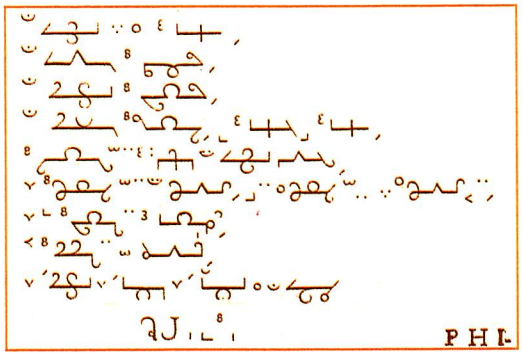
M. P.C. qu'il soit question d'imposer quelque chose.»

Ce lecteur écrivait : *«Qu'attend-on pour adopter une langue commune ?»* Cela sous-entend : *«Prenons des mesures pour cela.»* Si l'on veut, en effet, adopter une langue commune, il faut l'imposer, car il reste à vérifier que la seule proposition de l'espéranto, dont la majorité des gens connaissent l'existence, suffirait à les décider à l'apprendre pour communiquer avec des nationaux dont ils ne parlent pas la langue. Il serait à cet égard intéressant de savoir combien de fonctionnaires internationaux (ONU, FAO, UNESCO, OTAN, CEE, etc.), pourtant confrontés quotidiennement au problème de la traduction, parlent l'espéranto.

«Par ailleurs, si les 360 millions d'Européens doivent décider, il faut qu'il aient la possibilité d'exercer un choix ; c'est-à-dire que l'espéranto soit proposé dans l'enseignement à égalité avec les autres langues.»

C'est bien ce que nous disions : il faut donc prendre des mesures administratives. Nous y sommes tout à fait favorables, mais elles ne sont pas de notre ressort.

«Vous dites aussi que les langues communes finissent par se différencier. En fait, si une langue commune se différencie, c'est parce qu'elle est utilisée dans un usage quotidien par différentes populations, comme c'est le cas pour l'anglais, qui a évolué différemment aux Etats-Unis, dans le Royaume-Uni, en Australie... L'espéranto n'étant pas utilisé au quotidien par une population où que ce soit ne peut présenter ce risque, sa seule utilisation étant la communication internationale.»



Un spécimen de la "langue philosophique" inventée par Leibnitz.

Il reste à établir qu'on puisse considérer comme langue internationale une langue qui ne serait utilisée que dans les congrès. Ce serait la première fois, car toutes les langues diplomatiques – le latin, le français et maintenant l'anglais – étaient parlées et écrites couramment par de très vastes communautés internationales.

Certes, comme l'observe M. P.P., d'Yvetot, l'adoption de l'espéranto réduirait le nombre de traducteurs, *«puisqu'il suffirait de 11 interprètes espéranto-langues nationales au lieu de 55 actuellement. Le nombre d'interprètes pour traduire chaque langue dans chacune des autres est en effet égal pour un nombre n de langues à 1/2 [n (n – 1)], à condition toutefois que chaque traducteur soit capable de travailler dans les deux sens.»*

Colonisation linguistique ?

Lettre de coloration plus idéologique, celle de M. Y.L., de Chennevières : *«Toute langue imposée à d'autres nations colonise celles-ci et leur ôte toute capacité de création, voir Tacite, Frantz Fanon, Aimé Césaire... Je vous citerai les paroles du Pr Chii Battelli : "Celui qui se dénomme domine... Non seulement on reste un domestique quand on maîtrise la langue de ses maîtres, mais on s'asservit à travers elle à leurs mécanismes de pensée, on s'adapte à leur grille de lecture au prix d'une aliénation et d'une atrophie culturelle généralisée...»*

Nous ne saisissons pas le rapport entre ces déclarations et l'espéranto ; serait-ce que ce lecteur, à l'inverse du précédent, entende substituer cette langue à celles des puissances impériales dans les anciens pays colonisés ? En tout état de cause, on peut craindre que les Américains, ainsi que les Canadiens, Australiens, Néo-Zélandais et autres membres du Commonwealth n'apprécient pas plus d'être traités de "domestiques" que les anciennes colonies françaises d'Afrique, qui parlent toujours français et, d'ailleurs, un français châtié.

«Bien qu'interdite par Hitler, Staline, la femme de Mao, Franco, Salazar, Hiro Hito, Pinochet, etc., qui envoyaient les espérantistes qui aux camps de concentration, qui aux goulags, etc., cette langue a crû en un seul siècle d'un locuteur à deux millions (minimum certain), et s'est propagée de un à plus de cent pays. Suivant cette progression, les espérantophones seront en 2087 un milliard cinq cents millions.»

Nous n'avions pas connaissance que Mme Mao et Pinochet eussent interdit l'espéranto, mais enfin, les prévisions de ce lecteur conforteront certainement les espérantistes.

Vive la polémique !

«Proposer l'espéranto, écrit M. P.L., de Chevreuse, *c'est proposer sans l'imposer une langue commune, mais non exclusive, extraordinairement plus conviviale que toutes et plus apte à favoriser l'accès aux autres. Vous ne semblez pas voir qu'il est, au contraire, "du pouvoir de quelques-uns" d'imposer onze langues, en en attendant d'autres en nombre indéterminé, toutes longues à apprendre et d'où émerge déjà... l'hégémonie destructrice d'une seule.»* D'esprit ouvert, ce lecteur conclut ainsi sa lettre : *«Ne regrettez pas de susciter la polémique : elle est nécessaire et féconde et elle honore votre revue.»*

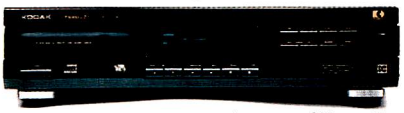
Remercions ce lecteur de son observation, mais disons que si nous suscitons la polémique, c'est bien involontairement. Quand nous écrivions qu'il n'est pas du pouvoir de quelques-uns d'imposer l'espéranto, nous ne disions que cela. D'un point de vue réaliste, il nous semble douteux que les partisans de l'espéranto aient des chances d'imposer cette langue à la Communauté européenne ni à l'Europe des Douze dans un avenir prévisible. C'est un

(suite du texte page 12)

Vos photos sur l'écran de votre télévision. *Imaginez vos souvenirs les plus chers restitués dans une nouvelle dimension : votre télévision. Cette magie porte un nom : le Système Kodak Photo CD.*

Un processus d'une extrême simplicité. *A partir de votre pellicule et de votre appareil photo 24 x 36, il vous suffit de demander à votre magasin le transfert de vos photos sur un disque Kodak Photo CD. Celui-ci peut stocker jusqu'à 100 images et accueillir vos anciens négatifs couleur ou vos diapos. Vous constituerez ainsi une véritable photothèque classée par thème (vacances, anniversaires...).*

Le lecteur Kodak Photo CD : la musique aussi. *Pour visionner vos photos introduisez le disque dans votre lecteur Kodak Photo CD. Puis confortablement installé devant votre téléviseur, partagez en famille vos plus beaux souvenirs. Le spectacle terminé, vous profiterez tout autant de vos disques compacts audio car ce lecteur*



est aussi un lecteur CD audio à la pointe de la technologie numérique. Pour découvrir aujourd'hui cette technologie du futur, demandez la liste des magasins.

N° Vert 05 46 24 36

Photo CD™

Kodak Photo CD.
En créant une nouvelle dimension, Kodak fait grandir l'émotion.

Kodak et Photo CD sont des marques déposées. • Le symbole Photo CD est une marque déposée par Kodak et utilisée sous licence. •

Kodak. Toujours un déclic d'avance.

Kodak

LES TERRE

Trois régions de notre planète recèlent les conditions idéales à la fabrication du whisky: l'Ecosse, l'Irlande et le Kentucky. Les hommes de ces terroirs ont su préserver la qualité de leur environnement afin de perpétuer un "savoir-faire" ancestral chargé de secrets.

Construite en 1296, la distillerie Old Bushmills fait partie d'un site légendaire telle la chaussée des géants de Fionn Mac Cool.

Black Bush: L'empreinte de l'histoire.

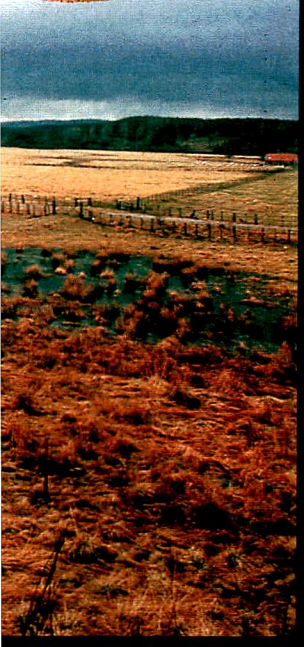
Black Bush est l'un des trois whiskeys élaborés dans la plus vieille distillerie du monde. Old Bushmills, qui a vu le jour dans le Comté d'Antrim en Irlande du Nord voilà 800 ans. A l'époque, des moines missionnaires rapportèrent du Moyen-Orient les secrets de l'alambic permettant de distiller l'<< *uisge beatha* >>, mot gaelique pour eau de vie. Selon les étymologistes, transformé en << uisce>> puis <<usky>>, ce mot devint le << whiskey>> des Irlandais ou le << whisky>> des Ecossais. Aujourd'hui, les grains d'orge maltée exclusivement irlandais sont distillés trois fois selon la tradition irlandaise. Ce distillat vieillit de longues années dans des fûts de chêne ayant contenu du Xérès pour donner le plus luxueux des irish whiskeys: Black Bush.

En Ecosse, l'amertume iodée des embruns vient lécher les épis d'orge avant que cette cé-

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA

PUBLI-INFORMATION

S A WHISKY



réale macère dans les germoirs embaumant l'herbe foulée aux pieds un matin de printemps.

Aberlour: Le fils de l'orge et de la tourbe.

Ce Single Malt est distillé dans une seule et unique distillerie de la vallée de Spey. Au commencement, il y a les grains d'orge écossais qui sont mis à germer (le maltage). Puis, cette germination est stoppée par torrefaction obtenue au moyen de tourbe locale qui se consument lentement en produisant des fumées aromatiques. L'orge séchée, maltée, est alors concassée puis mélangée à de l'eau douce puisée dans une source nichée dans les collines surplombant la distillerie. Le moût obtenu est fermenté puis distillé. Dix ans de maturation donnent ce Single Malt à la saveur fumée et fruitée.

Benjamin Francklin souhaitait que la dinde sauvage (Wild Turkey) soit la mascotte des USA.

Wild Turkey: L'aventure à l'américaine.

Les Yankees du Kentucky (Sud des USA) qui inventèrent le Bourbon au XVIIIè siècle ne manquèrent pas d'audace: il décidèrent de remplacer plus de la moitié de l'orge par du maïs. Deuxième sacrilège, les fûts de vieillissement sont en bois neuf de chêne blanc préalablement brûlé à l'interieur. Ce processus donna à l'alcool sa saveur vanillée et un arôme boisé légèrement caramélisé. De nos jours, l'heritage du "savoir-faire" des pionniers d'Amérique c'est le << Straight Whiskey>> Wild Turkey distillé par le maître distillateur Jimmy Russels. Pour le Will Turkey, le vieillissement dure 8 ans au cours desquels un tiers de chaque fût s'évapore; les Américains disent, non sans poésie, que c'est la << part des anges>>.

ANTE, CONSOMMEZ AVEC MODERATION

constat, non une opinion. Les pays membres sont déjà bien trop attachés à leurs prérogatives nationales ; alors, aller leur proposer une treizième langue nous paraît audacieux...

Et l'accent ?

Ancien fonctionnaire international, M. S.A., de Rouen, dont nous avons déjà eu l'occasion de publier des observations, écrit, lui, ceci :

«Depuis Descartes et Leibnitz, c'est-à-dire depuis que le latin a perdu son statut de langue internationale, des centaines de langues neutres ont été conçues (voir Marina Yaguello, "les Fous du langage", Seuil, 1984).

»Déjà, au XVIe siècle, Erasme faisait observer que, dans les réunions, les savants de divers pays ne s'entendaient pas en latin : "L'empereur Maximilien fut salué par quatre orateurs... L'un était français... quelques savants italiens qui se trouvaient là crurent qu'il parlait en français... Vinrent un Danois, un Zélandais... on eût juré qu'ils ne parlaient latin ni l'un ni l'autre" (Erasme, "Œuvres choisies", "le Livre de poche classique", 1991).

»A de rares exceptions près (par exemple, Otto Jespersen et son "novial"), les inventeurs de langues n'étaient pas des linguistes. Leurs projets reposaient sur des idées fausses concernant la "simplicité" d'une langue... L'espéranto est difficile en raison de sa morphologie faussement simple (un accusatif !) et de sa prononciation (nombreuses lettres imprononçables par trop de peuples et exigeant des caractères spéciaux). Il s'est déjà fractionné en divers dialectes dissidents.

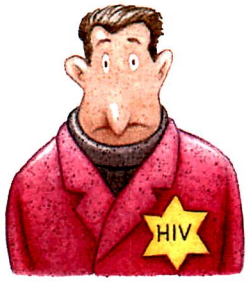
»Plutôt que de vous faire le catalogue des défauts de l'espéranto, je vous envoie un petit article sur le volapük, que j'avais écrit quand je m'occupais du bulletin du personnel de l'OTAN...»

L'article rappelle que le volapük (de l'anglais *world-speak*) a eu beaucoup de succès entre 1880 et 1890. Il y eut de nombreux livres et journaux dans cette langue universelle... Un exemple de ce langage : «*Miglam de kaf kostom frans kil*». Ce qui veut dire : «*Le kilo de café coûte trois francs*» (heureuse époque !).

Nous rappelons à cette occasion que les lettres que nous publions ne réflètent pas nécessairement nos opinions. Témoins, celles qui nous sont défavorables. Nous rappelons également aux lecteurs qui critiquent certains de nos articles et qui se plaignent de n'être pas approuvés que nous ne pouvons pas non plus, pour leur être agréables, admettre que nos articles soient faux et sans valeur !

D'Hibernatus au sang chauffé...

Mme R.H.V., d'Eterville, estime que «*le très intéressant article sur Hibernatus pose infiniment plus de questions qu'il n'en résout. Néanmoins, malgré les erreurs, oublis ou fautes même des découvreurs et des chercheurs, il semble que les auteurs fassent la part un peu belle à une possible supercherie. Or, la question est très simple : ou les prélèvements et les envois pour analyses et datations ont été faits correctement, et il n'y a aucun doute (tous les avis concordent à quelques siècles près*



sur l'âge du revenant ; donc pas de supercherie même s'il y avait eu déplacement). Ou les prélèvements sont des faux, et il n'y a pas eu supercherie, mais complot, ce qui paraît pousser le bouchon un peu loin.»

La question n'est pas aussi simple que cela. L'authenticité d'Hibernatus n'est pas en doute, comme nous l'avons bien dit, mais le site et les circonstances dans lesquels il a été trouvé font, eux, l'objet de sérieuses réserves.

Cette lectrice commente ensuite une observation faite sur la contamination d'un receveur par une greffe infectée par le virus du sida. Nous avions écrit : «*Cela démontre le caractère imparfait des dépistages du sida, que certains courants mal informés ont récemment proposé de rendre obligatoires et systématiques.*» Et la lectrice de préciser : «*Pour certaines catégories de Français évidemment.*» Quelles catégories ? Qui en eût décidé ? Sur quels critères ?

«*Or, on a toujours su qu'il y avait, à partir de l'infection, une période de réaction négative, encore que, les méthodes s'améliorant chaque jour, il eût été plus sérieux de ne pas remonter au Déluge. Pour être conséquent avec lui-même, l'auteur de l'article devrait être contre le "dépistage obligatoire et systématique" de certaines catégories qu'on nomme dormeurs, sang ou greffes, puisque la méthode n'est pas sûre à 100 %.*»

Cette lectrice semble mal informée : d'abord, on n'a pas toujours su qu'il y avait une période de réaction négative à partir de l'infection. Ensuite, on ignore la durée exacte de cette période. Des hypothèses en cours laissent supposer, en effet, que la séroconversion pourrait se faire dans un délai indéterminé à partir de l'infection. Le virus demeurerait à la surface des cellules et n'y pénétrerait qu'à la faveur d'une réinfection par le HIV, ou d'une infection par un autre virus. Dans ce cas-là, un individu pourrait être porteur sain du virus, et même séronégatif, pendant une période indéterminée. Personne ne peut prévoir à quel moment le virus entrera dans les cellules pour s'y répliquer.

Pour être logiques avec nous-mêmes, comme nous en prie cette lectrice, nous ne saurions être "contre" la stérilisation des produits sanguins par chauffage, qui concerne tous les prélèvements, sans distinction entre produits infectés ou pas (et qui eût ainsi prévenu le scandale des transfusions de sang infecté). A moins que cette lectrice ne suggère de faire chauffer les Français séropositifs...

Les greffons tissulaires, eux, ne peuvent pas être assimilés aux produits sanguins, car les risques éventuels varient selon leur nature. Ainsi, on ne connaît pas de cas d'infection de la cornée par le virus HIV. En ce qui concerne les autres tissus, le dépistage se fait par amplification génique (PCR ou *polymerase chain reaction*), tout autre technique que les tests de dépistage classiques sur un sujet vivant. Même là, toutefois, il demeure une marge d'incertitude.

(suite du texte page 14)

SELON LA LOI N° 91-32

FUMER PROVOQUE DES MALADIES GRAVES

Il est déplacé d'assimiler la vérification de l'innocuité virale des greffons et le dépistage en chaîne du sida dans la population auquel cette lectrice semble tenir fort (elle nous a écrit deux fois par le passé à ce sujet). Dans le premier cas, et étant donné la nature exceptionnelle de l'acte médical, le petit nombre des greffes autorise une recherche systématique par une technique particulière ; mais dans le second, le coût exorbitant et l'utilité douteuse de l'examen de masse (sans parler de sa contravention à l'éthique médicale) l'ont fait rejeter par la grande majorité du corps médical français et international.

Que ferait-on, en effet, des Français et résidents séropositifs ? Faudrait-il les interner? Ou bien les tatouer ?

... Et d'Hibernatus à Sherlock Holmes

«Il est amusant de constater que, lorsqu'une découverte vous paraît suspecte, à tort ou à raison du reste, vous finissiez par vouloir tirer des conclusions hâtives sur la signification de certains indices», écrit M. F.F., de Nantes, de nouveau à propos d'Hibernatus. *«Vous dites, page 75, en bas à droite, et je cite : "Mais certains détails choquent :*

Ainsi l'arc en if de 1,80 m n'est pas dégrossi : on distingue encore des traces de taille sur ses bords, le renfort central n'a pas été réalisé, les branches de l'arc ne sont pas aplaties, les extrémités ne sont ni appointées, ni encochées pour recevoir la boucle de la corde." Et d'ajouter : "Pourquoi s'embarrasser d'un arc qui ne peut tirer ?"

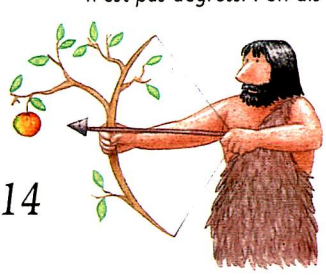
»Je peux vous trouver une réponse toute simple : et si cet homme avait été un artisan ? Cet arc était manifestement en cours de fabrication, peut-être le transportait-il d'un point à un autre pour la finition.» C'est, en effet, possible.

«Un deuxième point m'intrigue : que sont devenus les cheveux (et les poils) de notre cher Hibernatus ? Il me semble que, par exemple, les mammouths retrouvés congelés ont gardé la quasi-totalité de leur fourrure.

»Hibernatus aurait-il donc été imberbe et chauve ? Et pourquoi le chat congelé retrouvé près de là a-t-il gardé sourcils et moustaches ?»

On a retrouvé des cheveux d'Hibernatus ; ils mesuraient environ 9 cm de long, ce qui indique donc que les gens de l'époque savaient se couper les cheveux, et les coupaient relativement courts, d'ailleurs. Cela étant, nous avons, dans notre article, relevé les anomalies qui entourent la découverte d'une momie dont l'authenticité, elle, ne semble pas faire de doute. Nous avons aussi déploré la façon dont la découverte a été traitée, et qui ne paraît pas conforme aux protocoles scientifiques habituels.

Nous ne voyons pas en quoi nous en avons tiré des conclusions hâtives.



"C'est la faute à la science !"

Florilège de compliments et guirlandes de critiques à propos de l'article de l'astronome Jean-Claude Pecker, "C'est la faute à la science !", de notre n° 900.

Mme M.T.F., d'Osny, trouve que nous avons la dent dure à l'égard des adversaires de la science. *«Beaucoup de ceux qui croient dur comme fer à la science, et je dirais même, avec un certain fanatisme, auraient cru dur comme fer à la sorcellerie s'ils avaient vécu il y a cinq siècles... Alors, astrologues, mystiques, tenants de danses druidiques, laissez-les vivre !»*

Très volontiers, à la condition qu'ils ne prétendent pas que leurs idées sont "prouvées" par la science.

M. J.D.D., de Cugnaux, relève dans notre n° 900 *«deux articles exceptionnels, celui de Jean-Claude Pecker, et celui de Vincet Frézal, "Les folies du recrutement" [...] L'article de Pecker est excellent, mais un peu trop ciblé sur les lecteurs de "Science & Vie", qu'on suppose déjà acquis à la cause»*.

Nous en doutons parfois, devant les lettres qui prônent l'astrologie, l'homéopathie, la parapsychologie et autres.

«Deux passages de cet article m'ont particulièrement intéressé, écrit M. R.M., de Strasbourg, *celui où M. Pecker s'attaque aux "gourous téléguérisseurs" et celui intitulé : "Des philosophes contre la science". Je voudrais vous livrer quelques-unes des réflexions qu'ils m'inspirent. En ce qui concerne les téléguérisseurs et autres duperies mystico-médicales, on peut (et on le doit) adopter ce qu'on pourrait appeler l'attitude voltairienne et considérer les gens*

qui se font jober comme des imbéciles (si on en faisait le compte à travers le monde, je pense que le chiffre serait étonnant). Ce qui me gêne cependant dans cette attitude, c'est qu'elle est une forme de discrimination entre des hommes qui seraient intelligents et éclairés, et des hommes qui seraient idiots et, de ce fait, désespérément crédules. J'ai peur que ce type de dichotomie ne soit pas aussi pertinent qu'il pourrait le paraître, et surtout, je ne suis pas absolument sûr que ce soit la meilleure façon de traiter cette question qui, me semble-t-il, requiert une anthropologie autrement plus compréhensive que celle pratiquée par M. Pecker, lequel, j'en suis sûr, se range d'office dans la catégorie des hommes éclairés, donc intelligents.»

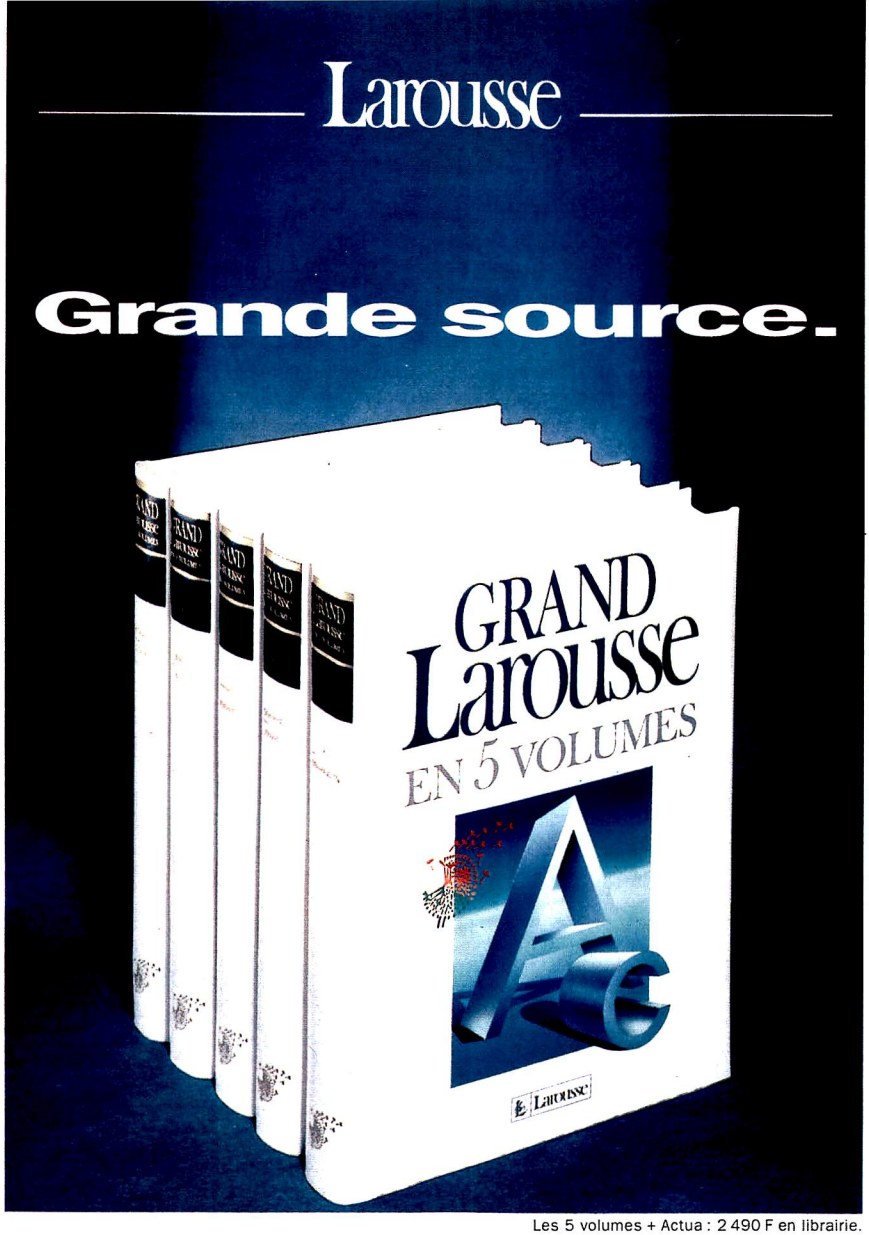
Ce lecteur déplace la question. D'abord, ni M. Pecker, ni nous-mêmes ne considérons comme "idiots" les gens qui croient, par exemple, à l'astrologie : nous estimons que ces gens sont mal informés, ce qui est bien autre chose. Il est beaucoup de gens mal informés dans le monde, en effet, mais nous ne tiendrions pas non plus pour "idiots" des gens qui croiraient que la planète Pluton était connue dès l'Antiquité (elle n'a été découverte qu'en 1930).

Nous tenons pour plus dangereux des gens qui dupent le public en lui faisant croire que l'astrologie est une "science", alors qu'elle n'est qu'une superstition, et qui se

(suite du texte page 16)

Larousse

Grande source.



SYNERGIE-EQUATEUR

Les 5 volumes + Actua : 2 490 F en librairie.

"Avec le Grand Larousse, j'ai les 5 volumes les plus précieux qui soient. Pourquoi ? Le Grand Larousse dit tout, sur tout, avec une clarté et une précision exceptionnelles : 75 000 mots, 41 000 noms propres, des milliers d'illustrations, 400 cartes, et une présentation à couper le souffle. Avec, bien sûr, son complément Actua qui intègre toutes les informations sur le nouvel état du monde. Le Grand Larousse en 5 volumes est beau, complet, à jour. Savoir être indispensable en étant agréable, c'est tout l'art de Larousse."

JE SÈME À TOUT VENT

Si cela existe, c'est dans le Grand Larousse.

servent pour cela d'une argumentation démontrant qu'ils sont, eux, informés de l'inanité de ce qu'ils disent : ceux-là seraient alors suspects soit de carence logique, soit de mauvaise foi, et ils sont beaucoup moins nombreux.

Ensuite, et nous l'avons, dans le passé, exposé dans ces pages, le recours à la superstition caractérise ce que Claude Lévi-Strauss appelle la "mentalité prélogique". C'est avec quelque tristesse qu'il nous faut admettre que cette dernière, dont on a trop souvent fait, dans le passé, un trait des cultures primitives, sévit largement dans les pays industriels.

Ce lecteur retient ensuite le *«passage où M. Pecker aborde certains livres "philosophiques" qui, à ses yeux, semblent inspirés par des attitudes anti-scientifiques.*

»Je me permettrai de rappeler ici qu'il y a toujours eu des philosophes qui ont adopté, à l'égard de certaines prétentions scientifiques, des discours critiques, et ceci me paraît tout à fait sain et normal».

Là aussi, ce lecteur déplace le débat. Les philosophes critiqués par Pecker ne sont pas des auteurs qui contestent tel ou tel point scientifique, par exemple la primauté de l'ADN dans tous les phénomènes cellulaires (en fait, on commence à peine à découvrir que l'ARN peut jouer un rôle beaucoup plus considérable que celui de "copieur" d'ADN), mais ceux qui rejettent la science elle-même, c'est-à-dire l'organisation du savoir. Quand un Feyerabend écrit que *«la science occidentale a infecté le monde»* et qu'il est temps de *«dire adieu à la raison»*, on se demande ce qu'il reste. Et comment Feyerabend, sans logique, aurait un ordinateur pour chercher des données et un commutateur électrique pour allumer sa lampe.

Très justement, ce lecteur fait l'observation que voici à propos de la phrase de Pecker, *«Darwin a déboulonné Cuvier». «Si c'était le cas, ce n'est pas Darwin, mais Lamarck qui aurait du "déboulonner" Cuvier, car si Darwin doit être considéré comme ayant triomphé du fixisme de Cuvier, c'est parce qu'il défendait l'évolutionnisme. Or, en ce qui concerne la théorie de l'évolution, ce n'est pas Darwin qui l'a exposée le premier de façon cohérente, mais c'est bien Lamarck, le collègue de Cuvier. Pourquoi Lamarck a-t-il été oublié ?»*

Il est exact qu'on a longtemps oublié Lamarck. Sa théorie sur l'héritabilité des caractères acquis était apparue beaucoup trop simpliste en regard de celle de Darwin sur la sélection par pression du milieu, qui expliquait bien plus profondément les spéciations. Les notions biologiques du génotype et du phénotype renforcèrent par la suite la théorie de Darwin, et le lamarckisme tomba donc en discrédit jusque vers les années soixante-dix de ce siècle. On vit alors de nombreux ouvrages consacrés à Lamarck, et nous avons nous-mêmes publié plusieurs articles sur le retour en faveur de Lamarck (1).

Commentant le même article, M. J.F.A., d'Artenay,

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

note : «*C'est très honnête à Jean-Claude Pecker de n'avoir pas mentionné sa qualité d'astrophysicien de très haut niveau, qui n'a rien à voir avec le sujet qu'il traite (magistralement). Il y a tant de scientifiques qui utilisent leurs titres et compétences indéniables dans certaines disciplines pour donner du crédit aux sottises qu'ils profèrent dans d'autres, qu'il est normal de vous féliciter, vous et M. Pecker, d'avoir su ne pas utiliser cette pratique désagréable.*»

Remercions ce lecteur pour ses compliments, qu'il assortit plus loin de reproches...

(1) "Lamarck n'avait pas tout à fait tort", *Science & Vie* n° 887, p. 60, "Lamarck ressuscité ?", n° 889, p. 18, "Darwin ou Lamarck, la querelle de l'Evolution", *Cahiers de Science & Vie* n° 6, "Lamarck, Darwin, Cuvier et les autres...", *Science & Vie* n° 895, p. 16.

Sur la publicité

«*Le dépliant, dans votre journal, sur les OVNI me laisse pantois ! Je sais, vous l'avez déjà dit, vous n'êtes pas maîtres des publicités dans vos pages, c'est une agence qui les gère. Mais enfin, insérer celle-ci à quelques pages d'un article dénonçant le paranormal, c'est un peu gros, non ? C'est comme si un journal antimilitariste passait une pub pour l'armée, ou si le journal de la SPA passait une annonce pour une corrida. Cela manque pour le moins de décence. Je vous l'ai écrit à plusieurs reprises, pourquoi ne pas vous démarquer de la publicité, avilissante pour le journalisme, en proposant de payer votre revue à son juste prix. Je vous repose ma question : Combien coûterait "Science & Vie" sans publicité ?*»

Le calcul comporte une marge d'incertitude, mais enfin, le numéro reviendrait à quelque 35 F. Bien des lecteurs seraient donc contraints de s'en priver. Nous vendrions donc moins de numéros. Cela justifie-t-il la satisfaction ainsi apportée à quelques publiphobes ?

Dans le cas de l'annonce critiquée, que nous n'avons évidemment pas choisie, le contraste est bien sûr frappant. Mais il serait intéressant de savoir si les fidèles des OVNIS ont écrit à l'éditeur de ces livres pour lui reprocher d'avoir passé une annonce dans un journal scientifique...

En réalité, il nous paraît admis que la publicité est, dans la presse écrite comme à la télévision ou la radio, un espace totalement indépendant de l'information, et nous ne sachons pas que des téléspectateurs soient choqués de voir des annonces sur la charcuterie délicieuse de la marque Porca ou les exquis desserts de la firme Sucra suivre un reportage sur la famine en Somalie. De même, à la radio, l'annonce d'un concert de rock peut suivre un concerto de Bach sans que personne y trouve à redire. ●

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

UN COUPÉ DE CARACTÈRE.

CITROËN préfère TOTAL

En remportant le rallye PARIS-MOSCOU-PEKIN, la CITROËN ZX RALLYE RAID a démontré sa force de caractère. Cette force de caractère qui anime tous les coupés de la collection CITROËN ZX s'exprime pleinement avec le nouveau coupé CITROËN ZX 16 V. Ses pneus taille basse, ses jantes alliages, son déflecteur avant et son becquet arrière soulignent le dynamisme de sa ligne.

Ouvrez la portière et vous apprécierez alors son habitabilité (5 vraies places) et son intérieur de caractère : volant sport gainé cuir, sièges sport à réglage lombaire côté conducteur.

Puis tournez la clé de contact et là encore le nouveau coupé CITROËN ZX 16 V vous montrera son caractère : moteur injection 16 soupapes à catalyseur 1998 cm^3 développant 155 ch DIN (soit 111,6 kW CEE à 6500 tr/mn), couple de 19 mKg DIN à 3500 tr/mn, direction assistée, 4 freins à disques ventilés à l'avant, système ABS 4 capteurs, et une tenue de route exceptionnelle grâce à l'essieu arrière à effet autodirectionnel.

Enfin, comme le nouveau coupé CITROËN ZX 16 V suscitera bien des convoitises, une alarme antivol périmétrique et volumétrique, une condamnation centralisée des portes (avec ouverture à distance) en intimideront plus d'un.

Consommations normes UTAC : 5,9 l à 90 km/h - 7,8 l à 120 km/h - 11,3 l en cycle urbain. Nouveau coupé CITROËN ZX.

NOUVEAU COUPÉ CITROËN ZX

ROUX SEGUELA CAYZAC & GOUDARD

CITROËN

Fahti Conti & Beudin

L'Europe, l'Europe vous me faites rire, Moi, je suis à Quimper

Monsieur Pierrat.
Chef d'Entreprise

Son Chargé d'Affaires
Entreprises
du Crédit Agricole.

MOI AUSSI.

Et si je connais bien le tissu économique
local, cela ne m'empêche pas d'être
à tout moment en contact avec Madrid ou Berlin.
En liaison avec nos spécialistes des opérations
internationales, je peux vous apporter des conseils
financiers pour développer vos activités en
Europe et cela depuis votre région. Avec les Chargés
d'Affaires Entreprises du Crédit Agricole,
vous profiterez partout en France d'un réseau
d'interlocuteurs privilégiés des PME-PMI.
Autant de raisons de prendre l'Europe au sérieux.

Mercredi 16 h 20. Route de Kerogan.

Le bon sens

ECHOS DE LA RECHERCHE

PHYSIQUE

Fusion froide : un mystère chasse l'autre !

Plusieurs expériences ont, à la fin de septembre dernier, démontré que l'électrolyse de l'eau lourde, dite dans le passé "fusion froide", fournit plus d'énergie qu'elle n'en dépense. Longtemps dénoncé par les sceptiques comme une illusion de laboratoire, le phénomène acquerrait donc droit de cité dans le monde de la physique.

Nous avons rapporté dans cette rubrique les résultats positifs d'expériences réalisées au Japon et aux Etats-Unis par différents chercheurs (1). Depuis lors, le dossier s'est enrichi de ceux également obtenus par Michael C.H. McKubre, de l'institut de recherche SRI International, à Palo Alto, en Californie. Fin septembre, M. McKubre donnait une conférence au Massachusetts Institute of Technology (MIT). «Nous pouvons démontrer que, dans des circonstances particulières, nous avons obtenu plus d'énergie que nous n'en avons dépensé», a déclaré M. McKubre, en faisant référence aux 38 expériences menées sur le sujet depuis le printemps 1989.

Celles-ci ne sont convaincantes que si l'électrolyse, qui se fait avec une électrode de palladium entourée d'un fil de platine, utilise de l'eau lourde. Et elles ont de plus grandes chances d'être concluantes si l'on ajoute à l'eau lourde de l'aluminium ou du silicium.

Le SRI est subventionné par l'industrie électrique de Californie, par le biais de l'Electric Power Research Institute, et le MIT n'est pas un lieu enclin aux hypothèses douteuses. Mais s'il était encore besoin de confirmer le sérieux de l'affaire, notons que le ministère japonais du Commerce international et de l'Industrie a débloqué 2,7 milliards de yens (soit quelque 110 millions de francs) pour l'étude de la fusion froide.

Ce dernier terme est d'ailleurs rejeté au bénéfice de celui d'"électrolyse de l'eau lourde". En effet, rien n'a prouvé jusqu'ici qu'il y ait bien fusion de deux noyaux d'hydrogène. On n'a enregistré formellement aucun dégagement de neutrons (heureusement pour les expérimentateurs). Or, sauf étrangeté difficile à concevoir en physique, la fusion de deux noyaux devrait dégager des neutrons.

En fait, à part la production d'énergie, rien n'est sûr ni clair dans cette affaire. On ignore toujours, par exemple, la raison des extraordinaires décharges d'énergie qui se produisent accidentellement, et qui représentent jusqu'à 300 % de l'énergie investie. L'une de ces décharges a d'ailleurs causé la mort d'un chercheur, en mars de cette année (2).

Mais il n'est pas non plus certain qu'on ne revienne pas, dans un avenir proche, au terme de "fusion froide", car M. McKubre écarte l'hypothèse d'un phénomène chimique ou mécanique inconnu. Il ne peut donc rester qu'un phénomène physique, et que serait donc celui-ci ? Mais M. McKubre n'est pas devin, et rien ne prouve que ce ne soit pas quand même un phénomène chimique qui dégage de la chaleur. **G.M.**

(1) Voir *Science & Vie* n° 898, p. 56, et n° 901, p. 97.
(2) Voir *Science & Vie* n° 895, "Le mort de la fusion froide", p. 80.

ENVIRONNEMENT

Les aéroports sont mauvais pour la santé

Les pertes de réacteurs en vol ne sont pas le seul danger que l'aviation fasse courir aux Terriens ; vivre au voisinage d'un aéroport présente aussi des risques, comme en témoigne le rapport de la mission Bruit du ministère de l'Environnement : «Des études épidémiologiques ont montré qu'autour des aéroports l'apprentissage scolaire est moins facile et la consommation de médicaments accrue.»

Combien de personnes sont-elles affectées par la pollution sonore ? On ne le sait pas, mais elles seraient entre 300 000 et un million. D'où l'importance des normes internationales édictées en 1990 pour la réduction du bruit (qui dépend de la façon dont on pilote à l'atterrissage et au décollage) et le retrait progressif des avions trop bruyants. **G.M.**

● ***Un milliard de postes de télévision*** *dans le monde en 1992, soit à peu près un pour cinq personnes.*

● ***Hibernatus serait mort d'épuisement.*** *Il se serait endormi dans la neige et aurait péri gelé.*

(suite page 22)

ENVIRONNEMENT

La pollution tue-t-elle encore les gens ?

La pollution de l'environnement décime bien les arbres, mais tue-t-elle vraiment les gens ? demande un éditorial d'une revue qui n'est portée ni à la légèreté polémique ou provocatrice, ni à la sous-estimation de risques quelconques pour la santé, *The Lancet* (1).

Peu de cas confirment la responsabilité de la pollution dans l'accroissement de la mortalité, y est-il noté : Minamata (pollution de la baie du même nom, au Japon, par le mercure : 100 morts) et Bhopal (accident dans une fabrique d'insecticides en Inde, 2 000 morts par intoxication au méthyl isocyanate) sont, certes, des cas célèbres. Moins souvent évoqué, le smog de Londres et de New York a été accusé d'avoir aggravé de nombreuses maladies respiratoires. L'éditorialiste ne cite pas certaines autres villes où la pollution de l'air a atteint un taux alarmant : Pittsburgh, Sao Paulo, Mexico, Athènes...

Mais il relève que, dans un autre cas célèbre, celui de Seveso, en Italie, où de vastes quantités de dioxine, produit très toxique et soupçonné d'être cancérigène, furent accidentellement déversées dans l'environnement ; on n'a pas enregistré d'accroissement de la mortalité, et on n'a pas pu établir de lien certain entre trois cas locaux de sarcome et l'accident. Il est peu probable que ces conclusions soient faussées par une perspective trop courte, étant donné que, dans d'autres cas d'exposition à la dioxine, des études comportant un "suivi" des victimes pendant vingt ans n'ont montré que des accroissements négligeables de la mortalité par cancer.

Reprenant un autre cas célèbre, celui de l'agglomération de Love Canal, près de Niagara Falls, aux Etats-Unis, dont on découvrit un peu tard qu'elle avait été bâtie sur une décharge de pesticides organiques (benzène, trichloréthylène et dioxine), très toxiques eux aussi, *The Lancet* constate qu'on a bien enregistré des taux plus élevés de poids à la naissance inférieurs à la moyenne et de retards de croissance ; mais pas de taux anormaux de mortalité par cancer de n'importe quel type ou de dommages génétiques.

Dans les années soixante-dix, une étude pilote indiqua des taux de mortalité supérieurs à la moyenne dans le village de Shipham (Somerset), dans le Royaume-Uni ; le sol de ce village était fortement contaminé par un métal lourd toxique, le cadmium, sous-produit de l'extraction de zinc. Mais une vérification ultérieure détaillée infirma ces données. De même, une première étude qui indiquait des taux anormaux de cancers du poumon et du larynx près d'incinérateurs d'ordures ménagères fut ensuite infirmée.

Dans les années cinquante et soixante, des études à court terme sur les effets du smog à Londres et à New York conclurent qu'une réduction de 50 % des particules d'anhydride sulfureux abaisserait de 3 % les taux de mortalité pour toutes les tranches d'âge dans ces villes. Les exigences de la législation ont bien abouti à la réduction demandée de particules sulfurées ; mais pas à celle de la mortalité.

Egalement évoqué, le cas des nitrates dans l'eau, d'abord accusés de causer des cancers, puis innocentés par la suite, comme nous l'avions d'ailleurs rappelé à l'époque.

Les assertions du *Lancet* sont toutes référencées. Ce journal écrit : «D'après les preuves publiées, il est improbable que la pollution de l'environnement entraîne un net excédent de mortalité, et elle ne peut donc pas être responsable de variations dans les taux de mortalité des populations.» Mais l'éditorialiste estime qu'on ne peut être aussi affirmatif en ce qui concerne les effets non cancérigènes. Et il demande donc qu'à l'avenir les études épidémiologiques sur les effets de la pollution prennent en compte les effets de celle-ci sur la morbidité générale.

Ce rappel aux faits entraîne trois observations. La première est que, dans ce genre de domaines, il faut se garder des conclusions rapides et d'un alarmisme prématuré : seuls comptent les faits scientifiquement établis. C'est une preuve de plus que l'écologie doit être scientifiquement fondée. La deuxième est que la mortalité générale n'est pas et ne doit pas être le seul paramètre des effets de la pollution ; celle-ci peut être nocive sans être mortelle, et c'est là que la formule "qualité de vie" prend son sens le plus fort. La dernière est que l'être humain est, heureusement, plus résistant qu'on l'avait supposé. Ce qui ne signifie certes pas qu'il faille abuser de sa résistance. **G.M.**

(1) "Environmental pollution : it kills trees, but does it kill people ?", 3 octobre 1992.

● ***Un procès qui fera date :*** *celui intenté par "le Quotidien du médecin" à la revue médicale "Prescrire". Dénonçant le charlatanisme qui a cours dans la médecine, sous la forme de thérapeutiques qui n'ont pas fait leurs preuves scientifiquement et de procédés illusoires, notre confrère "Prescrire" avait attaqué "le Quotidien du médecin" en termes vifs. Celui-ci a intenté une action en justice pour diffamation, concurrence déloyale, préjudice d'ordre moral et d'ordre commercial.*

● ***46 % des motards ont une perte de l'audition.*** *Ce n'est pas le bruit du moteur, mais celui du vent qui en est la cause. Remède : utiliser des bouchons auriculaires, bien que la protection qu'ils assurent soit relative aux fréquences sonores inférieures à 500 Hz. Appel aux constructeurs de casques pour trouver un moyen, incorporé dans ceux-ci, de protéger l'ouïe des motards.*

"L'aventure fantastique" est un film de science-fiction qui, il y a quelques années, montrait les aventures d'humains devenus assez petits pour circuler dans le corps humain (et s'y battre avec des microbes). Les machines qui pourront jouer ce rôle sont déjà en chantier.

PROSPECTIVE

Des nanomachines plein le corps...

Plusieurs grandes firmes internationales, comme IBM et Xerox, et plusieurs laboratoires à l'université Stanford, au MIT et à CalTech, étudient actuellement la possibilité de réaliser des nanomachines d'une taille voisine de celle de macromolécules. L'une des applications possibles de la nanotechnologie serait d'injecter ces machines dans le sang pour accomplir certaines tâches thérapeutiques.

Par exemple, aller attaquer sur le terrain des cellules malades. Le projet n'est pas tellement utopique, puisqu'on a réalisé – nous l'avons annoncé dans notre n° 901 (p. 92) – une batterie cent fois plus petite qu'un globule rouge, soit 70 nanomètres, fournissant 20 millièmes de volt pendant quarante-cinq minutes. Ce n'est qu'un début. On pense pouvoir faire mieux. Les Japonais, qui ne sauraient manquer un train, ont alloué un budget d'un milliard de francs au développement de la nanotechnologie.

Le prophète de cette technologie (car il faut désormais un prophète pour chaque domaine scientifique qui se développe) est l'Américain K. Eric Drexler, auteur d'un ouvrage intitulé *Unbounding the Future* (libérer le futur) (1). Drexler fut l'un des premiers à décrire, au début de la décennie quatre-vingt, ce que pourraient être les produits de la nanotechnologie. Les résultats actuels lui donnent évidemment un certain crédit.

Dans une récente interview (2), Drexler imagine une grande variété de rôles possibles pour des nanomachines : détection précoce d'infections ou de troubles organiques à l'aide de senseurs chimiques spécifiques, mais aussi, ce qui est plus audacieux, réparations tissulaires ou même génétiques.

«Les machines agiraient comme de petits chirurgiens, qui atteindraient le cœur des cellules et répareraient les défauts de l'ADN.» Dûment programmées, ces nanomachines pourraient contribuer à restaurer des tissus spécifiques, du cardia aux os. Dans l'idéal, on peut imaginer que, conçues pour connaître exclusivement certaines cellules cancéreuses, elles pourraient également pénétrer ces cellules pour les détruire sans endommager les saines – vieux rêve des cancérologues. Drexler utilise le terme de "machines moléculaires" de préférence à celui de "nanomachines".

On peut se demander quelle est la différence entre les molécules artificielles qui constituent nos médicaments actuels et ces machines moléculaires. Drexler en entrevoit déjà au moins une : une mobilité supérieure. Imitant certaines bactéries, qui utilisent un appareil locomoteur rotatoire, les machines moléculaires pourraient être dotées d'un système de locomotion qui leur permettrait d'accéder mécaniquement à des régions moléculaires difficilement pénétrées par les molécules chimiques, qui dépendent, elles, de la circulation du sang et des échanges cellulaires. On obtiendrait donc des effets plus profonds et plus rapides qu'avec les molécules actuelles.

D'aussi belles spéculations peuvent laisser sceptique. Mais des réalisations comme celle que nous citions au début de ces lignes devraient aussi tempérer ce scepticisme. On ne peut évidemment prévoir une date de mise sur le marché de ces machines. **G.M.**

(1) William Morrow éd., New York.
(2) *Longevity*, avril 1992.

(suite page 24)

PHYSIOLOGIE

Sexualité et hormones : le rapport n'est pas celui auquel on s'attendait

Il faudra sans doute nuancer une vieille idée selon laquelle des taux élevés d'hormones sexuelles, testostérone pour l'homme et œstrogènes pour la femme, seraient les facteurs de déclenchement du désir sexuel. Ce serait plutôt l'inverse.

Le rôle physiologique de ces hormones n'est pas remis en cause par l'étude américaine (1) qui invite à cette révision. Chez l'adulte mâle, les androgènes provoquent, entre autres effets, un catabolisme élevé des graisses et favorisent l'augmentation de la masse musculaire et osseuse ; chez la femme, les œstrogènes règlent le cycle sexuel. Mais ce sont leurs effets sur le déclenchement de l'activité sexuelle qui sont contestés.

En effet, on n'observe aucune élévation des taux respectifs d'hormones sexuelles chez les hommes et les femmes dans les heures précédant l'activité sexuelle. En revanche, et c'est le plus singulier, on observe une augmentation après celle-ci. Elle est bien moindre chez l'homme (7 % de plus de testostérone) que chez la femme (42 % de plus d'œstrogènes).

On s'est demandé si ce ne serait pas l'effort physique qui causerait cet accroissement. En effet, l'exercice physique tend à élever provisoirement les taux d'hormones sexuelles. Mais il n'en est rien, car faire l'amour n'exige certes pas un effort aussi intense qu'une heure de natation ou d'équitation... **G.M.**

(1) James Dabbs et Suzanne Mohamed, *Physiology & Behavior*, vol. 52.

MÉDECINE SPATIALE

L'espace modifie aussi l'oreille

L'étude des effets sur l'organisme de séjours prolongés dans l'espace progresse. On savait que ces séjours entraînent des troubles de l'orthostatisme, avec vertiges et défaillances musculaires des membres inférieurs, des troubles du rythme cardiaque et de la pression artérielle, une certaine décalcification, des anomalies dans la multiplication des cellules, des troubles rénaux...

Mais on vient aussi de découvrir qu'ils entraînent chez l'animal un accroissement notable des terminaisons nerveuses ou synapses de l'oreille interne, notamment dans la région qui est sensible à la gravité, ce qui permet de conserver une posture verticale.

En irait-il de même des cellules cérébrales ? **G.M.**

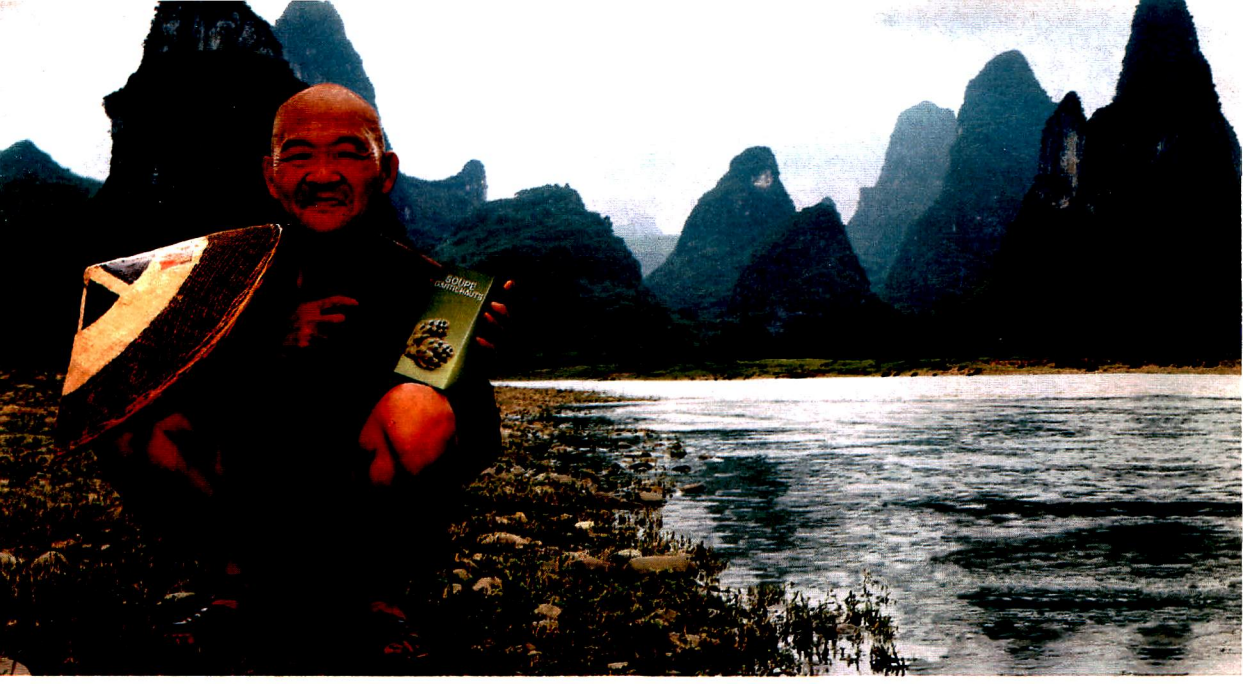
(suite)

● ***L'hémispère nord pourrait encore se refroidir*** *jusqu'en 1994 ou 1996. L'écran solaire créé par les poussières de l'éruption du volcan Pinatubo provoquerait une interruption momentanée du réchauffement dû au gaz carbonique lâché dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle.* *(Voir aussi notre article p.58.)*

● ***Homéopathie et Europe :*** *le Parlement européen a, dans une récente directive, demandé qu'on astreigne les produits homéopathiques aux mêmes normes que les médicaments. Etant donné que cela inclurait ces produits dans les médicaments proprement dits, la Fédération européenne des sociétés de pharmacologie proteste et déclare que ce serait là encourager l'homéopathie. Il faut relever que les attitudes à l'égard de l'homéopathie varient considérablement d'un pays à l'autre : alors qu'au Portugal, en Norvège et en Belgique les médecins sont libres de prescrire des produits homéopathiques, les Pays-Bas, en accord d'ailleurs avec une directive des Communautés européennes, ont interdit toute mention d'une indication thérapeutique.*

● ***Jacot, le perroquet du Dr Albert Schweitzer,*** *est mort en octobre dernier d'une crise cardiaque. Recueilli au Gabon par le célèbre prix Nobel de la paix 1952, Jacot parlait un peu français et des bribes de patois bâlois et africain, et il aimait chanter des airs des Beatles. Cette information apparemment déplacée ici sert d'amorce à un prochain article sur l'intelligence des perroquets.*

(suite page 26)



Faire avancer le monde, sans faire reculer la terre.

Faire avancer le monde, c'est permettre à chacun d'accéder à toutes les richesses naturelles. Les emballages Tetra Brik préservent les valeurs nutritives et gustatives des aliments en les protégeant de l'air et de la lumière. Ne pas faire reculer la terre, c'est pour Tetra Pak avoir une démarche globale de protection de l'environnement :

La réduction à la source est essentielle.

Éliminer les déchets c'est bien. Utiliser le moins possible de matières premières dès l'origine, c'est mieux : un emballage Tetra Brik d'un litre ne pèse que 28 g. De plus, il est principalement fabriqué à partir du bois, matière première constamment renouvelée. Ainsi les forêts scandinaves et françaises progressent, on y plante plus d'arbres que l'on en utilise.

Le recyclage : notre filière utilise déjà trois techniques.

TECHNIQUES DE RECYCLAGE	PROCÉDÉS UTILISÉS	VALORISATION FINALE
Séparation des matériaux : - *Carton* - *Polyéthylène/aluminium*	Repulpage Séparation/Extrusion	Papiers d'emballages recyclés, essuie-tout, boîtes à œufs... Granulés pour injection...
Agglomération	Broyage/chauffage/ compactage	Panneaux thermoformables résistants à l'eau, destinés aux industries de la construction et du meuble.
Recyclage énergétique	Incinération propre	2 tonnes d'emballages Tetra Brik = 1 tonne équivalent pétrole. 20 % des emballages Tetra Pak sont recyclés énergétiquement.

Tetra Pak allie les performances de ses emballages avec le respect de l'environnement. Car le monde de demain voudra le meilleur. Pensons-y.

TETRA PAK

Tout reste intact.

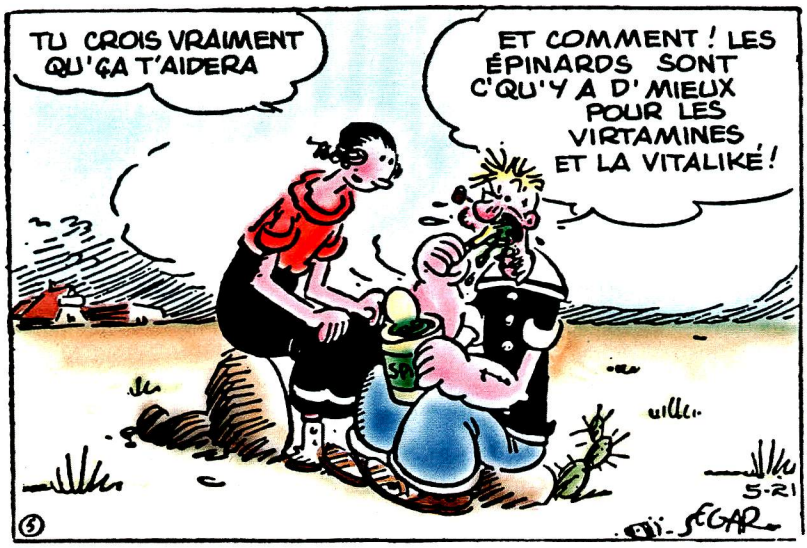
36 14 TETRA PAK - TEL. : (1) 47 58 95 00

Faure Vadon Forest

PHYSIOLOGIE

Popeye est en danger !

La surcharge en fer dans le sang est plus dangereuse que l'excès de cholestérol. Selon une équipe de chercheurs finlandais (1), et au terme d'une étude de huit années portant sur 1 931 hommes, il semble bien que cette surcharge constitue un risque élevé d'accident cardio-vasculaire.



Cette découverte, car c'en est une, changerait donc radicalement les notions admises sur l'utilité du fer dans le sang. Pendant des décennies, en effet, on a postulé que le fer était utile, parce qu'il prévient l'anémie, ce qui est exact, à la condition que ses taux demeurent dans les normes. On a donc surchargé, aux Etats-Unis, les aliments industriels (pain, céréales du petit déjeuner, conserves diverses) en fer, pour "fortifier" les consommateurs. Le symbole de cette fortification, dès les années trente, fut le célèbre personnage de dessin animé Popeye, connu aussi en France sous le nom de Maturin le Marin, qui, dès qu'il se trouvait en danger, ouvrait une boîte d'épinards qu'il avalait sur-le-champ parce que les épinards sont riches en fer.

En réalité, Popeye, s'il suit toujours ce régime, est en danger d'infarctus, parce que, en cas de stress, c'est exactement le contraire qu'il devrait faire : éliminer son fer ! Selon la théorie bâtie par les Finlandais, les atomes du fer qui se trouve dans les globules rouges seraient libérés de façon explosive lorsque les tissus sont stressés et qu'ils manquent d'oxygène (c'est-à-dire qu'ils font justement appel à un surplus de globules rouges, porteurs d'oxygène). Sur leur trajectoire, les atomes de fer expulsés arracheraient aux autres atomes des électrons solitaires, responsables de la formation de ce qu'on appelle des radicaux libres. Un électron ne reste pas libre longtemps ; il va se fixer rapidement là où il le peut, cassant à l'occasion les liaisons qui assurent la cohésion des molécules. Les atomes de fer seraient comparables à des balles perdues dans un magasin de verrerie, qui feraient voler au hasard des éclats de verre (les radicaux libres). Il y a plusieurs années que les radicaux libres sont soupçonnés d'être responsables de la dégradation des tissus et du vieillissement par altération de l'ADN, qui devient incapable de se répliquer correctement.

La découverte finlandaise ne tombera pas dans l'oreille d'un sourd, comme il advient parfois à des idées trop déconcertantes. On sait en effet depuis 1988 que les gens atteints d'une maladie héréditaire, l'hémochromatose, caractérisée par une surcharge ferrique, sont plus exposés que la moyenne à des accidents cardio-vasculaires. On ne parvenait pas à expliquer vraiment pourquoi.

On saisit en tout cas mieux pourquoi les accidents cardio-vasculaires sont plus fréquents le matin : parce que c'est le moment de la journée où le taux de fer dans le sang est le plus haut. Et peut-être comprendra-t-on l'énigme que posent les gens qui font des accidents cardio-vasculaires alors que leur taux de cholestérol est normal ; ce qui, d'après une enquête américaine, est le cas de deux hommes sur trois et de quatre femmes sur cinq.

On savait aussi que la surcharge en fer peut avoir d'autres effets néfastes, après les travaux expérimentaux sur des rats réalisés en 1987 à l'université de Birmingham : dans deux groupes de rats, ceux qui reçoivent un régime alimentaire pauvre en fer sont nettement moins exposés aux formes sévères de l'arthrite.

Nouvelle norme des taux de fer dans les analyses de sang : une personne saine ne devrait pas avoir plus de 200 microgrammes de cette substance par litre de sang. Un taux à surveiller au moins aussi étroitement, sinon plus, que celui de cholestérol.

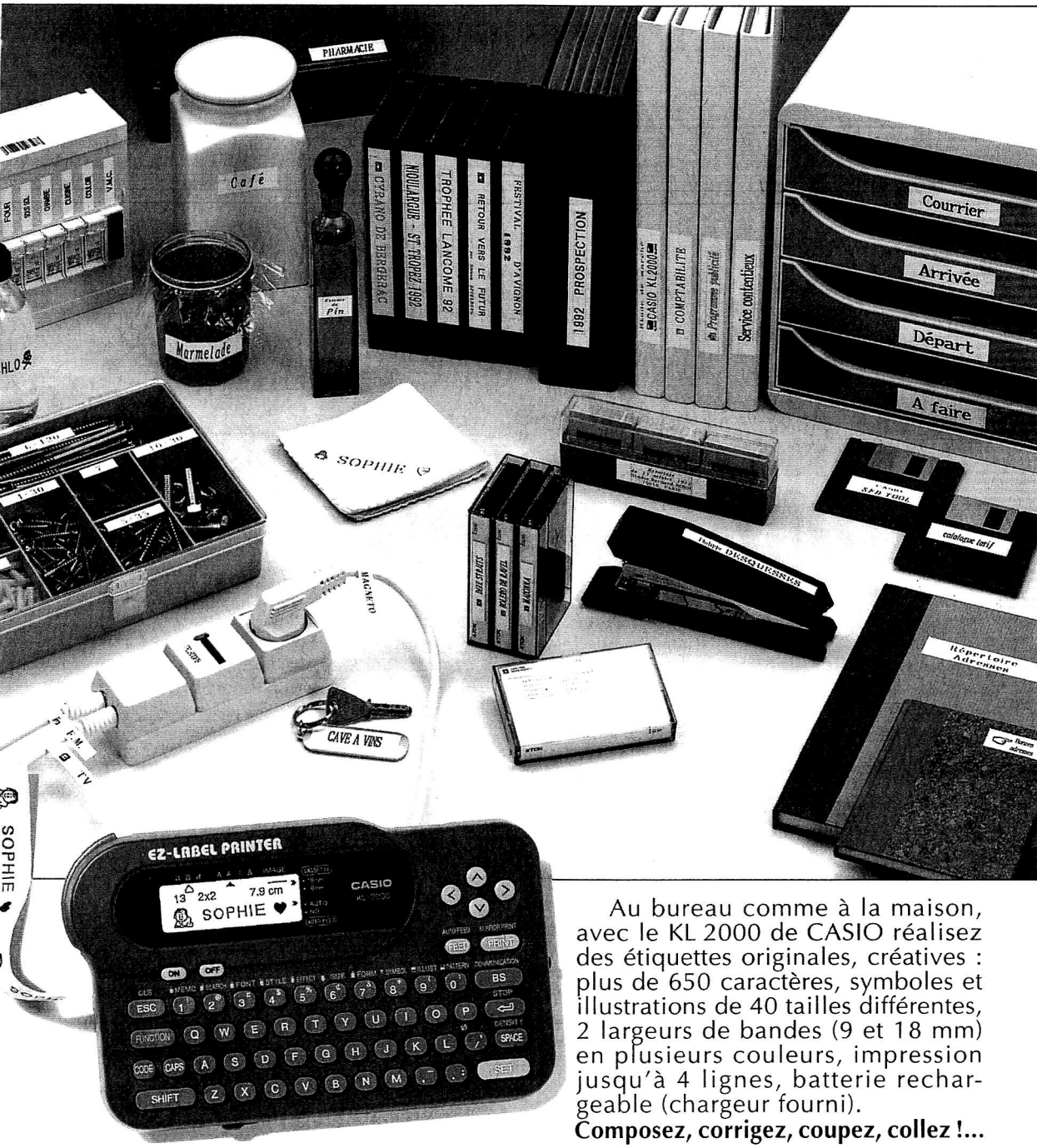
La famille des chélateurs du fer, substances utilisées pour éliminer l'excédent de ce métal dans l'organisme, est donc promise à un bel avenir.

G.M.

(1) Enquête dirigée par Jukka Salonen, de l'université de Kuopio, publiée dans *Circulation*, organe de l'American Heart Association, 8 septembre 1992.

(suite page 28)

UNE ÉTIQUETEUSE CRÉATIVE QUI A DU CARACTÈRE.



Au bureau comme à la maison, avec le KL 2000 de CASIO réalisez des étiquettes originales, créatives : plus de 650 caractères, symboles et illustrations de 40 tailles différentes, 2 largeurs de bandes (9 et 18 mm) en plusieurs couleurs, impression jusqu'à 4 lignes, batterie rechargeable (chargeur fourni).

Composez, corrigez, coupez, collez !...

ÉTIQUETEUSE ÉLECTRONIQUE **KL 2000** **CASIO®**

Agent exclusif : NOBLET S.A. - 1, boulevard Charles-de-Gaulle - 92707 COLOMBES CEDEX - Vente en magasins spécialisés, grands magasins et papeteries.

BRICK CONNO

ENTOMOLOGIE

Abeilles saoûles

Il y a des abeilles alcooliques. Elles meurent plus jeunes et sont rejetées par leurs congénères. Telle est la triste vérité, découverte par un entomologiste australien.

Quand une abeille ramène du nectar à la ruche, elle le régurgite pour en enrichir les réserves que les ouvrières transforment en miel. Or, d'après Errol Hassan, de l'université du Queensland, à Brisbane (1), si les abeilles ne contrôlent pas les conditions d'humidité et de chaleur qui règnent dans la ruche, ce nectar, qui contient de 40 à 50 % de sucre, se met à fermenter ; à son tour, le miel qui en est tiré devient un peu aqueux et fermente aussi pour produire une sorte d'hydromel. Selon Hassan, c'est du miel fermenté qui aurait justement donné aux peuples de l'Antiquité l'idée de l'hydromel, une boisson fabriquée avec du miel fermenté, de l'eau, de l'orge, de la levure et des épices. De plus, dans les pays chauds, le nectar peut fermenter sur la fleur même, et c'est donc un nectar déjà alcoolisé que l'abeille ramène à la ruche. La teneur en alcool du miel produit avec ce nectar est donc encore plus élevée.

Les abeilles qui consomment du nectar déjà fermenté sont intoxiquées tout comme un humain, selon Hassan. Elles ont de la difficulté à coordonner leurs mouvements, parfois elles tombent tout net, ou bien heurtent des murs et des fenêtres et, pis encore, ne retrouvent plus le chemin de la ruche. Bizarrement – mais Hassan ne l'explique pas –, bien qu'elles aient été, à la sortie de la ruche, marquées avec une phéromone de reconnaissance qui "signe" leur appartenance à l'essaim, elles sont rejetées par les gardiennes quand, par chance, elles parviennent quand même à retrouver leur chemin. Elles sont alors victimes des prédateurs. On peut se demander si ce ne serait pas parce que l'alcool modifie la phéromone de reconnaissance. Si le nombre d'abeilles ainsi rejetées est élevé, c'est la survie de la ruche tout entière qui se trouve compromise, parce que la production de miel baisse.

Ce phénomène a aussi été observé au Kenya par Andrew Kahenya, le chercheur associé à Hassan. En effet, pendant la saison sèche, les abeilles y sont parfois obligées de voyager très loin à la recherche de nectar et, pour leur éviter cette dispersion, les apiculteurs mettent à leur disposition des réserves de sucre. Malheureusement, ce sucre fermente. La solution consisterait, dans les pays très chauds, à offrir aux abeilles des sources de sucre qui ne fermenterait pas. G.M.

(1) New Scientist, 8 août 1992.

ENVIRONNEMENT

La pollution atteint aussi les fœtus

Le fœtus peut être intoxiqué par le plomb présent dans l'eau, l'air et l'alimentation : tel est le constat d'une étude française récente.

Celle-ci a été menée par l'unité 169 de l'INSERM de Villejuif, sur une population de 110 femmes ayant accouché à la maternité d'Haguenau (dans le Bas-Rhin). Pour chaque mère, les enquêteurs ont d'abord établi l'historique familial, culturel et socio-professionnel. Ils ont collecté avec précision les informations médicales concernant le déroulement de la grossesse et surtout la date de l'accouchement.

«Les prématurés (moins de 37 semaines) sont souvent en retard dans l'apprentissage de la marche ou du langage par rapport aux enfants nés à terme. Pour bien différencier l'impact du plomb sur le développement psychomoteur, il fallait donc d'emblée éliminer ce biais d'enquête», dit Nadine Fréry, de l'unité en question. En effet, l'intoxication au plomb ou saturnisme perturbe le développement des nourrissons et cause un retard psychomoteur durant les six premières années de leur vie.

C'est le prélèvement d'une touffe de cheveux sur la mère et son bébé, le jour de l'accouchement, qui a permis de déterminer l'exposition prénatale au plomb. En effet, les cheveux concentrent régulièrement le plomb tout au long de leur croissance.

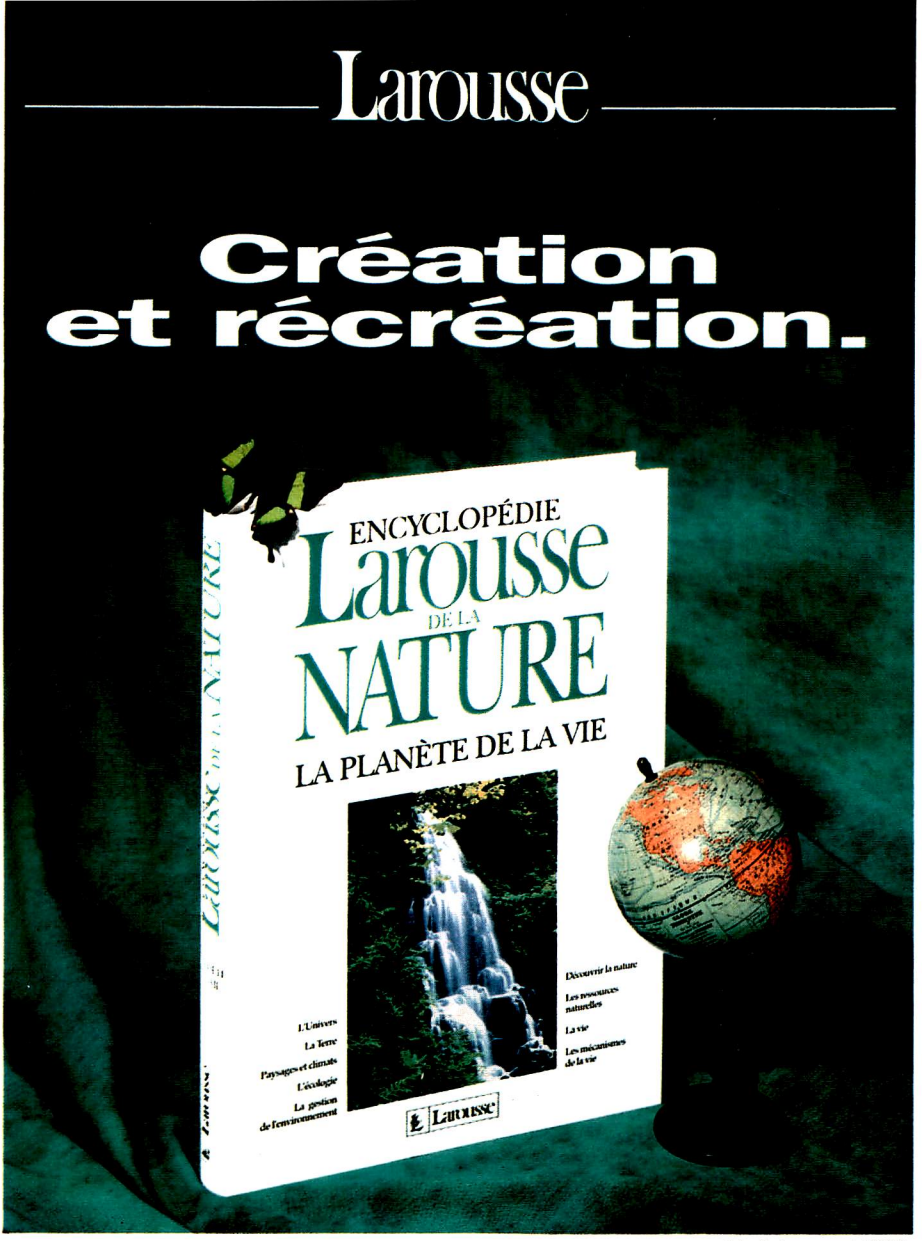
Six ans plus tard, 81 des 110 enfants ont été soumis au test de psychomotricité de MacCarthy. Ce test comporte différents paramètres, de la richesse du langage à la position de la tête en passant par la capacité de mémorisation. Il permet d'établir un score équivalent au QI. Il a confirmé que l'exposition intra-utérine au plomb est associée à une diminution des fonctions cognitives générales, des performances verbales et des capacités de mémorisation. Les enfants les plus contaminés (ceux dont la concentration en plomb dans les cheveux est supérieure à 15 ppm) accusent un retard de 16 points sur 100 par rapport aux moins contaminés (4 ppm).

C'est d'autant plus significatif que cet échantillon est représentatif de la population infantile française. Il en ressort que les effets du plomb sur la population auraient été sous-estimés. Aux Etats-Unis, déjà, la législation a révisé à la baisse les normes en vigueur. Un jeune Américain de moins de 6 ans sur neuf présente une plombémie anormale (la plombémie est le taux de plomb dans le sang). En France, la Direction générale de la Santé envisage à son tour d'abaisser le seuil de plombémie admissible. Reste à savoir comment réduire toutes les sources de plomb dans l'environnement. D.D.

(suite page 30)

Larousse

Création et récréation.



Prix de lancement 250 F.

"Les rapports de l'homme et de la nature, la protection de l'environnement, la vie sur Terre. Toutes ces questions plus que jamais d'actualité, je me les posais depuis toujours. Et puis, j'ai découvert l'Encyclopédie Larousse de la nature, une toute nouvelle encyclopédie. La première qui me permet enfin de tout comprendre, d'y voir plus clair, et de faire le point. Avec l'Encyclopédie Larousse de la nature, je trouve enfin réponse à mes questions. Et, bien sûr, avec Larousse c'est complet, bien présenté et superbement illustré. Pour Larousse, expliquer l'essentiel et donner envie de comprendre sera toujours au goût du jour."

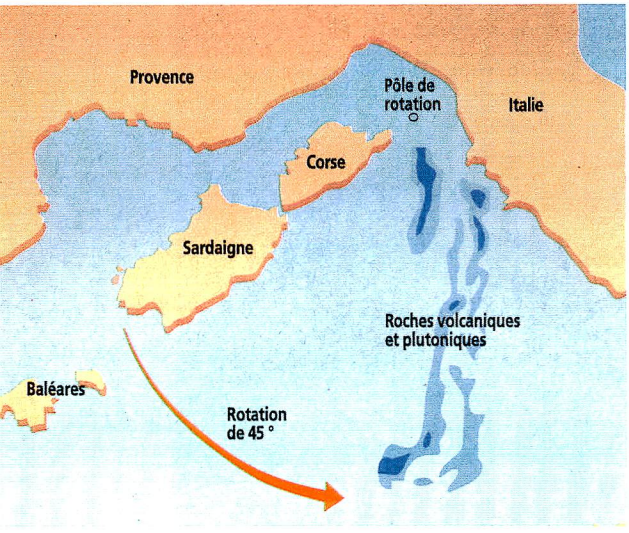
JE SÈME À TOUT VENT

Larousse de la nature, la vraie nature de la vie.

GÉOLOGIE

La Corse se rapproche

Il y a 21 millions d'années qu'existent des tensions entre la Corse et le continent. Elles se traduisent actuellement par une "tentative de rapprochement" de la Tête du Maure et de la Riviera française.



La Corse et la Sardaigne, il y a 21 millions d'années (les profils côtiers étaient différents, le niveau des mers l'étant aussi). La rotation vers l'est de l'ensemble Corse-Sardaigne a créé, à gauche, une distension et à droite, une compression avec surgissement de roches volcaniques et plutoniques.

Cette tendance a été vérifiée par les équipes de l'Institut de géodynamique de Sophia-Antipolis et de Villefranche-sur-Mer, en collaboration avec une équipe allemande et une italienne, après mesure de séismes de type "compressif", c'est-à-dire dus à des compressions entre deux blocs dans le bassin dit liguro-provençal.

On savait depuis longtemps que les continents africain et européen se rapprochent, et on savait aussi qu'au sein de la zone de compression ainsi créée en Méditerranée il existe un secteur où se produit un effet contraire qui est la distension. Cette zone est justement le bassin liguro-provençal, qui a commencé à se former entre la Corse et le continent il y a 21 millions d'années.

Auparavant, en effet, l'ensemble Corse-Sardaigne était aligné sur la côte de Provence. Puis il aurait tourné de 45 ° vers l'est, créant le bassin algéro-provençal, au nord duquel se trouve le liguro-provençal.

Cette distension se poursuit-elle ? Il semblerait qu'elle se soit déplacée vers le sud, c'est-à-dire vers la mer Tyrrhénienne, et que la Corse et la Sardaigne tendent à se rapprocher du continent. C'est ce qu'indiquent les effets des microséismes qui ébranlent régulièrement la région ; en effet, quand un séisme est provoqué par une distension, la terre descend et lorsqu'il est provoqué par une compression, la terre monte. Or des observations montrent que la terre monte là où elle descendait auparavant.

Une soixantaine d'instruments ont été installés cet automne autour du bassin liguro-provençal et au fond de l'eau, pour mesurer l'activité sismique. L'IFREMER a aussi tiré quelques coups de canon à air comprimé, qui provoquent des microséismes et qui permettent d'étudier ceux-ci de manière expérimentale. **M.T.**

PHYSIQUE

Le plus puissant rayon laser du monde

Il a été réalisé par une équipe franco-américaine à l'université du Michigan. La puissance délivrée pendant une fraction de picoseconde était de 55 térawatts, soit 100 fois l'ensemble du courant électrique produit sur l'ensemble des Etats-Unis.

Les travaux qui ont mené à cette réussite visent à exploiter un phénomène encore mal compris : des impulsions laser très puissantes émises dans un plasma créent des ondes de choc capables d'accélérer des électrons à des vitesses proches de celle de la lumière.

Trois applications pourraient en découler : d'abord, la construction d'accélérateurs de particules de taille très réduite, du volume d'une chambre, par exemple, au lieu des gigantesques circuits actuels ; ensuite, la mise au point d'un laser à rayons X qui permettrait d'observer le fonctionnement de la matière vivante à l'échelon moléculaire et même atomique ; enfin, la réalisation d'un système de déclenchement de la fusion thermonucléaire à de moindres pressions que celles qui sont actuellement nécessaires.

Le secret de cette puissance réside dans la technique des impulsions très brèves, mise au point par les chercheurs. Ces impulsions sont d'abord amplifiées, puis comprimées. La section du rayon laser peut alors être inférieure à celle d'un cheveu. Le groupe français était dirigé par Claude Sauteret. L'objectif actuellement poursuivi est d'arriver à une puissance de 1 000 tW. **G.M.**

(suite page 35)

GAGNEZ 45 000 F EN 45 SECONDES

PHOTOS : FREDERIC MIOT

Financer vos études, assurer votre santé, vous proposer des services adaptés... La Caisse d'Epargne et la MNEF ont associé leur savoir-faire pour faciliter votre vie d'étudiant. Mais parce qu'on n'en fait jamais assez, nous avons décidé d'organiser un grand concours pour qu'une simple idée suffise à vous faire gagner des CARTES MNEF CAMPUS, des abonnements au nouveau magazine TALENTS et jusqu'à 45 000 F en moins de temps qu'il n'en faut pour lire ce texte. Alors pour en savoir plus, tournez vite cette page...

CAISSE D'EPARGNE

MNEF

Ensemble pour faciliter votre vie d'étudiant.

avec la participation de COMMUNICATION

ENSEMBLE POUR VOUS FAIRE GAGNER

Notre grand concours est simple. Il vous suffit pour gagner, d'imaginer notre prochain film de pub. Il doit illustrer notre slogan: "Caisse d'Epargne et MNEF. Ensemble pour faciliter votre vie d'Etudiant". Ce film présentera la multiplicité des services que nous proposons aux étudiants (voir pages suivantes) sous forme de 5 dessins reprenant les moments clés et d'un résumé en 150 mots maximum (le dernier dessin reprendra obligatoirement notre slogan). A titre d'exemple, regardez ci-contre le scénario et le résumé du film SATELLIS ECUREUIL. C'est Christian BLACHAS (CB NEWS , CULTURE PUB M6) qui présidera le Jury final désignant le lauréat. Son scénario sera ensuite tourné par une équipe de professionnels et paraîtra sur les écrans cinéma au printemps 1993. Oui ! Vous avez bien lu, votre film, demain sur les écrans ! Le cachet du lauréat : 45 000 F offerts par la Caisse d'Epargne. 99 autres prix seront décernés : 20 000 F, 10 000 F et 97 prix de 1000 F. Et pour chacun d'entre eux une CARTE MNEF CAMPUS et un abonnement d'un an au magazine TALENTS.

4 bons plans pour réussir votre film !

- La force : convaincre que les services Caisse d'Epargne/MNEF facilitent la vie de chaque étudiant.
- La concision : convaincre en 45 secondes.
- L'originalité : imprégner les mémoires.
- Le ton : apte à convaincre les étudiants.

EXEMPLE DE SCENARIO DU FILM SATELLIS ECUREUIL

L'action se situe dans une agence de la Caisse d'Epargne où une jeune conseillère reçoit un de ses clients. Pour expliquer le système du compte-chèques SATELLIS ECUREUIL, elle le compare à un grand baobab central. Sur le bureau de la conseillère, un petit singe dans un bonsaï. Le petit singe nous entraîne sur un vrai baobab dans la forêt équatoriale. Le client évolue de liane en liane et rejoint la conseillère sur une branche. Celle-ci explique au client qu'avec ses lianes, il est relié au baobab livret A, au baobab placements, crédits et cartes bancaires qui sont ses baobabs périphériques. Avec SATELLIS il peut maîtriser les mouvements de son argent, qu'il ait besoin d'argent ou qu'il en mette de côté.

N'HESITEZ PAS A NOUS FAIRE DES HISTOIRES !

Maintenant, il ne vous reste plus qu'à suivre votre inspiration pour remplir les cases ci-dessous ou **utiliser un papier libre 21 x 29,7 cm** comportant tous les renseignements demandés sur le bulletin de participation. La qualité de vos dessins n'entre pas en ligne de compte dans l'appréciation du Jury. Seule votre idée l'intéresse.

CAISSE D'EPARGNE

Ensemble pour faciliter votre vie d'étudiant.

BULLETIN DE PARTICIPATION

à renvoyer au plus tard le 31-12-92 (cachet de la poste faisant foi) à :
Concours Caisse d'Epargne/MNEF - Cedex 3749 - 99374 PARIS Concours

Nom : (Mme/Mlle/M) .....

Prénom : ..... Date de naissance : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

Etudes suivies : .....

Etablissement : .....

VOTRE SCENARIO

(150 mots maximum articles compris)

Extrait de règlement : Le Centre National des Caisses d'Epargne, GIE régi par l'ordonnance du 23-09-1967 RC 328 000 047 siège social : 5 rue Masseran 75007 Paris, et la MNEF Mutuelle Nationale des Etudiants de France, Société Mutualiste n° 75 4498 approuvée par arrêté du Ministère du Travail et de la Sécurité sociale du 17-12-1948, siège social : 22 Bd Saint-Michel 75006 Paris organisent du 14 Novembre au 31 Décembre 1992 un concours gratuit et sans obligation d'achat intitulé "Gagnez 45 000 F en 45 secondes". Participation ouverte à tous les étudiants de 18 à 28 ans, régulièrement inscrits dans un établissement d'enseignement supérieur (public ou privé) et résidant en France, à l'exclusion de ceux appartenant aux familles de la Caisse d'Epargne, de la MNEF, de leurs filiales et de leurs conseils. Le Jury sera constitué de réalisateurs, de scénaristes et le Jury final désignant le lauréat sera composé de réalisateurs, de scénaristes, de publicitaires, de représentants de la Caisse d'Epargne et de la MNEF, d'étudiants membres du Conseil de la Fondation de la Création Etudiante (FCE) et sera présidé par Christian BLACHAS (CB News, Culture Pub M6). Sa décision sera souveraine. Il ne sera admis qu'un seul scénario par signataire (un seul signataire participant). En contrepartie des prix qui leur sont attribués, les 100 gagnants cèderont à titre forfaitaire l'intégralité de leurs droits sur les scenarii à la Caisse d'Epargne et la MNEF pour toute utilisation qui pourrait en être faite ultérieurement et quel que soit le média. Règlement complet, remboursement du timbre pour la participation et pour le règlement (tarif lent - de 20 g) sur simple demande faite à l'adresse du concours au plus tard le 31-12-92.
N'hésitez pas à consulter dans les moindres détails toutes les informations que vous trouverez au dos.

L'ASSOCIATION CAISSE D'EPARGNE/MNEF CE N'EST PAS DU CINEMA !

Les besoins d'un étudiant sont multiples (financement des études, assurances, santé, stages en entreprises...)

La Caisse d'Epargne et la MNEF ont associé leur savoir-faire pour faciliter votre vie d'étudiant.

La Caisse d'Epargne vous propose des solutions financières spécifiques et privilégiées destinées à vous permettre de mener à bien vos études.

LE COMPTE SATELLIS ECUREUIL

Pour régler vos dépenses :
- *La Carte Bleue Ecureuil*
- *Le chéquier Ecureuil*

Pour faire face à vos dépenses de rentrée :
- *L'Avance Financière de Rentrée* vous permet de prendre en charge des frais d'inscription, d'installation, carte de transport, livres, etc.

Pour mettre de l'argent de côté :
- *Libre-Epargne Ecureuil* pour vous constituer automatiquement une épargne bien rémunérée et sans impôt sur la formule d'épargne de votre choix : Livret A, Codevi, Plan Epargne Logement,....
- *Libre Service Satellis Ecureuil* pour piloter vous-même, avec votre Carte Ecureuil (Visa, Bleue, Satellis,....), les virements de votre compte-chèques sur vos livrets d'épargne et vice-versa à partir des automates de votre Caisse d'Epargne.
- *Le Service Minitel Télécureuil* pour effectuer des opérations bancaires (consultations, virements) en toute tranquillité depuis votre domicile.

Pour suivre vos comptes :
- *Les relevés de compte, le Libre Service Satellis Ecureuil, le service Minitel Télécureuil* pour vous permettre d'être informé sur vos comptes en permanence.
- *Phonécureuil :* votre compte au bout du fil 24h/24 sur simple appel téléphonique.

LE CREDIT ETUDIANT ECUREUIL

Pour financer vos études à des conditions avantageuses : montant jusqu'à 80 000 F avec remboursement différé possible sur 5 ans maximum (+ 1 an pour Service Militaire). Durée du prêt : 10 ans maximum.
Et autres crédits : voyage, achat voiture...

Dès votre entrée dans l'enseignement supérieur, la MNEF prend en charge vos besoins en matière de santé et de vie quotidienne. La MNEF assure directement le remboursement de vos frais médicaux par l'intermédiaire de ses 55 agences réparties dans toutes les villes universitaires.

DES GARANTIES COMPLEMENTAIRES

La Sécurité Sociale ne rembourse pas l'intégralité de vos frais médicaux. La MNEF propose donc une gamme de Garanties Santé qui complètent en partie ou en totalité les remboursements de la Sécurité Sociale.

LA CARTE MNEF CAMPUS

Pour 200 F par an, la CARTE MNEF CAMPUS vous procure les assurances et les services indispensables à votre vie d'étudiant : une assurance universitaire qui vous protège 7 jours sur 7, une assistance médicale 24h/24 dans le monde entier (prestations effectuées par EUROP ASSISTANCE), une assurance examens pour financer une nouvelle année d'études en cas de coup dur, des offres de stages en entreprise, des conseils juridiques gratuits, des informations sur les filières d'études et les métiers qui vous intéressent, de nombreuses réductions (cinémas, théâtres, voyages, séjours sportifs et linguistiques, cours de conduite..), et bien sûr des avantages financiers dans les Caisses d'Epargne.

Pour plus d'informations, tapez 3615 MNEF.

CAISSE D'EPARGNE

MNEF

Ensemble pour faciliter votre vie d'étudiant.

GÉNÉTIQUE

Le gène Alzheimer est aussi sur le chromosome 14...

Les progrès dans la connaissance du génome avaient permis de former l'hypothèse suivante : la maladie d'Alzheimer, ou démence sénile précoce, serait favorisée par deux gènes situés l'un sur le chromosome 19, l'autre sur le 21. Mais les biologistes pensaient que ces deux gènes n'expliquaient pas tout. Ils avaient raison.

Une équipe dirigée par G. Schellenberg, à l'école de médecine de l'université de Washington, avait, en effet, suivi neuf familles où la maladie en question sévissait de façon apparemment héréditaire et, de plus, précoce.

Or, dans ces familles, les chromosomes 19 et 21 étaient normaux. Il devait donc exister un gène défectueux situé sur un autre chromosome ; mais lequel ?

Il y a quelques années, la recherche d'un tel gène parmi les 100 000 environ que compte l'ensemble de nos chromosomes eût été impensable. Mais on a identifié, le long de l'ADN, de plus en plus de balises – ou marqueurs. Ces marqueurs se transmettent de façon spécifique selon les lois de l'hérédité. En particulier, plus ils sont proches les uns des autres (en termes de distance génétique), plus il y a de chances pour qu'ils aient été transmis ensemble par les géniteurs.

La maladie d'Alzheimer se caractérise par des dépôts anormalement abondants d'une protéine, la protéine ß-amyloïde, qui se trouve dans les tissus nerveux des individus sains, mais qui est présente sous la forme de véritables paquets, et sous des formes "enrichies" ou hypertrophiées chez les malades.

On avait déjà établi que le gène anormal de cette protéine se situait sur le chromosome 21. Toutefois, l'une des causes de la maladie d'Alzheimer devait bien se retrouver sur un autre chromosome chez les malades dont les chromosomes 19 et 21 étaient normaux. Pour le savoir, les chercheurs ont observé comment se transmettent, dans les familles de malades, les différents marqueurs existant. Si un marqueur est toujours associé à la maladie, c'est que le gène responsable se situe dans son environnement proche. C'est ainsi que l'équipe de Seattle a pu situer celui de la maladie d'Alzheimer sur le chromosome 14, dans une région qui comprend de 50 à 100 gènes.

On a donc de la sorte restreint considérablement le terrain de recherches, et l'on devrait, dans un avenir prévisible, définir exactement ce gène, et déterminer s'il est lié à la protéine ß-amyloïde.

La maladie d'Alzheimer affecte actuellement 1 million de Français. Elle est irréversible. On peut imaginer que, dans un avenir plus ou moins éloigné, l'identification du gène fautif permettra une détection précoce de la maladie et, éventuellement, ouvrira la voie à un traitement génique.

● ***Neutrons contre sida :*** *pour la première fois, grâce à une méthode d'observation des très petites structures, la diffusion neutronique à petits angles, on a rendu visible la structure spatiale de l'enzyme transcriptase inverse qui contrôle la réplication du virus du sida. Cette prouesse a été réalisée par une équipe internationale à l'institut Laue-Langevin de Grenoble.*

● ***Peste : le risque d'épidémie existe toujours*** *dans les pays en voie de développement (comme l'a rappelé celle qui sévit au Zaïre), mais il est presque négligeable dans les autres pays, en raison de l'hygiène. On a bien enregistré en octobre, aux Etats-Unis, un cas de peste pulmonaire, mais celle-ci se traite bien par les antibiotiques. En 1990, on a dépisté 1 250 cas de peste dans le monde, dont 127 mortels.*

● ***Les échos de cette rubrique*** *ont été réalisés par Didier Dubrana, Marie-Françoise Lantieri, Gerald Messadié et Marguerite Tiberti.*

... Celui de l'hypertension et de l'infarctus a trois formes

Une équipe de chercheurs de l'hôpital Broussais, à Paris, et de l'université de Utah Health Science Center de Salt Lake City (Etats-Unis), ont trouvé, en étudiant 215 familles d'hypertendus, une anomalie du gène responsable de la fabrication d'une enzyme, l'angiotensine, qui commande la tension artérielle. Cette anomalie entraînerait une surproduction d'angiotensine.

Par ailleurs, F. Cambien, de l'unité 258 de l'INSERM, en étudiant 610 hommes ayant été victimes d'infarctus du myocarde (et 733 témoins sains), a établi que le gène de l'angiotensine se présente sous trois formes, dont chacune correspond à une concentration moyenne donnée de cette enzyme dans le sang. Ceux qui en ont le plus courent quatre fois plus de risques d'infarctus.

Ces découvertes n'expliquent pas en elles-mêmes les liens entre hypertension et infarctus, ce dernier étant dû à un "farcissement" des artères (d'où son nom) par du cholestérol. Mais elles permettent d'espérer pour l'avenir un dépistage systématique des sujets exposés.

En suivant certaines règles d'hygiène – en attendant que l'on mette au point un traitement génique – ils réduiraient sensiblement leurs risques.

M.-F.L. et G.M.

PAR DANIEL TARNOWSKI

L'HORLOGE À ATOMES ULTRAFROIDS

Des scientifiques mettent actuellement au point l'horloge atomique du XXIe siècle. Cent fois plus précise que celles actuellement en service, elle utilisera des atomes ultrafroids, en apesanteur. *Science & Vie* vous dévoile en exclusivité son mode de fonctionnement.

Une curieuse expérience de physique s'est déroulée au mois de juin dernier. Réalisée par un groupe de chercheurs dirigé par Christophe Salomon, de l'Ecole normale supérieure de Paris, cette expérience est une première mondiale. Pourtant, force est de constater qu'elle est passée plutôt inaperçue. La raison ? Sans doute son extrême originalité, qui la rend relativement difficile à présenter. Qu'on en juge : elle consiste à refroidir des atomes jusqu'à une température proche du zéro absolu (– 273 °C), en les immobilisant dans un véritable "piège de lumière" formé par 6 faisceaux laser se croisant au même point. Température ainsi obtenue : 15 microkelvins, c'est-à-dire 15 millionièmes de degré au-dessus du zéro absolu !

C'est déjà une prouesse. C'est surtout une première dans la mesure où ces atomes ultrafroids ont été "gelés" par la lumière, en microgravité. L'expérience s'est en effet déroulée à bord de la Caravelle "Zéro-G" du CNES (Centre national d'études spatiales), lors d'une série de vols paraboliques recréant pendant de brefs instants les conditions de l'apesanteur.

Pourquoi des physiciens se livrent-ils à de telles acrobaties dans les airs ? La réponse est encore plus surprenante que tout ce qui précède : leur but était de montrer comment on peut améliorer d'un facteur 100 la précision des meilleures horloges atomiques. Voilà donc la clé de cette curieuse expérience : mettre au point ce qui pourrait être l'horloge atomique du XXIe siècle. Une horloge à atomes ultrafroids, embarquée à bord d'un satellite. Comment fonctionne-t-elle ?

Son principe de base reste celui d'une horloge atomique classique. Il repose sur une propriété fondamentale des atomes : la manière dont ceux-ci absorbent de façon sélective la lumière. Cette propriété est connue depuis longtemps. Bien avant l'existence des horloges atomiques, c'est en astronomie qu'elle a d'abord joué un rôle de premier plan. C'est encore là qu'elle se manifeste aujourd'hui le plus clairement et qu'on peut visualiser de façon tangible, presque concrète, ce remarquable phénomène.

Pour cela, il suffit de faire passer à travers un prisme la lumière qui nous vient des étoiles. On obtient alors tout un spectre de couleurs (comme un

Le laser suspend le vol de la matière

Au centre d'un ballon en verre ❶, une tache rouge de quelques millimètres de diamètre apparaît (flèche). Elle révèle la présence et la concentration de plusieurs millions d'atomes de césium englués dans la lumière infrarouge (et donc invisible) de plusieurs faisceaux laser (***voir encadré p. 40***). Ces atomes sont les gardiens du temps : la définition officielle de la seconde repose sur leurs propriétés. Pour mieux exploiter ces dernières et accroître la précision des horloges atomiques, une équipe de physiciens de l'Ecole normale supérieure de Paris a réalisé la première capture d'atomes par laser en apesanteur, à bord de la Caravelle "Zéro-G" ❷ (à droite, Christophe Salomon, à gauche, Brahim Lounis).

arc-en-ciel) interrompu par une centaine de lignes sombres. Celles-ci apparaissent à des endroits bien précis du spectre : chacune d'elles correspond à une lumière de longueur d'onde bien déterminée. Elles sont dues à l'absorption sélective de la lumière par des atomes. Plus précisément, le rayonnement émis à la surface d'une étoile est absorbé sélectivement par les corps chimiques présents dans son atmosphère : sodium, fer, calcium, etc. De sorte qu'en analysant la lumière qui nous vient des astres (même les plus lointains) et en repérant la présence de ces raies d'absorption, on peut en dé-

duire la composition chimique de ces astres.

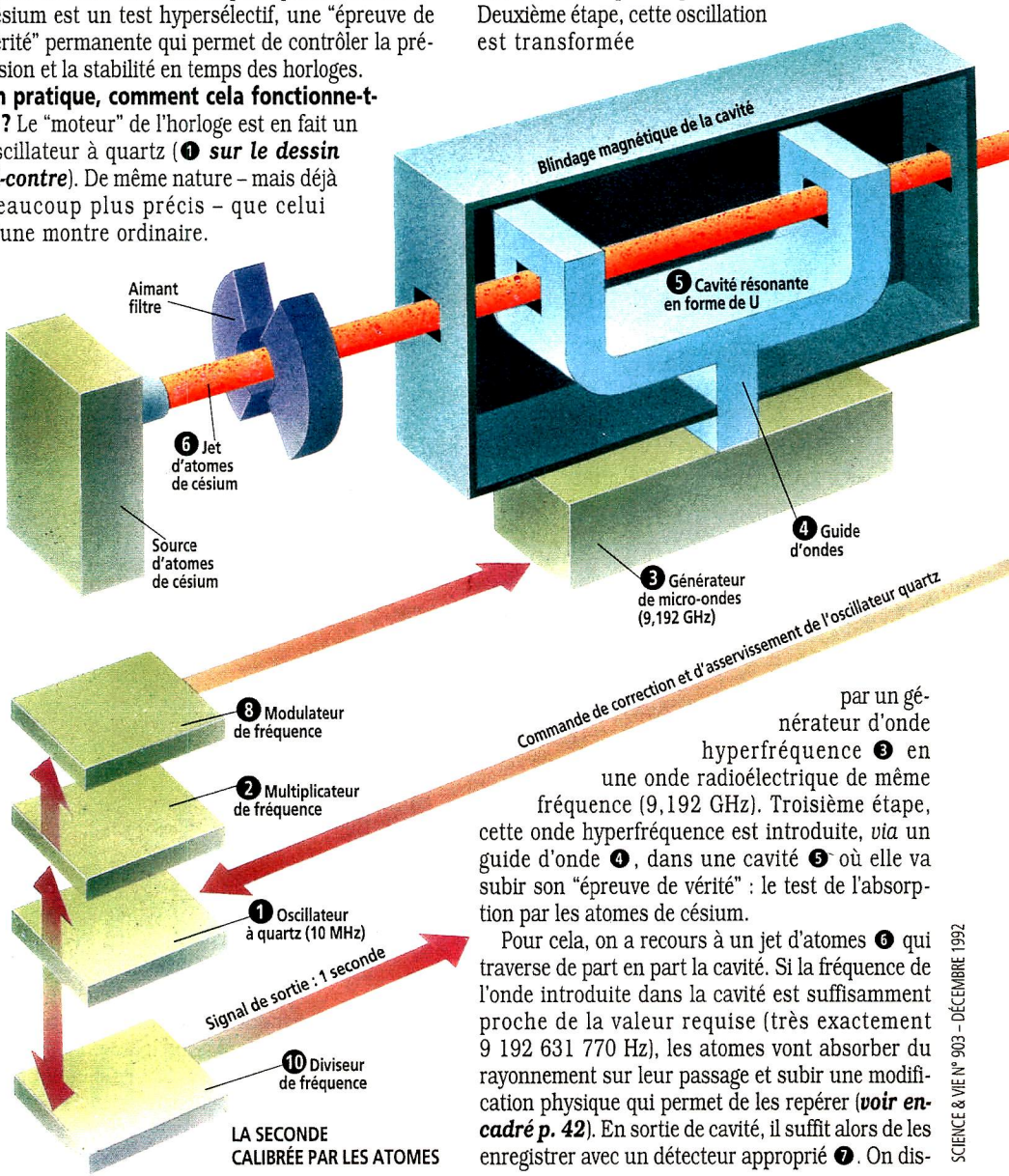
Dans une horloge atomique, on utilise l'existence de ces raies d'absorption d'une toute autre manière. Plus précisément, on utilise une seule raie, caractéristique des atomes de césium, choisie en raison de son extrême finesse (on verra pourquoi plus loin). Elle correspond non pas à une composante de la lumière visible, mais à un rayonnement micro-onde. Ou encore – et cela revient au même – à une onde radio hyperfréquence (***voir encadré ci-contre***). Son absorption par les atomes de césium est un test hypersélectif, une "épreuve de vérité" permanente qui permet de contrôler la précision et la stabilité en temps des horloges.

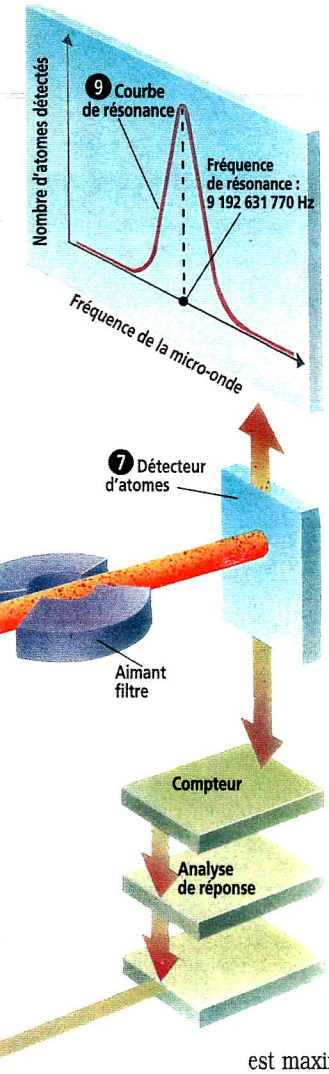
En pratique, comment cela fonctionne-t-il ? Le "moteur" de l'horloge est en fait un oscillateur à quartz (❶ ***sur le dessin ci-contre***). De même nature – mais déjà beaucoup plus précis – que celui d'une montre ordinaire.

En général, on utilise un oscillateur qui "bat" au rythme de 10 MHz, c'est-à-dire 10 millions de fois par seconde. Cet oscillateur est le point de départ de toute une chaîne d'opérations interdépendantes. Une chaîne en boucle fermée qui vise à définir sa fréquence avec une extrême précision et à l'asservir, c'est-à-dire à la maintenir rigoureusement constante dans le temps.

Première étape, son battement à 10 MHz est converti par un multiplicateur de fréquence ❷ en une oscillation plus rapide à 9,192 GHz. Deuxième étape, cette oscillation est transformée par un générateur d'onde hyperfréquence ❸ en une onde radioélectrique de même fréquence (9,192 GHz). Troisième étape, cette onde hyperfréquence est introduite, *via* un guide d'onde ❹, dans une cavité ❺ où elle va subir son "épreuve de vérité" : le test de l'absorption par les atomes de césium.

Pour cela, on a recours à un jet d'atomes ❻ qui traverse de part en part la cavité. Si la fréquence de l'onde introduite dans la cavité est suffisamment proche de la valeur requise (très exactement 9 192 631 770 Hz), les atomes vont absorber du rayonnement sur leur passage et subir une modification physique qui permet de les repérer (***voir encadré p. 42***). En sortie de cavité, il suffit alors de les enregistrer avec un détecteur approprié ❼. On dis-





pose ainsi d'un moyen pour étalonner et asservir en fréquence l'ensemble du dispositif.

L'opération qu'on réalise pour cela équivaut en substance à tourner le bouton d'un (ancien) poste de radio, de part et d'autre de la fréquence de réception d'une station donnée, pour déterminer le meilleur point de réception de cette station. Cette opération est réalisée en permanence par un modulateur de fréquence ❽. Le résultat donné par le détecteur d'atomes est une "courbe de résonance" ❾ : un pic étroit centré sur la fréquence recherchée. Au sommet du pic, l'absorption est dite "résonante". Autrement dit son ampleur est maximale. On sait alors que la fréquence de l'onde introduite dans la cavité est très exactement égale à 9 192 631 770 Hz. Et on utilise ce résultat pour asservir l'oscillateur à quartz de l'horloge. C'est-à-dire qu'on corrige en permanence sa propre fréquence d'oscillation pour garder l'absorption résonante. Cet oscillateur délivre, comme on l'a vu, un signal qui bat à 10 MHz. Grâce à un diviseur de fréquence ❿, il engendre un signal qui bat la seconde, avec une précision et une stabilité remarquablement bonnes.

Les meilleures horloges à césium définissent actuellement la seconde "à quelque 10^{-14} près". Cette expression signifie : "à quelques centièmes de millièmes de milliardièmes de seconde près". C'est fabuleux ! Aucun autre système n'est à la fois aussi précis et aussi stable dans le temps.

Au bout du compte, ces performances s'expliquent par trois raisons ; deux sont d'ordre général, l'autre est plus spécifique :

1. Les propriétés des atomes sont universelles. Tous les atomes d'une espèce donnée possèdent les mêmes propriétés. Placés dans les mêmes condi-

LE DOUBLE JEU DE LA LUMIÈRE

Lorsqu'un promeneur suit, à pied, le cours d'une rivière, il est toujours d'un côté ou de l'autre : rive droite ou rive gauche. Lorsque le physicien cherche à décrire la lumière, il est confronté au même type d'alternative.

Rive droite, il décrit la lumière comme une onde. De quoi s'agit-il ? La manière la plus claire et la plus visuelle de comprendre ce qu'est une onde est d'observer celles qui parcourent la surface de l'eau. On peut alors directement voir ce qu'est une "longueur d'onde" : distance entre deux crêtes successives. Voir aussi comment l'onde se "propage", en se déplaçant de proche en proche. On peut aisément mesurer sa "fréquence" : nombre d'oscillations par seconde en un point donné. Et constater enfin que cette fréquence est inversement proportionnelle à la longueur d'onde : plus les crêtes sont rapprochées les unes des autres (courte longueur d'onde), plus le nombre d'oscillations par seconde est élevé (haute fréquence). Et inversement.

Reste que la lumière est de nature peu banale. C'est une onde électromagnétique, c'est-à-dire une vibration du champ électromagnétique. Elle peut se propager dans le vide, en l'absence de tout support matériel, aussi bien que dans un milieu transparent : l'eau par exemple. Inutile de chercher à compter à l'œil nu ses vibrations : la lumière visible vibre à une fréquence de l'ordre de 10^{14} Hz, soit cent mille milliards de fois par seconde !

Rive gauche, le physicien décrit la lumière en termes de corpuscules. Pourquoi ? Parce qu'à l'échelle des atomes, c'est ainsi qu'elle se manifeste : sous la forme de grains élémentaires qu'on appelle des "photons". Certains détecteurs sont d'ailleurs suffisamment sensibles pour enregistrer de tels photons un par un. Chaque photon transporte une quantité élémentaire – un *quantum* – d'énergie. Ainsi lorsque la lumière joue avec les atomes, les transferts d'énergie s'opèrent par l'intermédiaire de ces photons.

Il existe heureusement un pont, une passerelle, qui permet au physicien de passer continuellement d'une description à l'autre. Elle s'exprime dans une formule la plus simple possible : l'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence de la lumière dont il est le constituant. Par exemple, un photon de lumière bleue (partie haute fréquence du spectre visible) est plus énergétique qu'un photon de lumière rouge (partie basse fréquence de la lumière visible). *A fortiori*, il est encore plus énergétique qu'un photon de rayonnement infrarouge, micro-onde ou radio (parties de plus en plus basse fréquence du spectre des ondes électromagnétiques).

Cette dualité onde-corpuscule, rive droite ou rive gauche, est-elle une faiblesse de notre description théorique actuelle de la lumière ? C'est possible. Mais toutes les expériences ont montré jusqu'à présent que cette double description est parfaitement cohérente. Rien n'indique qu'il soit nécessaire de la changer. Après tout, ne faut-il pas deux rives pour faire une même rivière ?

tions, ils se comportent rigoureusement de la même manière.

2. Ces propriétés sont également invariantes dans le temps. Les lois physiques qui gouvernent l'absorption sélective de lumière par les atomes ne changent pas en fonction du temps.

3. Enfin, plus spécifiquement, la précision finale obtenue dépend directement de la raie d'absorption choisie. Celle du césium est particulièrement fine et c'est pour cela qu'elle a été retenue. Il est facile de comprendre pourquoi avec une comparaison. Dans le cas du tir à l'arc, par exemple, plus une cible est de taille réduite, plus le tir doit être précis. Pour l'horloge atomique, la cible visée est l'absorption résonante. Plus la plage de résonance est étroite, plus l'accord en fréquence est sélectif, plus la précision finale de l'horloge est élevée.

Concrètement, cela signifie donc que la courbe de résonance doit être la plus étroite possible. Or, sa largeur dépend de deux types de facteurs. D'une part, les propriétés intrinsèques de l'atome de césium : elles sont ce qu'elles sont et personne n'y peut rien changer. D'autre part, le mouvement des atomes dans la cavité. Et là, c'est un point sur lequel une amélioration est possible. C'était même le but de l'expérience menée en juin dernier par Christophe Salomon et ses collaborateurs.

Là encore, une comparaison explique tout. Nous avons vu que les atomes de césium traversent la cavité dans laquelle est introduite le rayonnement micro-onde. C'est durant cette traversée qu'ils doivent juger si la fréquence du rayonnement leur convient suffisamment pour qu'ils consentent à l'absorber. Leur tâche est ainsi identique à celle d'un observateur en mouvement cherchant à mesurer la période d'oscillation d'un pendule. Si l'observateur passe très rapidement devant ce pendule, son temps d'observation sera bref – et sa mesure imprécise : il n'aura vu, par exemple, que une ou deux oscillations. En revanche, si l'observateur passe très lentement devant le pendule, s'il a le temps de voir par exemple 10 000 oscillations, il aura tout le loisir de faire une mesure plus précise.

Il en est de même avec les atomes de césium. Si ceux-ci sont longtemps en présence du rayonnement micro-onde, la courbe de résonance sera plus étroite. Elle ne sera pas entachée de l'incertitude inhérente à leur mouvement. Or, dans une horloge atomique, le jet d'atomes de césium traverse la cavité avec une vitesse de l'ordre de 200 m/s. Pour accroître leur "temps de mesure", une première amélioration consiste à utiliser une technique particulière (dite "technique des franges de Ramsey") avec une cavité en forme de U, c'est-à-dire comportant deux zones d'interaction. Sans entrer dans le détail de cette technique assez subtile (c'est un processus d'interférence entre l'absorption dans les deux branches de la cavité), disons que le temps d'interaction dépend alors de la distance entre les deux branches de la cavité. Typiquement, pour une distance de 1 m, le temps d'interaction des atomes

DES ATOMES DANS LA

La température, c'est d'abord l'expression d'un mouvement. Un mouvement désordonné qui s'effectue en tous sens. Mais un mouvement de quoi ? Dans le cas d'un gaz, c'est directement celui des atomes eux-mêmes (ce qu'on traduit par le terme "agitation thermique"). Refroidir les atomes d'un gaz revient donc à ralentir leur mouvement d'agitation désordonné.

Dans les années quatre-vingts, une technique originale de refroidissement a fait son apparition : c'est le ralentissement par laser. Cela consiste à éclairer un jet atomique, à contre-courant, avec un faisceau laser. Globalement, on dit que celui-ci exerce sur le jet une force de pression de radiation. Mais en fait, pour que cette force agisse sur les atomes individuellement, il faut que ceux-ci absorbent les photons laser puis les réémettent, et ce un grand nombre de fois.

En effet, à chaque absorption, l'atome reçoit un impact contribuant à le faire reculer toujours dans la même direction. Si bien que tous ces reculs s'additionnent. En revanche, la réémission est un phénomène spontané, susceptible de s'effectuer dans n'importe quelle direction. De sorte qu'en moyenne, l'effet net qu'elle produit est nul après un grand nombre de cycles.

Le cycle absorption-émission spontanée d'un photon est appelé cycle de fluorescence. Pour le provoquer, il faut, d'une part, que les photons laser aient une énergie égale à celle de la transition atomique (***voir encadré p. 42***). Et, d'autre part, que l'atome réémette rapidement le photon absorbé (afin qu'un grand nombre de cycles puisse se produire). A ces conditions, on peut typiquement ralentir la vitesse d'un jet d'atomes de 500 m/s à moins de 10 m/s.

La "mélasse optique" (c'est le terme consacré) est une variante et un prolongement de ce mécanisme. Elle marque une étape supplémentaire du refroidissement. La "mélasse" en question est un piège de lumière formé par l'intersection de 6 faisceaux laser. Les atomes sont figés dans ce piège comme une cuillère dans un pot de miel. Dès qu'ils pénètrent dans ce milieu, leur vitesse est freinée, amortie par des "forces de friction visqueuse" qui les confinent à l'intérieur du volume déterminé par l'intersection des six faisceaux laser.

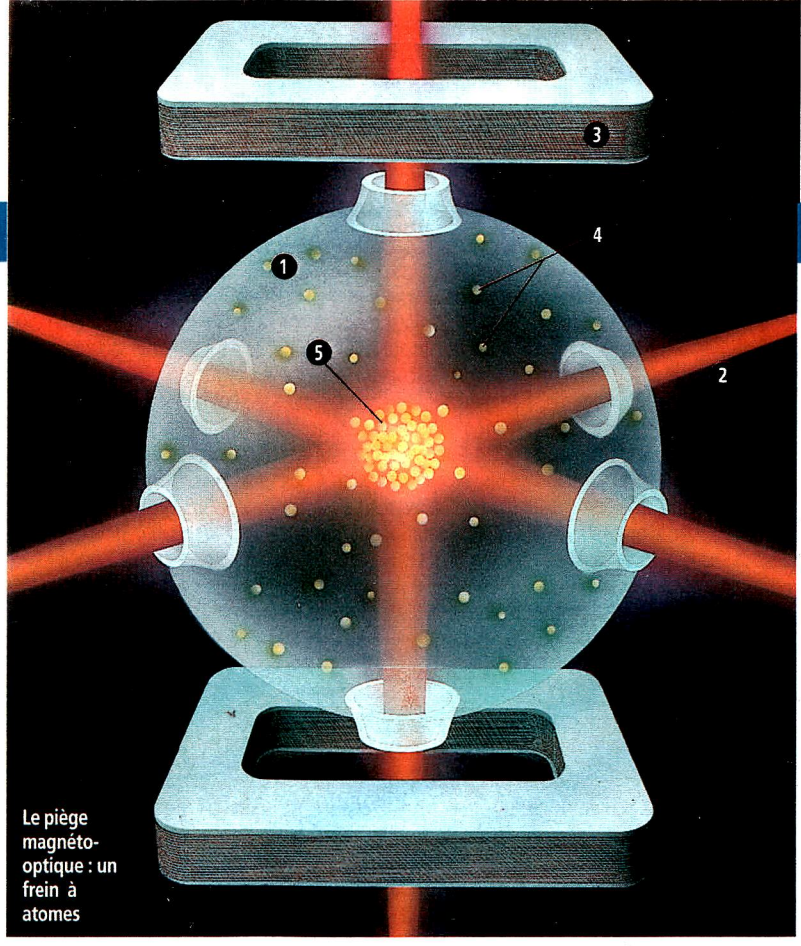
La mélasse agit sur des atomes déjà relativement lents (de l'ordre de 10 m/s) et les ralentit jusqu'à 1 cm/s (soit une tempé-

MÉLASSE OPTIQUE

rature de 2 microkelvins). Elle complète donc parfaitement la technique précédente.

Dans une mélasse, le confinement des atomes est dû à la seule force de friction. Le *nec plus ultra* est de lui ajouter un champ magnétique pour créer un "piège magnéto-optique", selon un principe inventé dès 1986 par Jean Dalibard, de l'Ecole normale supérieure de Paris. C'est ce type de piège que Christophe Salomon et ses collaborateurs ont utilisé dans leur expérience de juin dernier. Le champ magnétique vient modifier les forces de pression qu'exercent les faisceaux laser sur les atomes. Il a pour effet de produire une force de rappel qui ramène les atomes vers le centre du piège. Avantage supplémentaire : le piège fonctionne tout seul, avec un gaz d'atomes à température ambiante, sans jet ni pré-ralentissement. C'est là toute l'astuce et la beauté du système.

Dans un gaz, les vitesses d'agitation des atomes ne se réduisent pas, en effet, à une valeur unique, mais sont réparties suivant toute une distribution statistique (dite distribution de Maxwell-Boltzmann). Celle-ci va des vitesses les plus faibles aux plus élevées, en passant par un maximum pour une valeur moyenne de l'ordre de 500 à 700 m/s à température ambiante. Cela signifie qu'un certain nombre d'atomes sont déjà relativement lents et ont des vitesses suffisamment faibles (inférieures à 10 ou 20 m/s) pour être capturés par le piège.



Le piège magnéto-optique : un frein à atomes

En pratique, un tel "piège magnéto-optique" fonctionne avec un gaz d'atomes à basse pression contenu dans une enceinte en verre ❶. La mélasse optique est formée par l'intersection de 6 faisceaux laser ❷ se croisant au centre de l'enceinte. Deux bobines de fils ❸ parcourues par un courant électrique créent un champ magnétique qui referme le piège sur les atomes les plus lents lorsque les aléas de leur trajectoire amènent ceux-ci près du centre. Au fur et à mesure que les atomes ❹ sont happés par celui-ci, on voit apparaître une petite tache rouge ❺ dont l'intensité augmente. C'est la lumière de fluorescence des atomes pris au piège. Cette lumière, telle qu'on la voit, résulte d'un bilan entre les atomes capturés en permanence et ceux éjectés du piège. Dans celui-ci, au centre de la cellule, la densité d'atomes est de l'ordre de 10^{12} atomes/cm^3, soit une concentration 10 000 fois plus élevée que dans le reste de la cellule.

avec le rayonnement micro-onde est de l'ordre de 1/200e de seconde. Agrandir cette distance soulève de nouveaux problèmes : il faut en particulier que le rayonnement soit parfaitement homogène dans les deux branches de la cavité.

L'idéal est en fait d'utiliser des atomes nettement plus lents. C'est là qu'interviennent les techniques de refroidissement par laser (***voir encadré ci-dessus***) qui permettent d'obtenir des atomes animés d'une vitesse de 2 cm/s. Mais si l'on veut en tirer parti, il faut alors tenir compte d'un autre paramètre : la gravité. La force de gravitation, qui se traduit sur Terre par la pesanteur, s'exerce en effet sur les atomes comme sur nous-mêmes. (Au demeurant, elle s'exerce sur nous parce que nous sommes constitués d'atomes !) De sorte que des atomes lancés horizontalement à 2 cm/s ne peuvent parcourir une très longue distance : ils "tombent" au bout d'un centimètre ! Le problème est exactement celui de tout projectile : la distance qu'il parcourt est d'autant plus courte que sa vitesse initiale est faible.

Pour y remédier, les scientifiques ont imaginé des horloges atomiques verticales et non plus horizontales. Des horloges à "fontaine d'atomes" ! Techniquement, ce type de solution est acrobatique : il faut

UN PETIT SAUT POUR L'ÉLECTRON, UN GRAND PAS POUR L'HORLOGE ATOMIQUE

Que se passe-t-il lorsqu'un atome absorbe de la lumière ? Pour le savoir, il faut d'abord décrire la structure de l'atome. Tout le monde la connaît : un noyau entouré d'une nuée d'électrons en orbite. Mais cette simplicité est trompeuse, car le mouvement des électrons n'obéit pas aux règles de la physique classique, celles des phénomènes "ordinaires". Il relève de la physique quantique. Ainsi, un électron en orbite autour d'un noyau atomique se comporte en fait comme s'il était sur les barreaux d'une échelle. Une échelle en énergie. Pour passer d'une orbite à une autre, il doit sauter d'un barreau à l'autre. Défense pour lui de mettre le pied entre les deux : la physique quantique le lui interdit. Ou plutôt, la nature le lui interdit et la physique quantique se contente de rendre compte de ce type de comportement.

Pour qu'un atome absorbe un photon, il faut que ce dernier ait une énergie égale à l'écartement de deux barreaux, deux niveaux d'énergie. Un électron se retrouve alors propulsé d'un bond dans une orbite supérieure, et le photon disparaît. L'atome effectue ainsi ce qu'on appelle une transition atomique.

Dans le cas des atomes de césium, il existe une transition bien particulière (parmi beaucoup d'autres, plus ou moins ordinaires). L'énergie séparant ses deux niveaux est remarquablement bien définie. C'est celle qu'on utilise pour asservir la stabilité des horloges atomiques. Elle correspond à des photons d'une lumière dont la fréquence est de 9 192 631 770 Hz. On l'appelle tout simplement la "transition d'horloge".

que les atomes soient lancés verticalement, le plus haut possible, puis qu'ils retombent dans la cavité.

D'où l'idée de s'affranchir de la pesanteur en installant une horloge à atomes ultrafroids à bord d'un satellite. C'est pour tester la faisabilité d'une telle horloge que Christophe Salomon, Brahim Lounis et Jacob Reichel ont installé leur quelque 700 kg de matériel d'expérience à bord de la Caravelle "Zéro-G" du CNES. Pendant trois jours, du 23 au 25 juin dernier, ils ont effectué, avec le soutien du CNES et la collaboration de la société Orbitics, une série de vols paraboliques. Un véritable entraînement de cosmonaute (pardon, de "spationaute" !). Chaque vol a duré trois heures et comportait une trentaine de cycles successifs : l'avion se cabre, accélère et, en pleine ascension, son pilote coupe les moteurs. Pendant vingt secondes, la Caravelle est alors livrée à elle-même. Tel un projectile sur sa lancée, sa trajectoire décrit une parabole dans les airs. Ses passagers et équipements connaissent alors les délices de la microgravité. Ils sont ensuite soumis à une accélération de 2 G, lorsque l'avion en chute libre revient sur une trajectoire horizontale. Deux minutes plus tard, un autre cycle recommence !

Au XXIe siècle la seconde sera au moins 100 fois plus précise

Bilan de cette expérience : ça "marche" ! Avec des atomes ultrafroids en apesanteur, ils est effectivement possible de gagner un facteur 100 sur la précision des horloges atomiques au césium. Prochaine étape : tester un prototype complet d'horloge, toujours en avion. Ensuite, le lancement d'un satellite pourrait intervenir. Probablement pas avant le début du XXIe siècle.

Mais ira-t-on vraiment jusque-là ? «Il faut être prudent, souligne Christophe Salomon. Une horloge, ce n'est pas uniquement une résonance plus étroite. Il faut asservir l'oscillateur à quartz et étudier tous les effets systématiques pour être sûr de la précision finale de l'horloge et du gain obtenu.» Il est vrai qu'une horloge atomique ne se construit pas du jour au lendemain et que les performances de celles actuellement en service sont déjà remarquablement bonnes. «Mais nous espérons les améliorer encore d'un facteur 100», affirme-t-il.

Reste qu'une deuxième question s'impose : à quoi cela pourrait-il servir ? D'ores et déjà, toute une série d'applications sont envisageables. Par exemple en astronomie et en radioastronomie, pour synchroniser des observations faites au même moment à des endroits différents, très éloignés. De même, il existe des schémas d'expériences de physique fondamentale pour tester la neutralité des atomes, ou bien les phénomènes de gravitation tels que les décrit la théorie d'Einstein de la Relativité générale.

Il y a aussi toute une série d'applications pratiques, telles la synchronisation des réseaux de transmission de données à haut débit ou encore la localisation par satellite. Le système Navstar-GPS (*Global Positioning System*), par exemple, utilise des horloges à césium pour localiser des objets à la surface du globe. La précision de cette horloge conditionne celle d'envoi et de réception des signaux ainsi que, *in fine*, la précision de la localisation.

Enfin, l'histoire montre que chaque fois qu'un nouvel instrument de mesure a été développé, de nouvelles applications ont vu le jour. Les idées ne manquent pas. Mais il faut du temps pour les concevoir, et dans ce domaine seulement, on n'est vraiment pas à la seconde près !

Daniel Tarnowski

Chaque nuit, ce réveil fait ce que tout réveil intelligent devrait faire : il se remet à l'heure.

Radiopilotés, les réveils JUNGHANS se synchronisent, toutes les heures, avec l'horloge la plus précise du monde. Résultat : moins d'une seconde de décalage par million d'années ! Pour en savoir plus, tapez **3615 JUNGHANS.**

JUNGHANS

La précision radiopilotée.

PAR JEAN-PIERRE DEFAIT

UN TROU NOIR AU CŒUR DE LA VOIE LACTÉE ?

Trou noir massif ou amas d'étoiles ? Quel objet mystérieux se cache donc au cœur de notre galaxie ? Malgré des observations de plus en plus fines, l'énigme reste entière.

Dernier rebondissement en date dans le débat qui oppose partisans et adversaires de l'existence d'un trou noir au centre de notre galaxie la Voie lactée : R. H. Sanders, un astronome de l'université de Groningen, aux Pays-Bas, soutient qu'il ne peut y avoir là de trou noir. Pourquoi ? Parce que, tout près de ce centre, on a détecté un groupe de jeunes étoiles, et qu'il ne peut y avoir formation d'étoiles près d'un trou noir, car ce dernier les aurait immédiatement englouties.

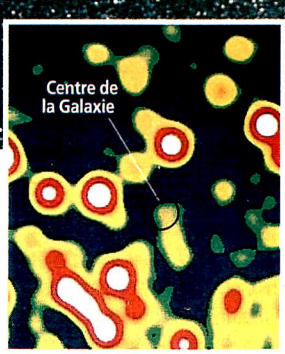
Alors, y a-t-il ou n'y a-t-il pas un trou noir au centre de notre galaxie ? La question reste posée, et la polémique repart de plus belle, car d'autres observations sont venues compliquer un débat qu'il n'est pas inintéressant de détailler plus avant.

L'histoire commence en fait en 1930, avec les débuts de la radioastronomie (1). Cette année-là, dans une station de télécommunications du New Jersey, Karl Jansky, un ingénieur des Bell Telephone Laboratories, s'échinait à résoudre un problème d'interférences radio lorsqu'il découvrit que les ondes perturbatrices désignaient un point bien précis dans le ciel. Jansky eut tôt fait de réaliser que cette source mystérieuse (baptisée depuis Sgr A*) ne provenait pas du système solaire mais de beaucoup plus loin, de la constellation du Sagittaire, qui se trouve, par rapport à nous, en direction du centre de notre Voie lactée. Un centre autour duquel tournent, en un gigantesque ballet, les quelque cent milliards d'étoiles qui la composent. Cette découverte inattendue marquait la naissance de la radioastronomie et ouvrait, par la même occasion, un chapitre de l'astrophysique dont les scientifiques, soixante ans plus tard, n'ont toujours pas écrit le mot "Fin". Ils se disputent même régulièrement, à coups d'observations, d'équations et de modèles, à propos de ce que recèle le centre de la galaxie.

Certes, pendant longtemps, cette énigme n'empêcha pas les astronomes de dormir. Et pour cause :

Le centre de notre galaxie, la Voie lactée, observé en lumière visible.

(1) La radioastronomie est la première branche de l'astronomie ayant permis d'observer le ciel dans un domaine (celui des ondes radio) autre que celui de la lumière visible. L'astrononomie infrarouge, X, gamma, etc. sont venues plus tard.



IRS-16, source infrarouge près du centre de la Galaxie

Trou noir : l'argument des "contre"

En observant le centre de la Voie lactée dans l'infrarouge, on a découvert une source, baptisée IRS-16, comprenant un groupe de jeunes étoiles (ci-contre, taches blanches cernées de rouge et de jaune). Pour certains astronomes, c'est la preuve qu'il n'y a pas de trou noir géant tapi au cœur de notre galaxie.

dans cette région lointaine, située à 25 000 années-lumière de notre modeste système solaire et qui abrite des milliards d'étoiles, la matière interstellaire est si dense que le cœur du système demeure inaccessible aux télescopes optiques les plus modernes. Il a fallu attendre les instruments d'observations en ondes radio et infrarouges, puis les télescopes embarqués à bord de satellites, pour parvenir, au fil des années, à dresser une carte de plus en plus précise de ce fameux centre galactique. On a ainsi pu mesurer la formidable densité d'étoiles qu'il contient : environ un million d'étoiles par parsec (un parsec vaut un peu plus de trois années-lumière). La distance moyenne entre deux étoiles n'excèderait pas une semaine-lumière !

C'est donc grâce à la radioastronomie et à ces nouveaux instruments que les astronomes ont pu "zoomer" sur le noyau lui-même, et découvrir que ce paysage était aussi très turbulent et complexe.

Et les choses allaient encore se corser avec la montée en puissance, à partir des années soixante, d'une nouvelle race de candidats susceptibles d'expliquer la violence des phénomènes observés au centre des galaxies : les trous noirs.

Pour les adversaires des trous noirs, pas besoin d'aller chercher si loin pour expliquer ce qui se passe au cœur d'une galaxie comme la nôtre. R. H. Sanders, un astronome de l'université de Groningen, aux Pays-Bas, est de ces derniers. Il s'appuie sur les observations très récentes d'un autre astronome, A. Eckart. Ce dernier s'est intéressé plus particulièrement à la violente source infrarouge IRS-16, elle aussi située au centre de la galaxie et longtemps confondue avec Sgr A*. IRS-16 serait, en fait, distante d'à peine une seconde d'arc de Sgr A*, ce qui est bien peu de chose à l'échelle galactique. Or, Eckart a calculé que la lumière d'IRS-16 devait être attribuée à un groupe de 20 étoiles bleues, lesquelles seraient les éléments les plus brillants d'un vaste nuage de jeunes étoiles s'étendant jusqu'à 0,5 parsec de Sgr A*. Comment des astres, jeunes et chauds, peuvent-ils se trouver si près de Sgr A*, si un trou noir massif sévit à proximité ? Impossible, affirme R. H. Sanders. Car, tout astronome le sait, la force des marées gravitationnelles provoquées par un trou noir interdit toute formation d'étoile. L'argument n'est pas négligeable.

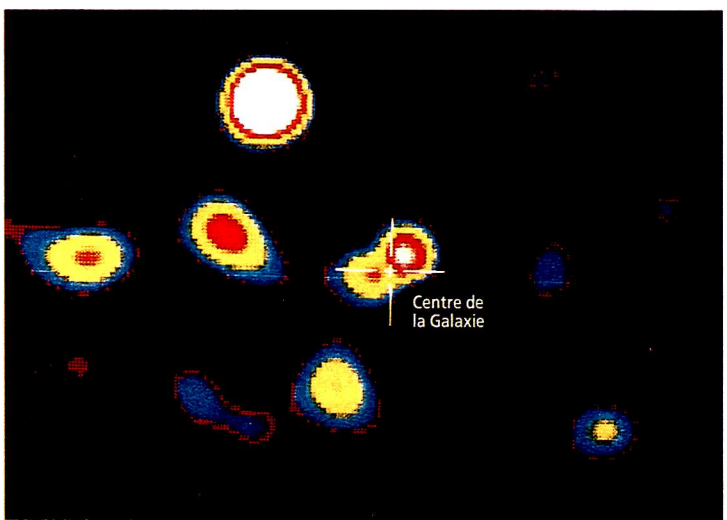
Car les trous noirs sont de véritables monstres. La théorie prédit qu'il en existe de toutes les tailles. Les géants de la catégorie peuvent afficher une masse équivalente à plusieurs centaines de millions de soleils. Les astrophysiciens ont commencé à prendre sérieusement en compte leur existence, jusqu'alors très hypothétique, lorsqu'il leur a fallu expliquer l'intense activité détectée au centre de certaines radiogalaxies et des quasars. Environ 1 % de toutes les galaxies observées possèdent en effet un noyau extraordinairement actif. Un des exemples les plus célèbres est le quasar 3C 273. Situé à 3 milliards d'années-lumière de nous, il possède un éclat équivalent à celui d'un millier de galaxies. C'est aussi le cas des radiogalaxies qui se manifestent en projetant, depuis leur centre, de gigantesques jets de gaz ionisés, ou plasmas.

Un trou noir est, par définition, totalement inaccessible à l'observation directe. Ce sont de véritables puits où la force gravitationnelle est telle qu'elle y fait tomber tout ce qui passe à leur portée, particules et rayons lumineux, sans espoir de retour. Isolé et privé de cette nourriture, un trou noir resterait obstinément invisible. Qu'il baigne dans un environnement plus ou moins riche en matière, celle-ci est entraînée dans un irrésistible maelström, libérant de formidables quantités d'énergie.

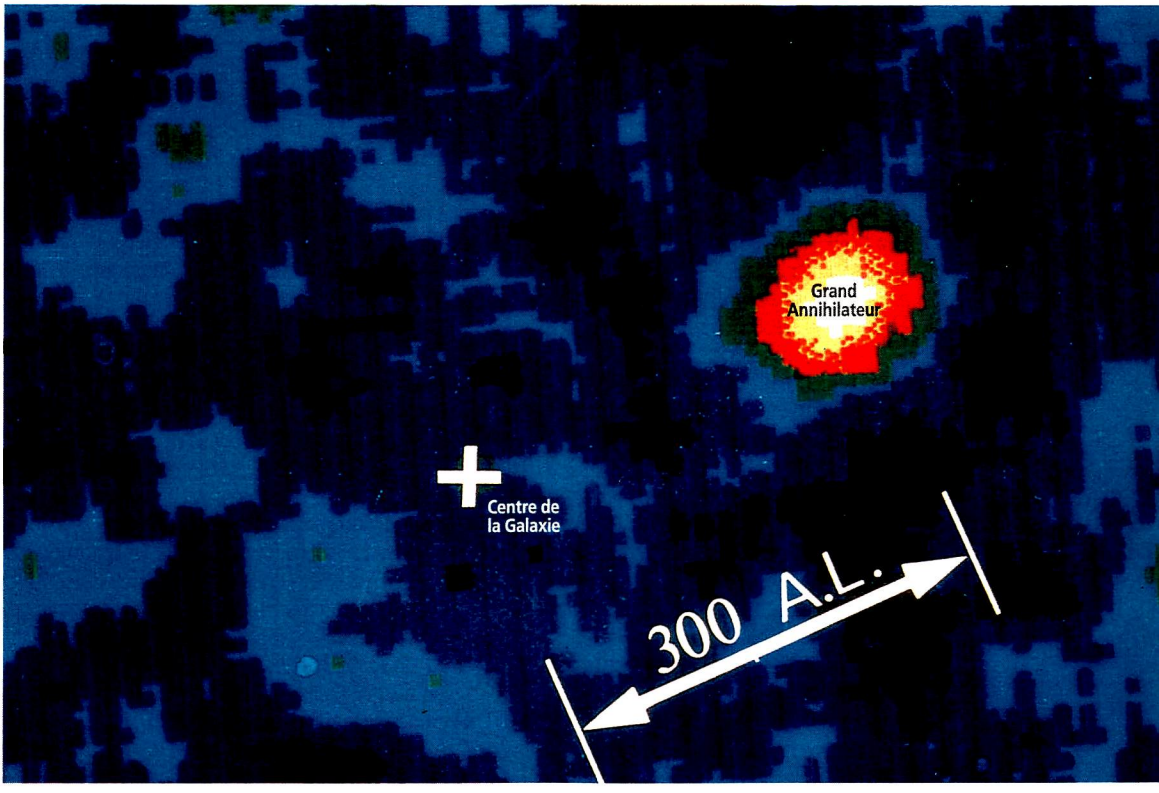
C'est ce rayonnement, étendu à tout le spectre électromagnétique jusqu'aux émissions les plus énergétiques, en X et gamma, que les astrophysiciens détectent et analysent pour tenter d'arracher leurs secrets aux trous noirs... à commencer par la preuve même de leur existence. Ainsi, l'éclat particulier des galaxies à noyau actif, ou NGA, s'expliquerait-il par des collisions d'étoiles et par la violence d'effets de marées assez puissants pour briser les étoiles, dont la matière est ensuite engloutie par le trou noir. «Les observations faites sur ces noyaux actifs de galaxies viennent toutes en renfort de la théorie pour identifier la présence d'une masse centrale comprise entre 10 millions et 10 milliards de masses solaires» explique Jean-Pierre Luminet [2]. Ainsi, les informations récoltées l'an dernier par le télescope spatial *Hubble* ont-elles permis de calculer avec une très grande précision la vitesse de rotation des étoiles au centre de la galaxie M 87. La mesure de cette vitesse est,

Trou noir ou amas d'étoiles ?

A travers 25 000 années-lumière d'étoiles et de gaz interstellaire, cette photo fait apparître deux étoiles super-géantes pratiquement au centre de la Voie lactée. Est-ce enfin le trou noir tant attendu par certains astronomes ? Ou seulement un amas non résolu, c'est-à-dire un ensemble d'étoiles que l'on n'a pas encore réussi à détecter individuellement ?



(2) Jean-Pierre Luminet est l'auteur d'un livre sur le sujet, *les Trous noirs*. Nouvelle édition au Seuil. Coll. "Points science".



avec l'analyse de la distribution de la lumière stellaire près d'un centre galactique, l'une des deux méthodes éprouvées pour évaluer la masse d'un objet très compact. D'après ces calculs, M 87 abriterait un trou noir de 5 milliards de masses solaires. Cela est d'autant plus intéressant que M 87 avait été l'objet d'une sévère controverse lorsqu'en 1978 elle avait été, pour la première fois, interprétée en terme de trou noir.

Les recherches quasi systématiques dont les galaxies à noyau actif ont fait l'objet depuis une quinzaine d'années ont, en tout état de cause, solidement conforté la candidature des trous noirs. Mieux, au fil des ans, un modèle a vu le jour, selon lequel toutes les galaxies abriteraient en leur noyau un trou noir. C'est l'astronome anglais Lynden-Bell qui, en 1969, a émis le premier cette hypothèse. La différence entre les noyaux très actifs et les moins actifs s'expliquerait par la plus ou moins bonne qualité de l'"alimentation" du trou noir. Convenablement nourri en matière stellaire, son environnement brillerait de tous ses feux, comme dans les NGA. Sous-alimenté, il "tournerait" au ralenti. Ce serait le cas des noyaux calmes.

Cette hypothèse, suggérant une continuité entre toutes les galaxies, avait de quoi séduire les astronomes. Des observations de plus en plus fines du noyau de notre galaxie ont d'abord plaidé en sa faveur. Elles ont permis de localiser avec une très grande précision la source déjà mentionnée Sgr A*. Celle-ci s'est révélée non seulement intense mais aussi très compacte, au centre d'une zone complexe qui étend des bras dans plusieurs directions. On a également découvert que cette région centrale de notre Voie lactée était entourée d'un gigantesque nuage de gaz. Or, l'étude de la dynamique de ces gaz et des étoiles les plus proches suggère bel et bien la présence d'un objet massif de l'ordre d'un million de masses solaires. L'existence de l'intense source infrarouge IRS-16 découverte par Eckart a longtemps milité en faveur du trou noir. Cela collait très bien avec la théorie qui veut que la matière attirée par un

La fausse piste du Grand Annihilateur

Le Grand Annihilateur est connu depuis vingt ans. Cette puissante source de rayonnement gamma au cœur de la Voie lactée est un candidat rêvé pour les partisans d'un grand trou noir au centre de notre galaxie, d'autant qu'elle émet dans une raie d'énergie caractéristique des trous noirs. Malheureusement, le télescope français *Sygma* à bord du satellite russe *Granat* a révélé tout récemment que cette source n'était pas vraiment au centre, mais à 300 années-lumière de celui-ci.

trou noir forme autour de celui-ci un "disque d'accrétion" rayonnant intensément dans cette gamme de longueurs d'onde. Jusqu'au jour où l'on s'est aperçu qu'elle ne coïncidait pas tout à fait avec Sgr A*. Première déception.

L'énigme devait s'obscurcir encore, il y a deux ans, avec la première et spectaculaire moisson de résultats livrés par le télescope français *Sygma*. Lancé le 1er décembre 1989 à bord du satellite russe *Granat*, ce télescope avait pour mission de détecter dans la Galaxie les manifestations des phénomènes les plus violents de l'Univers, les sources de rayonnement gamma. Logiquement, estimaient les astronomes, si trou noir il y a, il doit avoir une signature en rayonnement gamma. Dès le mois de mars 1990, *Sygma* fut donc braqué sur le centre de la Voie lactée. Il a bel et bien identifié une puissante source gamma. Mieux, l'engin a enregistré une émission de photons dans une raie d'énergie très précise, à 511 kev : une des signatures les plus attendues d'un trou noir. Malheureusement, celle-ci est apparue non pas au centre du noyau galactique, mais à 300 années-lumière de Sgr A*. Une distance qui peut paraître insignifiante, mais largement suffisante pour plonger les astronomes dans la perplexité. Parti pour trancher la controverse sur le centre galactique, *Sygma* aura compliqué le tableau encore un peu plus [3].

Un trou noir "sous-alimenté" au cœur de notre galaxie

Faute de preuves formelles, le modèle du trou noir géant au centre de galaxies peu actives présente donc des brèches dans lesquelles s'engouffrent, à l'instar de R. H. Sanders, les tenants d'hypothèses jugées par eux moins exotiques. Néanmoins, convient Sanders, si la présence d'un groupe d'étoiles jeunes au centre d'IRS-16 paraît incompatible avec l'existence d'un trou noir dans le noyau de la Galaxie, cela n'éclaire en rien la nature très compacte de Sgr A*.

D'autres vont plus loin, tel Roberto Terlevitch qui soutient que l'activité des noyaux galactiques peut aisément s'expliquer par de violentes flambées de formation d'étoiles. Plus récemment, ce chercheur a avancé l'hypothèse que l'évolution d'amas d'étoiles au sein desquels des astres massifs exploseraient en supernovæ serait à l'origine de la luminosité des galaxies les plus actives, quasars compris. Selon ses calculs, quelques explosions de supernovæ par an suffisent à produire la luminosité observée au centre d'une galaxie très brillante. Il en faudrait de dix à quelques centaines par an pour expliquer l'éclat d'un quasar. Il reste que cette hypothèse ne permet pas d'expliquer les puissantes sources radio. Or, celles-ci demeurent une des manifestations les plus importantes de l'activité des noyaux galactiques. Alors, trou noir ou amas d'étoiles ? La controverse est plus vivante que jamais.

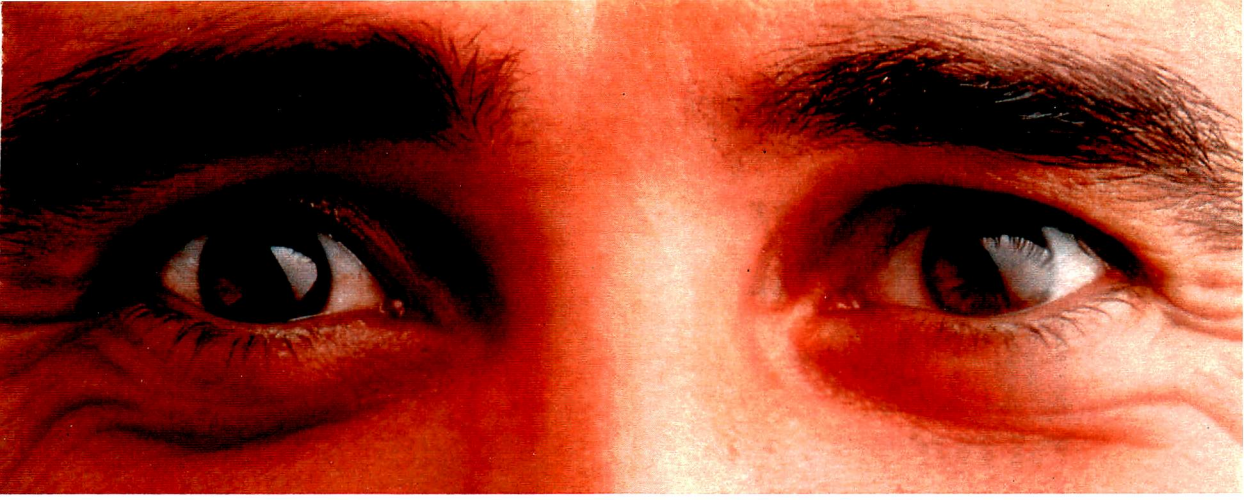
D'autant que les noyaux des galaxies ne sont pas les seuls hôtes possibles de trous noirs. Les astronomes s'intéressent de plus en plus aux trous noirs stellaires. De nombreuses étoiles dans la galaxie appartiennent en effet à des systèmes binaires. Des couples où il n'est pas rare de trouver un astre visible vivant en ménage avec un compagnon très compact, vieille étoile en fin de vie dont le cœur, privé de combustible thermonucléaire, s'est effondré pour devenir naine blanche ou étoile à neutrons [4]. Dans ce dernier cas, la vie de couple se révèle particulièrement tumultueuse. Ce sont les sources binaires à rayonnement X. Les astronomes soupçonnent certaines d'entre elles de cacher un trou noir. Simplement parce que si la masse de ce compagnon compact est supérieure à trois masses solaires, les forces de gravitation l'emportent et il doit s'effondrer en trou noir.

Le premier candidat mini-trou noir dans la Galaxie est Cygnus X-1, découvert en 1971. Trois autres ont, depuis, été identifiés dans le Grand Nuage de Magellan. C'est peu. Mais les astronomes ont trouvé un nouveau terrain de chasse, avec une deuxième famille de sources binaires X. Celles-ci n'émettent des rayons X qu'à l'occasion de brusques coups de fièvre, ce qui les rend difficiles à détecter. En outre, le compagnon visible étant une petite étoile, le calcul de masse est particulièrement ardu. Trois sources de ce type ont été identifiées dans la Voie lactée comme des trous noirs. La dernière en date est Nova Musca 91, détectée en janvier 1991 dans la constellation de la Mouche, à 18 000 années-lumière.

Bref, des résultats qui incitent à poursuivre les recherches. D'autant que le rayonnement X de tous ces candidats trous noirs semble présenter une anomalie que l'on ne trouve nulle part ailleurs : un rayonnement de faible énergie, de l'ordre de 1 kev. Les astronomes verraient bien là une éventuelle signature spectrale des trous noirs. La chasse devrait donc se poursuivre de plus belle. Les plus audacieux n'hésitent pas à pronostiquer que notre galaxie pourrait compter jusqu'à 100 millions de trous noirs stellaires. Pourraient-ils fournir au moins une partie de la matière sombre que recherchent les astrophysiciens en quête de la fameuse masse manquante qui fait défaut dans les modèles de l'Univers ? C'est là un scénario que certains n'écartent pas. **Jean-Pierre Defait**

(3) Voir *Science & Vie* n° 868, p. 36, et n° 886, p. 20.

(4) Les étoiles naissent, vivent et meurent. Véritables chaudrons thermonucléaires, ces usines à matière brûlent leur hydrogène d'abord, puis des éléments de plus en plus lourds. Lorsque ce combustible est épuisé, les étoiles enflent en géante rouge, puis leur cœur s'effondre. C'est le début de la fin. L'évolution dépend alors de la masse de l'étoile. Les super-géantes, dont la masse est supérieure à 8 fois celle du Soleil, implosent en supernovæ. Il n'en restera plus qu'une étoile à neutrons. La destinée d'une étoile comme le Soleil est de finir en naine blanche.



AVEC LES PLC*ELECTRONIC PHILIPS, VOUS GARDEZ UN ŒIL SUR VOS ÉCONOMIES ET UN ŒIL SUR LE FUTUR.

Les véritables utilisateurs des produits Eclairage Philips, ce sont vos yeux. Et aujourd'hui, vos yeux ont vraiment une bonne raison de briller. Une lampe à économie d'énergie PLC*ELECTRONIC Philips, c'est 5 fois moins d'énergie consommée, une durée de vie 8 fois supérieure à une ampoule classique et un dégagement de chaleur minimum.
Elles remplacent déjà les ampoules classiques dans de nombreuses situations (bureaux, cafés, restaurants ...), mais maintenant, c'est surtout chez vous, que vous pouvez les apprécier.
PLC*ELECTRONIC Philips, vous n'allez vraiment pas en croire vos yeux.

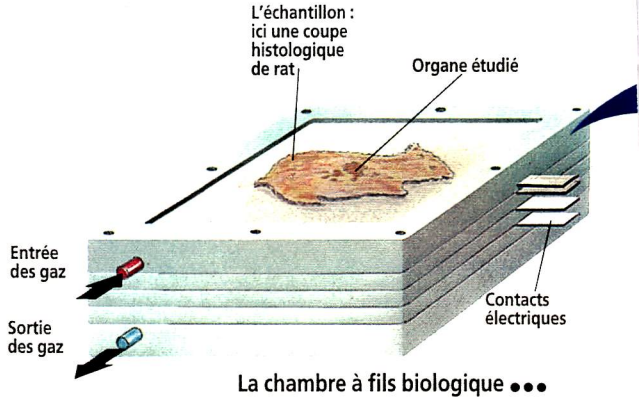
Philips Lighting

PHILIPS

PAR PIERRE ROSSION ET BERNARD THESNON

CHARPAK : DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES À LA BIOLOGIE

La chambre à fils qui valut à Georges Charpak le prix Nobel de physique (1) permettra aussi aux biologistes et aux médecins d'obtenir des images mille fois plus rapidement qu'avec les techniques actuelles.



La chambre à fils biologique •••

On peut être prix Nobel de physique et s'intéresser à la biologie. Le jeune Georges Charpak avait fait sa thèse de physique des basses énergies avec Frédéric Joliot-Curie au Collège de France dans les années 1950, où il avait mis au point un ancêtre de la chambre à fils, un compteur proportionnel inspiré du fameux compteur Geiger. Amené à la biologie par ses enfants qui ont choisi cette voie, il s'est intéressé aux possibles applications biologiques et médicales de ces détecteurs.

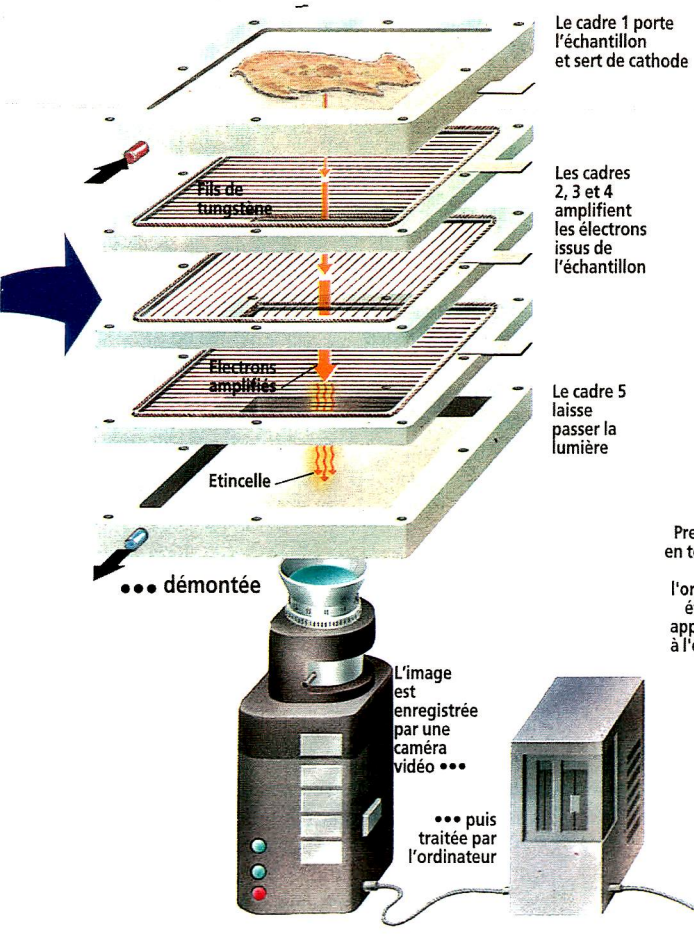
En imagerie médicale, on fait encore souvent appel aux pellicules photographiques. Elles permettent d'obtenir une image de tel organe d'animal de laboratoire ou de telle culture de cellules rendus faiblement radioactifs pour les étudier. Ces pellicules sont bon marché, certes, mais elles se révèlent finalement très onéreuses si l'on tient compte du temps de pose : souvent des heures, voire des mois. Le détecteur fabriqué par Georges Charpak avec son équipe de l'Ecole supérieure de physique et chimie de la Ville de Paris permet de localiser en quelques minutes un marqueur radioactif (phosphore 32 ou soufre 35) dans un milieu biologique, grâce aux électrons émis lors de la désintégration ß.

Georges Charpak.

Le dispositif est directement inspiré des détecteurs de dernière génération mis au point pour la détection de particules fondamentales, au CERN, à Genève. La chambre à fils est une boîte faite de cinq cadres superposés (*voir dessin ci-dessus*) :

- un "couvercle" tendu d'une feuille de Mylar (2) aluminisée de 6 micromètres d'épaisseur, c'est l'anode, sur lequel on pose l'échantillon à analyser ;
- un fond tendu de plastique transparent ;
- entre les deux, trois grilles parallèles tendues de fils de tungstène de 50 micromètres de diamètre. Ceux-ci sont espacés de 500 micromètres, mais on espère pouvoir très bientôt les rapprocher à 100 microns afin d'améliorer en-

(1) *Science & Vie* n° 902 , p. 71.
(2) Mylar : nom commercial désignant un plastique de très haute résistance commercialisé par Dupont De Nemours.



La biologie animée à l'écran

La chambre à fils (fonctionnement détaillé dans l'article) peut servir à étudier le devenir d'un médicament administré à un animal de laboratoire, avant d'en autoriser la mise sur le marché pour les humains. En analysant des coupes successives de l'animal et en traitant sur ordinateur les images obtenues, on peut suivre, comme sur un dessin animé, le trajet du produit (marqué au carbone 14) et sa transformation dans l'organisme.

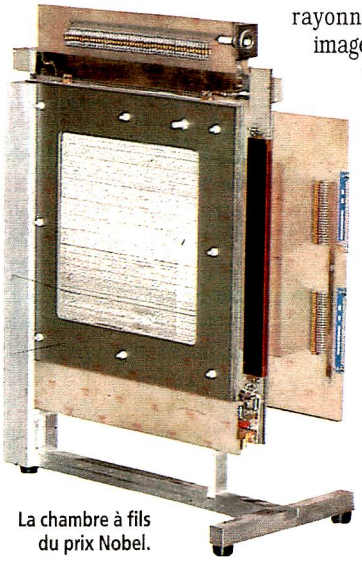
core la définition de l'image : on obtiendra ainsi une trame ou chaque élément mesurera 100 x 100 au lieu de 500 x 500).

Des électrons amplifiés en cascade. Les électrons issus de l'échantillon à analyser traversent les trois grilles successives, dont les réseaux de fils sont portés à des potentiels croissant d'une grille à la suivante.

A chaque passage de grille, ces électrons sont fortement accélérés par le champ électrique de celle-ci. Dotés d'une énergie accrue, ils collisionnent avec les atomes contenus dans l'atmosphère de la chambre et en arrachent d'autres électrons, en nombre 100 000 fois plus important. Ces derniers sont, à leur tour, accélérés encore plus fortement par le champ électrique plus puissant de la grille suivante. Passée la troisième grille et son champ encore plus fort, le paquet d'électrons multipliés donne une étincelle. Le triéthylamine présent dans l'atmosphère de la chambre amplifie la lumière produite par l'étincelle. De chaque point de l'échantillon, on obtient ainsi une minuscule tache lumineuse.

Résultat final : l'échantillon marqué produit des traces lumineuses aux endroits précis où se trouvent les molécules émettrices de rayonnement ß. Pour avoir une image, il suffit donc de disposer une caméra vidéo devant le fond transparent de la chambre et d'enregistrer les images sur un magnétoscope, ou, beaucoup mieux, sur le disque dur d'un ordinateur afin de pouvoir faire un traitement informatisé de l'image.

Cette chambre à fils est opérationnelle depuis mai dernier dans le laboratoire de Michel Goldberg à l'Institut



La chambre à fils du prix Nobel.

Pasteur. Son champ d'application est vaste. Depuis son installation, elle a déjà permis une analyse de la synthèse des protéines chez la bactérie *Escherichia coli*. On envisage aussi de l'utiliser dans trois grands domaines de pointe : en cartographie physique du génome humain ; en pharmacologie ; en médecine.

En cartographie physique. Comme il est impossible d'étudier une molécule d'ADN entière (1,80 m de long), on la fragmente en petits morceaux, puis on les remet dans l'ordre pour rétablir le *continuum* d'origine. C'est le principe des cartes physiques. Ce *continuum* peut être rétabli soit en utilisant des points de repère différents les uns des autres, répartis sur toute la longueur de l'ADN, soit en comparant par informatique les homologies existant entre deux fragments qui se chevauchent. C'est de cette manière qu'ont été obtenues les cartes physiques du chromosome 21 et du génome total, au laboratoire Généthon, par le Pr Cohen [3]. Le détecteur du Pr Charpak peut également permettre une telle cartographie physique. Une collaboration vient d'ailleurs de s'établir entre notre récent prix Nobel et le Pr Cohen. Les milliers de fragments de différentes longueurs obtenus par découpe de plusieurs molécules d'ADN sont soumis à une électrophorèse afin de les classer par taille. Les fragments sont déposés en vrac sur une même ligne de départ sur le bord d'un gel conducteur, lequel est soumis à un champ électrique pulsé. Comme l'ADN est chargé électriquement, les fragments se déplacent en fonction de leur taille ; plus ils sont courts, plus ils sont légers et plus ils avancent rapidement. On se retrouve donc avec les pièces de plusieurs puzzles, classées selon leur taille. Ces fragments sont alors marqués par un traceur radioactif et soumis au détecteur de Charpak pour mettre en évidence leur stucture fine. «On peut même y distinguer l'ordre des différents nucléotides [4]», nous a dit le Pr Charpak. Connaissant cet ordre, il est alors facile de remettre dans l'ordre les pièces du puzzle, c'est-à-dire de reconstituer le *continuum* d'origine de l'ADN.

Des radios avec des doses de rayons X 1 000 fois plus faibles

En pharmacologie. Avant d'être mis sur le marché, les médicaments sont toujours essayés sur des animaux de laboratoire afin de s'assurer qu'ils ne sont pas toxiques et qu'ils ont bien les effets désirés. Pour connaître le dévenir du médicament, on commence par le marquer avec un élément radioactif, puis on l'administre à un animal de laboratoire, lequel est ensuite sacrifié. On réalise alors des coupes histologiques transversales et horizontales de l'animal, que l'on analyse grâce à la chambre à fils. En faisant défiler toutes ces coupes dans l'ordre, on peut suivre le trajet du médicament dans le corps de l'animal, comme dans un dessin animé. Grâce à l'appareil de Charpak, ce type d'analyse se fait de 10 à 1 000 fois plus rapidement qu'avec les techniques utilisées actuellement.

Pour le dépistage du sida. Toute personne séropositive présente dans le sang des anticorps fabriqués par son système immunitaire contre le virus HIV. Pour mettre en évidence cette réaction, preuve de la séropositivité, on prélève chez le patient quelques gouttes de sang que l'on met en présence d'un autre anticorps, fabriqué dans le commerce et marqué radioactivement. Si la personne est séropositive, cet anticorps reconnaît le couple anticorps-HIV et une liaison s'établit entre eux. Elle est alors mise en évidence par le détecteur. C'est le principe du test Elisa produit par Diagnostics Pasteur, sauf qu'avec la chambre à fils, on utilise comme marqueur une substance radioactive au lieu d'une enzyme.

Le Pr Charpak a également mis au point un autre détecteur utilisant comme marqueur du tritium (élément qui produit des électrons de très faible énergie), couplé à un amplificateur de lumière. Un modèle de ce type a été installé à l'hôpital cantonal de Genève, dans le service du Pr Jean-Jacques Dreifuss.

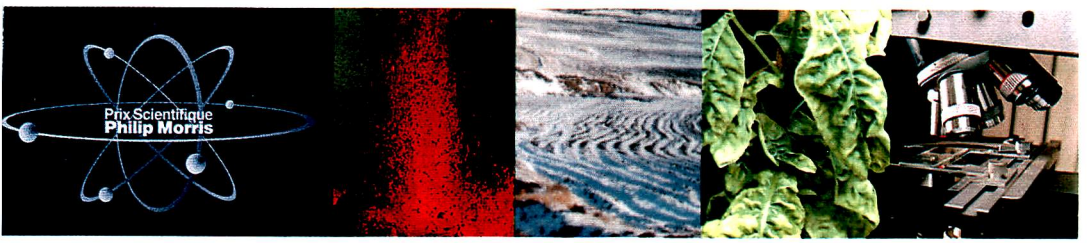
En suivant le même principe de base, d'autres applications peuvent être envisagées. Notamment en radiographie : le faible temps de pose nécessaire réduirait d'un facteur 1 000 au moins les doses de rayons X reçues par les patients, autorisant ainsi les examens sur les femmes enceintes. «Mon prix Nobel pourrait faciliter l'obtention des crédits», ajoute, avec un sourire, Georges Charpak.

Précisons que les différents prototypes mis au point par notre chercheur ne permettent actuellement d'obtenir que des images en deux dimensions. En outre, ils ne peuvent être utilisés qu'*in vitro* sur des échantillons biologiques. Ils n'ont donc rien à voir avec le scanner qui permet, lui, de reconstituer une image en trois dimensions des parties anatomiques d'un être vivant. Mais rien n'empêche d'envisager un développement de ce type dans un futur assez proche.

Pierre Rossion et Bernard Thesnon

(3) Voir *Science & Vie* n° 902, p. 35.
(4) Briques de base de la longue molécule d'ADN.

Appel de candidature



Prix Scientifique Philip Morris 1993

L'Association pour le Prix Scientifique Philip Morris décernera pour la cinquième année consécutive, trois prix et une mention spéciale à des chercheurs français ou établis en France qui auront fait aboutir un projet de recherche appliquée.

Les prix, d'une dotation globale de 550.000 francs, seront remis en 1993 dans les disciplines suivantes :

Physique
Biodiversité
Démographie

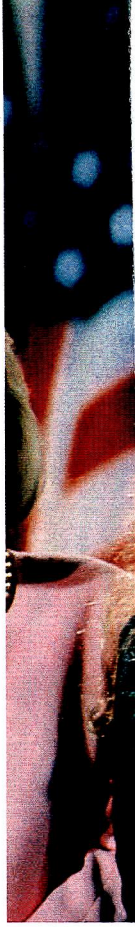
Le jury, composé de scientifiques spécialistes de ces matières, attribuera les prix après examen des dossiers qui lui seront soumis

Dépôt des dossiers avant le 31 janvier 1993

Association pour le Prix Scientifique Philip Morris
5, rue Greffulhe - 75008 Paris - Tél. : (1) 47.42.53.00

PAR PHILIPPE THUREAU-DANGIN

LA FAMILLE POUMON DE L'ÉCONOMIE



Il n'y a pas si longtemps, la famille jouait le rôle d'une compagnie d'assurance. Les enfants étaient considérés comme un investissement. Aujourd'hui, ils sont plutôt des biens de consommation. Les choix que font les couples à l'égard de ces produits pas comme les autres sont déterminés par l'économie, et déterminent à leur tour la marche des affaires. C'est l'une des thèses déconcertantes de Gary Becker, le nouveau prix Nobel d'économie.

Pendant près de deux siècles, les économistes se sont bien gardés de parler de la famille. Ils laissaient cela aux sociologues et aux psychanalystes. Il est vrai que la dernière intervention de l'un des leurs sur les questions de population n'avait pas été confirmée par les faits. En effet, Robert Malthus, avec son *Essai sur le principe de population*, en 1798, avait lancé un cri d'alarme : l'augmentation rapide de la population, disait-il, constitue un «puissant obstacle sur le chemin du progrès». Plus le revenu s'élève, plus les gens se marient jeunes et font des enfants. Pour répondre à cette croissance rapide de la population, la production agricole ne suffira pas. Seule une limitation volontaire des naissances, en repoussant par exemple l'âge du mariage, permettra d'éviter la misère, avait conclu le pasteur anglais, futur professeur d'économie politique.

L'enfant, un bien de consommation parmi d'autres

Les sombres prédictions de Malthus ne se sont donc pas réalisées : le progrès technique a permis d'élever considérablement les rendements agricoles, et l'augmentation du niveau de vie depuis cent cinquante ans n'a pas conduit les gens à faire plus d'enfants. Au contraire, en Europe comme aux Etats-Unis, le taux de natalité a diminué fortement. Menaçant même de ne plus assurer le remplacement de la population. Comment expliquer cette évolution ?

C'est en cherchant à répondre à cette question que Gary Becker, jeune professeur à l'université de Chicago, avancera dès les années soixante plusieurs idées originales, notamment sur la valeur du temps et le "capital humain" – des idées qui lui valent cette année de recevoir le prix Nobel d'économie. Chemin faisant, Gary Becker aura proposé une vision tout à fait nouvelle, parfois dérangeante, de la famille dans son *Treatise on the Family* (traité sur la famille), hélas non encore traduit en français (1).

Malthus se trompe dans ses prévisions, explique Becker, car il prend seulement en compte la "quantité" d'enfants et non leur "qualité". L'économiste entend par là le soin apporté à chacun d'entre eux, autrement dit les dépenses que les parents sont prêts à faire pour l'éduquer, le fortifier, l'entraîner, le rendre charmant et intelligent... Or, ces dépenses (santé, éducation, loisirs) sont variables. Dès lors, même si les parents voient leurs revenus augmenter, ils ne chercheront pas forcément à faire plus d'enfants, mais bien plutôt à mieux les élever. Ils investissent dans le "capital humain" de leurs chérubins.

C'est qu'entre le temps de Malthus et le nôtre, le statut des enfants au sein de la famille a changé du tout au tout. Jadis, dans les sociétés traditionnelles, hier encore dans nos campagnes, les enfants pouvaient aider aux menus travaux de la ferme (ou de l'atelier). Et c'étaient eux, quelques années plus tard, qui assuraient à leurs parents devenus vieux une "retraite" sous le toit familial. «La famille, ou la parentèle,

(1) *A Treatise on the Family*, Harvard University Press, 1991. On peut consulter aussi l'ouvrage de Henri Lepage, *Demain le capitalisme*, Hachette Pluriel, et notamment le chapitre : "Les révolutions de Gary Becker".

était importante car elle protégeait tous ses membres de l'incertitude de la vie. C'était une compagnie d'assurance plutôt efficace», note Becker.

Aujourd'hui, les liens entre générations ne sont plus aussi étroits. Les enfants ne représentent plus un apport de main-d'œuvre, ni une garantie pour l'avenir. Et les retraités, désormais pris en charge par la collectivité nationale, ne vivent plus avec leurs enfants devenus adultes. Gary Becker insiste sur ce point : la famille a perdu une partie de ses fonctions parce que les mécanismes du marché et de l'Etat – en s'occupant de l'éducation, du chômage, de la maladie et de la vieillesse – ont pris sa place. «L'individualisme a remplacé le familialisme.»

Du coup, alors que les enfants étaient autrefois un "investissement", ils sont devenus aujourd'hui un "bien de consommation". Un bien plutôt cher qui vient en concurrence avec d'autres biens de consommation possibles. C'est pourquoi différents facteurs économiques influent sur le nombre des naissances. Non seulement le travail des femmes, mais aussi le progrès technique. Ainsi, en période de changements technologiques rapides, comme les ménages ont tendance à privilégier l'équipement de leurs maisons (ou leurs automobiles), le budget qu'ils consacrent à leurs enfants diminue d'autant. Et le taux de natalité s'en ressent.

La famille américaine type

Comme en témoigne la cellule Clinton, le nombre moyen d'enfants par foyer aux Etats-Unis est désormais inférieur à deux. La famille Clinton, sous-produit des taux d'intérêt, de la préférence pour la consommation et le progrès technologique ?

Avec Robert Barro, un autre économiste de l'école de Chicago, Gary Becker a construit en 1988 un modèle mathématique permettant de rendre compte de l'évolution du taux de fécondité. Outre le progrès technique, divers facteurs interviennent : le degré d'altruisme des parents, mais aussi la croissance, les taux d'intérêt, les charges sociales... Car avoir des enfants, c'est finalement faire un arbitrage entre une consommation immédiate et une consommation différée (pour les enfants). Plus les taux d'intérêt réels sont élevés, plus les ménages sont incités à épargner. Donc moins ils consomment, ce qui influe positivement sur le nombre des naissances... A l'inverse, l'augmentation des charges sociales sur les salariés (et notamment les cotisations pour les caisses de retraite), diminue l'épargne – et tend à réduire la demande d'enfants.

Ce modèle néo-classique de Barro et Becker explique assez bien pourquoi la natalité baisse depuis 1960 aux Etats-Unis, et depuis 1965 en France : du-

rant les années soixante et soixante-dix, la croissance était forte (3,7 % dans les pays de l'OCDE), le progrès technique rapide ; en revanche, les taux d'intérêt réels (c'est-à-dire hors inflation) étaient faibles (1,9 % en moyenne aux Etats-Unis pendant cette période) et les prélèvements obligatoires ne cessaient d'augmenter... Depuis le début des années quatre-vingt, c'est l'inverse : les taux d'intérêt réels sont très élevés (autour de 5 %), la croissance reste faible, et les charges sociales ont tendance à se stabiliser ; si cela continue ainsi, note l'économiste, «la fécondité dans les pays occidentaux pourrait bien augmenter dans les années à venir». Un pronostic semble-t-il déjà confirmé par l'accroissement (léger, il est vrai) du nombre de naissances en France depuis deux ans !

Dans sa démonstration, Gary Becker aura, au passage, détruit quelques idées toutes faites, notamment sur les moyens contraceptifs modernes : ce ne sont pas eux, explique-t-il, qui ont provoqué la chute du taux de fécondité. Au Japon, où l'usage de la pilule est resté longtemps interdit, on observe la même évolution qu'aux Etats-Unis. En revanche, en Inde, société traditionnelle où les enfants sont toujours considérés comme un "investissement", le planning familial n'a pas réussi à diminuer sérieusement le rythme des naissances, malgré la distribution gratuite de moyens contraceptifs.

A propos du couple, du mariage et du divorce, le prix Nobel ne manque pas non plus de vues originales dont certaines agacent passablement les féministes américaines. Il conçoit le mariage comme un contrat de division du travail : chacun des époux se spécialise dans un domaine. Traditionnellement, c'est l'homme qui avait un métier à l'extérieur de la famille, et la femme qui restait à la maison pour les tâches domestiques et le maternage. Il explique cette division du travail en partie par des raisons biologiques – l'homme ne met pas au monde les enfants – mais aussi par des raisons économiques. Avec la théorie des avantages comparatifs, l'économiste anglais David Ricardo avait expliqué en son temps (au début du XIX[e] siècle)

UN ÉCONOMISTE DU QUOTIDIEN

Diable d'homme que ce Gary Becker. Alors que de plus en plus de rires s'élèvent à l'égard d'une "science" économique manifestement incapable de prévoir les cycles de la conjoncture, lui répète à qui veut l'entendre ce credo simple en trois points :

- les individus (et *a fortiori* les entreprises) se comportent de manière rationnelle ;
- l'économie comme science est l'étude de ces comportements ;
- la science économique est «un outil puissant pour comprendre le monde».

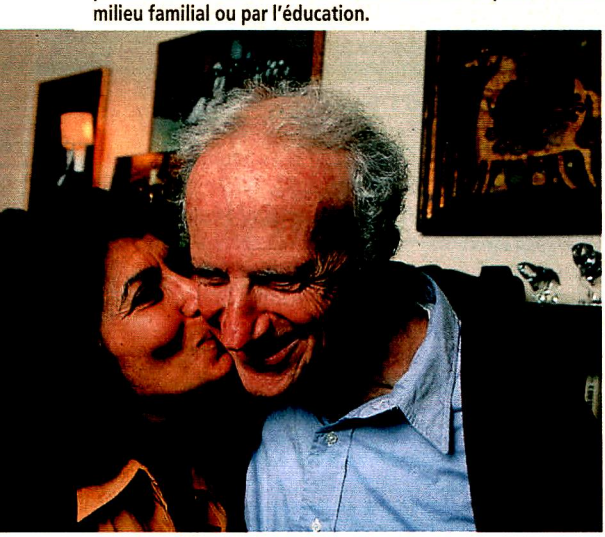
Tout au long de sa vie – il n'a que 62 ans, mais ses premiers travaux datent du début des années soixante –, ce professeur d'économie et de sociologie à l'université de Chicago a appliqué la logique coût-bénéfice à de nombreux domaines de l'action humaine. Il s'est intéressé tout à tour à la famille, à la criminalité, à la drogue, à l'action politique... Pour lui, chaque homme, criminel ou politicien, recherche son avantage face à une situation donnée. Chacun veut maximiser son profit. Tout comme le spéculateur ou le chef d'entreprise, le voleur agit rationnellement : il soupèse l'avantage procuré par le larcin et le risque de capture possible...

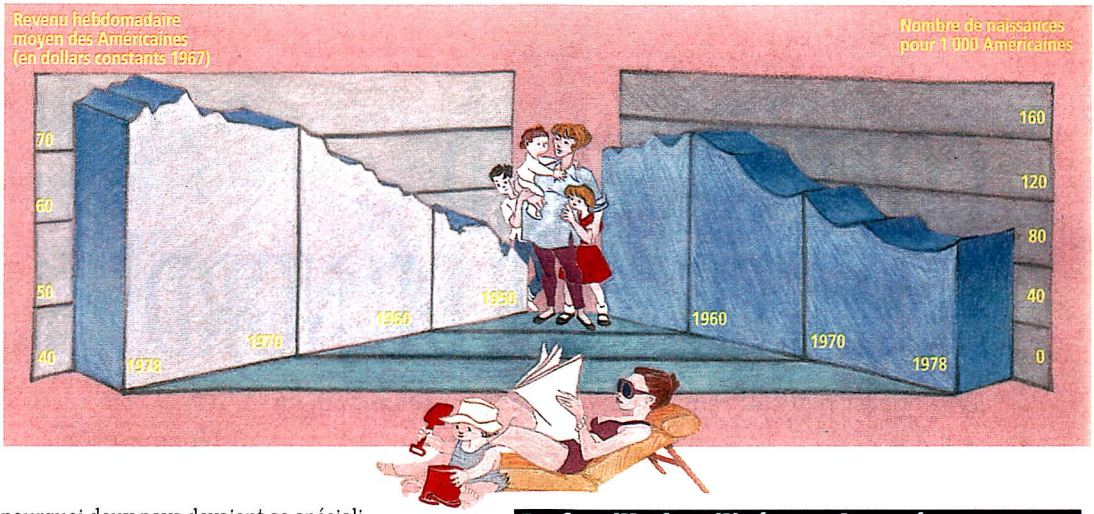
Une façon de voir les choses qui ne plaît pas à tout le monde ! On a pu parler à propos de Gary Becker de "réductionnisme", ou encore d'impérialisme économique. C'est en partie vrai.

Encore faut-il dire que le "profit" mis en avant par l'économiste n'est pas seulement un profit en argent. Mais aussi en temps, en capacités, etc. Gary Becker aura été le premier en effet à montrer l'importance du "capital humain", c'est-à-dire des connaissances et capacités que donnent le milieu familial (ce que le sociologue français Pierre Bourdieu nomme l'héritage social), et aussi celles qui peuvent s'acquérir par l'éducation ou la formation.

On présente souvent Gary Becker comme un adepte du laisser-faire, à l'instar de Hayek ou Friedmann (deux autres prix Nobel de l'école de Chicago). De fait, il considère que l'Etat ne doit pas "gérer" l'économie. Mais il a souvent insisté sur le rôle du gouvernement dans l'éducation – qui seule permet de réduire les inégalités sociales – ainsi que dans la protection de l'environnement ou la modernisation des infrastructures.

Gary Becker. Le premier à avoir insisté sur l'importance du capital humain, c'est-à-dire des connaissances acquises dans le milieu familial ou par l'éducation.





pourquoi deux pays devaient se spécialiser pour échanger avec le maximum de profit. Gary Becker applique la même théorie aux échanges non marchands qui lient le mari et la femme. Seule une spécialisation maximise les ressources et le bien-être du couple.

Bien entendu, aujourd'hui, la donne n'est plus la même : en France comme aux Etats-Unis, plus de la moitié des femmes travaillent. 40 % des jeunes mères aussi. Cette entrée massive des femmes sur le marché "extérieur" a réduit le "gain" économique du mariage et «a ainsi rendu le divorce plus facile». En termes micro-économiques, on dirait que la sortie du marché de l'un ou l'autre des partenaires n'est pas très coûteuse. Comme les jeunes couples envisagent désormais que leur mariage puisse se finir par un divorce, ils sont moins désireux (ou moins pressés) que par le passé de faire des enfants. «Que le mariage représente un gain moins important qu'autrefois, cela se voit aussi par le plus grand nombre d'unions libres, l'augmentation des femmes à la tête des foyers, et le plus grand nombre de naissances hors mariage». Et le processus s'auto-engendre : les femmes mariées veulent désormais travailler «comme protection contre l'adversité d'un éventuel divorce», au cas où...

Pourtant nous n'en sommes sans doute qu'au début d'une plus longue évolution : les salaires féminins demeurent aujourd'hui encore inférieurs aux salaires masculins ; l'avantage comparatif persiste. Il ne s'agit pas là d'une prétendue "discrimination" ou d'un sexisme, assure Becker. La différence de traitement s'explique parce que la plupart des femmes, encore absorbées par les tâches de la maison, ne consacrent pas la même énergie que les hommes à leur activité professionnelle. Elles investissent moins à l'extérieur, choisissent des emplois qui demandent moins d'efforts, et donc sont moins payées.

Gary Becker évoque aussi l'apparition des "nouveaux pères" – ces hommes qui se consacrent en priorité à leurs enfants, quitte à sacrifier leur carrière. Seront-ils un jour aussi nombreux que les "nouvelles mères" ? Il y aurait alors parfaite égalité entre les salaires féminins et les salaires masculins. Du moins dans la société dans son ensemble. Car au sein du couple, l'inégalité (et la spécialisation des tâches) n'aurait pas disparu pour autant – seulement, cette division des rôles ne serait plus fondée comme aujourd'hui sur la différence sexuelle. Becker, visiblement, ne croit pas trop à cette éventualité. Mais il conclut : «Une telle évolution aurait des conséquences majeures sur le mariage, la fécondité, le nombre de divorces.»

Les théories et les modèles du prix Nobel, on le voit, sont fondées sur la rationalité économique des comportements humains. L'évolution des mœurs ou les revendications des femmes n'y ont point de place : à ses yeux, pas plus le féminisme que la libération sexuelle ne sauraient expliquer l'évolution de la famille. Elles en sont des conséquences, tout au plus. Une position "économiciste" qui lui fut souvent reprochée.

Et l'amour ? Le sentiment ne jouerait-il pas un rôle dans cette affaire ? L'économiste observe perfidement que notre époque, paradoxalement, connaît le plus grand nombre de mariages d'amour et... le plus grand nombre de divorces. Et d'assurer en passant que les mariages d'autrefois, arrangés par les familles, réduisaient la part d'incertitude et d'erreur. Gary Becker est un grand économiste, mais aussi un grand conservateur.

Philippe Thureau-Dangin

La famille fragilisée par l'entrée des femmes dans le monde du travail

Entre 1950 et 1978, aux Etats-Unis, le nombre de naissances a baissé d'un tiers, celui des divorces a été multiplié par deux, et trois fois plus de femmes sont devenues chef de famille. Pour Gary Becker, «la cause majeure de ces changements est la croissance du pouvoir d'achat féminin : les revenus réels hebdomadaires des femmes actives de plus de 14 ans a augmenté de près de 30 % entre 1950 et 1964, et de près de 10 % entre 1964 et 1978».

PAR HÉLENE GUILLEMOT

COUP DE FROID SUR L'EUROPE DU NORD

Alors que les modèles climatiques prévoient un réchauffement global pour le prochain siècle en réponse à l'effet de serre, on constate que le climat se refroidit légèrement depuis quelques décennies autour de l'Atlantique nord. Ce n'est pas forcément contradictoire...

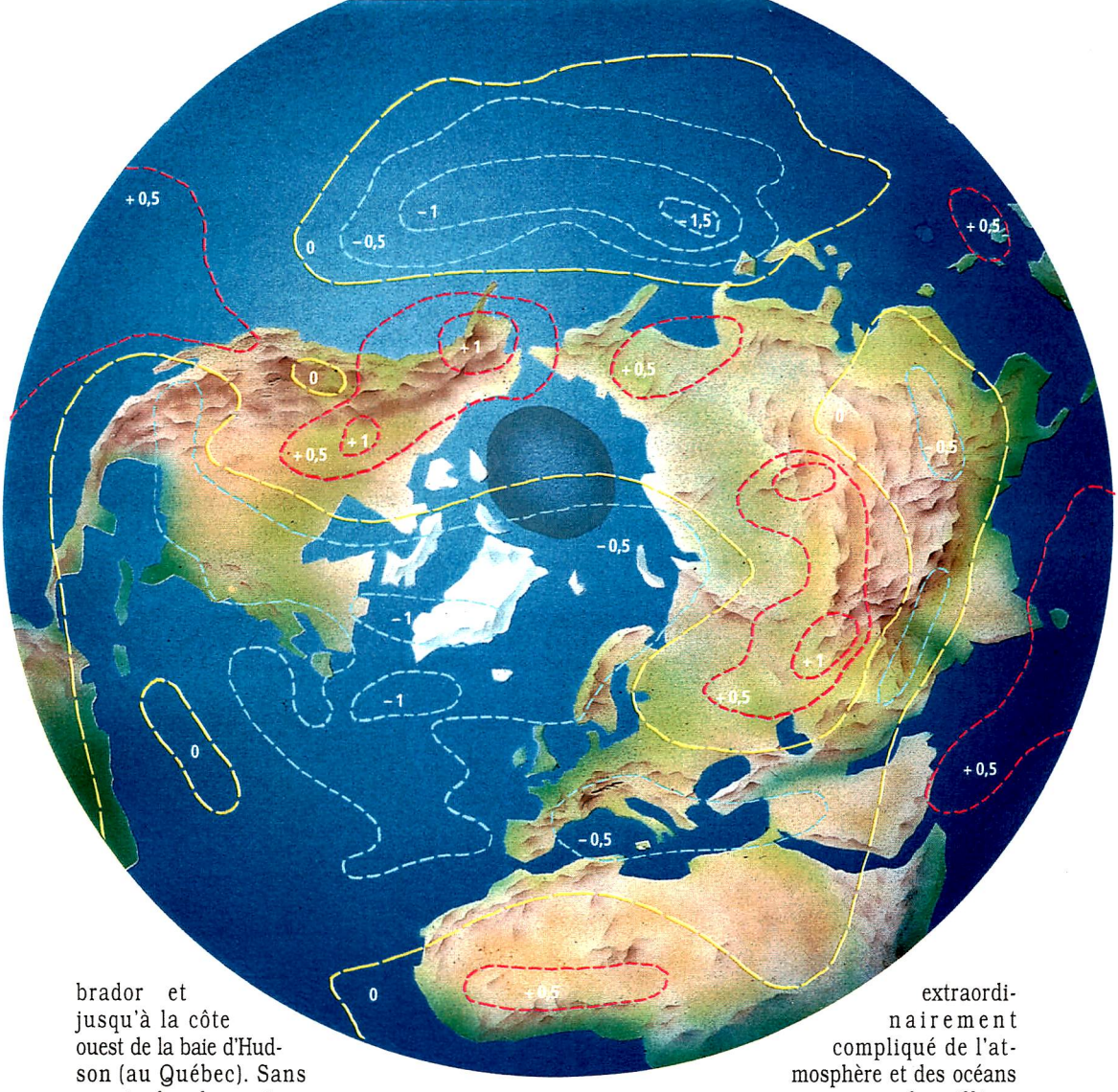
Au nord de la Suède, dans la province du Jätland, des pins et des épicéas perdent leurs aiguilles et jaunissent sur pied. Depuis quelques années, dans cette région, les arbres poussent moins haut en moyenne, leur croissance radiale (l'épaisseur du tronc) est plus lente, leur mortalité augmente. Les études de Leif Kullman, du département de géographie physique de l'université d'Umeå, en Suède, ont montré que ces conifères sont victimes d'une succession d'hivers très rudes, assortie d'une diminution des précipitations, si bien que la couverture neigeuse, plus mince, leur offre une moins bonne protection contre le froid. Le tableau est étrangement semblable de l'autre côté de l'Atlantique, sur la baie d'Hudson, comme le constatent les chercheurs du Centre d'études nordiques de l'université Laval, à Québec : déforestation lente liée, semble-t-il, à une baisse des précipitations et à un déneigement plus tardif, et croissance des arbres ralentie – certaines espèces adoptant même une conduite "de survie" en se développant de façon plus rabougrie...

Toujours au Québec, mais cette fois sur la baie d'Ungava, le pergélisol (le sous-sol qui reste gelé en permanence) s'accroît en épaisseur et en étendue depuis quelques années, et sa température baisse. Cette extension est également observée en différents endroits de l'Europe du nord, où elle est souvent accompagnée d'autres modifications du sol, comme la croissance des "coins de glace" (***voir encadré p. 60***). En effet, avec les variations saisonnières de températures, la terre gelée se rétracte périodiquement et finit par se lézarder ; à la fonte des neiges, l'eau s'infiltre dans ces fentes verticales et y gèle, formant ainsi ce que l'on appelle des coins de glace. Selon Brigitte Van Vliet-Lanoë, cryopédologue (autrement dit spécialiste du sol des régions boréales) au centre de géomorphologie du CNRS à Caen, ces changements de morphologie des sols (***voir photos p. 61***) sont des signes qui ne trompent pas : ils résultent de dégels plus tardifs, d'hivers plus rigoureux mais moins neigeux, bref, d'un refroidissement du climat depuis quelques années.

Au total, c'est sur une douzaine de sites répartis entre 57 et 79 degrés de latitude nord, de part et d'autre de l'océan Atlantique, qu'on a repéré ou mesuré des indices plus ou moins nets de ce refroidissement : au Spitzberg et près du lac Femund (en Norvège), en Laponie finlandaise et suédoise, au nord de l'Ecosse, en Ungava, au La-

Le refroidissement constaté sur le terrain

Ces géologues du Centre d'études nordiques de Québec pratiquent un carottage dans une tourbière du Nord-Ungava pour mesurer l'épaisseur du pergélisol – sous-sol gelé en permanence. Sa tendance à augmenter est un indice probable de refroidissement climatique.



Hémisphère nord : plus froid... et plus chaud

Si, depuis 1947, certaines zones, comme l'Asie centrale, ont connu un réchauffement (isothermes en rouge), il fait en revanche plus froid qu'il y a quarante ans dans le Pacifique nord et l'Atlantique nord (isothermes en bleu, en gris les régions où les données manquent).

brador et jusqu'à la côte ouest de la baie d'Hudson (au Québec). Sans compter les observations moins scientifiques, comme ces troupeaux de caribous, au Canada, qui étendent depuis peu leur domaine de pâturage vers le sud, et commencent à entamer la taïga...

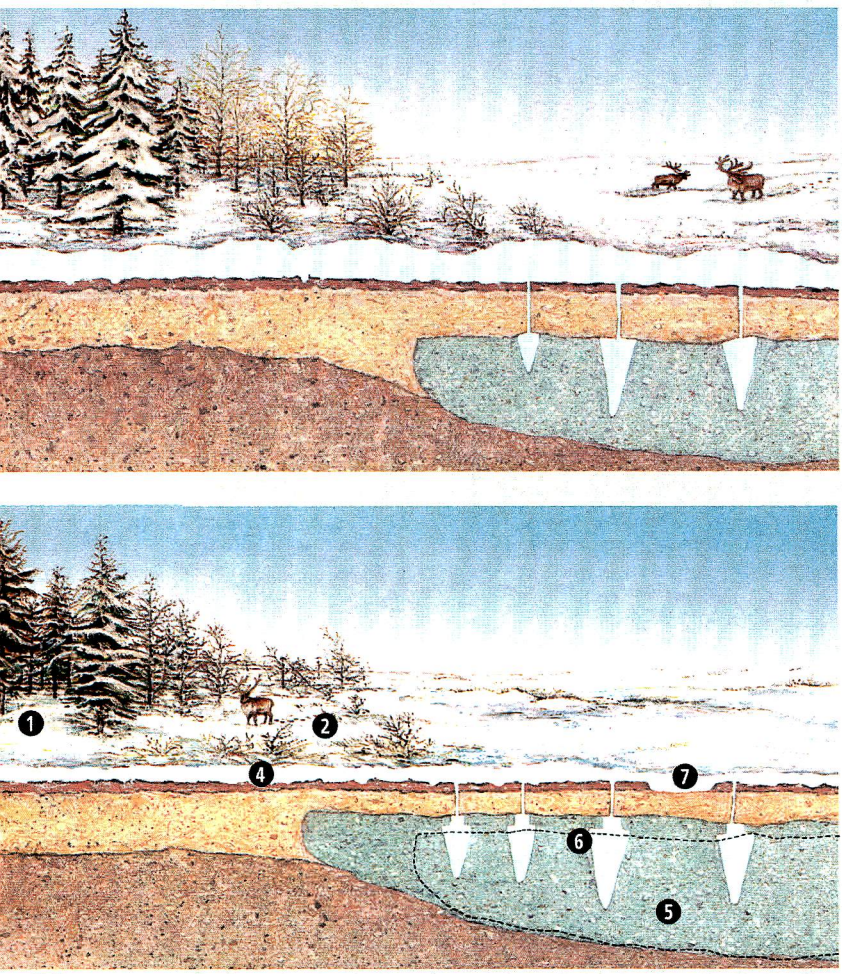
«Ce sont là des faits, des constatations, des observations réelles», disent ces chercheurs de terrain, légèrement agacés par l'actuelle prééminence des "modélisateurs" et de leur très médiatisé "réchauffement global". D'un côté, voici donc quelques pédologues, glaciologues, écologistes, bref des naturalistes, en anoraks et bottes au milieu de la toundra ou au bord d'un glacier, qui observent, prélèvent, mesurent, et qui constatent, ici ou là, un léger refroidissement climatique. De l'autre côté, des théoriciens du climat cherchant à simuler le comportement extraordinairement compliqué de l'atmosphère et des océans au moyen de milliers d'équations. Leurs modèles, qui tournent sur des Cray 2, les super-ordinateurs les plus puissants au monde, prévoient à terme un réchauffement. Qui a raison ? Sans doute tout le monde, car ces deux affirmations – refroidissement local actuel et futur réchauffement global – ne sont nullement contradictoires.

Le fameux réchauffement global, conséquence de l'effet de serre d'origine humaine dont on parle tant (***voir encadré p. 64***), a-t-il ou non commencé ? La question n'est pas tranchée. Cela fait plus de cent cinquante ans que nous enrichissons l'air avec le gaz carbonique produit par la combustion du charbon ou du pétrole sans que l'on constate d'effets climatiques majeurs. Le responsable de

cette lenteur à réagir est probablement l'océan : ce réservoir très profond absorbe la chaleur, imposant son inertie thermique à l'ensemble du climat. D'après certains modèles, ce "retard à l'allumage" pourrait durer de cinquante à cent ans, le temps pour les couches d'eau superficielles des océans d'absorber assez de chaleur pour être en équilibre avec l'atmosphère ; après quoi la température de l'air commencera d'augmenter... Selon certaines prédictions, ce réchauffement d'origine humaine pourrait se faire sentir vers la fin de notre siècle. A moins qu'il n'ait déjà commencé...

En effet, la température moyenne de la surface de la Terre semble avoir augmenté de 0,5 °C depuis cent ans. Telle est du moins la conclusion de l'énorme travail de compilation et d'analyses d'archives du climatologue anglais P.D. Jones, de l'institut de recherches climatiques de l'université East Anglia de Norwich, secrétaire de l'International Panel on Climate Change (commission internationale de climatologie), qui s'est attaché à reconstituer l'évolution du climat depuis plusieurs siècles et plus particulièrement au XX^{e} siècle. Pour cela, il a fait la synthèse de toutes les données disponibles, à la fois terrestres (stations météorologiques) et maritimes (température de la surface de la mer relevée par bateau) provenant de toute la planète. Bien entendu, les données climatiques anciennes sont rares, incomplètes et souvent peu

LE FROID FAIT RECULER LA TAÏGA



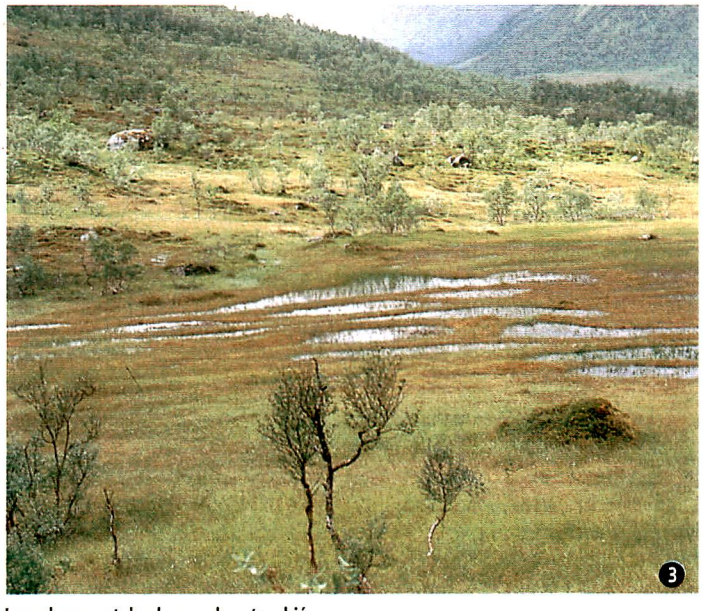
Les paysages de certaines régions bordant le nord de l'océan Atlantique (au Québec, en Norvège, en Suède et en Finlande) ont subi quelques changements ces dernières décennies. La taïga (forêt de conifères) ❶ recule au profit de la toundra (prairie couverte de mousses et de lichens) ❷, et oblige les troupeaux de caribous à aller chercher leur pâturage plus au sud. Les arbres s'étiolent ❸, leur croissance est ralentie, leur mortalité augmente. La raison de cette évolution : des hivers plus rudes et une réduction des précipitations, donc de la protection offerte à la végétation par le tapis neigeux ❹. Sous la terre, le pergélisol, la partie du sol gelée en permanence (le sol plus proche de la surface ne subissant qu'un gel saisonnier) gagne du terrain à la fois en étendue et en hauteur ❺. La remontée du pergélisol est attestée par la croissance des "coins de glace" ❻ : l'eau de fonte des neiges s'écoule dans les fissures produites par la rétractation thermique de la terre gelée en hiver, et y regèle au printemps. Autre signe du refroidissement : les ostioles de toundra ❼, flaques de boue résultant du gonflement du sol dû à un gel plus précoce et brutal, qui fait éclater la couche de terre végétale.

fiables, de nombreuses régions ne possèdent pas de station météo (ou alors, trop récentes ou situées en zone urbaine) et les appareils et techniques de mesure ont évolué : il a donc fallu vérifier, interpréter et corriger les mesures pour parvenir à cette tendance moyenne. Aujourd'hui, la plupart des climatologues acceptent ce chiffre de + 0,5 °C – même s'il reste forcément une marge d'incertitude – et considèrent un tel réchauffement comme statistiquement significatif, bien que faible. Le climat a souvent connu des évolutions beaucoup plus rapides, sans que les activités humaines en soient responsables : par exemple, il y a 11 500 ans, lors d'une déglaciation, la température du Groenland a grimpé de 7 °C en cinquante ans !

Bref, ce demi-degré en cent ans a peut-être une origine naturelle ; mais il se peut aussi qu'il marque le début du réchauffement de l'effet de serre! En fait rien ne permet de trancher, car une hausse aussi faible ne sort pas du bruit de fond de la variabilité normale du climat.

En outre, ce demi-degré supplémentaire n'est qu'une moyenne. La température de la Terre a beaucoup fluctué depuis cent ans : après une ascension sensible entre la fin du siècle dernier et 1945 environ, il y eut une très légère baisse pendant trente ans, suivie d'une nette reprise de la hausse depuis la fin des années soixante-dix (***voir courbe p. 62***). A noter qu'il y a trente ans, comme par hasard, c'est le refroidissement qui affolait les populations ! La presse annonçait "un nouvel âge glaciaire", comme nous le rappelions récemment (1). De même, la décennie quatre-vingts ayant compté six années de record de chaleur pour le siècle, on a mis ce score sur le compte de l'effet de serre. Mais c'est aller trop vite en besogne. Des analyses statistiques récentes, réalisées au laboratoire de météorologie dynamique de l'Ecole normale supérieure, ont montré que cette récente succession d'années chaudes peut fort bien s'expliquer par une accumulation de circonstances favorables – rétroaction des océans, influence des phénomènes El Niño (2)...

La faible hausse de température du XX^{e} siècle, si elle n'a pas été



Les arbres sont de plus en plus atrophiés.

La taille des "coins de glace" dans le sous-sol gelé toute l'année augmente.

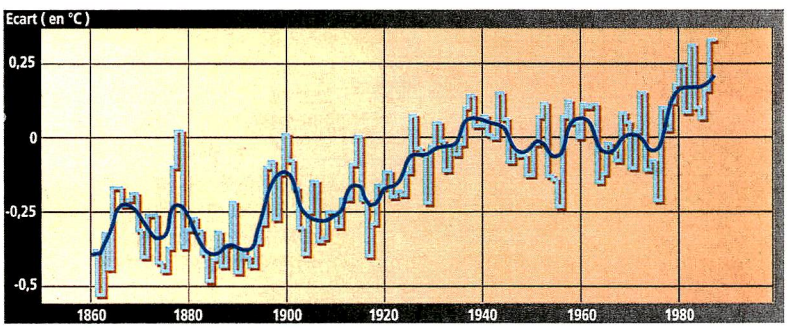
Des ostioles, flaques de boue dépourvues de végétation, apparaissent sur le sol.

(1) Voir Science & Vie n° 900, p. 77.

(2) Il s'agit d'un ensemble de perturbations météorologiques et de tempêtes qui touche les côtes du Pacifique sud tous les sept ou huit ans.

Moyenne mondiale : + 0,75 °C depuis 1860

Pour pouvoir constater cette évolution, le climatologue P.D. Jones et ses collaborateurs de l'université de Norwich ont dû rassembler des données provenant de plusieurs centaines de stations météorologiques, terrestres ou maritimes, puis vérifier, analyser, et parfois corriger certaines de ces mesures, anciennes ou peu précises, avant d'effectuer un traitement mathématique pour rétablir l'équilibre entre les régions les mieux connues (Europe en particulier) et celles où les données sont rares (hémisphère sud, océans, etc.). Ces courbes représentent l'évolution des températures par rapport à la température moyenne calculée sur la période 1950-1979 (l'allure des tracés aurait d'ailleurs été identique s'ils avaient été réalisés à partir des températures absolues). La courbe noire a été établie à partir des moyennes annuelles, et la rouge à partir de moyennes sur 10 ans – ce qui atténue les fluctuations ponctuelles. Il faut noter que la hausse des températures, assez nette quoique faible, s'est interrompue pendant trente ans, entre 1945 et 1975.



régulière dans le temps, n'est pas non plus répartie de façon homogène dans l'espace. P.D. Jones a étudié la répartition sur le globe de la variation de la température moyenne annuelle pendant quarante ans, entre 1947 et 1986, et ses cartes montrent clairement (***voir p. 59 et ci-contre***) que si le réchauffement domine dans l'hémisphère sud, dans l'hémisphère nord en revanche, réchauffement et refroidissement sont également répartis depuis 1947. Le refroidissement le plus net est enregistré dans le Pacifique nord et dans l'Atlantique nord... et l'on rejoint là les observations des naturalistes mentionnés plus haut !

Incontestablement, les régions entourant l'Atlantique nord subissent un léger refroidissement. Reste à savoir s'il est significatif, et quelles en sont les causes éventuelles. Là encore, il est difficile de faire la part de la variabilité naturelle du climat et de tendances plus significatives. Même si ce refroidissement couvre plusieurs décennies, il peut encore s'agir d'une fluctuation assez longue ; d'ailleurs, rien ne dit que la température moyenne de ces régions ne va pas se remettre à grimper l'année prochaine !

Le refroidissement de l'Atlantique nord commence seulement à être étudié, et les observations sont parfois contradictoires. Par exemple, alors qu'on constate généralement qu'il s'accompagne d'une baisse des précipitations, le glaciologue Bernard Lefauconnier, du Norsk Polar Institut d'Oslo, a au contraire mesuré un accroissement des chutes de neige ces dernières années sur les glaciers polaires du Spitzberg. Si, dans certains sites, le contraste saisonnier semble s'être accentué, ailleurs, les étés comme les hivers sont plus froids. On en saura peut-être plus sur le climat dans ces régions grâce à la création prochaine d'une banque de données climatologiques de l'Atlantique nord, exploitant les relevés mensuels de 70 stations météo, et qui devra aussi rassembler et réétudier les données anciennes depuis le milieu du XIX^{e} siècle.

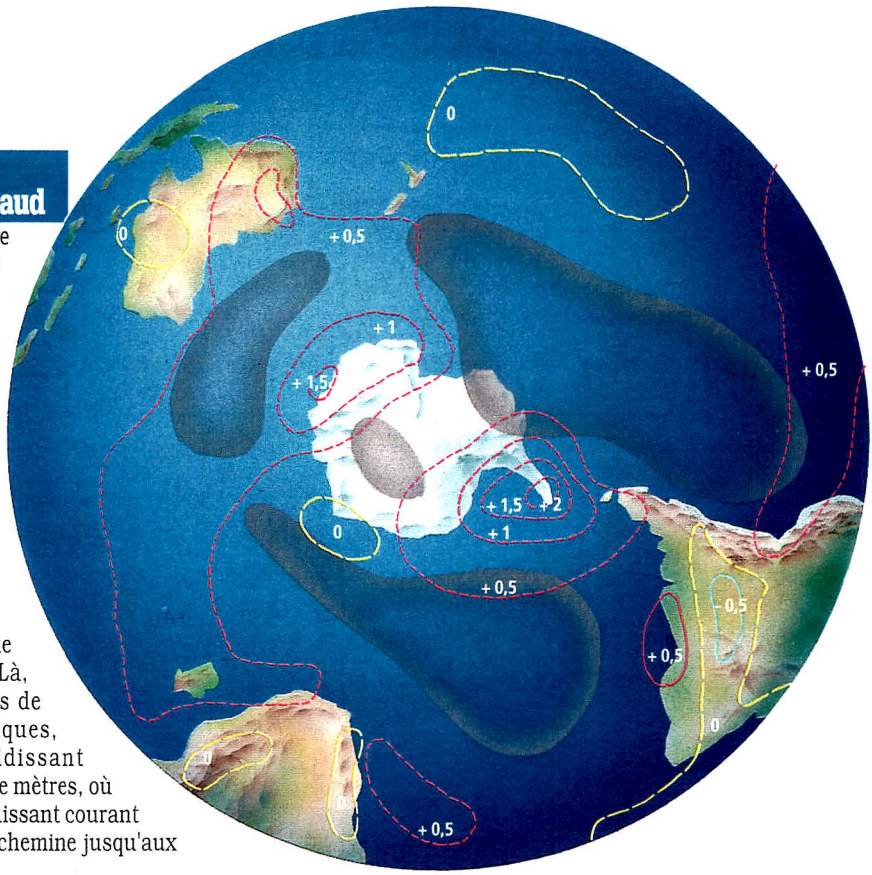
Si ce refroidissement n'est pas lié à la variabilité naturelle, diverses explications peuvent être avancées. Eliminons l'idée du démarrage d'une glaciation : lors des périodes glaciaires, le refroidissement de la masse continentale en Europe s'effectue par le nord-est, et non comme ici par le nord-ouest. Il est d'ailleurs remarquable que ce refroidissement climatique affecte à la fois l'Est du Canada et l'Ouest de l'Europe du nord : les climats de ces deux régions n'obéissent généralement pas aux mêmes influences, en particulier de la part des courants marins, l'une étant "côté ouest" et l'autre "côté est"de l'océan Atlantique.

Certains scientifiques ont pensé que le climat pouvait suivre les cycles solaires de courte durée. Les glaciations et déglaciations qui se sont succédées avec des périodes voisines de 20 000 ans, 40 000 ans et 100 000 ans répondent effectivement à des variations de l'orbite de la Terre autour du Soleil, comme l'a découvert en 1941 l'astronome serbe Milution Milankovich. Mais, en revanche, les cycles courts de l'activité solaire, celui de onze ans par exemple, n'ont jamais (malgré de nombreuses tentatives !) pu être mis en relation avec la variabilité climatique ; l'origine des fluctuations du climat de courte durée reste mystérieuse.

L'Atlantique nord joue un rôle très important dans le climat terrestre : c'est un lieu d'échanges

Hémisphère sud : globalement plus chaud

La légère hausse de température n'affecte pas l'ensemble du globe de façon homogène. Ainsi, si l'hémisphère sud a connu un réchauffement général depuis quarante ans (isothermes en rouge), l'hémisphère nord (***voir dessin p. 59***), pour la même période, se partage entre refroidissement et réchauffement.



particulièrement intenses entre l'océan et l'atmosphère, ce qu'on appelle une "source d'eau profonde". Là, en effet, les eaux chaudes de surface venues des tropiques, s'enfoncent en se refroidissant jusqu'à plusieurs milliers de mètres, où s'amorce alors un lent et puissant courant profond d'eaux froides qui chemine jusqu'aux côtes tropicales.

Peut-être existe-t-il une relation entre ce rôle climatique et le refroidissement actuel. Mais l'explication la plus fréquemment avancée et étudiée est celle de la pollution par les oxydes de soufre (SO_2). La combustion du charbon et certaines activités industrielles dégagent, outre du gaz carbonique, du dioxyde de soufre beaucoup plus polluant, responsable des pluies acides : dans l'air humide, le SO_2 se transforme en effet en acide sulfurique. Ces aérosols sulfatés réfléchissent les radiations solaires, qui ainsi ne parviennent pas jusqu'au sol, ce qui a pour effet de refroidir le climat. En somme, il a exactement l'effet inverse de celui du CO_2 et des autres gaz à effet de serre, qui empêchent les radiations de sortir de l'atmosphère : le SO_2, lui, les empêche d'y rentrer ! De fait, certaines études tendent à montrer que la pollution par le soufre pourrait contrebalancer l'effet de serre, au moins pour un temps, dans l'hémisphère nord (région où les oxydes de soufre sont majoritairement émis, même si, grâce aux mesures antipollution, leur taux atmosphérique a diminué de moitié depuis 1975 dans les pays industrialisés). L'action du SO_2 pourrait expliquer l'asymétrie existant entre les deux hémisphères, le sud se réchauffant plus que le nord. L'auteur de ces études, T.M. Wigley, également de l'université de Norwich, remarque qu'il faut bien se garder de se réjouir car le "remède" pourrait être pire que le mal : si, sous l'influence du SO_2, le contraste "nord-sud" s'accentuait trop, il pourrait s'ensuivre des bouleversements climatiques plus graves que ceux provoqués par un "simple" effet de serre dû au CO_2. Le plus sage, conclut Wigley, serait sans doute de réduire à la fois la production de CO_2 et de SO_2.

Et si le léger refroidissement observé dans l'Atlantique nord était un signe avant-coureur... du réchauffement par effet de serre ? Si l'on regarde les prédictions des modèles climatiques, on ne peut exclure cette hypothèse. La majorité de ces modèles prévoient que, pour un doublement du taux de CO_2, les régions de latitudes élevées, et en particulier les pôles, subiront un réchauffement beaucoup plus important que les régions tropicales et équatoriales. Ce qui ne va manifestement pas dans le sens de notre refroidissement de l'Atlantique nord ! En revanche, d'autres simulations aboutissent à des conclusions opposées concernant ces régions : ce sont les modèles couplés océans-atmosphère. Ces modèles, les plus complets à l'heure actuelle, prennent en compte la réponse lente des océans aux changements climatiques. Alors que les modèles "doublement du CO_2" se contentent de se placer brusquement dans la situation où le taux de CO_2 dans l'atmosphère atteindrait 600 ppm (parties par million) – au lieu de 350 ppm aujourd'hui –,

COMMENT SIMULER LES CONSÉQUENCES DE L'EFFET DE SERRE ?

Certains gaz contenus dans l'atmosphère (en premier lieu la vapeur d'eau et le CO_2) empêchent le rayonnement infrarouge émis par la Terre de s'échapper, et maintiennent ainsi à 15 °C la température moyenne à la surface de notre globe, qui sans ces gaz ne dépasserait pas – 18 °C : c'est l'effet de serre, un phénomène naturel indispensable à la vie. Mais depuis plus de cent cinquante ans, nous injectons dans l'atmosphère des milliards de tonnes de CO_2 supplémentaires en brûlant du charbon et du pétrole. Et ce gaz, ainsi d'ailleurs que d'autres comme le méthane ou les CFC, aura probablement un impact majeur sur le climat, en accroissant l'effet de serre et donc la température moyenne.

Mais les choses sont en réalité plus compliquées. Ainsi, tout le CO_2 ne reste pas dans l'atmosphère : il participe au cycle du carbone et se retrouve partiellement absorbé par les océans et la végétation. Par ailleurs, le réchauffement entraîne un accroissement de la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère, ce qui renforce encore l'effet de serre... Ceci n'est qu'un exemple parmi des milliers de mécanismes que les modèles prévisionnels doivent prendre en compte, et dont beaucoup sont mal connus : ainsi, la réaction des banquises au réchauffement, l'absorption du CO_2, l'influence de la biosphère, très sensible aux variations climatiques...

En pratique, le problème de la prévision se décompose ainsi :

- Quel sera l'accroissement futur de la production en gaz à effet de serre ? C'est une question économique et industrielle.
- Connaissant la quantité de gaz injecté, comment évoluera le taux de CO_2 (ou équivalent) dans l'atmosphère ? C'est la question du cycle du gaz carbonique.
- Quels changements climatiques cette progression du CO_2 atmosphérique entraînera-t-elle ? Cela relève de la prévision climatique la plus complexe.

Afin de simuler ces changements, les climatologues ont conçu des modèles où les différents phénomènes atmosphériques sont mis en équations, et où l'atmosphère terrestre est divisée en cellules de 200 à 500 km de côté et 1 km de hauteur. Ces modèles ressemblent à ceux qu'utilisent les météorologues, mais doivent en outre prendre en compte des phénomènes plus lents, qui ne comptent pas à l'échelle de quelques jours mais influent sur le climat à moyen terme – comme la circulation océanique. Puis, dans ces modèles sont introduites des valeurs initiales pour les températures, la pression atmosphérique, les pressions partielles des différents gaz... Et l'ordinateur calcule l'évolution de ce climat simplifié sur une Terre simplifiée.

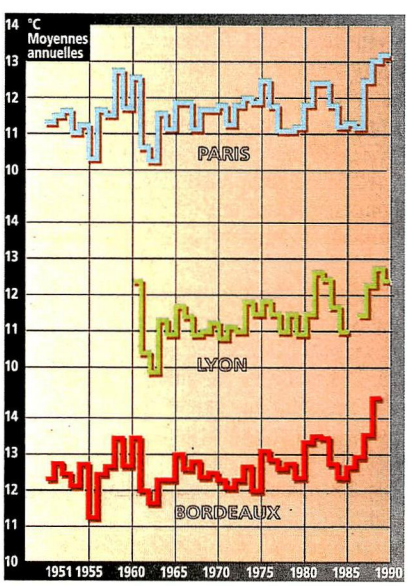
La plupart de ces modèles se placent dans l'hypothèse où le taux de CO_2 dans l'atmosphère atteindrait 600 ppm (soit 0,06 %) Avant la révolution industrielle, ce taux était de 280 ppm. Aujourd'hui il s'élève à plus de 350 ppm, soit déjà une augmentation de 25 %, et il grimpe de façon exponentielle. En faisant la synthèse des différents modèles existants, et en tenant compte de toutes leurs incertitudes, les climatologues sont arrivés au consensus suivant : un taux de CO_2 de 600 ppm entraînera une hausse de la température moyenne à la surface de la Terre comprise entre 1,5 °C et 5 °C. Le consensus s'arrête là. Quand ce taux sera-t-il atteint ? Comment et quand se produira cette hausse de température ? Et surtout, quels en seront les effets climatiques ? Les réponses à ces questions sont encore floues, et dépendent des hypothèses privilégiées par les modèles.

les modèles couplés océans–atmosphère simulent l'évolution progressive du changement climatique. Or, ces deux types de modélisation conduisent à deux scénarios de réchauffement assez différents. Contrairement aux autres, les modèles océans-atmosphère prédisent qu'au moins de façon transitoire la région de l'Atlantique nord – toujours elle ! – se réchauffera moins vite, en raison de l'affaiblissement des grands courants océaniques transportant la chaleur... Coïncidence ?

Quoi qu'il en soit de l'explication du phénomène, si vraiment les régions du Nord de l'Europe se refroidissent tandis qu'au Sud s'amorce un réchauffement, on peut s'attendre chez nous à des rencontres de masses d'air de températures très contrastées, engendrant des tempêtes destructrices... Mais en l'absence de connaissances suffisantes, on doit se garder de généraliser à partir de faits isolés. D'autant qu'après tout, ne l'oublions pas, ce petit refroidissement de l'Atlantique nord n'est peut-être qu'une fluctuation naturelle sans lendemain...

Hélène Guillemot

France : températures stationnaires



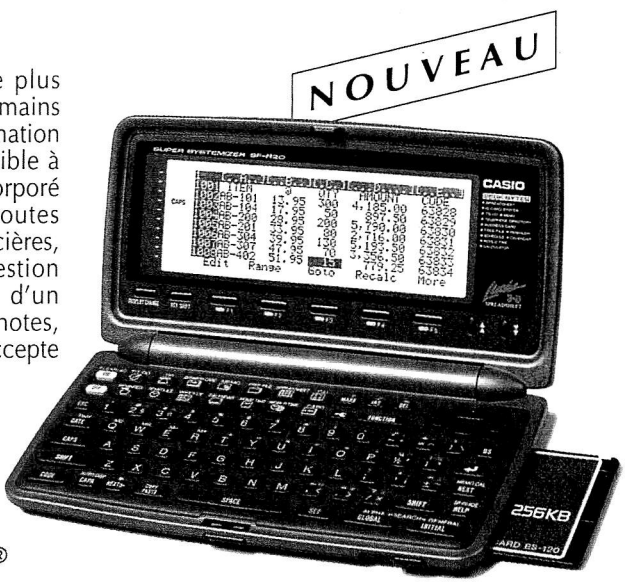
Il est bien difficile de déceler une quelconque tendance sur ces trois courbes représentant les températures moyennes annuelles à Bordeaux, Lyon et Paris entre 1951 (ou 1961) et 1990. Tout au plus peut-on noter une certaine hausse depuis 1975 environ, et plus particulièrement à la fin des années quatre-vingts ; mais quelques "mauvaises" années suffiraient à inverser la tendance. En fait, ces données recoupent les relevés de Jones, reportées sur le dessin p. 62 : la France se trouve dans une zone d'isotherme zéro, c'est-à-dire où la température moyenne n'a pas varié depuis quarante ans.

TABLEZ ENTRE DEUX RENDEZ-VOUS

Le **SUPER SYSTEMIZER SF-R20 CASIO**, le plus perfectionné des organiseurs, met entre vos mains une grande puissance de traitement de l'information grâce à sa mémoire intégrée de 256 K (extensible à 512 K) et son écran géant. Avec le tableur incorporé compatible LOTUS 1-2-3*, vous disposez de toutes les fonctions nécessaires, mathématiques, financières, calculs de balance, tableau de dépenses, gestion bancaire... et bien sûr vous retrouvez celles d'un organiseur : téléphone, cartes de visites, bloc-notes, alarme, horloge, rendez-vous... Le SF-R20 accepte toutes les cartes d'application CASIO.

Avec CASIO tout devient possible.

* marque déposée LOTUS DEVELOPMENT CORPORATION.



CASIO®

ORGANISEURS

SF-A10

SF 4300

SF 5300

SF 8300

SF 9300

Agent exclusif : NOBLET S.A. - 1, boulevard Charles-de-Gaulle - 92707 COLOMBES CEDEX - **3615 CLUB CASIO** - Vente en magasins spécialisés, grands magasins et papeteries.

PAR MARC MENNESSIER

LE GOBE-MOUCHE NOIR DÉFIE DARWIN

Gobe-mouche noir femelle

Darwin pensait que le dimorphisme sexuel qui existe chez de nombreux oiseaux est dû au fait que les mâles au plumage le plus coloré sont ceux qui ont le plus de chances d'attirer les femelles et donc d'avoir une descendance nombreuse. Mais en contrepartie, leur manque de discrétion les expose davantage à la vue des prédateurs. Sauf chez un passereau, le gobe-mouche noir, pour lequel des travaux récents tendent à prouver qu'il n'en est rien.

Séduction oblige : chez de nombreuses espèces d'oiseaux, comme le paon, le faisan ou le paradisier de Nouvelle-Guinée – pour ne citer que les plus connues –, les mâles sont nettement plus colorés et, disons-le, plus beaux que leurs compagnes du sexe féminin. Selon les théories de Charles Darwin, ce dimorphisme sexuel est dû à la préférence des femelles pour les mâles les plus "tape-à-l'œil". Ces derniers ayant davantage de chances de s'accoupler que leurs concurrents au plumage moins voyant, leur descendance est plus nombreuse et leur proportion tend, par conséquent, à s'accroître au sein de la population.

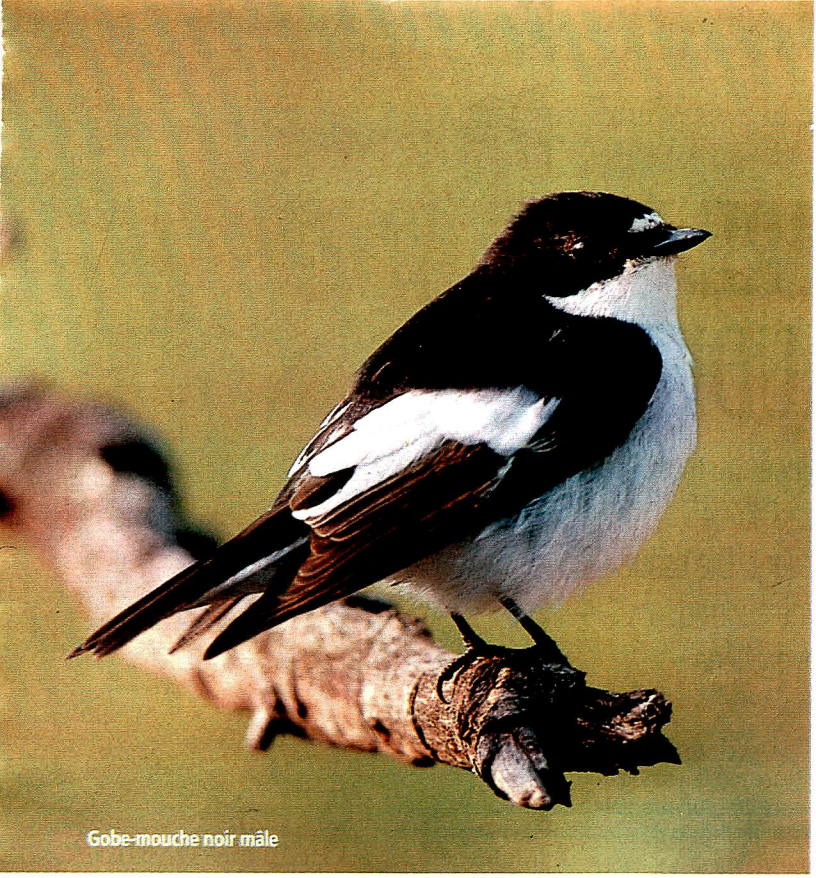
Des gobe-mouches empaillés pour comprendre le comportement de leurs prédateurs

Mais la raison du plus beau n'est pas toujours la meilleure ! S'ils sont plus "visibles" aux yeux des femelles, les mâles au plumage coloré s'exposent également davantage à la vue des prédateurs que les femelles ou les autres mâles moins exhibitionnistes... Darwin en concluait donc logiquement que l'évolution vers des plumages de plus en plus brillants opérée par la sélection sexuelle est en fait limitée par un risque de prédation supérieur.

Bien qu'ayant fait l'objet de nombreux débats, cette théorie séculaire n'a jamais été remise en cause. Jusqu'à la publication des travaux de Frank Götmark, biologiste au département de zoologie de l'université de Göteborg (Suède), dans un récent numéro de la revue *Animal Behaviour*. Ce chercheur vient en effet de montrer que, contrairement à la théorie de Darwin, les mâles d'un petit passereau insectivore, le gobe-mouche noir (*Ficedula hypoleuca*), sont beaucoup moins attaqués par l'épervier (*Accipiter nisus*), principal prédateur de l'espèce, que les femelles. Or, ces dernières ont un plumage brunâtre assez terne et donc apparemment moins repérable que celui des mâles, dont la tête et le dos sont noirs, le ventre blanc, avec des taches de même couleur sur les ailes (***voir photos***).

Pour en arriver à cette conclusion, Götmark a empaillé des spécimens mâles et femelles de gobe-mouches noirs qu'il a répartis par couple et placés au sommet de buissons à feuilles caduques d'environ 2,50 m de haut. En vue de réduire l'influence de l'hétérogénéité du paysage sur le comportement des rapaces, le mâle et la femelle de chaque couple ont été installés sur des buissons distants de 35 m en moyenne l'un de l'autre. L'expérience s'est déroulée en deux temps à la fin de l'été (du 5 au 9 septembre) et en automne (du 20 octobre au 15 novembre). Pour chacun de ces deux tests, le dispositif comprenait 15 couples de gobe-mouches noirs répartis, selon la méthode qui vient d'être décrite, sur un territoire d'un kilomètre carré.

Les principaux rapaces observés au-dessus du site furent essentiellement de jeunes éperviers, nés quelques mois plus tôt, et, accessoirement, des fau-



Gobe-mouche noir mâle

cons crécerelles, des busards Saint-Martin, des faucons hobereaux, des faucons émerillons et des autours. A la fin du premier test, c'est-à-dire au bout de quatre jours, Götmark constata que seuls 5 des 15 gobe-mouches mâles avaient été attaqués, alors que toutes les femelles sans exception avaient subi les assauts des prédateurs ! Quoique moins significatifs, les résultats du second test allaient dans le même sens : 7 femelles attaquées sur 15 contre seulement 2 mâles au bout de deux jours d'exposition.

Contrairement à ce qui vient immédiatement à l'esprit, les femelles du gobe-mouche noir ne sont pas plus appétissantes que les mâles – facteur qui pourrait expliquer les taux d'attaques supérieurs. Götmark a constaté, en offrant la carcasse d'un individu de chaque sexe à 14 couples de faucon pélerins élevés en captivité que ces derniers dévoraient les gobe-mouches mâle et femelle avec autant d'appétit.

De même, on ne peut retenir l'hypothèse selon laquelle les mâles étant plus vigilants que les femelles, les rapaces auraient appris à les éviter, préférant se rabattre sur les secondes, jugées plus faciles à capturer. Götmark note en effet que les jeunes éperviers qui ont participé à l'expérience n'ont commencé à chasser qu'au mois d'août, c'est-à-dire exactement à l'époque où les gobe-mouches mâles perdent leur plumage nuptial noir et blanc et redeviennent quasiment identiques aux femelles. Les rapaces n'ont donc pas eu matériellement le temps d'apprendre à identifier les deux sexes, et encore moins à tester leur vigilance.

Il est toutefois trop tôt pour conclure, au vu de cette seule expérience, que Darwin s'est définitivement trompé sur la sélection sexuelle des oiseaux. Selon Christian Erard, responsable du laboratoire de mammalogie et d'ornithologie au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, «il faudrait refaire les mêmes tests au printemps et non plus à l'automne». En effet, à cette période de l'année, les prédateurs ne sont pas "habitués" à voir des gobe-mouches mâles avec leur plumage nuptial puisque, dans les conditions naturelles, ils n'existent sous cette forme qu'au printemps. «Il est donc possible que les mâles empaillés de Götmark n'aient pas été perçus par les rapaces comme des proies potentielles contrairement aux femelles dont l'apparence était conforme au modèle saisonnier. Ce qui expliquerait qu'elles aient été l'objet d'un nombre d'attaques supérieur».

Par ailleurs, le plumage nuptial noir et blanc du gobe-mouche mâle peut être considéré comme un excellent dispositif de camouflage, s'agissant d'un oiseau qui évolue principalement dans le feuillage des buissons et des arbres. Auquel cas cette livrée servirait moins à attirer les femelles – les mâles ayant pour cela davantage recours au chant ou à un comportement agressif vis-à-vis de leurs concurrents du même sexe – qu'à se dérober à la vue... des prédateurs. Tout occupés à séduire de nouvelles conquêtes, les oiseaux sont généralement moins vigilants en période de rut et ce camouflage leur offrirait un grand avantage du point de vue de la sélection. Mais il faudrait vérifier cette hypothèse en refaisant l'expérience de Götmark avec d'autres espèces d'oiseaux au plumage nuptial plus coloré. La sélection sexuelle n'a pas fini d'éveiller la curiosité des chercheurs. **Marc Mennessier**

Parade ou camouflage ?

Le plumage voyant du gobe-mouche mâle semble pourtant mieux le protéger des prédateurs que celui, plus terne, de la femelle.

PAR MARGUERITE TIBERTI

MER NOIRE, MER MAUDITE

Déjà l'une des plus polluées du monde, la mer Noire est menacée d'une catastrophe sans précédent. Elle risque de se transformer en une énorme bassine crachant de l'hydrogène sulfureux et du méthane.

Presque fermée, la mer Noire reçoit quotidiennement plus que sa part de produits polluants charriés par les grands fleuves d'Europe orientale et de Russie qui viennent s'y jeter. Hydrocarbures, plomb, phosphates et autres nitrates ont bouleversé l'écosystème de ses eaux superficielles. Mais il y a pire : en raison des multiples barrages construits sur leurs cours, le débit de ces fleuves accuse depuis vingt ans une diminution rapide. D'où, selon certains scientifiques, un amincissement progressif de la couche d'eau relativement peu salée formant l'écosystème de surface. Du coup, les eaux profondes risquent de remonter. Or ces eaux, extraordinairement pauvres en oxygène, recèlent une quantité impressionnante de méthane (1) et surtout d'hydrogène sulfureux. Si l'on admet le principe (sur lequel nous reviendrons plus loin) que de grosses bulles d'hydrogène sulfureux pourraient éclater en surface, selon ces mêmes scientifiques, une catastrophe majeure doit être envisagée : un nuage d'hydrogène sulfureux arrivant sur Sébastopol ferait des milliers de morts et intoxiquerait les populations à portée de vent. Le précédent du lac Nyos, en Afrique, où une énorme bulle de gaz carbonique tua 1 700 personnes en 1987, oblige à prendre ce genre de menace au sérieux. C'est ce qui ressort d'un colloque qui s'est tenu à Trieste en octobre dernier (2).

La mer Noire est unique en son genre. Ce bassin de 350 000 km³, dont la Bulgarie, la Roumanie, l'Ukraine, la Russie et la Turquie bordent les rivages, est le seul au monde dont 90 % des eaux sont naturellement anoxiques (dépourvues d'oxygène). A partir de 100 à 200 mètres de profondeur, on n'y trouve plus d'oxygène dissout. Cela résulte de la quasi-absence de mélange entre ses eaux de surface, d'origine fluviale et pluviale, et ses eaux profondes, d'origine méditerranéenne. Les premières plutôt douces (de 16 à 18 g de sel par litre d'eau) flottent sur les secondes plus salées (de 21 à 22 g de sel par litre) donc plus lourdes (***voir encadré p. 70***). On nomme picnocline la ligne de démarcation entre les eaux de surface et les eaux profondes. C'est une ligne de partage entre deux écosystèmes différents. En haut, un écosystème comparable à celui des grands estuaires tempérés, mais transformé par la pollution. En-dessous, un écosystème pauvre, dont les micro-organismes produisent du

(1) C'est le grisou tristement célèbre par les explosions qu'il provoque dans les mines de charbon.
(2) Lors du XIII[e] congrès de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Méditerranée (CIESM).

méthane et de l'hydrogène sulfureux. Lesquels, pour l'instant, semblent rester sagement emprisonnés sous le couvercle de la picnocline.

La pollution des eaux de surface est énorme. Par l'intermédiaire de ses grands fleuves, la mer Noire vit en effet sous l'influence de quelque 160 millions d'hommes. Conséquence : chaque km³ de l'écosystème surplombant la picnocline est "arrosé" par 3 000 hommes. Contre 93 seulement en Méditerranée... Le Danube, à lui seul, déverse dans la mer Noire 60 000 tonnes de phosphates par an et 340 000 tonnes de nitrates et nitrites (soit deux fois ce que charrie le Rhin). L'excès de ces sels minéraux entraîne une eutrophisation massive du milieu : certaines espèces du phytoplancton pullulent, une soupe verdâtre consomme tout l'oxygène dissout et empêche les rayons lumineux de pénétrer au-delà de 10 mètres de

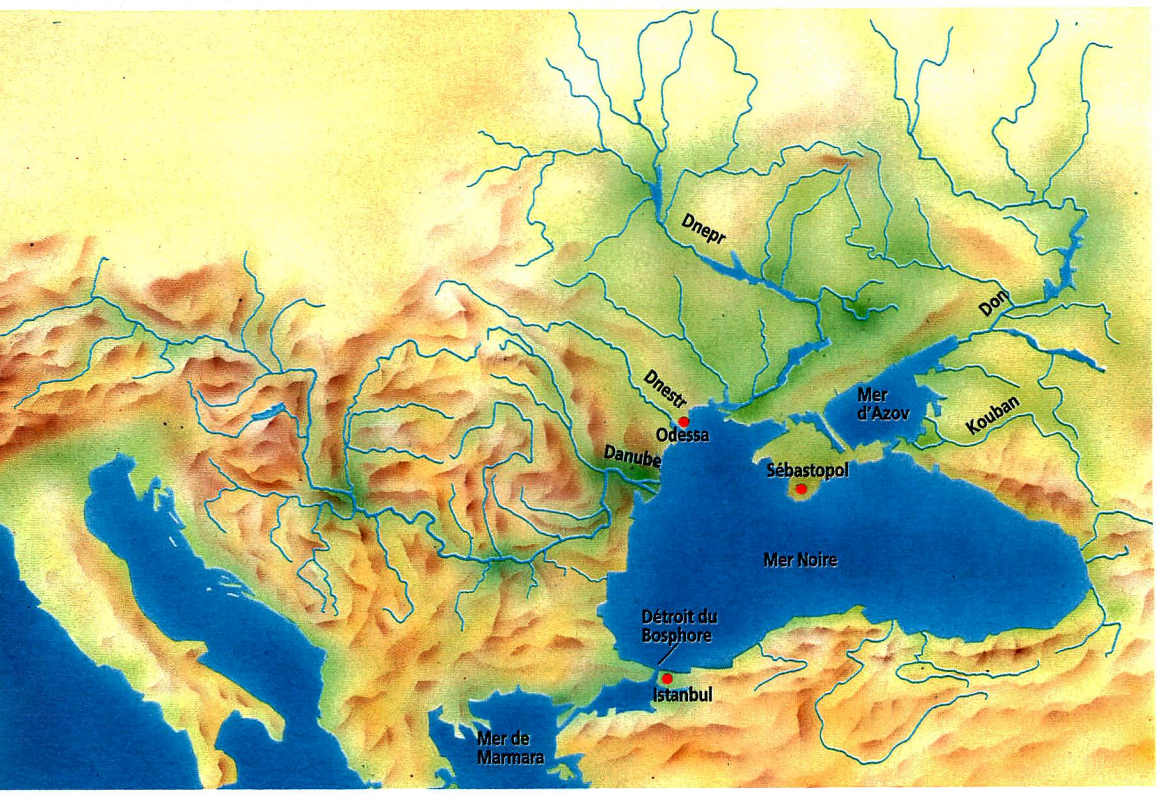
Une mer au bord de l'asphyxie

Pourra-t-on encore longtemps admirer les rivages de la mer Noire (en haut, Istanbul), ou toutes ses côtes vont-elles devenir semblables à Novorossijsk (en Russie – en bas) dont les cimenteries polluent l'atmosphère de leurs fumées, et où aucune station d'épuration n'est prévue avant 1996 ?

DES MASSES D'EAU COMPLÈTEMENT DIFFÉRENCIÉES

En moyenne, 200 km³ d'eaux méditerranéennes entrent chaque année en mer Noire par le fond du détroit du Bosphore ❶. Le volume d'eau apporté par le Danube, le Dnepr, le Dnestr, le Don, le Kouban et d'autres petits cours d'eau est, lui, de 350 km³ par an, auxquels il faut rajouter les 210 km³ d'eau de pluie. L'évaporation annuelle du bassin n'étant que de 410 km³, il y a un excédent de 350 km³ qui se déverse dans la Méditerranée, mais, cette fois-ci, en surface.

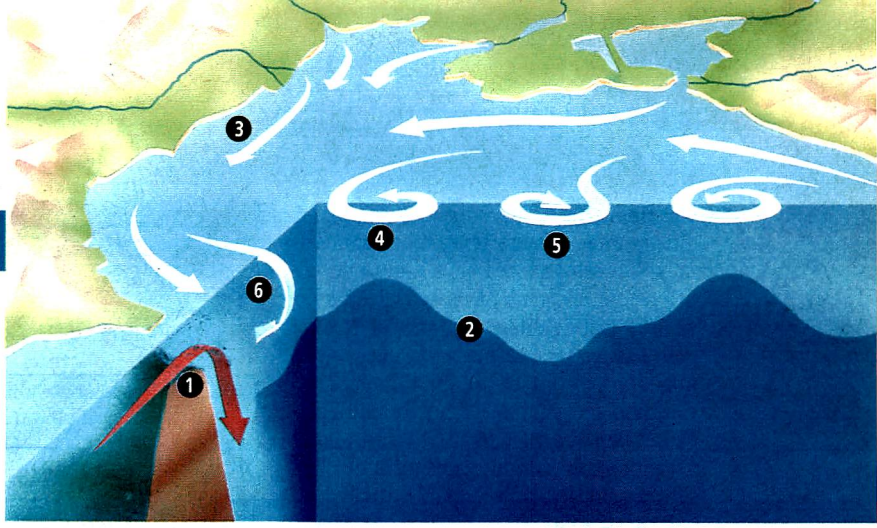
Les eaux des grands fleuves ne se mélangent pas avec les eaux salées venant de la Méditerranée. Les premières, plus douces donc plus légères, flottent sur les secondes. On nomme picnocline la ligne de partage entre ces eaux ❷. Au-dessus de cette frontière, l'eau s'enrichit en oxygène atmosphérique. Au-dessous l'oxygène ne pénètre plus, et des micro-organismes producteurs d'hydrogène sulfureux et de méthane se développent.



profondeur. D'où une série de conséquences. D'abord, les grandes algues qui poussent dans le sol marin meurent. Sur le vaste plateau continental nord-ouest de la mer Noire, la grande phyllophore a disparu à 95 %. Cette algue était auparavant utilisée pour fabriquer de l'agar-agar, un gélifiant industriel.

Ensuite, des animaux du zooplancton, sans grande valeur alimentaire, se sont mis à pulluler : c'est le cas du protozoaire *Noctiluca miliaris* ou de la méduse *Aurelia aurita*. La biodiversité des espèces utiles en souffre. Ainsi, alors qu'en 1960 on recensait 60 espèces de mollusques bivalves et de poissons, on n'en trouvait plus que 20 en 1980. On note la raréfaction, voire la quasi-disparition, d'une vingtaine de grandes espèces à valeur commerciale, dont le célèbre esturgeon. Les grandes pêcheries turques ne trouvent plus guère dans leurs filets que 6 espèces de merlans et d'anchois. Il faut dire qu'en outre, la pêche n'a pas toujours été bien gérée... En raison d'une pêche trop intensive, le nombre des dauphins a singulièrement diminué. On l'évaluait à quelque 2,5 millions dans les années trente. Il n'en resterait plus qu'une cinquantaine de milliers.

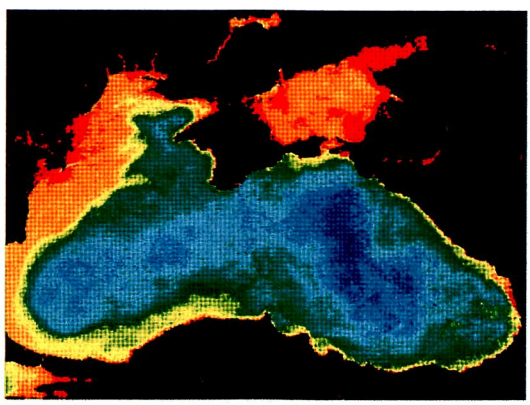
Les autres effets de la pollution chimique sont moins bien connus. A lui seul, le Danube charrie 1 000 tonnes de chrome par an, 900 tonnes de



Un grand courant cyclonique (sens inverse des aiguilles d'une montre) ❸ fait le tour de la mer Noire. Il se divise en plusieurs branches dont certaines émettent des boucles anticycloniques. On a démontré qu'au centre des cyclones ❹ le plafond de la couche anoxique (sans oxygène) est tiré vers le haut : il s'approche des 100 mètres. Tandis qu'au centre des anticyclones ❺, ce plafond s'abaisse vers 200 mètres. Ces creux et bosses se déplacent au cours du temps à un rythme irrégulier.

En hiver, en certains endroits, le refroidissement des eaux de surface augmente leur densité. Elles plongent alors vers les eaux profondes ❻ en provoquant des turbulences.

Au large de la Crimée et le long des côtes caucasiennes, l'affrontement entre les plaques continentales africaines et asiatiques provoque des séismes sous-marins.



Les zones les plus touchées par l'eutrophisation (en rouge sur cette image prise par satellite), c'est-à-dire la pullulation anormale de certaines algues, sont les zones côtières près des embouchures des fleuves. Rien d'étonnant à cela, puisque cette pollution est liée aux phosphates et aux nitrates abondamment charriés par les grands fleuves.

S' il s'avère que la diminution des apports fluviaux fait remonter le plafond de la couche anoxique, l'effet conjugué des turbulences hydrologiques et séismiques peut provoquer un brusque affleurement des eaux profondes, qui libéreraient alors leurs gaz toxiques.

cuivre, 60 tonnes de mercure, 4 500 tonnes de plomb et 6 000 tonnes de zinc. Au large de la Crimée, on trouve des poissons dont la chair contient des doses de métaux frisant celles définies comme toxiques par l'Organisation mondiale de la santé. Pesticides et herbicides se retrouvent également en quantité significative dans les gobies, poissons de bord de mer, ou les sprats, poissons de pleines eaux.

Et puis il y a le pétrole. Le Danube en transporte 50 000 tonnes dans ses eaux. La quasi-totalité du pétrole russe traverse la mer Noire à bord de gros tankers, plus très jeunes et pas très surveillés. Quant aux raffineries portuaires, elles sont nées avant que la communauté internationale établisse des normes de sécurité et elles en sont restées là. Celle de Batumie, en Géorgie, date des années trente.

Les niches écologiques vacantes sont une aubaine pour des espèces opportunistes pas très ragoûtantes. Ainsi du *Ctenophore nmemiopsis leidi*, sorte de grosse groseille aplatie cousine des méduses, importé de la baie de Cheasepeake dans les eaux de ballast de navires américains. Sa population atteint couramment 200 individus par m^3 et, au printemps, elle peut aller jusqu'à 500 au m^3 ! D'un été à l'autre ces animaux peuvent débarquer en Méditerranée !

Pour couronner le tout, sous la soupe de plancton, donc dans une zone sans lumière, se forment des poches d'eau dépourvues d'oxygène, où croissent des bactéries productrices d'hydrogène sulfureux, indépendantes des eaux profondes piégées sous la picnocline. Elles sont moins concentrées en gaz, mais dégagent une odeur nauséabonde... On estime le déficit de l'industrie touristique qui résulte de cette puanteur à 300 ou 400 millions de dollars par an.

Les eaux profondes, elles, sont bien protégées de la pollution par la picnocline... mais ne sont guère sympathiques qu'aux bactéries et autres organismes anaérobies producteurs de gaz toxiques (***voir encadré p. 72***).

L'idée selon laquelle l'hydrogène sulfureux ou le méthane prisonniers de la picnocline pourraient être soudain libérés et faire des ravages en surfa-

ce remonte à 1987, année où se produisirent deux événements. Des flammes inexpliquées apparurent au large de la Crimée. Et, bien loin de là, au Cameroun, se produisit la catastrophe du lac Nyos. Pour expliquer ce dernier phénomène, les experts ne sont certes pas d'accord. Certains soutiennent que cette bulle de gaz carbonique était issue d'une éruption volcanique. Mais d'autres pensent qu'elle fut causée par une remontée brutale des eaux profondes. Alors pourquoi pas en mer Noire ? Quant aux flammes aperçues au large de la Crimée, elles pourraient avoir été provoquées par du méthane des roches sédimentaires relâché à l'occasion d'un séisme. C'est en effet une zone de subduction où s'affrontent des plaques continentales.

Le risque d'une remontée des eaux profondes est notamment souligné par John Murray, de l'université de Washington. A la suite d'une campagne océanographique menée en 1988, il a cru déceler une remontée de la picnocline de 30 mètres. D'après lui, elle est liée à la diminution des débits du Dnepr, du Don, du Dnestr et du Kouban, consécutive à la construction de barrages par l'ex-URSS. Le débit de ces 4 fleuves a en effet considérablement diminué : de 20 % entre 1971 et 1975, de 45 % entre 1981 et 1985. Et l'on prévoit une nouvelle diminution de 65 % entre 1991 et l'an 2000. Ce qui correspondrait à une diminution globale des apports fluviaux de 15 %.

Cette idée fut vivement contestée par les chercheurs ukrainiens et russes. Rassemblant soixante-dix ans de données, Valeri Emerev, de l'institut d'hydrophysique marine d'Ukraine, a démontré que la picnocline n'est pas un couvercle horizontal. C'est plutôt un champ de bosses qui dépend des courants de surface (***voir encadré p. 70***). Or, selon ce savant ukrainien, cette surface ondule autour d'une ligne de base dont la profondeur n'a pas varié.

Récemment, David Aubrey, de la Woods Hole Oceanographic Institution, relançait la controverse. D'après ses calculs, une nouvelle diminution des apports fluviaux de 15 % ferait monter la picnocline de 10 mètres en dix ans. Or, en hiver, dans certains endroits du bassin, l'eau de surface se refroidit tellement qu'elle gagne suffisamment en densité pour plonger vers le fond. Cela crée des turbulences au niveau de la picnocline. Turbulences qui font remonter les eaux sulfureuses. Pour l'instant ces turbulences n'affleurent pas, mais demain peut-être... Surtout si un séisme se produit.

Le débat se poursuit. Selon Laurence Mee, expert auprès des Nations unies, les Américains gagneraient à mieux regarder les données ukrainiennes. Et les Ukrainiens les calculs américains...

La Banque mondiale et les Nations unies viennent d'extraire de leur Fonds global pour l'environnement 9,3 millions de dollars pour la mer Noire. Les mêmes, aidés de la CEE, mettent sur la table 25 millions de dollars pour l'assainissement du Danube. C'est beaucoup, mais c'est bien peu comparé aux 13 milliards de dollars qu'il a fallu pour assainir les grands lacs du continent Nord américain.

Marguerite Tiberti

DES USINES À GAZ TOXIQUES

Dans la nature, il n'y a pas qu'une façon de respirer. La nôtre – celle de tous les organismes aérobies –, consiste à utiliser l'oxygène libre (O_2). Ceux qui vivent sur terre trouvent leur oxygène dans l'air, les autres dans l'eau. Quand il n'y a plus d'oxygène libre, seuls les organismes anaérobies survivent. Parmi eux, les bactéries sulfatoréductrices et les bactéries méthanogènes.

Les bactéries sulfatoréductrices utilisent le sulfate dissout (SO_4) et rejettent de l'hydrogène sulfureux (H_2S) tout comme nous rejetons du gaz carbonique.

Les bactéries méthanogènes grignotent les grosses chaînes de carboxyhydrates ($C_nO_nH_n$) de la matière organique dissoute, et elles rejettent du méthane (CH_4).

En mer Noire, ces organismes se développent dans les poches d'eau anoxiques résultant de l'eutrophisation et dans la grande masse d'eau profonde naturellement dépourvue d'oxygène.

L'hydrogène sulfureux est un gaz asphyxiant, toxique à de très faibles doses. Dès 75 milligrammes par m³, il provoque des maladies respiratoires chroniques. A partir de 1 500 milligrammes par m³, c'est la mort subite par paralysie respiratoire.

Le méthane est asphyxiant et inflammable à forte dose. C'est le composant essentiel du gaz de ville.

La remontée d'une bulle d'hydrogène sulfureux du fond de la mer Noire ferait des milliers de morts à Sébastopol.

Offrez .... Offrez-vous **L'ENCYCLOPÉDIE ANALYTIQUE des CHAMPIGNONS**

Un Cadeau inoubliable

parce qu'il crée pour tous une ère nouvelle pour l'identification des Champignons, et que, par sa présentation et ses illustrations, de l'avis de tous : "c'est un merveilleux Ouvrage"

2350 Champignons analysés dont 1600 présentés en sus avec photo, descriptif, sigle et mots-clés. Le tout reclassé en fonction de l'absence ou de la présence de caractères morphologiques.
1114 pages. format 32.5 x 24,5 cm ; 4,8 kg ; en 2 volumes : couverture en dur et dorure à chaud
Fr. **1 800** + Cassette Vidéo de 3 heures qui passe en revue tous les caractères qui ont une importance sur un champignon

☐ Un jour ou l'autre nous sommes tous attirés par les Champignons, le mystère de leur apparition soudaine, leurs formes et leurs diversités étonnantes quand il n'y en avait pas un seul durant la semaine précédente ! Au Moyen-Age on les apparentait aux Lutins et il nous en reste quelque chose !

☐ Vous avez donc acheté, comme tout le monde 1, 2, ou 3 ouvrages, ou plus et vous savez qu'il n'est pas question d'y chercher les noms des champignons que vous avez cueillis car le risque d'erreur par la ressemblance est énorme et il y a de nombreux toxiques et à ce jour 13 mortels.
A ce sujet, voici l'opinion de notre Mycologue de talent Jacques MONTEGUT : *"Il faut au minimum 5 ans d'études à temps plein et 15 ans de terrain pour commencer à comprendre quelque chose en Mycologie"* et *"Il y a environ 10 Mycologues par Pays en Europe"* !
Vous voyez donc qu'il n'y a vraiment pas lieu de faire des complexes.

☐ Nous avons donc fait de grands efforts pour décider Jacques MONTEGUT à reprendre l'ensemble des Champignons sur le plan empirique : d'après les dimensions, les couleurs et les formes que chacun de nous peut observer, plus quelques autres éléments : l'odeur, le goût en bout de langue, la proximité, le terrain... Poussé chaleureusement par un des Mycologues de son niveau qui lui rappelait qu'en fonction de l'énorme difficulté, personne au monde n'avait osé entreprendre un tel travail... il a accepté le défi et en quatorze années, environ (excusez du peu), nous avons pu réaliser d'abord le Fichier Analytique des Champignons qui est devenu maintenant l'**Encyclopédie Analytique des Champignons** une énorme analyse de 2350 espèces ramenées toutes au niveau de leurs composantes morphologiques et réparties en 7 groupes d'une définition très simple :

① N'a pas de chapeau et pied ou sous le chapeau : aiguilles, tubes ou lames (recherche d'après croquis)
② A un chapeau et pied et sous le chapeau des aiguilles (Hydnes)
③ **Durs comme du bois** à l'âge adulte ; Polypores au pied des troncs
④ A un chapeau et un pied et **sous le chapeau des tubes** Bolets, Cèpes etc...
⑤ A un chapeau et un pied et **sous le chapeau des lames :** pour élaguer : 6 petits groupes très faciles à reconnaitre ; par exemple un beau lamellé avec pied sur le bord du chapeau pleurotes et pleurotoïdes c'est là
⑥ Un chapeau et un pied et **sous le chapeau des lames** et absence des 5 caractères suivants :

cortine	armille	anneau	volve	bulbe marginé

⑦ Un chapeau et un pied et **sous le chapeau des lames** ; avec **1 ou 2 caractères** parmi les 5 indiqués ci-dessus.

La Cassette Vidéo, le glossaire de 15 caractères page 23 et ensuite les 122 croquis des pages 1083 à 1086, illustrent les divers caractères morphologiques qui sont pris en compte pour vous guider jusqu'à l'identification des espèces. Cette identification s'effectue en 3 étapes : 1. le grand groupe se désigne sans problème – 2. vous y cherchez la page d'analyse dont l'onglet signale les mêmes caractères que votre champignon – 3. vous cherchez les autres caractères dans le reste de l'Intercalaire (la page d'analyse) qui seront suivis du nom de genre, d'espèce et de son numéro puis de la photo, du descriptif complémentaire, du sigle et des mots-clés Ce guidage pas à pas pour identifier les champignons constitue sans aucun doute **une ère nouvelle.**

BON DE COMMANDE à adresser à : **S.E.C.N - 2, impasse des Fauvettes - BP 39 - 78630 ORGEVAL**
(ou photocopie) Tél. : (1) 39.75.51.51 – Fax : (1) 39.75.32.38

NOM : ..... PRENOM : .....
ADRESSE : .....
CODE POSTAL |_|_|_|_|_| VILLE : .....

☐ L'ENCYCLOPÉDIE ANALYTIQUE DES CHAMPIGNONS . Prix **1 800** F
☐ CASSETTE VIDEO, 3 heures, VHS "Connaissance des Champignons" achetée avec l'Encyclopédie ..... Prix **180** F
☐ CASSETTE VIDÉO achetée seule ..... Prix 427 F
☐ REGLEMENT : Ci-joint mon chèque de Fr. .....

☐ Règlement échelonné pour l'ENCYCLOPÉDIE + Cassette Vidéo
☐ Ci-joint mon chèque d'acompte de Fr. **600** + RIB ou RIP
Je désire payer en 3 prélèvements de Fr. **480** (agios inclus 60 F)
ou 6 prélèvements de Fr. **250** (agios inclus 120 F)
☐ Ou Ci-joint mon chèque de Fr. **320** + RIB ou RIP
Je désire payer en 12 prélèvements de Fr. **150** (agios inclus 140 F)
Livraison de l'ENCYCLOPEDIE en "Collissimo" R2

Date : Signature

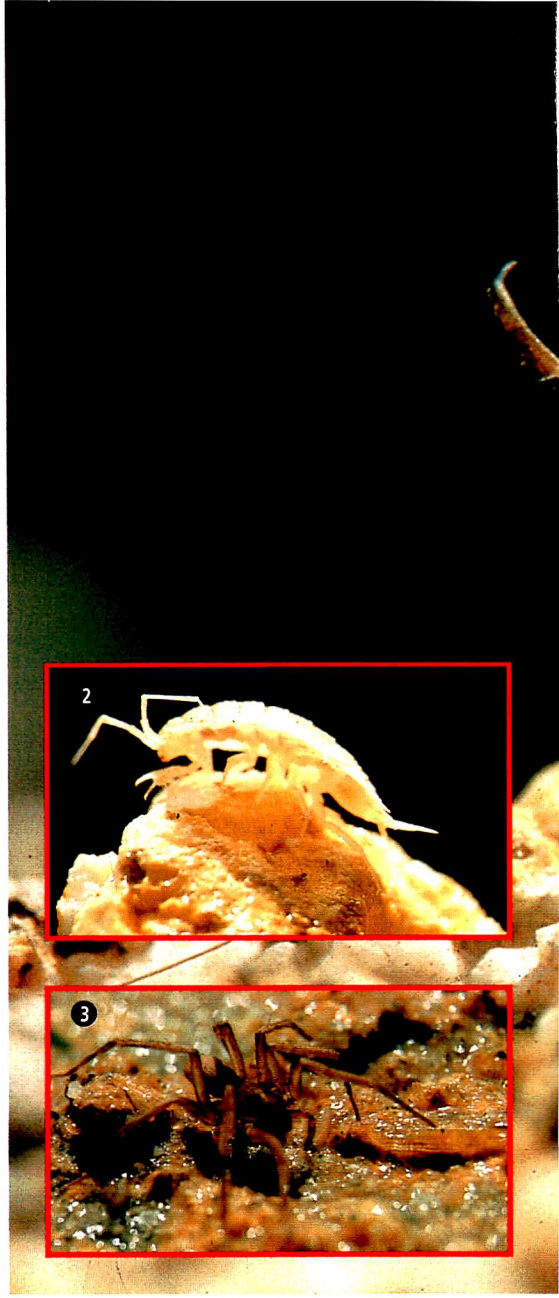
☐ Je souhaite recevoir d'autres renseignements par votre dépliant et votre Bon de Commande : (A découper ou à recopier en indiquant la revue).

NOM : ..... PRENOM : ..... ADRESSE : ..... CP : ..... COMMUNE : .....

PAR DIDIER DUBRANA

LA CAVERNE DES FOSSILES VIVANTS

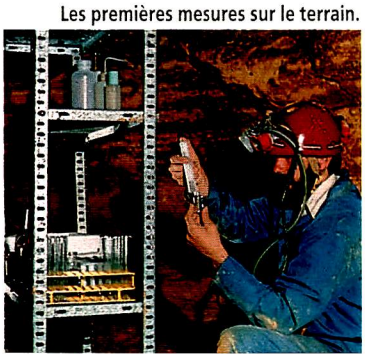
Une faune archaïque vit sans lumière et presque sans oxygène dans une grotte à 25 mètres sous terre. *Science & Vie* présente en exclusivité les photos de ces fossiles vivants qui tirent toute leur énergie d'une population de bactéries.



Par une belle journée du mois de mai 1986, le dictateur roumain Nicolae Ceausescau survole en hélicoptère la région du plateau de la Dobrogea, au sud-est de la Roumanie. Il pointe son doigt sur une parcelle de 2 km² perdue dans ce paysage aride et désertique modelé de tertres et de dolines – de bosses et de creux. C'est à cet endroit précis que sera construite la prochaine centrale thermique roumaine, selon la volonté du "génie des Carpates". Cette unité énergétique valorisera une région impropre à la culture tout en alimentant le port militaire de Mangalia situé à un kilomètre de là.

Un mois plus tard, une entreprise sonde le sol pour calculer les fondations de la centrale. Christian Lascu fait partie du voyage, et pour cause : spéléologue averti, il sait que le sous-sol de ces plateaux calcaires est troué comme un gruyère. Empruntant le premier forage, il repère à 18 mètres de profondeur une petite crevasse de 20 centimètres qu'il agrandit à coups de pied. La cavité s'élargit sans difficulté, dévoilant une étroite galerie. Lascu s'engage dans ce monde obscur qui empeste l'œuf pourri, picote ses narines et l'empêche de respirer. «J'ai cru qu'il s'agissait de gaz toxiques issus de l'utilisation des explosifs», confie-t-il. Après 100 mètres de progression, il débouche dans une grotte obscure baignée par un petit lac de 2 m². C'est là une première surprise, car toutes les grottes découvertes à ce jour dans la région sont sèches. Deuxième surprise : la puanteur provient de chaudes émanations de gaz d'hydrogène sulfureux (H_2S) s'échappant des entrailles de la terre. Enfin, la température avoisine 20 °C alors que toutes les grottes connues en zone profonde ne dépassent pas de 10 °C à 15 °C. Lascu n'est pourtant pas au bout de son étonnement. La surface du petit lac souterrain est recou-

Les premières mesures sur le terrain.

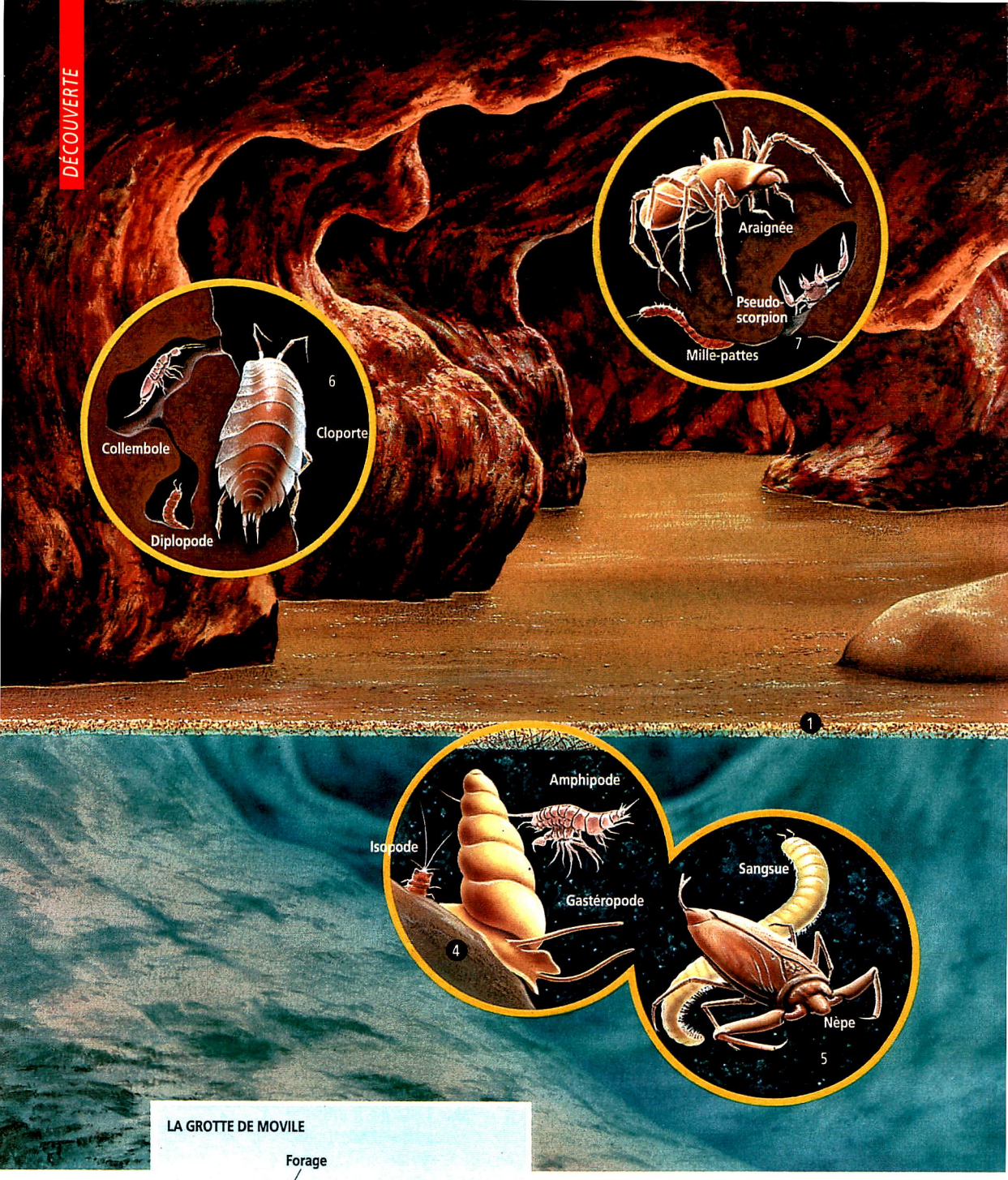


Une faune de cinq millions d'années

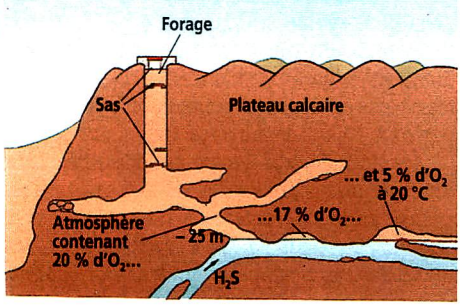
Scorpion d'eau ❶, cloporte ❷, araignée ❸ et escargots ❹ vivent dans des conditions extrêmes qui rappellent celles des abysses.

verte d'un voile gélatineux brunâtre grouillant de vers, de minuscules crustacés et d'araignées.

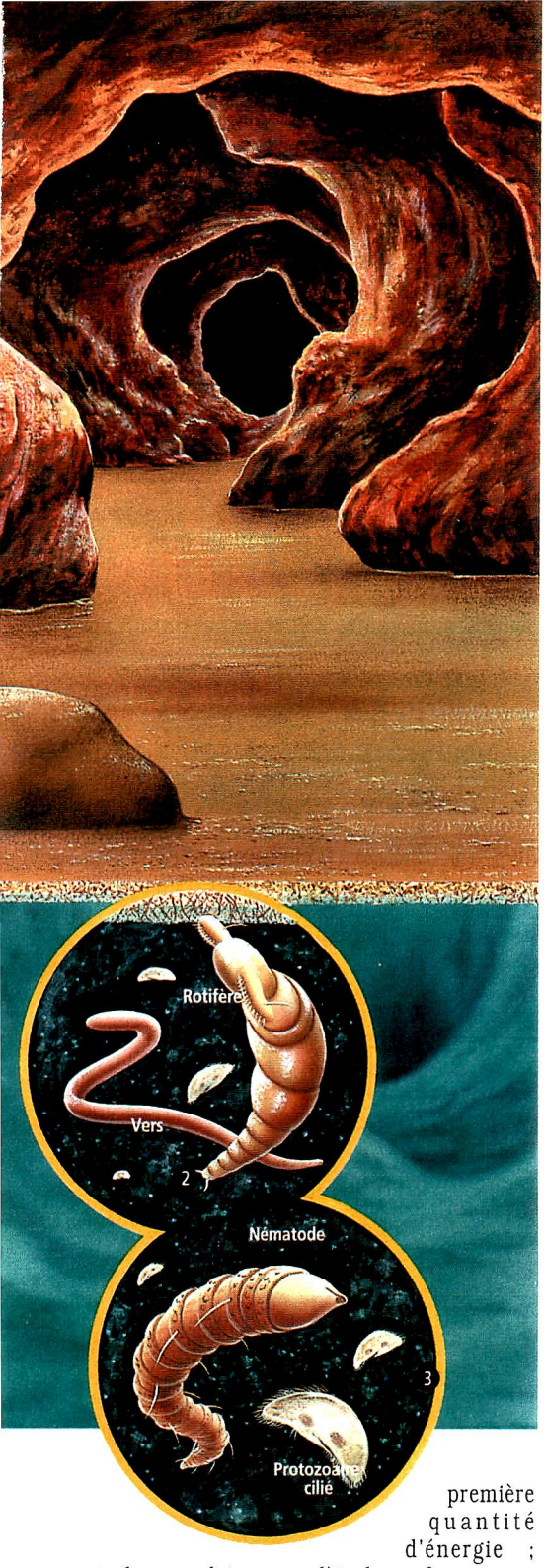
C'est un mois plus tard, lorsque il retourne dans la grotte en compagnie de biologistes, qu'il apprécie l'importance de sa découverte. La *pestera* (grotte en roumain) de Movile est unique au monde : elle possède non seulement de nouvelles espèces animales mais surtout un écosystème digne des meilleurs films de science-fiction. L'atmosphère de la grotte contient à certains endroits moins de 5 % d'oxygène. Pourtant, la vie y pullule, alors qu'il n'y a, de surcroît, pas un seul rayon de lumière. Or, sur notre planète, le début de tout forme de vie dépend des organismes autotrophes, qui fabriquent de la matière organique en utilisant l'énergie lumineuse – c'est le cas des végétaux lors de la photosynthèse. Cette matière est ensuite consommée par les hétérotrophes (hommes, animaux, champignons). La grotte de Movile est-elle vraiment isolée et ne bénéficie-t-elle pas d'un apport de matières organiques charriées par les eaux d'infiltration venues de surface ? L'absence de traces de césium 137, ce radionucléide dégagé lors de l'accident de Tchernobyl, prouve que l'enclave souterraine est hermétique ; car, toutes les nappes phréatiques de la région ont, elles, alors été contaminées.



LA GROTTE DE MOVILE



Dans la grotte, la chaîne alimentaire s'amorce grâce à l'énergie produite par des bactéries chimiosynthétiques de la famille des béggiatoacées. Ces dernières, en effet, décomposent l'hydrogène sulfureux (H_2S) contenu dans l'eau. Cette chimie s'articule autour de l'oxydation progressive de l'hydrogène sulfureux qui libère à chaque étape de petites quantités d'énergie : au départ, il est transformé en soufre (S), tout en relâchant une



première quantité d'énergie ; puis il y a oxydation complète du soufre, avec un second dégagement d'énergie.

Ce combustible est brûlé par d'autres types de bactéries qui fabriquent, elles, la matière organique (du glucose) à partir de l'eau et du gaz carbonique. Enfin, ce tapis nutritif est emprisonné dans la trame d'un réseau de filaments mycéliens qui s'en nourrissent. Cet ensemble de bactéries et de champignons compose un voile gélatineux recouvrant, sur 2 centimètres d'épaisseur, le lac de la grotte. La faune aquatique sous-jacente peuplée de consommateurs "primaires", comme les crustacés ou les vers, broutent ce voile. Les nombreux prédateurs, les consommateurs "secondaires", mangent à leur tour ces "brouteurs" de gélatine (***voir dessin ci-contre***). Cet écosystème vivant en autarcie complète à 25 mètres de profondeur est unique au monde.

Depuis 1986, une centaine d'expéditions scientifiques ont visité la grotte. Trente nouvelles espèces animales y ont été découvertes : une de gastéropodes (*Semisalsia dobrogica*), quatre d'araignées (dont *Lascona cristiani*), une de sangsue (*Hæmopsis*), une de nèpe (*Népa*) (***voir photos p. 74 et 75***)... et bien d'autres.

UN MONDE À PART

Le moteur de cet écosystème souterrain repose sur l'oxydation de l'hydrogène sulfureux contenu dans l'eau par des bactéries autotrophes de la famille des béggiatoacées qui produisent ainsi de l'énergie. Ce combustible est brûlé par d'autres types de bactéries, les hétérotrophes, qui fabriquent de la matière organique. Cette dernière est alors consommée par les filaments mycéliens qui emprisonnent la population bactérienne à la surface du lac : c'est le voile bactérien ❶.

Cette assise nutritive constitue le premier maillon de la chaîne alimentaire de l'écosystème souterrain. Interviennent alors les consommateurs primaires aquatiques : ce sont les copépodes, les rotifères, les protozoaires ciliées et les nématodes ❷. Cette faune "broute" le voile gélatineux.

Plus bas, on rencontre les consommateurs secondaires qui sont de terribles prédateurs, tels les nématodes aquatiques ou autres protozoaires ciliés ❸ qui se nourrissent de leurs congénères de l'étage supérieur.

La même chaîne trophique se retrouve sur la bordure littorale de la grotte, à l'endroit où le voile bactérien empiète sur la roche calcaire. Là, ce sont les gastéropodes, les isopodes ou les niphargus qui jouent le rôle de consommateurs primaires ❹. Cette faune sert de proie à des prédateurs comme les sangsues et les nèpes ❺.

Sur la terre ferme, le même scénario se reproduit encore. Les consommateurs primaires, acariens, collemboles, symphyles ou isopodes ❻, viennent se nourrir sur le voile bactérien. Nichés dans les fissures de la roche, les araignées et les pseudoscorpions ❼ descendent toutefois sur le voile bactérien pour se nourrir des consommateurs primaires aquatiques qui s'y trouvent ou tout simplement des consommateurs primaires terrestres.

Si de nombreuses espèces s'apparentent à la faune régionale actuelle, d'autres trouvent leurs origines dans les groupes tropicaux de l'ère tertiaire – c'est le cas d'une des araignées (*Lascona cristiani*), dont on retrouve une cousine vivant aux îles Canaries sous le nom d'*Agrœcina*. Mais à quelle époque du Tertiaire ? «Probablement à la fin du Miocène, il y a de 5,2 à 5,5 millions d'années», avance Rado Popa, biospéléologiste à l'institut de spéléologie de Bucarest. «A cette période, pendant la crise messinienne, le climat de la Dobrogea du sud commençait à s'assécher. Cette modification climatique força les espèces terrestres à chercher refuge dans les réseaux de fissures du substrat argileux pour se protéger». Quant à savoir quel est le mécanisme qui a construit la grotte, le chercheur est moins catégorique : «Peut-être que la baisse du niveau (200 mètres) de la mer Noire toute proche (3 kilomètres) a entraîné dans son mouvement, par un système de vases communiquants, les eaux de la nappe phréatique. Cette dernière a creusé des galeries souterraines qui, au hasard des effondrements, ont modelé des grottes.» Les géologues roumains supposent que la grotte de Movile a donc de nombreuses répliques nichées dans ce sous-sol du plateau de la Dobrogea. Mais l'exploration est dangereuse en raison de la friabilité du calcaire. Seulement 190 mètres de galerie ont pu être visités à ce jour.

Pour survivre à cet isolement millénaire, la faune s'est adaptée à ces conditions de vie extrême en modifiant sa physiologie. En effet, l'une des parties de la grotte baigne dans une atmosphère renfermant seulement de 1 % à 5 % d'oxygène, du méthane et de l'azote. Les premières expériences *in situ* montrent que la vitesse de croissance du voile bactérien est inversement proportionnelle à la concentration d'oxygène atmosphérique : cela signifie que le garde-manger gélatineux se remplit d'autant plus vite que l'oxygène est rare !

Quant aux insectes, il est trop tôt pour affirmer que leur système de respiration est différent de celui de leurs congénères de la campagne roumaine. En revanche, les modifications morphologiques sont flagrantes. Les nèpes ont perdu leurs

LES VRAIS FAUX INSECTES

La découverte de la grotte de Movile est non seulement une première scientifique mondiale mais surtout, pour certains, une très bonne opération financière. Dès la nouvelle publiée dans le bulletin d'information du CNRS, un photographe d'une grande agence française s'est précipité au laboratoire de l'institut de spéléologie de Bucarest pour photographier les animaux. Mandaté par un contrat en bonne et due forme, conclu avec le service de la photothèque du CNRS, il a obtenu la confiance des chercheurs roumains qui lui ont déballé un échantillonnage complet de la faune souterraine conservée dans des flacons d'alcool. Une brève mise en scène a suffi à faire croire que ces clichés avaient été pris dans la grotte. Mais l'œil averti de l'entomologiste n'est pas dupe ! La comparaison entre la photographie de ce criptops ❶, un millepattes, paru dans les magazines du monde entier, et celle du

❷

yeux et leur pigmentation tandis que leur appareil génital est différent de celui des espèces de surface. Les cloportes ont vu leurs pattes s'allonger. Conséquence : les biologistes ne manquent pas de comparer l'écosystème de la grotte roumaine à celui découvert, en 1977, dans les abysses sous-marins au large des îles Galapagos. A l'époque, l'équipe scientifique du sous-marin américain *Alvin* avait repéré à 2 500 mètres de profondeur des vers gigantesques, de 2 mètres, et des coquillages géants. D'où tirent-ils leur nourriture dans ce milieu obscur oublié par la vie photosynthétique ? Comme dans la grotte, ce sont des bactéries qui synthétisent la matière organique à partir de l'eau chaude sulfureuse (plus de 200 °C) des geysers jaillissant des failles sous-marines. A cet endroit, l'eau est directement en contact avec le magma du manteau terrestre.

La grotte de Movile est un magnifique laboratoire d'étude grandeur nature. «En effet, il est plus facile et moins coûteux d'aller à 25 mètres sous terre pour étudier la physiologie des bactéries que de plonger au fond du Pacifique», souligne Serban Sarbu, chercheur au département de biologie de l'université de Cincinnati. Il fut l'un des premiers biologistes à pénétrer dans cette grotte. Mais ses opinions politiques l'ont contraint à s'exiler aux USA en 1987. Après la "révolution" roumaine de 1989, ses recherches ont repris pour évaluer le rendement énergétique des bactéries : comment ces micro-organismes peuvent-ils nourrir autant d'animaux par la simple oxydation du soufre ? Les premiers chiffres indiquent que la concentration d'hydrogène sulfureux est de 40 mg par litre d'eau. Ce qui est comparable à la concentration mesurée au niveau des évents (cheminées) sous-marins. Mais, sous la mer, quelle que soit la profondeur à laquelle ils vivent, les organismes vivants peuvent recevoir de la matière organique tombant de la surface par sédimentation. Les bactéries de la grotte roumaine se débrouillent toutes seules puisque celle-ci est hermétique. Elles seraient donc plus efficaces que celles des océans. Une hypothèse qui demande toutefois à être confirmée.

Rendement énergétique record pour les bactéries souterraines

A l'avenir, les scientifiques du monde entier vont se ruer vers la *pestera*. Mais pour l'instant l'urgence est à la protection du site. En effet, l'ouverture du puits a traumatisé une partie des animaux en raison de l'apport soudain d'oxygène. La plupart de la faune s'est enfuie de l'espace principal surnommé "la salle aux araignées" pour se réfugier dans des cloches situées en amont (***voir dessin p. 76***). Les roumains ont installé trois sas d'entrée dans le puits d'accès pour limiter la pollution oxygénée. Mais ce dispositif est très succinct car les chercheurs roumains, comme bien d'autres pays de l'Est, manquent cruellement de moyens. Au mois d'octobre, son ambassadeur auprès de l'UNESCO a demandé que la *pestera* de Movile soit classée patrimoine de l'humanité.

Didier Dubrana

DE LA GROTTE

même animal ❷ prise dans la grotte par le spéléologue Christian Lascu dévoile la grossière supercherie. L'animal mort a les pattes recroquevillées tandis que le vivant marche sur les griffes qui terminent toutes ses pattes. Pourtant, de retour en France, le photographe a vendu à prix d'or son reportage en exclusivité à de nombreux magazines. Ce qui scandalise la direction du CNRS : «Il n'était pas prévu que cette agence donne l'exclusivité aux magazines», s'exclame Giselle Demarque, responsable de la photothèque du CNRS. Gageons que, dans un élan de générosité, cette agence reversera une partie de ses gains aux scientifiques roumains à l'origine d'une des plus fabuleuses découvertes de cette fin de siècle.

"Nous voudrions à l'occasion de ce dixième anniversaire, dire au nom des malades, au nom des chercheurs, en notre nom, toute notre gratitude aux personnes dont la générosité a permis dans le passé, permettra dans le futur, le développement de ces actions efficaces."

Professeur Michel Boiron,
secrétaire général.

Professeur Jean Bernard,
président de la Fondation contre la leucémie.

La Fondation contre la leucémie, créée en 1982 au sein de la Fondation de France, apporte son soutien à la recherche et à l'amélioration de l'environnement du malade.
Organisme privé sans but lucratif, reconnu d'utilité publique, la Fondation de France est, depuis 1969 date de sa création, la seule à exercer une activité multiple dans tous les domaines d'intérêt général ; elle collecte des fonds auprès des particuliers et des entreprises en faveur d'actions sociales, culturelles et scientifiques, et offre à toute personne, association ou entreprise désirant poursuivre une action, la possibilité de créer sa propre fondation comme par exemple la Fondation contre la leucémie.
Avec ses 340 fondations, ses 200 000 donateurs, la Fondation de France a pu ainsi accorder, en 1991, 2 500 subventions, prix et bourses.

FONDATION DE FRANCE

Fondation de France
40, avenue Hoche Paris 75008
tél. : (1) 44 21 31 00 fax. : (1) 44 21 31 01

Concept K3 10 photo : Phototake CRNI

ECHOS DE L'INDUSTRIE

AUDIOVISUEL

Télévision haute définition : la bataille cachée

Les vidéoprojecteurs à valves optiques donneront à la TVHD ses premiers grands écrans. Mais seront-ils prêts pour le lancement du HD-Mac européen ?

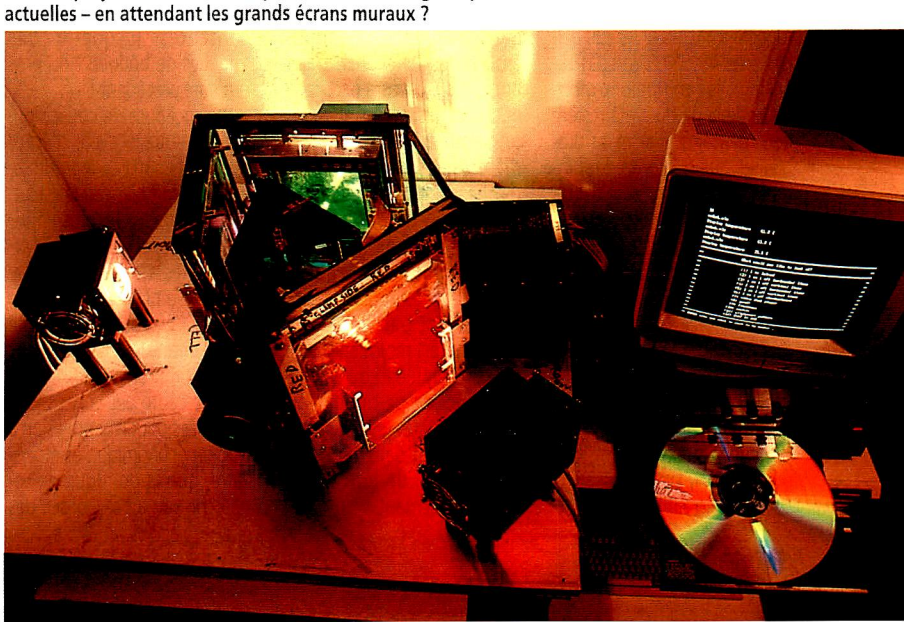
Le débat fait rage : l'Europe doit-elle continuer à promouvoir la norme de diffusion HD-Mac, système de télévision haute définition qui doit logiquement succéder au D2-Mac (télévision "améliorée" au format large), ou doit-elle monter immédiatement dans le train du tout-numérique conduit par les Américains ? Thomson, Philips et les pouvoirs publics n'entendent pas renoncer aux fruits d'un programme de recherche et développement dont le coût s'élève à quelque 20 milliards de francs. La haute définition numérique, estiment-ils, ne décollera pas aux Etats-Unis avant, au mieux, 1998 (la norme définitive doit être choisie l'an prochain). Et de conclure : profitons de notre avance et de la "fenêtre de lancement" ouverte pour quelques années afin d'imposer le HD-Mac. D'autres, comme le p.-d.g. de Canal Plus, André Rousselet, pensent que le HD-Mac est mort-né du fait de sa nature analogique (même s'il se présente comme une suite d'échantillons, le signal HD-Mac véhicule l'image comme un simple décalque électrique de l'information vidéo, et non comme une suite de chiffres).

Ce débat élude pourtant une question cruciale : disposera-t-on, durant cette fenêtre de lancement, d'écrans suffisamment grands pour mettre en valeur la haute définition européenne ? Tout le monde s'accorde à reconnaître qu'en-dessous de 1 m de diagonale, le gain de qualité dû au doublement du nombre de lignes (1 250 en TVHD contre 625 en télévision simple définition) n'est pas sensible. Or, les tubes cathodiques qui équipent aujourd'hui nos téléviseurs ne pourront pas franchir cette barre. Ils seraient trop lourds et trop chers. Les écrans plats plafonnent, eux, à 50 cm. Et encore s'agit-il de prototypes dont l'industrialisation pose problème (voir notre écho p.).

Seule solution : le projecteur par valves optiques. Ce dispositif est une sorte de projecteur de diapositives dans lequel une matrice de cristaux liquides d'environ 5 cm de côté tient lieu de diapositive. Thomson-LCD, filiale du groupe spécialisée dans les écrans à cristaux liquides, affirme être aujourd'hui en mesure de produire (en chaîne pilote) des valves optiques de 625 lignes au format 16/9. Doubler le nombre de lignes ne devrait pas poser de problèmes techniques trop aigus. On peut plus facilement mettre deux fois plus de composants sur une surface donnée qu'en implanter le même nombre sur une surface deux fois plus grande (principal problème des fabricants d'écrans plats). En effet, si les techniques microélectroniques utilisées dans la fabrication des matrices sont limitées quant à la taille des surfaces qu'elles peuvent traiter, elles le sont beaucoup moins en terme de capacité d'intégration.

Les problèmes, car il en reste, viennent de la cadence élevée d'affichage que nécessite la haute définition, des sources de lumière très puissantes utilisées dans les projecteurs (le cristal liquide ne laisse passer qu'un faible pourcentage de l'intensité lumineuse) et de la faible qualité

Le vidéoprojecteur à cristaux liquides, avec 1 250 lignes, prendra-t-il le relais de nos télévisions actuelles – en attendant les grands écrans muraux ?



(suite)

de l'image projetée, encore trop "pixellisée" (les contours des pixels sont trop carrés). Si ces problèmes ne sont pas rapidement résolus, le HD-Mac ne disposera pas d'écrans de qualité pour s'imposer. Le sort de la norme européenne (et, au-delà, celui de Thomson Consumers Electronics) semble donc reposer entre les mains de la petite filiale grenobloise de notre électronicien national. En fait, il repose surtout entre celles des fabricants japonais qui, comme Sharp, ont un métro d'avance dans la projection par valves optiques. Le Japon sauvera-t-il la norme européenne ? Une norme qui, rappelons-le, a été précisément conçue pour contrer le Japon...

POLITIQUE

Maastricht ne fera pas l'affaire de la recherche européenne

Pour les chercheurs européens, le traité de Maastricht sonne *a priori* comme une bonne nouvelle. Le texte, en donnant au Parlement européen un pouvoir de codécision dans la définition des grandes orientations de la recherche communautaire, devrait en effet mettre fin à la petite guerre que se livrent le Conseil des ministres de la Recherche des Douze et l'Assemblée de Strasbourg (1). Un conflit qui s'est traduit par un retard de plusieurs mois dans le financement de la recherche communautaire, avec les problèmes que l'on imagine pour nombre de laboratoires.

Objet du litige : les députés, qui n'avaient jusqu'alors qu'un rôle consultatif dans le processus, reprochaient aux ministres de ne pas suffisamment tenir compte de leurs *desiderata*. Lesquels, résumés, sont : un effort accru dans les domaines de l'environnement, de l'énergie non nucléaire et de la recherche à dimension sociale, ainsi qu'une plus grande coopération avec les pays tiers (pays de l'Est notamment). Insuffisamment écoutés à leur avis, les élus européens ont bloqué l'an dernier la lourde mécanique communautaire lorsqu'il s'est agi d'adopter les programmes spécifiques, c'est-à-dire les *Esprit*, *Bridge* et autres *Race*, déclinaisons des grandes orientations de la recherche dans les secteurs de l'électronique, des sciences du vivant, etc. Résultat : le troisième programme-cadre de recherche (1990-1994) n'a vu ses crédits débloqués qu'en 1991, les chercheurs s'étant contentés jusque-là des "queues de budgets" du programme précédent !

La procédure de codécision, qui permettra à l'avenir d'éviter qu'un tel conflit se reproduise, est donc fort bienvenue. Hélas, un autre obstacle, plus imposant encore, et qui ne va pas arranger les affaires des chercheurs, se profile à l'horizon. Lors de l'élaboration du traité voilà un an, les négociateurs anglais ont obtenu *in extremis*, dans le cadre des concessions réclamées pour leur adhésion à l'Union économique et monétaire, que la politique de recherche soit, côté Conseil des ministres, décidée à l'unanimité. Cela signifie que les ministres de la Recherche des Douze vont devoir négocier avec le Parlement à partir d'une position préalablement verrouillée. C'est-à-dire sans marge de manœuvre !

Les fonctionnaires de la Commission de Bruxelles, prompts à saisir leur calculette, ont déjà fait les comptes : dans ces conditions, annoncent-ils, la négociation du prochain programme-cadre (1994-1998) pourrait bien durer plus de deux ans ! En effet, il faudra vraisemblablement en passer par l'arbitrage d'un comité de conciliation. Comme les discussions viennent à peine de commencer, un retard de plusieurs mois est déjà à prévoir dans la mise en œuvre de ce quatrième programme-cadre. Le nouveau commissaire à la Recherche, qui doit être nommé ce mois-ci, va avoir un bel écheveau à démêler. D'autant que la ratification du traité n'est pas assurée...

(1) Les trois pouvoirs de la Communauté sont le Conseil européen (chefs d'Etat et de gouvernement des Etats membres), le Parlement européen (qui siège à Strasbourg), et la Commission (basée à Bruxelles). Le Conseil des ministres est, lui, chargé de mettre en œuvre les orientations définies par le Conseil européen.

INDUSTRIE

Le travailleur français, vice-champion du monde de la productivité

Un travailleur français produit chaque année en moyenne pour 47 000 dollars de biens et de services. Sensiblement plus – qui l'eût cru ? – que ses homologues allemands et japonais qui, respectivement, plafonnent à 44 200 et 38 200 dollars. Avec 49 600 dollars par travailleur, les champions mondiaux de la productivité restent les Américains, malgré les problèmes que rencontre leur industrie dans ce domaine depuis 1973 (1). Tels sont les résultats d'une étude effectuée par le McKinsey Global Institute, un institut de recherche lié à la société de consulting McKinsey, avec le concours d'experts américains de la productivité comme le prix Nobel Robert Solow.

Ces chiffres, qui portent sur l'année 1990, sont toutefois à considérer avec prudence. D'une part parce que le champ de l'étude est très large : elle mélange productivité industrielle et productivité dans les services (banques, assurances, télécoms, transports, etc.). D'autre part parce que ces chiffres ont été corrigés pour tenir compte des différences de pouvoir d'achat selon les pays. Les auteurs de l'étude n'hésitent pas, en tout cas, à en tirer cette conclusion : si les Etats-Unis restent en tête du classement, c'est parce que leur économie est moins encadrée, moins " régulée" qu'ailleurs. Ce qui aurait permis à beaucoup de secteurs industriels, spécialement dans le secteur des services, de fonctionner plus efficacement.

(1) Voir à ce sujet l'excellent rapport du Massachusetts Institute of Technology : *Made in America*, publié en France par Inter éditions.

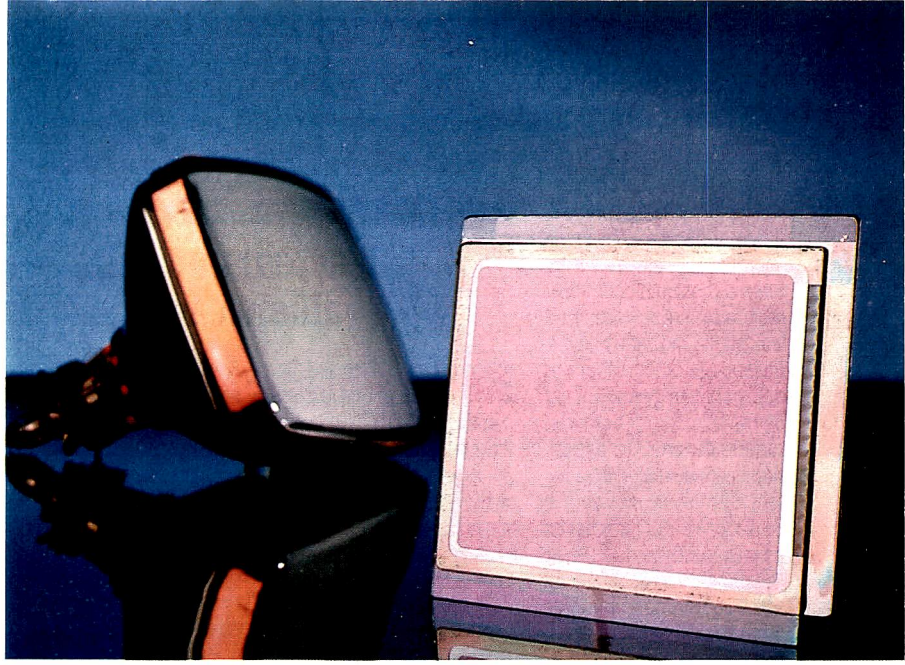
■ ***La "pilule de l'éveil"***, *le fameux Modafinil des Laboratoires Lafon (1), vient d'obtenir son autorisation de mise sur le marché. Attention toutefois, ce médicament ne sera prescrit qu'aux hypersomniaques et aux personnes souffrant de narcolepsie ("crises" inopinées de sommeil). Les étudiants en période de révision s'en tiendront au café fort.*

(1) Voir *Science & Vie* n° 862, p. 54.

ÉLECTRONIQUE

Ecrans plats : micropointes contre cristaux liquides

Les cristaux liquides déçoivent, les micropointes percent... et la TVHD attend toujours son grand écran mural.



Grâce à la technologie des micropointes, les écrans à tube cathodique qui mesurent plusieurs dizaines de centimètres aujourd'hui, ne seront plus épais, demain, que de quelques millimètres.

Les écrans plats à cristaux liquides ne tiennent pas leurs promesses. Leur taille – 25 cm de diagonale pour la production actuelle, 50 cm pour les prototypes – reste limitée et leur prix élevé : environ 10 000 francs pour un écran de 25 cm). Ce qui limite leur usage à l'informatique (ordinateurs portables) et à l'avionique (planches de bord). Le grand écran mural dont rêve la télévision haute définition n'est pas pour demain, ni même pour un avenir prévisible.

La technologie dominante dans les écrans plats, celle des cristaux liquides à matrices actives, se heurte actuellement à de gros problèmes d'industrialisation. Les matrices actives en question sont des matrices de transistors dont chacun commande directement un pixel (point-image) de l'écran afin d'obtenir une cadence d'affichage aussi élevée que possible. Mais ces écrans ont le défaut de leur qualité : un seul transistor défectueux condamne l'écran au rebut, car le point noir qui en résulte à l'image se voit comme le nez au milieu du visage. Or, si les microélectroniciens savent entasser des milliers de transistors sur des puces de taille très réduite, ils ne savent pas travailler aussi efficacement sur des grandes surfaces comme les écrans plats. Lesquels, à l'échelle microscopique, ne sont pas si plats que ça ! Résultat : les défauts sont nombreux. De fait, le rendement obtenu dans la production des plus grands écrans, destinés principalement aux ordinateurs portables, ne dépasse guère 20 %. Ce qui signifie que quatre écrans sur cinq sont inutilisables en l'état.

Malgré ces obstacles, les constructeurs japonais, qui dominent de la tête et des épaules le marché des écrans à cristaux liquides, maintiennent pour 1995 un objectif de 50 000 yens (un peu plus de 2 000 F) pour un écran de 25 cm. Cela nécessitera non seulement d'améliorer le rendement mais aussi de résoudre le problème du coût élevé des matériaux utilisés, notamment celui des filtres colorés.

Les écrans à cristaux liquides peuvent-ils encore grandir ?

Le défi peut-il être relevé ? La société française Pixel International, créée en octobre dernier, en doute. Celle-ci a préféré se lancer sur une technologie radicalement différente, celle des écrans plats à micropointes, dont elle a obtenu la licence exclusive du LETI, le laboratoire de recherche en électronique du Commissariat à l'énergie atomique (1). Ces écrans sont en fait des tubes cathodiques épais d'à peine quelques millimètres. Clef de cette performance : le classique canon à électrons est remplacé par une matrice de pointes microscopiques directement placées en regard de l'écran. Sur le papier, les avantages du procédé sont nombreux. Pas besoin de filtres colorés sophistiqués puisque l'affichage est celui des tubes traditionnels, à base de grains de phosphore. Et surtout, nulle nécessité de réaliser des matrices de commande parfaites : chaque point de l'image est bombardé d'électrons par plus d'un millier de micropointes, alors qu'un pixel de cristaux liquides n'est activé, on l'a vu, que par un seul transistor. Cette redondance devrait permettre un rendement de fabrication bien supérieur à celui des écrans à matrices actives. Atout supplémentaire : la consommation électrique est deux à trois fois inférieure à celle des écrans à cristaux liquides qui, eux, nécessitent d'être éclairés par l'arrière par des sources puissantes (les cristaux n'émettent aucune lumière). Un avantage certain sur le marché des ordinateurs portables, comme semble d'ailleurs le penser Apple, qui fait partie des actionnaires de Pixel *via* la société de capital-risque Advent International.

Côté face, deux grandes inconnues pèsent sur les écrans à micropointes. Pour l'heure, les plus grandes unités réalisées au LETI n'ont que 15 cm de diagonale. Peut-on faire plus grand ? Au terme de plu-

(1) La technologie des micropointes est née en Californie, au Stanford Research Institute (SRI), où elle fut appliquée à l'électronique militaire. Heureuse "coïncidence", les brevets déposés en 1974 par le SRI viennent d'expirer...

(suite)

sieurs mois d'évaluation de la filière, Vidéocolor, filiale de Thomson spécialisée dans les tubes cathodiques pour téléviseurs, a préféré renoncer. Il est vrai que les industriels ne disposent pas aujourd'hui des outils qui leur permettraient de travailler sur des grandes surfaces de verre. Or, la télévision haute définition aura besoin d'écrans de plus de 1 m de diagonale. Pour afficher les premières images du HD-Mac (le standard européen), Thomson a choisi une solution de projection à base de valves optiques, en cours de développement à Grenoble chez sa filiale Thomson-LCD (voir à ce sujet le 1er écho de cette rubrique).

Seconde inconnue : la petite "start-up" française a face à elle des géants industriels (Matsushita, Toshiba, Sharp, etc.) qui ont investi et continuent d'investir des dizaines de milliards de yens dans les cristaux liquides. Rares sont les problèmes technologiques qui résistent à un tel déploiement de moyens. Pixel ne dispose pas, elle, de telles ressources pour dompter les micropointes. Malgré cela, l'un des fondateurs de l'entreprise, Jean-Luc Grand-Clément, estime possible d'industrialiser le procédé en dix-huit mois, avec trente à quarante ingénieurs et techniciens, afin de commencer à produire des écrans de 25 cm dès la fin 1994. Ce à un prix inférieur à celui des unités à cristaux liquides.

Cette fois, c'est au tour des tenants des cristaux liquides de douter qu'une telle performance soit possible. Même s'ils ne prennent pas Jean-Luc Grand-Clément à la légère : cet ingénieur compte à son actif la réussite d'une autre "start-up", European Silicon Structures (ES2), qui s'est imposée en Europe sur le créneau de la fabrication de circuits intégrés "sur mesure".

ÉNERGIE

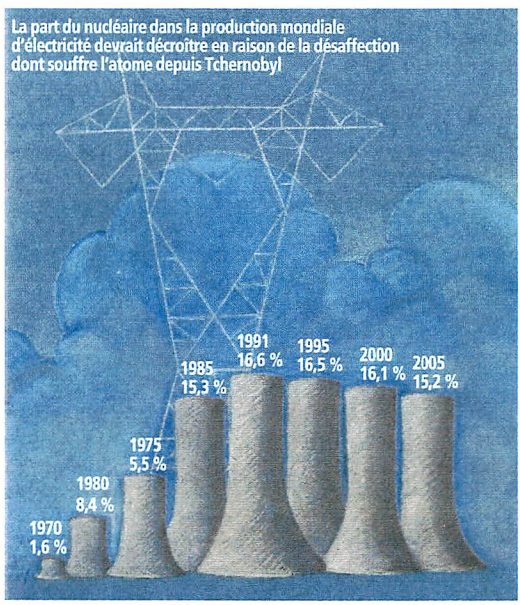
Réacteur nucléaire de l'an 2000 : alliance franco-allemande

Framatome, l'Allemand Siemens, EDF et quatre compagnies d'électricité d'outre-Rhin viennent de s'associer pour mettre au point un nouveau réacteur nucléaire, dont la première unité devrait voir le jour avant la fin de la décennie. Baptisé EPR, comme *European Pressurized Reactor*, ce réacteur sera comme ceux du parc français actuel de type "eau pressurisée" : c'est de l'eau sous pression qui assure le transfert de chaleur entre le cœur et le circuit secondaire.

Les améliorations porteront sur la sûreté, la simplification de la conduite et de l'entretien et, enfin, l'efficacité de production. L'objectif est d'atteindre 50 000 mégawatts par jour par tonne de combustible, contre 42 000 à 45 000 MW dans les centrales EDF actuelles. Ce nouveau réacteur devra également être conçu pour brûler de façon optimale du Mox, combustible mixte à base d'oxydes d'uranium et de plutonium. Il faut bien en effet trouver un débouché au plutonium issu du retraitement des combustibles usés.

Un premier projet sera présenté aux autorités de sûreté françaises et allemandes dès le printemps prochain. Les ingénieurs ne partent pas de zéro : plusieurs études étaient déjà en cours chez EDF et au Commissariat à l'énergie atomique (projet *Rep 2000*) et dans le cadre de l'alliance Framatome/Siemens (NPI). Le premier EPR devrait être prêt pour 1998. Si l'on évalue à quarante ans la durée de vie maximale des réacteurs français en service, EDF devrait "brancher" ses premiers EPR sur le réseau vers 2010.

La part du nucléaire dans la production mondiale d'électricité devrait décroître en raison de la désaffection dont souffre l'atome depuis Tchernobyl



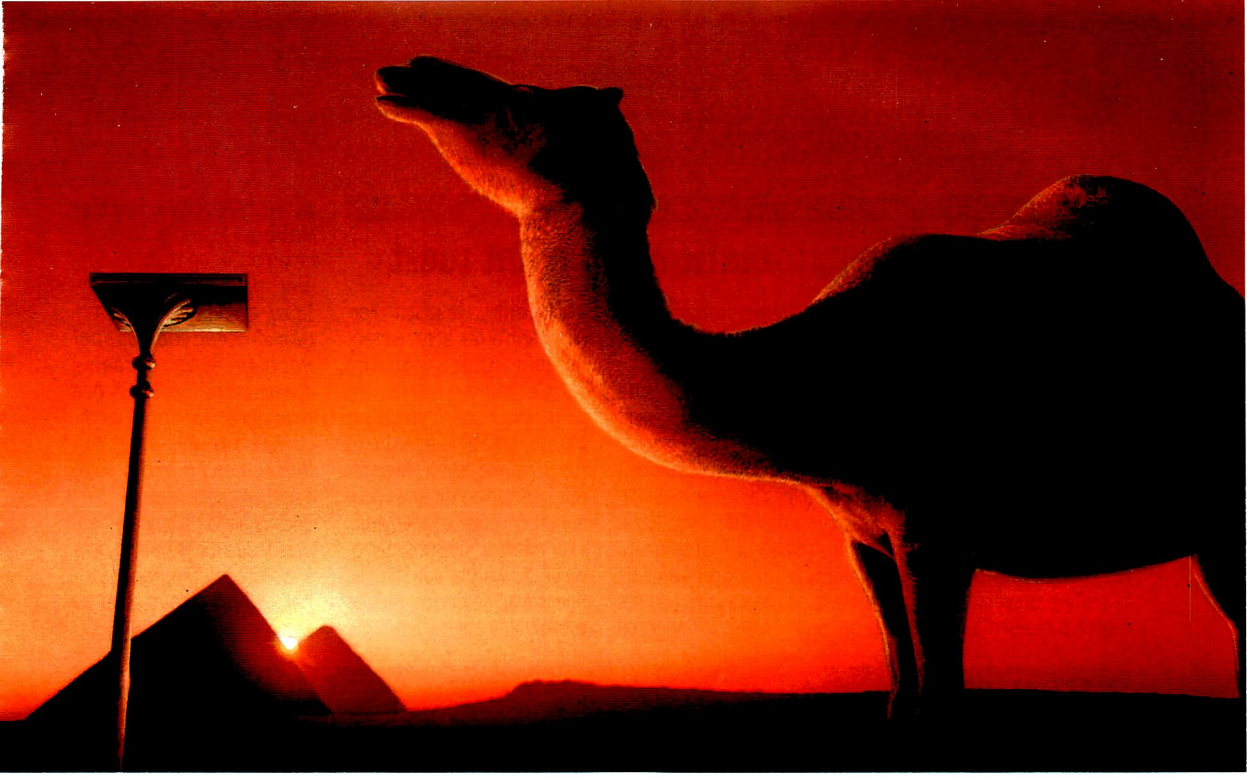
MÉGAPROJETS

La Chine renoue avec les grands travaux

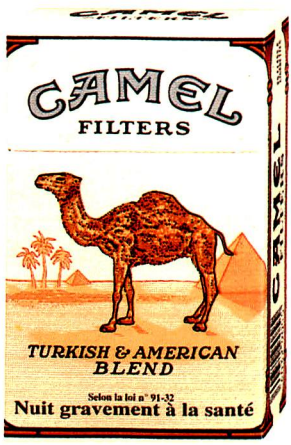
Les autorités chinoises viennent de s'associer avec les six plus gros conglomérats industriels du Japon pour construire d'ici l'an 2000 un gigantesque complexe pétrochimique dans la province de Liaoning. Coût de l'opération : 20 milliards de francs. Le pays de la Grande Muraille a décidément soif de grands travaux. Il a déjà en projet avec la Russie et la Corée du Nord un complexe portuaire plus démesuré encore, situé à l'embouchure du fleuve Tumen sur la côte de la mer du Japon (à la jonction des trois pays). La facture s'élèvera cette fois à 170 milliards de francs, pour des travaux d'une durée de quinze à vingt ans !

Autre mammouth, le barrage des Trois-Gorges, dont la construction (100 milliards de francs) a été décidée en avril dernier. Ce mur de béton de 2 km de large créera sur le fleuve Yang-Tseu Kiang un lac de retenue de 600 km de long. A la clef, une puissance hydroélectrique de 20 000 mégawatts, l'équivalent de 20 réacteurs nucléaires. Quant à l'aéroport international de Chep-Lap-Kok, en cours de construction à Hong-Kong (72 milliards de francs), il sera en 1997 – l'année où, précisément, Hong-Kong reviendra dans le giron de la Chine Populaire – le plus grand du monde.

(suite page 86)



CAMEL



SELON LA LOI N° 91.32

FUMER PROVOQUE DES MALADIES GRAVES

(suite)

INFORMATIQUE

La traduction automatique au point mort

«La traduction automatique est en piteux état.» C'est le diagnostic posé par Martin Kay, professeur de linguistique à l'université de Stanford, au terme d'une étude commanditée par le gouvernement allemand.

Ce dernier avait en effet demandé au Centre d'étude du langage et de l'information de la célèbre université californienne d'évaluer la faisabilité d'un système de traduction portable permettant à deux hommes d'affaires, l'un allemand, l'autre américain, de converser naturellement, mais chacun dans sa propre langue. «Pure science-fiction», ont conclu les chercheurs. Selon eux, les experts de la traduction par ordinateur n'ont rien de mieux à offrir, après plus de trente ans de travaux, que des systèmes d'aide à la traduction très imparfaits. La raison : l'ordinateur n'a pas accès au sens des mots. Or, celui-ci varie selon le contexte.

Exemple ? Lors d'un test, la phrase, en anglais : «Un jet supersonique est au moins dix fois plus rapide qu'une voiture» est devenue en allemand : «Par avion de vitesse supersonique ou voiture automobile, une vitesse de dix fois ou plus est condamnable»...

■ ***Le télescope spatial Hubble :*** *la justice américaine a conclu en octobre dernier que la firme Perkin-Elmer, chargée de la construction du télescope spatial Hubble, était coupable d'avoir caché à la NASA que celui-ci souffrait de graves imperfections. Peu après son lancement en avril 1990, l'agence spatiale américaine découvrait la myopie de l'appareil, due à des erreurs dans le polissage du miroir principal. Hubble a coûté près de 8 milliards de francs.*

VALORISATION

Du petit lait pour l'industrie chimique

Bientôt de la crème à raser comestible? Substituts biodégradables au polystyrène pour l'emballage, films de protection pour les aliments, etc. : autant de débouchés prometteurs pour le petit lait, estiment des chercheurs américains.

La valorisation non alimentaire du lait n'est pas une nouveauté : déjà, en 1879, on fabriquait des peignes en galalithe, un plastique issu de la caséine.

Mais beaucoup reste à faire : sous-produit de la fabrication du fromage, le petit lait est encore considéré comme un déchet ; 50 % de sa production est tout bonnement jetée. Comme sur 100 litres de lait employés par l'industrie fromagère, 90 litres finissent sous forme de petit lait, on mesure l'ampleur du gâchis.

Deux équipes d'universitaires, l'une de Davis en Californie, l'autre de Cornell à New York, viennent simultanément, mais indépendamment, de trouver le moyen de valoriser ce liquide riche en protéines. Avec de l'air, de l'éthanol et une bonne connaissance de la chimie des protéines, la première a réussi à produire une mousse aux applications multiples. Durcie par cuisson, elle peut remplacer le polystyrène, la biodégrabilité en plus. Additionnée d'huile, elle fait une crème à raser qui présente l'avantage, très relatif, d'être comestible. Cette mousse, pauvre en cholestérol, peut également entrer dans la composition de milk-shakes ou de crèmes-desserts diététiques.

John Krochta, de l'université de Davis, a, lui, tiré du petit lait des films de protéines utilisables pour la protection des aliments. Comestibles, ces films peuvent être appliqués directement à la surface d'aliments riches en matières grasses (comme les chips ou les céréales) qui, exposés à l'oxygène de l'air, tendent à rancir. Ils peuvent aussi, avec un degré de perméabilité bien étudié, protéger des fruits ou légumes sans les empêcher de relâcher leur gaz carbonique, d'où une meilleure conservation. Enfin, en se substituant aux films plastiques utilisés dans l'emballage agro-alimentaire, ils contribuent à réduire le volume des déchets.

Bientôt, peut-être, les 4,5 millions de tonnes de petit lait que l'industrie fromagère américaine produit chaque année ne seront plus une charge mais une source de profits supplémentaires.

(suite page 88)

De la crème à raser comestible : un exemple, en forme de clin d'œil, de valorisation du petit lait.

Les fêtes approchent, offrez
le calendrier JOURS DE SCIENCES

réalisé avec le soutien du Ministère de la Recherche et de l'Espace. Présentation luxueuse, texte et images (14 pages en couleurs 30 cm sur 24 cm).

JANVIER «Les gènes maîtres» par André Adoutte	**FÉVRIER** «Où sont passées les grenouilles» par Alain Dubois	**MARS** «La lumière des atomes» par Françoise Balibar	**AVRIL** «Trip à vélo» par Jean Jacques
MAI «Fluides et tourbillons» par Yves Chemin	**JUIN** «Une autre planète bleue» par Jean Schneider	**JUILLET** « L'homme de Tautavel» par Henry de Lumley	**AOÛT** «Les esquisses de Mère Nature» par André Adoutte
SEPTEMBRE «La science et la république» par Jean Dhombres	**OCTOBRE** «La plus grande révolution» par Jean Jacques	**NOVEMBRE** «Michel Chasles» par Marcel Berger	**DÉCEMBRE** «Le rayonnement synchrotron» par Karl Witte

Présentation de Jean-Marc Lévy-Leblond

Bon de commande

à retourner aux ÉDITIONS DU CHOIX, B.P.129
95103 ARGENTEUIL CEDEX

Je souhaite recevoir..... exemplaire(s) du "calendrier" au prix unitaire de 50 F + 15 F de frais de port, soit 65 F.

NOM PRÉNOM

ADRESSE

CODE POSTAL VILLE PAYS

Je règle aujourd'hui la somme de : ..... à l'ordre des ÉDITIONS DU CHOIX ***par chèque ci-joint.***

(suite)

ENVIRONNEMENT

Pêcheurs nippons et Peaux-Rouges à la rescousse du nucléaire

Le nucléaire fait peur, mais les temps sont durs. Au Japon, deux coopératives de pêcheurs viennent d'accepter d'une compagnie d'électricité 8 milliards de yens (environ 300 millions de francs) en échange de leur feu vert pour la construction d'un réacteur à proximité de leur zone de pêche. Des accords similaires ont récemment été négociés ailleurs sur l'archipel par deux autres électriciens nippons. Aux Etats-Unis, ce sont les réserves indiennes qui lorgnent la manne du nucléaire.

Cette fois, le marché est le suivant : des déchets contre des emplois. En attendant que le futur site de stockage permanent de Yucca Mountain (dans le Nevada) soit prêt, les autorités américaines cherchent en effet des endroits pour entreposer provisoirement les 20 000 tonnes de combustibles usés que les 112 centrales du pays produisent chaque année. A la clef, 500 emplois et des compensations financières très substantielles.

Alléchés, les Apaches Mescaleros du Nouveau-Mexique et les Arapahoes du Wyoming se sont portés candidats, malgré les réticences de leurs Etats respectifs. Les Indiens n'ont en effet pas de compte à rendre à ces derniers sur l'usage qu'ils font de leurs territoires.

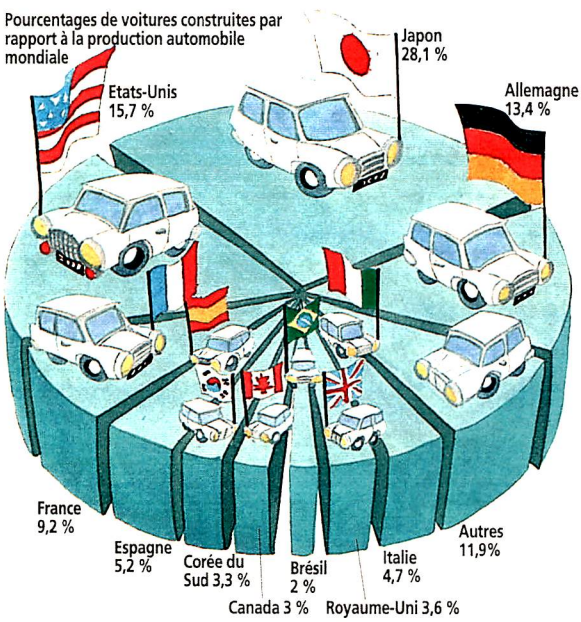
Les tribus indiennes veillant les cendres du feu nucléaire, les pêcheurs de l'après-Hiroshima jetant leurs filets au large de ses braises : l'industrie de l'atome s'offre là, pour une poignée de dollars et de yens, deux images pour le moins saisissantes.

AUTOMOBILE

35 millions de voitures produites en 1991

Les Japonais ont produit 28 % des 34 717 000 automobiles construites l'an dernier sur la planète, soit près de 10 millions d'unités. Leur marché intérieur n'en a absorbé que 4,5 millions. Les Américains, eux, ont consommé plus qu'ils n'ont produit : plus de 7 millions d'unités achetées pour une production de 5,5 millions.

Quant à l'Europe de l'Ouest, elle devrait connaître en 1992, selon un document de la société d'études de marché DRI (*World Automotive Forecast*), une situation à peu près étale avec une production de 13,45 millions d'automobiles pour une consommation de 13,39 millions. Les chiffres pour la Communauté européenne sont respectivement de 13,16 millions et 12,47 millions.



INNOVATION

Un courtier pour les technologies françaises

FIST, France innovation scientifique et transfert, est née. Cette société anonyme de droit privé sera chargée de la valorisation des résultats de la recherche publique – dépôt de brevets, recherche de partenaires industriels et négociation de licences –, une tâche qui incombait jusqu'à aujourd'hui à l'ANVAR (Agence nationale de valorisation de la recherche).

Dirigée par Anne-Catherine Jouanneau, précédemment gérante de Bio-Invest, FIST a pour principaux actionnaires le Centre national de la recherche scientifique et l'ANVAR. Autres partenaires, dont la liste n'est pas close : l'INRA (Institut national de la recherche agronomique), l'IFREMER (Institut français pour l'exploitation de la mer), l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et automatique), Novespace (filiale du Centre national d'études spatiales).

■ ***Europe : les déchets bloqués aux frontières-*** *Dorénavant, tout Etat membre de la Communauté européenne pourra interdire l'importation de déchets sur son territoire. Seules exceptions : les déchets valorisables – papier, ferraille, cuivre – et, plus généralement, tous les matériaux recyclables. Ce qui fait beaucoup d'exceptions, puisque la "liste verte" des matériaux recyclables compte plus de 150 produits. Mais il faut noter que, pour la première fois depuis la mise en œuvre de l'Acte unique, un principe d'environnement prévaut sur un principe de marché intérieur (la libre circulation des marchandises).*

■ ***Espionnage industriel en France :*** *en septembre et octobre derniers, pas moins de trois affaires d'espionnage au profit de l'ex-URSS ont été découvertes dans notre pays. La dernière en date met en cause un technicien de l'usine de Thomson-TCMS de Saint-Egrève (Isère), accusé d'avoir vendu à deux officiers du SVR – le service qui a remplacé le KGB – des informations confidentielles sur les activités de son entreprise (fabrication de composants électroniques pour l'armée).*

À L'ÉPREUVE DU MARCHÉ

DCC CONTRE MINIDISC : MATCH NUL

Mini-lecteur pour Minidisc.

Régulièrement, les industriels de l'électronique se posent la question : comment stimuler la demande ? Comment inciter les consommateurs à changer leurs appareils audio et vidéo ? Et, bien souvent, ils font fausse route. La cassette numérique DAT (*digital audio tape*) n'a jamais décollé ; la télévision améliorée à la norme D2-Mac semble, quoi qu'en disent ses promoteurs, condamnée à court terme ; le système RDS (*radio data system*), autrement dit l'autoradio "intelligent", est commercialisé depuis plusieurs mois mais, pour l'heure, n'intéresse pas grand monde. Et la liste des "ratés" est encore longue : CD-vidéo, cassettes multipistes, etc.

Seul avantage du Minidisc, il est effaçable.

Côté supports, l'électronique audio n'a connu depuis trente ans que deux grands succès : la mini-cassette, lancée par Philips en 1963, et le disque compact, mis sur orbite au début des années quatre-vingt par le duo Philips/Sony. Deux vraies révolutions : la fameuse "K7" a soudain rendu l'enregistrement audio accessible à tous, et le CD est arrivé comme une bénédiction pour remplacer le disque microsillon, encombrant, fragile et dévoreur de têtes de lecture.

L'avènement en cette fin d'année de supports numériques enregistrables comme la cassette DCC de Philips (une cassette audionumérique) et le Minidisc de Sony (1) (qui est un petit disque laser effaçable) constitue-t-il une révolution comparable ?

A l'évidence, non. L'amélioration de la qualité du son due au numérique? Elle n'est pas spectaculaire, surtout sur les équipements portables – qui représentent tout de même 80 % du marché de l'audio. La possibilité de faire des copies multiples sans perte de qualité? Des dispositifs anticopie l'interdisent. Le numérique, on l'a vu, n'a pas été la clef du succès du CD. C'est sa souplesse d'utilisation qui fut le vrai déclencheur. De ce côté-là, DCC et Minidisc n'ont pas grand-chose de plus à offrir si ce n'est l'affichage de la sélection en cours de lecture ou bien encore, sur le Minidisc, une mémoire antichoc destinée à prévenir les sautes de son. Pas de quoi provoquer des achats en masse !

L'objectif de Sony et de Philips n'était pas tant, il est vrai, de révolutionner le marché que de trouver un successeur à la classique cassette audio, qui commence à accuser ses 30 ans. Même s'il s'en est encore vendu l'an dernier 2,5 milliards d'unités à travers le monde, le marché des cassettes est en chute libre, avec une baisse des ventes de 35 % aux Etats-Unis et de 50 % au Japon. Seule certitude dans cette quête d'un dauphin : le passage au numérique s'impose, non pas comme le résultat d'une demande pressante des clients, mais comme une évolution technique logique.

Les principales faiblesses de la cassette, ce sont sa mécanique, l'encrassement des têtes de lecture et l'accès séquentiel aux sélections (il faut dérouler une partie de la bande pour accéder à un morceau donné). Avec sa DCC, Philips se montre étonnamment timide en ne remettant pas en cause ce principe de la cassette. Argument invoqué par l'industriel néerlandais : la compatibilité. Les platines DCC seront capables de "lire" les anciennes cassettes. On a pourtant pu constater ces dernières années que la compatibilité n'était pas le souci premier des consommateurs, du moins en ce qui concerne leurs "vieux" appareils.

Les platines tourne-disques ont laissé la place aux lecteurs de disques compacts ; les lecteurs de cassettes auraient tout aussi bien pu s'effacer devant un système plus séduisant. En tant que constructeur, Philips va souffrir du handicap de paraître moins innovant que Sony. En tant qu'éditeur de musique, *via* sa filiale Polygram, il rate une belle occasion de réactiver la vente de ses anciens titres.

En passant au disque optique effaçable, qui plus est d'un nouveau format incompatible avec le classique CD audio, Sony est, lui, plus téméraire. Trop sans doute. Car le disque compact est suffisamment récent pour que les clients se posent dans son cas le problème de la compatibilité : les CD restent chers et la plupart des audiophiles commencent tout juste à disposer de "CD-thèques" étoffées. Or, les lecteurs de Minidisc, en n'acceptant pas les anciens CD, obligeront ces derniers à reprendre à zéro leur collection toute neuve. On peut douter que la transition se fasse dans l'enthousiasme.

Cassette DCC : même principe de défilement qu'avant.

Le meilleur service que Sony et Philips auraient pu rendre au consommateur eût été de mettre sur le marché des disques compacts réenregistrables et des lecteurs-enregistreurs capables d'exploiter les anciens CD. Mais, espérant faire coup double en offrant à la fois un vecteur additionnel à leur production musicale et des matériels nouveaux, les deux industriels-éditeurs (Sony a de son côté racheté CBS) en ont jugé différemment. On peut le regretter.

(1) Voir *Science & Vie* n° 899, p. 118.

Les premières platines de cassettes DCC sont en vente.

PAR EDOUARD LAUNET

GUERRE DES PUCES : BIENTÔT À COUPS DE RAYONS X

Question à 200 milliards de francs : les puces électroniques de l'an 2000 seront-elles fabriquées avec des rayons X ou se contenteront-elles du procédé actuel de photolithographie ? Trois géants – IBM, Siemens et Toshiba – viennent de s'associer pour trouver la réponse les premiers.

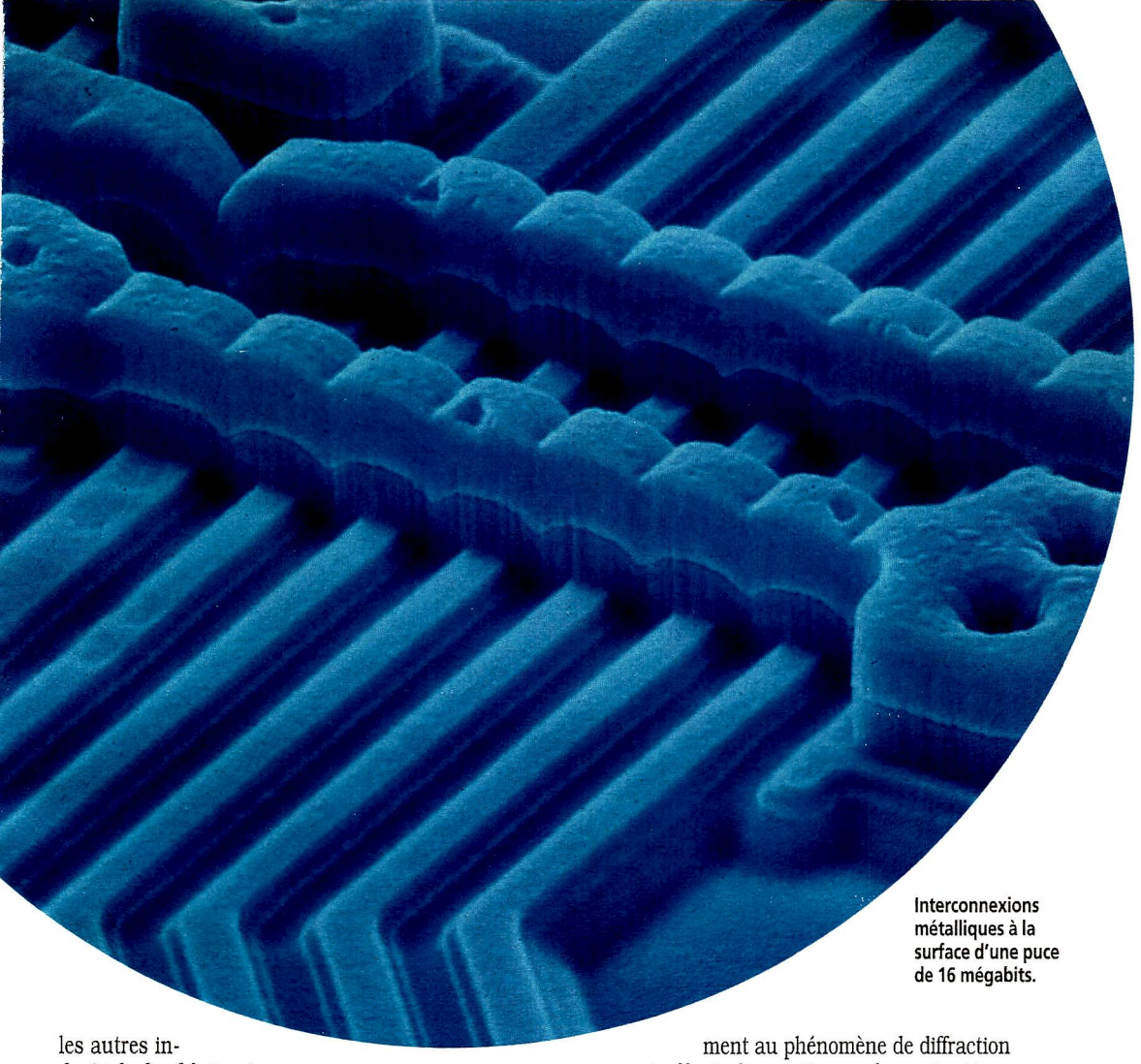
Voilà plus de vingt ans que la micro-électronique fait du neuf avec du vieux. Un comble pour cette industrie de pointe par excellence ! Aujourd'hui, comme à la fin des années soixante, la fabrication des circuits intégrés repose sur un procédé de photolithographie. On projette sur une rondelle de silicium enduite de résine photosensible l'image de ces motifs extraordinairement complexes que l'on peut voir au microscope à la surface des puces. Aux endroits où la lumière a impressionné la résine, celle-ci peut être "gommée", laissant à nu la surface du semiconducteur. Ces zones découvertes sont ensuite gravées et "dopées" avec diverses impuretés afin de les rendre plus ou moins riches en électrons. En répétant ce processus 20, voire 50 fois, on fabrique dans ces différentes strates les multiples éléments actifs (transistors, diodes, etc. – ***voir encadré p. 94***) qui permettront au circuit de remplir sa fonction. Le même procédé est utilisé pour déposer à la surface de la puce les pistes conductrices qui relieront ces composants.

Toute une encyclopédie sur une seule puce. Au fur et à mesure que la technologie a été affinée, la photolithographie a produit des puces d'une complexité, d'une densité toujours plus grandes. Et pour tout dire inespérées. Qu'on en juge : les puces mémoires – locomotives de l'industrie des semi-conducteurs – ont vu leur capacité (1) quadrupler tous les trois ans en moyenne depuis 1968. Cette année-là, une petite équipe d'ingénieurs de l'Américain Fairchild Semiconductor réussissait à entasser 256 éléments de mémoire (256 bits, de quoi enregistrer une ligne de texte) sur un bout de silicium grand comme un ongle. Aujourd'hui, la puce la plus "savante" disponible sur le marché stocke 4 millions de bits (4 mégabits, soit le texte d'un gros livre) sur un rectangle de silicium long de 15 mm et large de 5 mm. Elle contient quelque 9 millions de composants élémentaires, dont les motifs les plus fins n'ont que 0,8 micromètre de large (le centième du diamètre d'un cheveu). En effet, plus le dessin est fin, plus on peut graver de composants sur une même surface et donc regrouper d'éléments de mémoire sur la puce.

La génération suivante, la 16 mégabits, vient déjà d'entrer en production au Japon et aux Etats-Unis. Quant à la prochaine étape, elle est balisée : la mémoire 64 mégabits (qui pourra contenir toute une encyclopédie) existe à l'état de prototype et sera fabriquée en quantité vers 1995. Cette fois, la finesse du trait descendra à 0,35 micromètre. Toujours grâce à la photolithographie.

Seize millions de bits dans ce circuit mémoire de 2 cm².

On ne voit pas pourquoi les micro-électroniciens abandonneraient une technique qui semble ne pas avoir de limites. D'autant que les industriels ne craignent rien tant qu'une rupture technologique. En effet, qu'un nouveau procédé de fabrication surgisse, plus performant et plus économique que le précédent, et c'est tout l'outil de production qu'il faut reconstruire à la hâte. Presque un nouveau métier qu'il faut apprendre. Plus encore que



Interconnexions métalliques à la surface d'une puce de 16 mégabits.

les autres industriels, les fabricants de circuits intégrés vivent dans cette hantise. Ils ont acquis au fil des années une telle expertise et investi des sommes si colossales dans leurs usines qu'une rupture technologique à laquelle ils ne seraient pas préparés signerait leur arrêt de mort. Aujourd'hui, un producteur de mémoires qui rate une génération est définitivement hors course pour les suivantes.

Lorsqu'en juillet dernier, IBM, Siemens et Toshiba ont annoncé qu'ils s'associaient pour développer les techniques de production de la mémoire de l'an 2000, la 256 mégabits, les experts ont été prompts à sonner le glas de la photolithographie. Leur argument : les équipements actuels de cette technique, qui exploitent le rayonnement ultraviolet (les rayons lumineux de longueurs d'onde les plus courtes) commencent à se heurter à des limites physiques. Ces dernières sont dues principalement au phénomène de diffraction qui affecte les optiques de projection. Comme une grosse houle se brise en entrant dans un port étroit, les ondes lumineuses sont déformées en traversant les lentilles destinées à les faire converger sur la surface du silicium. Ce qui a pour effet de limiter la résolution du système, c'est-à-dire sa précision de gravure. Avec les 0,35 micromètre de la mémoire 64 mégabits, les experts estiment que le procédé a atteint sa résolution maximale. Or, la fabrication de la puce de 256 mégabits nécessitera de graver des motifs de 0,25 micromètre.

Plus fins que les ultraviolets, les rayons X. La solution ? Remplacer la grosse houle par des vaguelettes qui, elles, peuvent entrer dans le port sans être déformées. Ce qui équivaut, dans le domaine des ondes électromagnétiques, à passer des ultraviolets aux rayons X, de longueurs d'onde jusqu'à 1 000 fois plus courtes. Remède tout théorique car,

Puce et géants

A ce jour, les plus "gros" circuits mémoire disponibles ont une capacité de 16 mégabits. Le n° 1 de l'informatique IBM et l'Allemand Siemens se sont associés pour produire ensemble une telle puce (***ci-contre***) dans l'usine IBM de Corbeil-Essonnes. Le début de la fabrication est imminent.

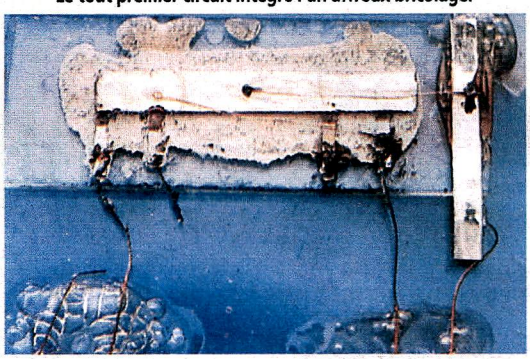
hélas, les ondes électromagnétiques ont des propriétés très différentes selon leurs longueurs d'onde. Passer des rayons UV aux rayons X, c'est quitter le domaine de l'optique pour aborder une *terra incognita*, du moins du point de vue industriel. Par exemple, on ne dispose pas de lentilles pour focaliser les rayons X, pas plus que l'on ne maîtrise pour l'heure des sources X vraiment adaptées à un environnement industriel. Les experts affirment toutefois que ces obstacles devraient être surmontés d'ici quatre ou cinq ans. Les questions qu'auront à trancher les trois industriels sont donc les suivantes : la lithographie par rayons X sera-t-elle opérationnelle en 1998 (date probable d'entrée en production des 256 mégabits) ? Son coût sera-t-il compétitif avec celui du procédé actuel ? Bref, la rupture technologique tant redoutée par les micro-électroniciens est-elle désormais inévitable ? Autre versant du problème : l'actuelle lithographie optique peut-elle "tenir" une génération de plus, et à quel prix ?

IBM, Siemens et Toshiba vont réunir 200 de leurs meilleurs chercheurs à Fishkill, à 100 km au nord de New York, où se trouve le centre de recherche sur les semi-conducteurs de Big Blue [2]. L'Américain AT&T, leader mondial des télécommunications, et le Japonais NEC, qui dispute à Toshiba le titre de n° 1 mondial des semi-conducteurs, songent à forger une alliance similaire. Car la réponse à ces questions vaut de l'or : le marché mondial des mémoires dynamiques, les fameuses DRAM [3], a atteint l'an dernier 40 milliards de francs, avec pour principal débouché l'informatique. Il pourrait exploser demain

LES PUCES : UNE

Le tout premier circuit intégré a été mis sous tension le 12 septembre 1958 chez Texas Instruments. Conçu par Jack Kilby, cette "puce" originelle ressemble en fait à un cafard écrasé. Un drôle de bricolage fait de bouts d'aluminium plaqués sur du germanium (un matériau semi-conducteur, comme le silicium), le tout interconnecté par des fils d'or. Certes, le principe de l'intégration électronique est bien là : des composants élémentaires – transistors, résistances, etc. – sont, pour la première fois, réunis sur un même substrat de semi-conducteur. Mais, sitôt née, la technologie a déjà atteint ses limites. La fragilité des soudures rend le dispositif très peu fiable, et guère plus de quelques dizaines de composants élémentaires peuvent être intégrés sur un même circuit. Le principal intérêt de cette innovation sera de permettre à Texas Instruments de réclamer, trente ans plus tard, des royalties très substantielles

Le tout premier circuit intégré : un affreux bricolage.



en raison du développement accéléré des technologies numériques dans l'électronique grand public (télévision, radio, systèmes multimédias) et les télécommunications. Tous secteurs qui vont devenir gros consommateurs de circuits mémoire. Certains vont jusqu'à prévoir pour la puce 64 mégabits des ventes annuelles de près de 200 milliards de francs pendant les deux ou trois années (vers la fin de la décennie) où ce composant régnera en maître sur le marché des DRAM. Celui de la 256 mégabits sera évidemment bien supérieur encore.

L'avenir de la lithographie optique, face à cette évolution ? En principe, cette technique ne peut plus être améliorée. Pour deux raisons principales.

1. La résolution minimale théorique est, *grosso modo*, égale à la longueur d'onde de la lumière utilisée divisée par l'"ouverture numérique" de la lentille de projection, à savoir le rapport entre son diamètre et sa longueur focale. Comme les sources ultraviolettes disponibles aujourd'hui ont une longueur d'onde minimale de 0,25 micromètre (ultraviolet "profond") et que l'ouverture numérique maximale des meilleures optiques est de 0,7, la finesse du trait ne peut, *a priori*, être inférieure à 0,35 micromètre (0,25/0,7).

2. En optique, puisque l'on est limité par la longueur d'onde, c'est en jouant sur la taille des lentilles que

(1) Un circuit mémoire emmagasine et restitue des informations ; il se caractérise par sa capacité de stockage, exprimée en nombre d'unités élémentaires d'information (bits et mégabits). La puissance d'un microprocesseur, elle, se mesure en Mips (millions d'instructions exécutées par seconde). La puissance d'un ordinateur, c'est-à-dire sa vitesse de traitement, dépend donc du microprocesseur et non du volume de mémoire disponible. Cependant, comme l'exécution d'un programme nécessite en général des va-et-vient incessants de données entre la mémoire et le microprocesseur, la vitesse d'accès à l'information contenue dans la mémoire entre aussi en ligne de compte. D'autre part, plus grande est la mémoire d'un ordinateur, plus longs sont les programmes que celui-ci peut exécuter sans perdre de temps à aller chercher des bouts de code dans ses mémoires périphériques (disquettes ou disques durs).

(2) Surnom donné à IBM.

(3) *Dynamic Random Access Memory*, mémoire effaçable (ou "vive") utilisée dans les ordinateurs comme espace de travail. On y stocke momentanément les données et programmes en cours d'exécution. D'autres puces mémoire, dites "mortes" (les ROM, comme *Read Only Memory*), sont destinées au stockage permanent des logiciels pilotant les fonctions de base de l'ordinateur.

aux électroniciens japonais, sur la base des brevets déposés dès 1959 par Jack Kilby !

C'est avec la technologie "planar", mise au point la même année chez Fairchild, que l'aventure industrielle de la micro-électronique commence vraiment. L'ingénieur Robert Noyce, qui fondera plus tard la firme Intel, réalise que le procédé de Kilby peut être considérablement amélioré en gravant les composants élémentaires à la surface du semi-conducteur plutôt qu'en les y collant.

De même, le problème des interconnexions peut être résolu en déposant des pistes conductrices plutôt qu'en soudant des fils. Du coup, la surface du circuit est parfaitement plane, d'où le nom de cette technologie. Et surtout, les puces ainsi réalisées sont beaucoup plus fiables.

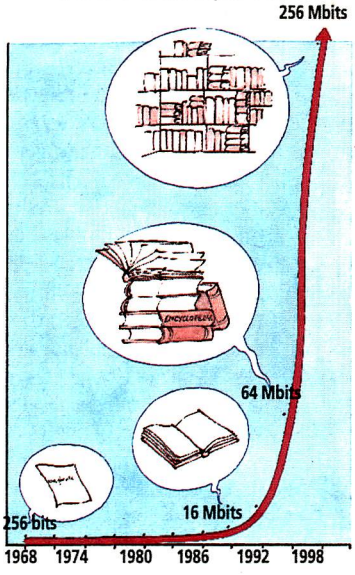
Ce que l'on ne sait pas encore, c'est que le potentiel d'intégration du procédé planar est en outre pratiquement illimité : en empilant des fines couches de semi-conducteur, le nombre de composants élémentaires par unité de surface va être multiplié par un million en l'espace de trente ans !

En assemblant ces millions de composants de base en "meccanos" très complexes, on crée des puces aux fonctions très diverses. Par exemple, une puce mémoire est constituée par la répétition de milliers de dispositifs identiques composés, très schématiquement, d'un transistor (un interrupteur) et d'une capacité (un réservoir à électrons). Une capacité "pleine" (ou chargée) correspond au chiffre 1. Vide, elle vaut 0.

Le transistor, lui, sert à faire changer cette capacité d'état lors des opérations d'écriture de la mémoire, selon qu'on désire y stocker un 1 ou un 0. Car les deux seuls chiffres que l'informatique est, à son niveau le plus intime, capable de comprendre sont 1 et 0. On dit qu'il travaille en logique binaire. D'où le terme de "bit" (contraction de *binary digit*, chiffre binaire en anglais) pour désigner ces deux chiffres élémentaires.

Pour stocker des informations plus complexes, on utilise plusieurs bits. Ainsi, une lettre de l'alphabet est mémorisée comme un ensemble de huit bits (un octet). Par exemple, 01000101 (code purement conventionnel : l'important est d'avoir autant d'"étiquettes" différentes qu'il y a d'objets à étiqueter). Mémoriser le mot "arbre" demandera 5 octets, donc 40 bits. Une puce de 256 mégabits (millions de bits) permet de stocker l'équivalent de 25 000 pages dactylographiées, l'ensemble du texte contenu dans une petite bibliothèque.

La capacité des puces mémoire quadruple tous les trois ans depuis 1968.



l'on parvient encore à améliorer la résolution. Les micro-électroniciens ont donc recours à de très grandes lentilles (cinq fois plus larges que celles des objectifs couramment utilisés en photographie) et, qui plus est, on l'a vu, de courtes distances focales afin d'obtenir une ouverture numérique aussi grande que possible. Résultat : l'angle de convergence des rayons lumineux est très ouvert et, partant, la zone de convergence de ces rayons est peu profonde. Moins profonde même que la résine photosensible à insoler n'est épaisse. Dès lors, impossible de dénuder le silicium pour le graver. Du coup, c'est le principe même de photolithographie qui est remis en cause.

Cependant, des "bricolages" astucieux permettent de contourner ces obstacles. Une équipe belge de l'université de Louvain a ainsi trouvé le moyen de propager en profondeur l'image formée à la surface de la résine. Il suffit de continuer à la creuser par un procédé de gravure sèche, en la bombardant avec un plasma, c'est-à-dire un gaz ionisé dont les atomes, "épluchés" de leurs électrons, agissent à la manière de projectiles. On peut ainsi se contenter d'une profondeur de convergence d'environ 1 micromètre, avec en surface une résolution de 0,35 micromètre.

La fin de la lithographie à ultraviolets : souvent annoncée toujours repoussée

Aiguiser le couteau de lumière. Pour aller plus loin, des chercheurs japonais ont mis au point une technique de *focus drilling* qui consiste, durant l'exposition, à déplacer verticalement soit la plaquette de silicium, soit la lentille de projection. Ce qui permet d'obtenir une insolation uniforme sur toute la profondeur de la résine. Aux laboratoires IBM d'Almaden en Californie, des chercheurs ont conçu des masques dits à décalage de phase qui améliorent le contraste de l'insolation pour les motifs très fins. Ces derniers sont recouverts, sur le masque, de fines pellicules transparentes qui déphasent les ondes lumineuses, ce qui réduit leur angle de convergence et augmente par conséquent le contraste de l'insolation. En quelque sorte, le couteau de lumière se trouve mieux aiguisé et coupe ainsi de manière plus nette. Selon Alec Broers, spécialiste de la microélectronique à l'université de Cambridge [4], ces deux techniques utilisées conjointement pourraient faire descendre la finesse de gravure jusqu'à 0,15 micromètre. De fait, certains chez IBM estiment aujourd'hui que la mémoire 256 mégabits reste à la portée de la photolithographie.

(4) *New Scientist* du 18 avril 1992.

PLUSIEURS MILLIONS DE

Aujourd'hui comme hier, la fabrication des circuits intégrés repose sur un procédé de lithographie par étapes. Prenons un tout petit coin de circuit intégré et suivons, à la surface d'une galette de silicium, la fabrication d'un transistor.

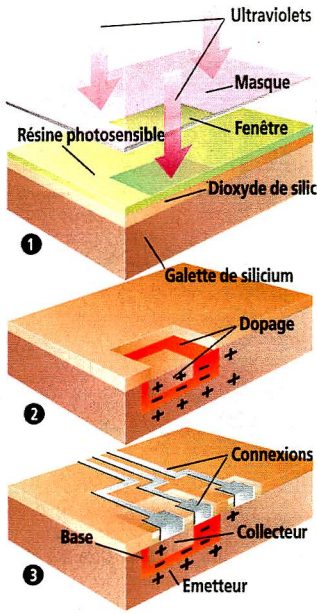
❶ On dépose à la surface du substrat (la galette de silicium, ou *waffer*) une mince couche isolante de dioxyde de silicium, que l'on recouvre d'un film de résine photosensible. On insole la surface ainsi obtenue à travers un masque portant, à la manière d'un pochoir, une fenêtre correspondant au dessin du circuit à graver sur la puce.

❷ La résine est altérée à l'endroit exposé, ce qui permet de la gommer, en laissant à nu la superficie à traiter. L'oxyde de silicium qui recouvre cette dernière est "gratté" pour accéder au silicium. Celui-ci est alors "dopé" positivement (*p*) à une certaine profondeur, puis, plus en surface, négativement (*n*), par incorporation d'impuretés (atomes de bore, de phosphore, etc.).

❸ Une nouvelle couche d'oxyde de silicium peut être déposée puis traitée de la même manière, pour isoler certaines parties de la surface du silicium et en laisser d'autres à découvert.

Ces dernières constituent les pistes où sera intégré le métal des connexions, et qui donnent à la surface des circuits intégrés leur aspect strié rappelant les artères et les rues d'une grande ville.

Deux précisions s'imposent à ce stade : d'abord, la lumière – en fait, des rayons ultraviolets – n'arrive pas sur la résine en un faisceau parallèle, mais concentré par un jeu de lentilles pour converger sur la surface de la résine photosen-



FABRICATION D'UN TRANSISTOR PAR PHOTOLITHOGRAPHIE

Améliorer la résolution risque cependant de ne pas être suffisant. En effet, toutes ces prouesses techniques ne sont réalisables que sur des surfaces d'une parfaite planéité. Or, une telle planéité, l'industrie ne sait l'obtenir que sur de très petites surfaces ; inférieures souvent à celle d'un circuit intégré entier. Alors, devra-t-on demain graver les puces morceau par morceau, en raccommodant les différentes régions par des "coutures" parfaites ? Franchir ce nouveau pas est peut-être techniquement possible, mais cela risque de coûter fort cher. Travailler avec une telle précision nécessiterait en effet un appareillage ultra-sophistiqué, donc très onéreux. Déjà, la facture de la mémoire 64 mégabits – recherche, mise au point de prototypes et unités de fabrication comprises – dépassera les 10 milliards de francs. Un investissement colossal pour un produit dont la durée de commercialisation ne dépassera vraisemblablement pas les cinq ans !

Au fur et à mesure que la concurrence des rayons X se précise, il devient de plus en plus risqué pour les électroniciens de mettre tous leurs œufs dans le seul panier de la photolithographie. Dès l'an dernier, IBM a lancé, avec le concours de son compatriote Motorola, un programme d'étude sur la lithographie X d'un coût de 1 milliard de dollars. De leur côté, les électroniciens japonais ont créé plusieurs consortiums de recherche dans ce domaine pour défendre leur position de leaders mondiaux des mémoires dynamiques.

Problème primordial à résoudre pour tous : trouver des sources de rayons X à la fois puissantes, compactes et pas trop onéreuses. Insuffisamment puissantes, les sources utilisées en imagerie médicale sont hors course. Les lasers X restent, eux, du domaine de la recherche fondamentale. Ainsi, en collaboration avec le Rutherford Appleton Laboratory (Grande-Bretagne), le laboratoire de spectroscopie atomique et ionique de l'université d'Orsay vient de réaliser le premier laser opérant à 23,6 nanomètres (0,0236 micromètre), une longueur d'onde intermédiaire entre les ultraviolets et les rayons X. Mais le dispositif délivre des impulsions – espacées de 20 minutes ! – dont la durée n'excède pas le demi-milliardième de seconde. Pas vraiment de quoi envisager une production industrielle !

Plus d'un milliard pour quelques fractions de micromètres

Plus intéressants sont les anneaux synchrotrons dans lesquels des électrons, accélérés à une vitesse proche de celle de la lumière, émettent d'intenses bouffées de rayonnements électromagnétiques allant de la lumière visible jusqu'aux rayons X. Il y a à peine quelques mois, l'usage de ces imposantes machines était circonscrit à la *Big Science*. Depuis, la mise au point d'aimants supraconducteurs (5), bien moins volumineux que les bobines classiques utilisées pour produire le champ magnétique de confinement (6), a

(5) A très basses températures, certains matériaux deviennent supraconducteurs, c'est-à-dire qu'ils laissent passer le courant électrique sans aucune résistance. Cette propriété leur permet de produire des champs magnétiques très élevés.

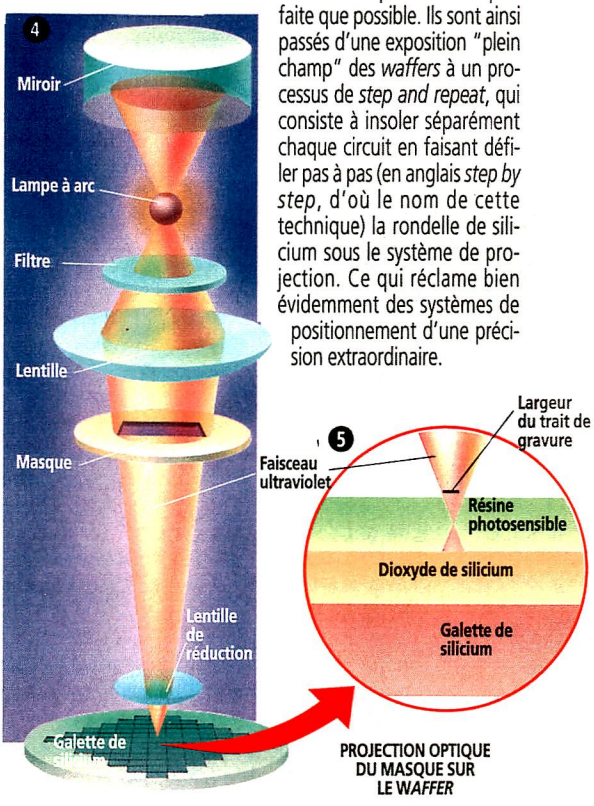
(6) Champs magnétiques maintenant les électrons sur leur orbite.

sible ❹. La projection du masque – racé en grandes dimensions – sur la surface du *waffer*, le réduit à la taille de la puce en cours de création. C'est là une grande astuce de la photolithographie, qui permet facilement de tracer des traits d'une grande précision. Mais c'est aussi sa limite, puisque la zone de convergence du pinceau arrivant sur la puce ne permet pas, pour l'heure, de tracer des circuits d'une largeur inférieure à 0,35 micromètre (❺, et voir l'article).

Comment marche un transistor ? Aux jonctions entre ses trois régions – l'émetteur, la base et le collecteur –, se formentdes barrières de potentiel électrique, qui permettent de mettre en œuvre le fameux "effet transistor", pierre de touche de l'électronique. Son principe : le courant entre deux zones – l'émetteur et le collecteur pauvres en électrons (dopées *p*) est contrôlé par une couche riche – la base, dopée *n* – prise en sandwich entre elles ❺. Au repos, comme il y a répulsion entre les charges positives de l'émetteur et du collecteur, le courant ne passe pas, c'est l'état "bloqué". Dès la mise sous tension de la base par rapport à l'émetteur, les charges positives de cette base deviennent suffisamment nombreuses pour annuler la répulsion bloquant les électrons dans le collecteur. La "barrière de potentiel" ainsi abaissée, le courant peut circuler entre le collecteur et l'émetteur du transistor, lequel est alors "passant". Les multiples transistors miniatures ainsi créés dans la puce agissent comme autant d'interrupteurs, qui sont organisés de manière à activer les fonctions logiques du circuit.

Sur un seul *waffer* de 20 centimètres de diamètre, on fabrique plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de circuits intégrés identiques, qui seront ensuite découpés et conditionnés séparément. L'amélioration de la sensibilité des résines photosensibles, le développement de nouvelles techniques de gravure, l'utilisation de sources de lumière aux longueurs d'ondes de plus en plus courtes ont, entre autres, rendu possible la fabrication de circuits toujours plus complexes et plus denses. Les puces actuelles intègrent jusqu'à plusieurs millions de composants élémentaires. Comme un seul défaut suffit à envoyer un circuit au rebut, les techniques de contrôle de production ont pris une importance déterminante. Le traitement d'images par ordinateur est appliqué à la vérification des masques de gravure, eux-mêmes conçus grâce à la CAO (conception assistée par ordinateur). Ainsi l'informatique permet-elle de créer des circuits plus sophistiqués – microprocesseurs, mémoires, etc. Et ceux-ci, à leur tour, rendent l'informatique plus performante. Ce "cercle vertueux" est à l'origine des progrès exponentiels de la micro-électronique.

Mais ce "toujours plus" repose aussi sur beaucoup d'astuces et sur les progrès de l'instrumentation. Pour gagner en résolution par exemple, les ingénieurs sont contraints de travailler sur des surfaces de silicium d'une planéité aussi parfaite que possible. Ils sont ainsi passés d'une exposition "plein champ" des *waffers* à un processus de *step and repeat*, qui consiste à insoler séparément chaque circuit en faisant défiler pas à pas (en anglais *step by step*, d'où le nom de cette technique) la rondelle de silicium sous le système de projection. Ce qui réclame bien évidemment des systèmes de positionnement d'une précision extraordinaire.



rendu ces engins très compacts. Aujourd'hui, le plus petit a un diamètre de 1 mètre. Ces mini-synchrotrons valent entre 110 et 150 millions de francs, soit l'équivalent d'un super-ordinateur de type Cray.

Le Japonais NTT a construit son propre synchrotron dès 1989. Le consortium Sortec, qui regroupe 13 électroniciens nippons, puis Sumitomo Heavy Industries l'ont suivi de peu. Quant à IBM, il a acheté l'an dernier le tout premier mini-synchrotron (baptisé Helios) produit par la firme anglaise Oxford Instruments. Comme ces machines peuvent compter jusqu'à une vingtaine de sorties de rayons X, chacune produisant assez de radiations pour insoler une quarantaine de galettes de silicium (ou *waffers*) par heure, leur production devrait être à peu près équivalente à celle des systèmes de photolithographie. Cela reste toutefois à prouver sur le terrain.

La lithographie aux X "mous". Dans la large gamme des rayons X issue du synchrotron, seuls ceux dont la longueur d'onde est comprise entre 0,5 et 5 nanomètres (les X "mous"), sont adaptés à la lithographie ; Alors que les X "durs", de longueurs d'onde plus courtes (donc de fréquences plus élevées), et donc trop énergétiques (7), traverseraient la résine photosensible sans l'impressionner. A la sortie du synchrotron, les rayons "illuminent" un masque de quelques micromètres d'épaisseur, métallisé aux

(7) L'énergie des ondes électromagnétiques augmente avec leur fréquence.

DES CIRCUITS INTÉGRÉS CISELÉS AUX RAYONS X

La lithographie par rayons X a été conçue au Massachusetts Institute of Technology (MIT) au début des années soixante-dix. Mais comme aucune source de rayons X adaptée à un environnement industriel n'était alors disponible, cette technologie est restée en sommeil. L'apparition de minisynchrotrons à aimants supraconducteurs et les limites rencontrées par la lithographie optique ont remis les rayons X en selle à la fin des années quatre-vingts. IBM et quelques industriels japonais se sont dotés de lignes de production expérimentales, mais l'industrialisation du procédé, si elle s'avère possible, réclamera encore au moins quatre ou cinq ans de travail. On ne sait pas encore s'il sera nécessaire de recourir aux rayons X pour produire les mémoires de 256 mégabits (256 millions de bits). Mais il sera difficile d'en faire l'économie pour la génération d'après, la puce 1 gigabit (1 000 mégabits), qui exigera une finesse de gravure de 0,1 micromètre.

Autre concurrent de la photolithographie, l'écriture directe par faisceaux d'électrons. Expérimentée dès le début des années soixante à l'université de Tübingen (Allemagne) et à l'université de Cambridge (Grande-Bretagne), cette technique est capable de dessiner des motifs d'une finesse exceptionnelle : certains laboratoires sont parvenus à descendre jusqu'à 20 nanomètres (20 milliardièmes de mètre). Ici, plus de masques comme en lithographie optique ou par rayons X : le faisceau d'électrons impressionne directement la résine photosensible. Comme dans le tube cathodique d'une télévision, le faisceau est dévié par des champs magnétiques de manière à tracer les motifs requis sur la puce.

La lithographie par faisceaux d'électrons est aujourd'hui utilisée pour la production de puces "sur mesure", les ASIC (*Application Specific Integrated Circuits*). Elle sert également à la fabrication des masques employés en lithographie optique ou par rayons X. Son principal défaut – la lenteur – la met toutefois hors course dès qu'il s'agit de produire de grandes quantités de circuits. Les microprocesseurs et les puces mémoire, qui sont fabriqués au rythme de plusieurs millions d'unités par mois durant les périodes de pic, ne peuvent donc en profiter.

Si les divers procédés de lithographie – lumière, rayons X ou électrons – se heurtent soit à des problèmes de résolution, soit à des problèmes de capacité de production, la technologie planar qui leur est commune – le fait d'empiler des fines couches de semi-conducteur – est, elle, limitée par les lois de la physique des solides. L'épaisseur de la fine couche de semi-conducteur qui commande chacun des transistors ne peut en pratique être inférieure à 0,1 micromètre (résultat expérimental obtenu chez IBM). En deçà, une nouvelle électronique commence , l'électronique quantique, qui tire parti du comportement ondulatoire de l'électron. Mais on quitte ici le domaine des technologies industrielles pour entrer dans la recherche fondamentale.

endroits où l'on veut bloquer les rayons X et placé directement au-dessus de la puce, à une distance de quelques dizaines de micromètres.

Ce masque doit être fabriqué à l'échelle 1, avec une technique élaborée d'écriture directe par faisceau d'électrons. Alors qu'en photolithographie classique à ultraviolets, on peut utiliser des grands masques (moins difficiles à réaliser) dont l'image est réduite optiquement – au moyen d'un système fonctionnant à l'inverse d'un agrandisseur photographique (***voir dessin p. 95***) – avant d'exposer la surface des *wafers*. Impossible ici : les lentilles à rayons X restent à inventer. Des chercheurs s'y emploient d'ailleurs. Les physiciens Muradin Kumakhov (de l'institut Kurchatov à Moscou) et Walter Gibson (de la State University de New York) viennent de créer l'entreprise X-Ray Optical Systems afin de produire, vers la fin de l'année, un premier prototype de "loupe à rayons X". Composé d'un faisceau de milliers de fibres optiques, ce dispositif reste cependant très expérimental.

La fin des salles blanches. Avec des rayons X de 1 nanomètre de longueur d'onde et en réduisant l'espace entre le masque et la puce à 10 micromètres, on parviendrait peut-être à une résolution de 0,1 micromètre. De quoi fabriquer un circuit de 1 gigabit (1 000 mégabits). Les meilleurs résultats obtenus en laboratoire, notamment chez IBM, sont actuellement de 0,25 micromètre. Autre avantage non négligeable de la lithographie X : elle n'a pas à être confinée dans des salles ultra-propres comme la photolithographie, les petites poussières étant perméables aux rayons X. La fin, peut-être, de ce rituel très coûteux qui impose à tous, avant de pénétrer dans une "salle blanche", de revêtir un accoutrement digne d'une salle d'opération.

Ces quelques atouts font-ils de cette technique un concurrent sérieux, à court terme, de la lithographie optique ? Entre les deux procédés, il y a aujourd'hui toute la distance qui sépare le "techniquement faisable" de l'"opérationnel en milieu industriel". Une distance trop souvent sous-estimée. Il a fallu plus de vingt ans à la photolithographie pour arriver à son niveau actuel de performances, de fiabilité et de rendement. Combien en faudra-t-il aux installations à rayons X pour parvenir au même stade ? Est-il raisonnable de dépenser plus d'un milliard de dollars pour mettre en œuvre une technique qui ne permettra finalement de grignoter que quelques fractions de micromètre (très précisément, de descendre de 0,35 à 0,1 micromètre) ?

C'est pourtant sur ces quelques dixièmes de millionnième de mètre que va se jouer dans les dix prochaines années la compétition dans les circuits de mémoire dynamique, avec à la clef un jackpot de plusieurs dizaines de milliards de francs. Jamais dans l'histoire industrielle des marchés aussi considérables ne se seront joués sur des distances aussi courtes. Et jamais un investissement de recherche-développement n'aura été aussi risqué.

Edouard Launet

SCIENCE & VIE MICRO

SVM FORMATION

Vidéo Formation

EXCEL 4

de Microsoft* pour PC* ou Macintosh*

285 FF TTC Seulement

1 kit d'1 K7 vidéo et de 2 disquettes
Version P.C. ou version MAC

"Comment en 1h 30 je suis devenu un pro d'EXCEL 4!"

Ma formation personnelle, à mon rythme, pratique et complète grâce à SVM FORMATION.

M. Guérin, cadre commercial.

"Pour être un pro d'EXCEL... il m'a suffi d'allumer mon magnétoscope. Enfin, j'ai trouvé une cassette de vidéo-formation EXCEL 4, éditée par Science & Vie Micro. Finis les stages d'entreprises, trop longs et pas assez complets, finis les bouquins indigestes. Avec ma vidéo-formation spécialement conçue, j'ai un formateur professionnel à ma disposition. En plus, le kit de formation comprend la version d'évaluation du logiciel EXCEL 4 et sa disquette d'exemples, pour s'exercer sur P.C. ou sur Macintosh (deux versions sont disponibles).

Avec ma télécommande, lorsque je n'ai pas tout compris, retour arrière. Je veux souffler un peu, arrêt sur image. Mon formateur m'obéit au doigt et à l'œil. Et pour retrouver un chapitre précis, tout le plan du cours est repris sur le mémo, avec l'indication du compteur à l'écran. Je n'ai plus qu'à faire défiler la bande en lecture rapide. La formation est très claire, pleine de petits trucs faciles à utiliser. Pour un débutant, c'est l'idéal et les utilisateurs confirmés apprécieront les nouveautés. Grâce aux exemples sur disquette, je peux aujourd'hui gérer mon budget personnel sur P.C. ou Macintosh. Facile ensuite d'exploiter EXCEL pour sortir les budgets de mon entreprise... Bref, en apprenant dans le calme, à mon rythme, avec une méthode simple et attrayante, je suis devenu un pro d'EXCEL.

Et pour seulement 285 F, inutile de vous dire que mes collègues n'en reviennent pas."

*Excel, Macintosh, Microsoft et P.C. sont des marques déposées.

ORC

Bon de commande de programme de formation à retourner à :
SVM SOLAN VIDÉO 1, rue du Colonel Pierre AVIA 75503 PARIS Cedex 15
tél: (1)46 48 47 18

Nom : ..... Prénom : ..... Société : .....
Adresse : .....
Code postal : ..... Ville : ..... Pays : .....
Tél. domicile : ..... Tél. bureau : .....
Nombre de kits formation VHS SECAM : Version P.C. |____| Version MAC |____| (version PAL : 350 F + port)
Ci-joint ma commande d'un montant 285 F x |____| soit un total de |_____| + 30 F de frais de port par commande.
(315 F pour 1 kit, 600 F pour 2 kits, port inclus, en france métropolitaine ; pour les autres pays, nous consulter)
Montant total = |_____| à l'ordre de SVM BRED par : ❑ Chèque ❑ CCP ❑ Mandat lettre
❑ Je souhaite recevoir une facture
Date : Signature :

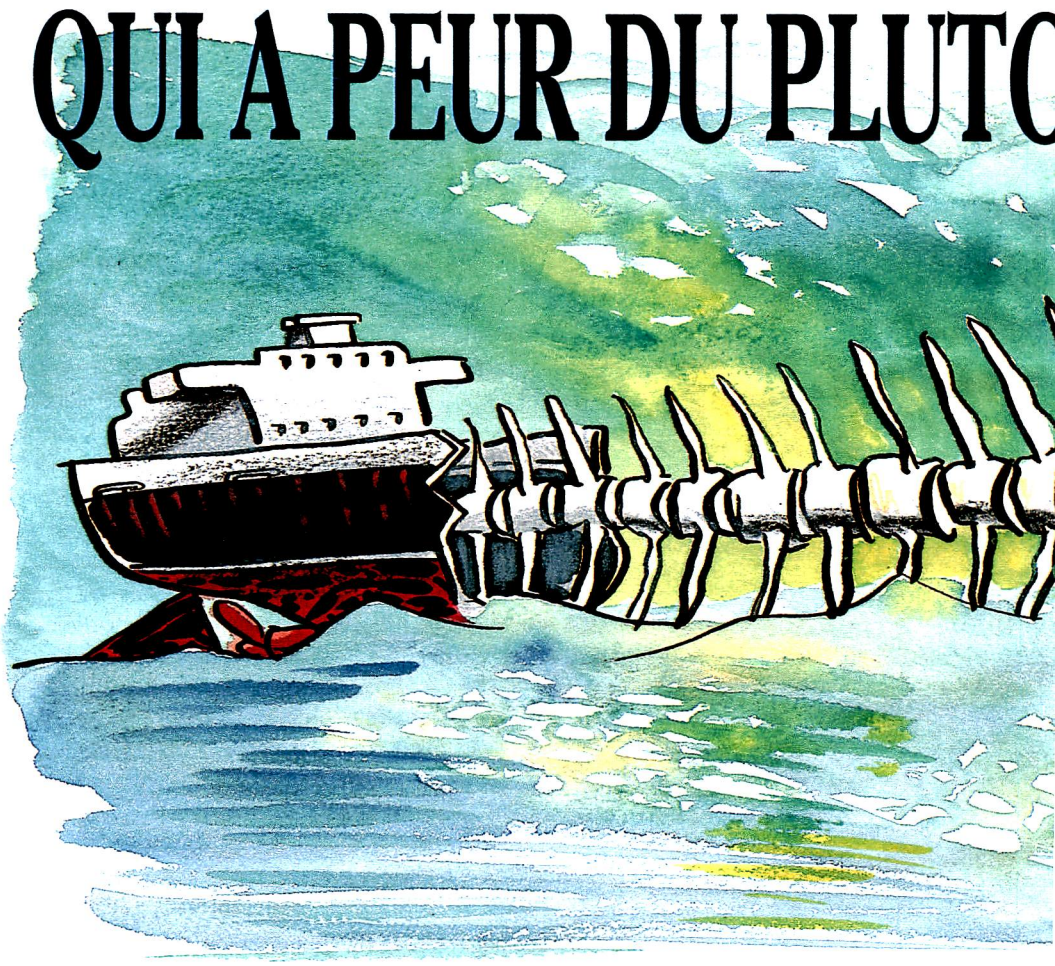
Vous pouvez commander par minitel : 3615 SVM rubrique SVM FORMATION

LE MONTANT DE CET ACHAT PEUT ETRE PRIS EN CHARGE PAR LE BUDGET FORMATION OU LES FRAIS GÉNÉRAUX DE VOTRE ENTREPRISE. OFFRE RÉSERVÉE À LA FRANCE MÉTROPOLITAINE.
Valable jusqu'au 30/06/93 dans la limite des stocks disponibles.
Conformément à la loi informatique et liberté du 06/01/78, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification pour toute information vous concernant.

S&V N°903
RCS 381281492

PAR JACQUELINE DENIS-LEMPEREUR ET BERTRAND LATOME

QUI A PEUR DU PLUTO



Attendu dans le port de Yokohama avec ses conteneurs de plutonium, l'*Akatsuki Maru* inaugure dix années de voyages controversés entre la France et le Japon. Qui croire ? Les écolos ? Les nucléocrates ? Au terme d'une enquête fouillée, *Science & Vie* vous soumet ses conclusions. Le cycle du plutonium n'est pas économiquement justifié. Les stocks de ce dangereux produit s'accumulent sans trouver leur plein emploi. Et, contrairement aux affirmations officielles, son détournement militaire est possible.

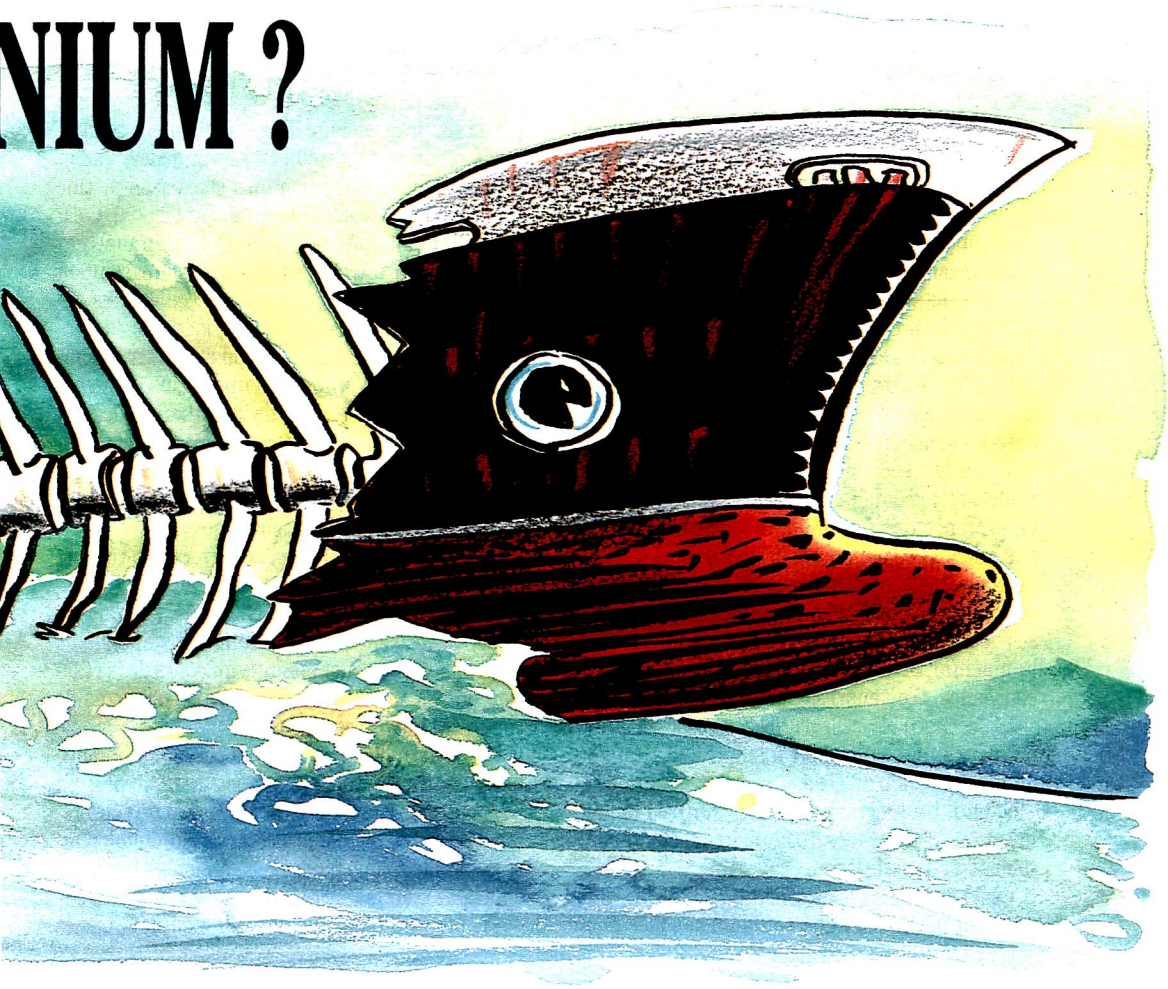
1. LE DOSSIER ÉCONOMIQUE

La rentabilité du c

En bombardant de l'uranium naturel avec des neutrons produits par un accélérateur nucléaire, Otto Hahn et Fritz Strassmann découvraient en 1938 la fission nucléaire. Sans la comprendre. Il devait revenir à Niels Bohr et à John Wheeler de montrer, un peu plus tard, que c'était l'isotope 235 de l'uranium qui subissait la fission (1). En 1942, Enrico Fermi démontrait que celle-ci pouvait être exploitée industriellement pour produire de l'énergie (***voir encadré p. 101***).

En 1941, Glenn Seaborg, Joseph Kennedy et Arthur Wahl montrèrent que la capture de neutrons par de l'uranium naturel produisait un nouvel élément, prévu par le tableau de Mendeleev: le pluto-

NIUM ?



le du plutonium n'est pas démontrée

nium. Dont l'isotope 239 est, lui aussi, fissile.

L'exploitation militaire de la fissibilité de l'U 235 et du Pu 239 ne tarda pas : ce furent, respectivement, Hiroshima puis Nagasaki.

Mais contrairement aux rêves de Seaborg, qui voyait déjà «les déserts fleurir, l'eau de mer devenir douce, les montagnes déplacées, les rivières détournées...», c'est l'uranium, et non le plutonium, qui permit de développer la filière électronucléaire. C'est que l'U 235 est déjà présent dans le minerai naturel, le tout était d'en accroître la teneur (jusqu'à 3% environ) : c'est l'opération dite d'enrichissement. Tandis que le plutonium ne pouvait être fabriqué qu'en très faibles quantités (d'ailleurs grâce aux centrales "brûlant" de l'uranium). Le plutonium, en revanche, présentait d'emblée un plus grand intérêt militaire. Car sa "masse critique", celle à partir de laquelle démarre la réaction en chaîne provoquant l'explosion, est trois fois plus faible que celle de l'uranium 235.

L'idée d'une utilisation économique du plutonium ne quitta cependant pas l'esprit des experts, et acquit une crédibilité croissante. Plusieurs facteurs militèrent en ce sens. D'abord les risques de pénurie d'uranium naturel, spectre invoqué périodiquement, avec une crédibilité décroissante. Ensuite, l'énorme coût des usines de production d'U 235 (l'enrichissement). Enfin la frustration de

1. LE DOSSIER ÉCONOMIQUE (suite)

certains Etats, comme naguère la France et aujourd'hui le Japon, d'être obligés d'importer leur uranium enrichi. Or les militaires, en se familiarisant avec le plutonium, donnaient la preuve qu'il était possible de l'apprivoiser. C'est dans ce contexte que deux projets technologiques de grande envergure virent le jour : la surgénération, et l'utilisation dans les réacteurs ordinaires de plutonium mélangé à l'uranium.

L'idée du surgénérateur est née aux Etats-Unis en 1942. Le premier prototype fonctionna en 1949 dans le désert d'Idaho. Dans un réacteur classique, le flux des neutrons qui permet la réaction de fission contrôlée est ralenti, afin de "brûler" l'uranium dans les meilleures conditions. Dans un surgénérateur, on fait l'économie de l'enrichissement : on brûle directement de l'uranium naturel, non fissile, en présence de plutonium. Les neutrons ne sont pas ralentis. Le plutonium fissionne dans le centre du cœur, mais les neutrons qu'il libère recréent du plutonium en bombardant l'uranium naturel disposé à la périphérie. D'où ce phénomène intéressant : la machine crée plus de plutonium qu'elle n'en consomme. D'où aussi son nom: surgénérateur.

La seconde idée, celle d'utiliser dans les centrales ordinaires un combustible mixte U 235 – Pu 239, appelé MOX (*Mixed Oxide*), se concrétisa un peu plus tard. Un programme fut mis sur pied en Allemagne en 1970 et, dès 1972, deux réacteurs fonctionnaient de cette façon.

Ces deux filières – surgénération et MOX – supposaient néanmoins que soit admise l'idée d'une troisième : le retraitement des combustibles irradiés. Quand, en effet, des barres de combustible brûlé sont déchargées d'un réacteur, le problème est de savoir qu'en faire. Elles contiennent de multiples produits dangereux en raison de leur radioactivité. Première solution : les stocker en piscine (l'eau étant un excellent agent de protection). C'est la voie choisie par la Suède et le Canada, par exemple. Il s'agit d'un stockage provisoire, solution d'attente destinée à durer jusqu'à ce que les experts se mettent d'accord sur une méthode de stockage définitif. Deuxième solution : retraiter le combustible irradié, afin de récupérer les éléments utiles et, du même coup, de conditionner les déchets nucléaires, que le retraitement permet de séparer en plusieurs catégories plus ou moins dangereuses. C'est la voie choisie principalement par la France et la Grande-Bretagne.

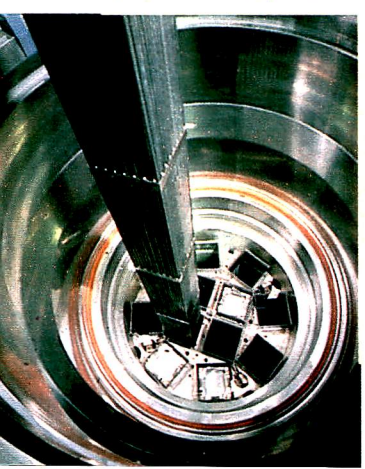
Or le retraitement assure, justement, la récupération du plutonium indispensable aux surgénérateurs et à la fabrication du MOX. Dans le cœur d'un réacteur classique, une quantité substantielle de plutonium est en effet produite au cours de la réaction de fission, et s'accumule dans les barres de combustible (***voir photo ci-dessous***).

Grâce au retraitement, la boucle est en principe bouclée : les centrales classiques étant de plus en plus alimentées par du plutonium issu du retraitement de ces mêmes centrales, et ce plutonium pouvant parallèlement servir de combustible quasi inépuisable pour les surgénérateurs.

Tel était du moins le rêve des experts. Sous la

LES CENTRES DE RETRAITEMENT :

Le 28 avril 1992 était inaugurée à La Hague l'usine UP3, dernier fleuron de ce qui fut, avant le tunnel sous la Manche, le plus grand chantier d'Europe. Depuis sa mise en service effective le 23 août 1990, cette usine d'une capacité de 800 t par an, qui est exclusivement réservée aux clients étrangers, soit 29 compagnies d'électricité, a apporté la preuve que le retraitement avait atteint l'âge adulte. Les critiques des écologistes, qui étaient encore fondées il y a une dizaine d'années, ne sont plus de mise. L'usine fonctionne et elle fonctionne bien. Les énormes moyens financiers qui ont été insufflés, en l'occurrence 27 milliards de francs, sont venus à bout des problèmes techniques et la productivité a été grandement améliorée. Qu'on en juge : au début des années quatre-vingts, l'usine UP2, qui l'a précédée, parvenait péniblement à traiter une centaine de tonnes de combustibles "oxyde", ceux qui sortent des cœurs des centrales classiques à eau légère. Depuis sa mise en service, il y a deux ans, UP3 en a déjà retraité un millier de tonnes.

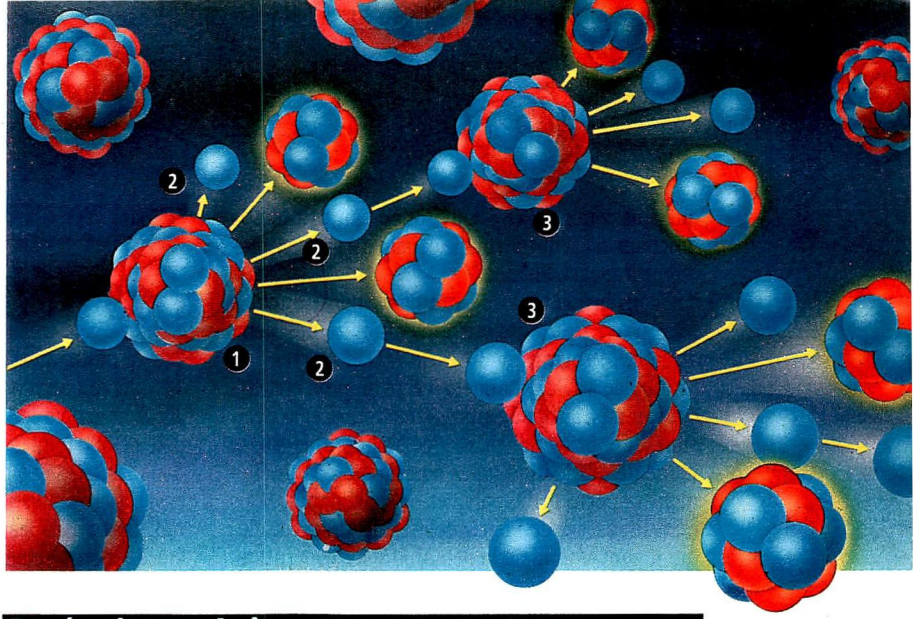


Première opération du retraitement : déchargement des barres de combustible usé

Ce sont les clients étrangers, Allemagne et Japon en tête, mais aussi la Suisse, la Belgique et les Pays-Bas, qui ont entièrement financé l'usine grâce aux avances sur les contrats. Les Japonais, à eux seuls, ont déjà versé une bonne dizaine de milliards de francs. Jean-Louis Ricaud, directeur de la branche retraitement à la Cogema (Compagnie générale des matières nucléaires, filiale du CEA qui gère le retraitement du combustible irradié), évalue le coût forfaitaire du retraitement à 5 000 F le kilo. C'est le prix qui sera facturé pour les contrats signés actuellement mais qui ne seront remplis qu'à partir de l'an 2000. Tous les autres contrats concernant la période qui nous intéresse, en l'occurrence pour le Japon, sont de type "*Cost plus Fee*" (coût plus marge), c'est-à-dire que les clients paieront le prix réel augmenté d'un bénéfice pour

pression du marché et du mouvement anti-nucléaire, il s'est écroulé aux Etats-Unis sous l'administration Carter. Ce pays a alors abandonné tant le retraitement que la surgénération. La France tint bon. Elle prit la tête des capacités de retraitement dans le monde et engagea l'ambitieux programme de construire quatre grands surgénérateurs. En 1976, André Giraud, patron du CEA, écrivait : «Le recours aux surgénérateurs est nécessaire sans tarder (...) car les calculs ont montré qu'un retard dans leur introduction pourrait avoir un effet désastreux.» Dans un rapport destiné au ministère des Finances, le ministère français de la Recherche décrivait encore en 1985 le développement de la filière surgénérateurs comme «une assurance pour le long terme contre les perturbations dans le domaine des approvisionnements énergétiques».

Malheureusement la filière se heurta à des difficultés techniques et politiques beaucoup plus lourdes que prévu. Dans le monde occidental, en dehors de quelques rares unités de très faible puissance, la filière surgénérateur est soit abandonnée (on l'a vu pour les Etats-Unis), soit arrêtée (France). Deux petits surgénérateurs fonctionnent, avec une rentabilité douteuse, en Russie. Le Japon continue d'y croire, mais son premier surgénérateur, Monju,



La réaction en chaîne

L'uranium 235 est fissile : en se désintégrant, un noyau d'U 235 ❶ se scinde en deux, dégageant beaucoup d'énergie et émettant deux ou trois neutrons ❷. Chacun de ces derniers peut à son tour "casser" d'autres noyaux ❸ et ainsi de suite. De cette manière, le nombre de nouvelles fissions double ou triple à chaque génération : c'est la réaction en chaîne. Mais l'uranium naturel contient surtout de l'U 238, non fissile, et seulement 0,78% d'U 235. Il est indispensable de l'enrichir (à 3% environ) pour augmenter les chances des neutrons d'en rencontrer. Dans le cœur des réacteurs nucléaires, la réaction en chaîne est freinée et contrôlée. Dans une bombe, en revanche, on la laisse se déchaîner.

DES USINES À PLUTONIUM

la Cogema. Il semble probable que ce coût dépassera les 5 000 F annoncés.

L'usine UP2 de La Hague, d'une capacité actuelle de 400 t par an, a démarré en 1966. Elle a été entièrement rénovée. Destinée exclusivement aux combustibles d'EDF, elle doublera sa capacité en 1994. La France disposera alors d'une capacité de 1 600 t pour recevoir les combustibles "oxyde". Son concurrent principal, l'usine de Sellafield (ex-Windscale) en Angleterre, appartient à la British Nuclear Fuel Limited et peut retraiter, depuis 1975, plus de 1 200 t/an de combustibles "Magnox" issus de la filière graphite-gaz, la plus courante outre-Manche. Mais une nouvelle unité baptisée "Thorp", d'une capacité également de 1 200 t par an et destinée cette fois aux combustibles "oxyde", doit entrer en service en 1993, venant concurrencer l'usine de La Hague.

Le Japon va disposer vers la fin du siècle d'une usine calquée sur UP3, à Rokkasho Mura, d'une capacité de 800 t par an. La France a vendu son savoir-faire pour 2 milliards de francs.

Des 31,5 t de plutonium fissile extraites à La Hague, il ne reste que 7 t selon la Cogema. Plus de 24 t ont donc déjà quitté l'usine et ont circulé sur les routes de France, soit plus de 200 camions.

LES CONTRATS DE L'USINE DE LA HAGUE

Pays	Tonnages contractés UP2	Tonnages contractés UP3	Total des tonnages contractés	Plutonium fissile correspondant	Tonnages retraités UP2	Tonnages retraités UP3	Total des tonnages retraités	Plutonium fissile correspondant
France	8156	—	8156	57,1	1525	—	1525	10,6
Allemagne	1642	3111	4753	33,2	1638	169	1807	12,6
Japon	151	2774	2925	20,4	151	543	694	4,8
Suisse	132	510	642	4,2	132	77	209	1,4
Pays-Bas	85	140	225	1,4	85	—	85	0,6
Belgique	139	464	603	4,2	138	80	218	1,5
Total	10305	6999	17304	120,5	3669	869	4538	31,5

qui doit commencer à fonctionner au printemps prochain, n'est que le timide cousin du premier prototype français, Phénix.

Or les problèmes de cette filière contribuent à faire peser un doute sur la rentabilité des deux autres, le retraitement et le MOX. Certes, en France, le MOX est appelé à être de plus en plus couramment utilisé dans les réacteurs, et la décision a été prise de construire Melox, une grosse usine de fabrication de ce combustible (actuellement importé principalement de Belgique). Mais c'est un secret de Polichinelle : EDF n'est nullement convaincue de la rentabilité de l'opération. Dans une note interne, la direction du groupe faisait déjà observer, fin 1989, que «depuis 1985, beaucoup de paramètres ont changé». Indépendamment même de la question des surgénérateurs, cette note soulignait quatre évolutions remarquables :

- «les performances notablement accrues du combustible à uranium naturel, tant en ce qui concerne la technologie que la gestion» ;
- «la présence de stocks importants et croissants d'uranium naturel diminue sensiblement la valeur de toute substitution» ;
- on assiste à «une dérive notable des coûts du retraitement»;
- on constate l'«émergence dans le monde de nouveaux projets de stockage définitifs de combustibles irradiés», qui font donc craindre à terme un rétrécissement du marché du MOX et une diminution de la rentabilité des usines de retraitement de La Hague – celles qui produisent le plutonium (***voir encadré p. 100***).

Autrement dit, il se pourrait bien que l'économie du plutonium, rêve de brillants techniciens des années "glorieuses" de l'après-guerre, soit progressivement en train de tourner au cauchemar financier. Un cauchemar qui, comme tous les bons cauchemars, fonctionne en circuit fermé : les usines de La Hague existent, il faut les alimenter; Melox existera, il faudra lui trouver des débouchés ; Superphénix existe, il faudra trouver le moyen de le faire redémarrer... Alors qu'il paraîtrait si simple, à certains bons esprits, de continuer à améliorer la gestion des centrales classiques et de stocker en piscine les déchets, avant de leur trouver une solution définitive crédible. Or pendant ce temps, le plutonium s'accumule, et circule. Les mauvaises langues commencent à évoquer la pièce de Ionesco : Amédée, ou comment s'en débarrasser!

(1) Isotopes : éléments possédant le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent.

2. LE DOSSIER ÉCOLOGIQUE

Les débouchés du pl

Le plutonium fissile s'accumule. Alors que 6,2 kg ont suffi pour faire la bombe de Nagasaki, on estime le stock militaire mondial actuel à près de 300 tonnes, dont la majeure partie somnole dans les têtes des ogives nucléaires. Mais le stock civil s'accroît aussi, soit mélangé à d'autres produits radioactifs dans les barres de combustibles irradiés stockées en piscine, soit isolé dans les conteneurs issus du retraitement.

Ainsi une tonne d'uranium ayant séjourné trois ans dans le cœur d'un réacteur français classique à eau légère produit 10 kilos de plutonium. Sur ces 10 kilos, 7 kilos environ sont composés de plutonium fissile (isotopes 239 et 241). Or le cœur d'un réacteur de 900 mégawatts contient 72 tonnes d'uranium, qui doivent être renouvelés à raison d'un tiers tous les trois ans. Chaque année, 168 kilos de plutonium fissile sont ainsi retirés de chacun des 34 réacteurs de ce type. A quoi il faut ajouter les 243 kilos retirés chaque année de chacun des 18 réacteurs de 1 300 mégawatts du parc français. Cela fait plus de dix tonnes par an, rien qu'en France.

A l'échelle du monde, les capacités nucléaires installées en 1990 sont de 325 gigawatts. Elles devraient passer à 387 gigawatts en l'an 2000, puis à 456 gigawatts en 2010. Selon William J. Dircks, directeur général adjoint de l'Agence internationale de l'énergie atomique de Vienne (AIEA), cela représenterait une production an-

LES CONTENEURS

La poudre d'oxyde de plutonium produite à La Hague est enfermée dans des sortes de grosses boîtes de conserve entièrement soudées, qui en contiennent chacune 3 kg ❶. Ces boîtes sont ensuite regroupées deux par deux dans deux cylindres en acier inoxydable qui sont mis eux-mêmes dans un conteneur à bouchon vissé. Celui-ci est mis à son tour dans le FS-47, emballage de 2 m de haut, de 75 cm de diamètre ❷ et de 25 mm d'épaisseur utilisé pour le transport. Les FS-47 sont ensuite regroupés par dix dans des caissons blindés.

En cas de libération de la matière fissile, il existe un risque de "criticité"; c'est-à-dire que la réaction en chaîne pourrait démarrer. Avant d'obtenir leur agrément, ces emballages ont donc dû subir une série de tests. Ainsi, fin 1984, l'un d'entre eux a été placé par les Français dans un caisson hyperbare. A 1 000

nium ne suffiront pas à écouler les stocks

nuelle de plutonium fissile de 46 tonnes aujourd'hui, 50 tonnes en 2000 et 58 tonnes en 2010. Selon l'OCDE, le stock total de plutonium "usé" contenu dans les combustibles irradiés de toutes les centrales du monde représenterait 1500 tonnes en l'an 2000.

Le stock de plutonium fissile récupéré par les usines européennes de retraitement est, lui, actuellement évalué à 150 tonnes. La production annuelle de ce plutonium, due essentiellement à la France et à la Grande-Bretagne, est aujourd'hui de 14 tonnes. Cela pour une capacité mondiale de retraitement (Russie et Inde comprises) de 4 000 tonnes de combustibles usés. Ces capacités devant atteindre 6 800 tonnes en l'an 2000, la production de plutonium fissile, comme celui transporté par l'*Akatsuki Maru*, passerait alors, toujours selon William Dircks, à 25 tonnes par an.

De ce total, le combustible MOX consomme 4 tonnes par an et devrait en consommer 19 tonnes en l'an 2000. C'est dire que de 30% environ actuellement (4 tonnes sur 14), le pourcentage de plutonium fissile issu des usines de retraitement qui repart dans le cœur des réacteurs devrait passer à 75% (19 t sur 25) en l'an 2000. Mais même dans cette hypothèse optimiste, cela signifie que le stock mondial de plutonium fissile s'accroîtra encore de 110 tonnes d'ici l'an 2000. Pour atteindre donc 260 tonnes, et continuer à croître ensuite.

Du point de vue écologique, cette accumulation de plutonium pose un problème de stockage à long terme et un problème de transport.

A priori, le problème du stockage n'est pas propre au plutonium. C'est celui des combustibles irradiés en général (hors option retraitement, bien sûr). Mais la problématique de la gestion des déchets issus du

SONT-ILS ÉTANCHES ?

bars, pression régnant à une profondeur de 10 000 m, aucune fuite n'a été décelée. La rupture du conteneur s'est produite à 3 000 bars. Ce qui ne veut pas dire que l'étanchéité du joint soit restée totale entre 1 000 et 3 000 bars. Ce n'est peut-être pas très grave, la profondeur des plus grandes fosses sous-marines ne dépassant pas 11 000 m. En revanche, lors de cette expérience, la montée en pression s'est faite progressivement, par paliers. Que se passerait-il si l'*Akatsuki Maru* coulait, c'est-à-dire si la pression montait brusquement ? Plus préoccupant, selon une association japonaise, le "centre d'information nucléaire pour les citoyens", le test de résistance à une pression de 1 000 bars réalisé cette fois par les Japonais, n'a duré que 20 minutes : une déformation devenant visible, ceux-ci auraient décidé de ne pas prolonger l'expérience.

2

1

Exposé à 800 °C, à un mètre au-dessus d'une nappe de kérosène en feu, le colis et surtout son joint en "viton", élastomère de très bonne qualité, qui reste la pièce la plus fragile, est resté intact pendant une demi-heure. Des calculs ultérieurs ont montré que l'étanchéité serait respectée même si l'incendie se poursuivait une heure de plus à 1 000 °C. On peut toutefois se demander pourquoi le test n'a pas été effectué en vrai. Par ailleurs, augurer de la durée d'un feu est illusoire. Il arrive que les incendies à bord des navires durent toute une journée et que la température atteigne 1 100 °C. Or, en date du 19 octobre dernier, l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) demandait encore aux Japonais des renseignements sur la sécurité incendie à bord, preuve que les données n'étaient pas toutes convaincantes, moins d'un mois avant le chargement du bateau.

Combien de temps ces emballages résisteraient-ils à la corrosion marine ? Selon les indications du Centre technique des industries métalliques, le type d'acier inoxydable utilisé, qui contient au moins 6 % de nickel et 16 % de chrome, n'est pas à l'abri de la corrosion. En laboratoire, dans de l'eau stagnante, la vitesse de corrosion pour ce type d'acier est de l'ordre de 0,05 mm par an, mais dans le milieu naturel, où les agressions sont plus grandes, elle peut atteindre 1 mm par an.

2. LE DOSSIER ÉCOLOGIQUE (suite)

RAJEUNIR LE PLUTONIUM

Impossible de stocker trop longtemps du plutonium. Sa qualité se dégrade progressivement et au bout de cinq ans on ne peut plus du tout le réutiliser comme combustible.

Cela pour deux raisons. D'abord la quantité de Pu 241, un isotope fissile donc énergétique, diminue au rythme de 1,4 % par an. Ensuite ce Pu 241 se transforme, au fur et à mesure qu'il se désintègre, en américium 241 non fissile mais hautement radioactif et qui pose donc de sérieux problèmes au moment de sa manutention.

La Cogema est donc contrainte de ne livrer à ses clients que du plutonium "frais", traité dans l'année. Ainsi les quantités de plutonium japonais traité il y a quelques années risquent fort de rester sur les étagères de La Hague. A moins qu'elle développe, comme elle en a l'intention, une unité de "désaméricia tion" qui pourrait être opérationnelle en 1995 et permettrait de rajeunir le plutonium.

QUEL DANGER POUR LA SANTÉ ?

Tous les isotopes du plutonium sont radioactifs. La demi-vie de Pu 239 est de 24 360 ans : c'est dire qu'un morceau de plutonium produit du temps de l'homme de Cro-Magnon serait encore actif aujourd'hui. Il émet du rayonnement alpha, formées de deux protons et de deux neutrons, qui peuvent rester prisonniers de la moelle épinière. Au-delà de 0,0005 microgramme dans l'organisme, le plutonium est dangereux pour l'homme.

Cela dit, une simple feuille de papier suffit à arrêter les particules alpha. D'après certains experts, son ingestion ne semble pas non plus présenter de grands risques. A en croire une note émanant de l'industrie nucléaire française, cependant, «la toxicité du plutonium ingéré est moins aiguë que celle de la strychnine, de l'arseniate de plomb ou du cyanure». Ce qui n'incite pas forcément à en faire des tartines... En revanche son passage dans le sang (par blessure) ou dans les poumons (par inhalation) peut provoquer des dommages redoutables.

retraitement est particulière. Pour les défenseurs du retraitement, la séparation des différents types de déchets par catégorie de toxicité croissante autorise des solutions de stockage à long terme plus sûres que pour les déchets non retraités. Ce point de vue est toutefois contesté par certains. Il est avéré, en particulier, que le plutonium stocké trop longtemps se dégrade, avec formation d'américium 241 (***voir encadré du haut***).

Ce qui est sûr, c'est que la réutilisation du plutonium dans le combustible MOX crée des problèmes de déchets spécifiques. Ainsi le physicien Jean-Paul Schapira, directeur de recherches au CNRS et bête noire de la Cogema, écrit-il : «On aboutit, après un premier recyclage, à un plutonium de mauvaise qualité neutronique et à un accroissement sensible de corps à vie longue tels que les américium et curium. On peut réutiliser ce plutonium à condition de retraiter le combustible MOX irradié ; (...) mais, du coup, les problèmes précédents seraient amplifiés dans ce deuxième recyclage.»

La réutilisation du plutonium par un surgénérateur pose d'autres problèmes encore. Il est admis qu'en cas de démarrage réel de la filière surgénérateurs, il faudrait créer une usine de retraitement spécifique.

Et puis le plutonium voyage. Ce qui génère l'idée d' accidents possibles. Il s'en est déjà produit – avec du plutonium militaire. Quatre bombes nucléaires sont tombées à Palomares en Espagne en 1966. D'autres sont tombées près de Thulé au Groenland en 1968. Or aujourd'hui on peut parler d'un véritable trafic de plutonium. D'abord en Europe – car l'Allemagne, la Suisse et la Belgique et les Pays-Bas font retraiter leurs combustibles irradiés en France. Il ne se passe pas de semaine sans qu'un camion quitte La Hague avec une cargaison d'oxyde de plutonium.Trafic aussi d'un bout du monde à l'autre, en raison des besoins japonais.

Dans un premier temps le plutonium à destination du Japon devait être acheminé par avion au-dessus de l'Amérique du Nord. Mais l'Alaska puis le

LE RETRAITEMENT PRODUIT

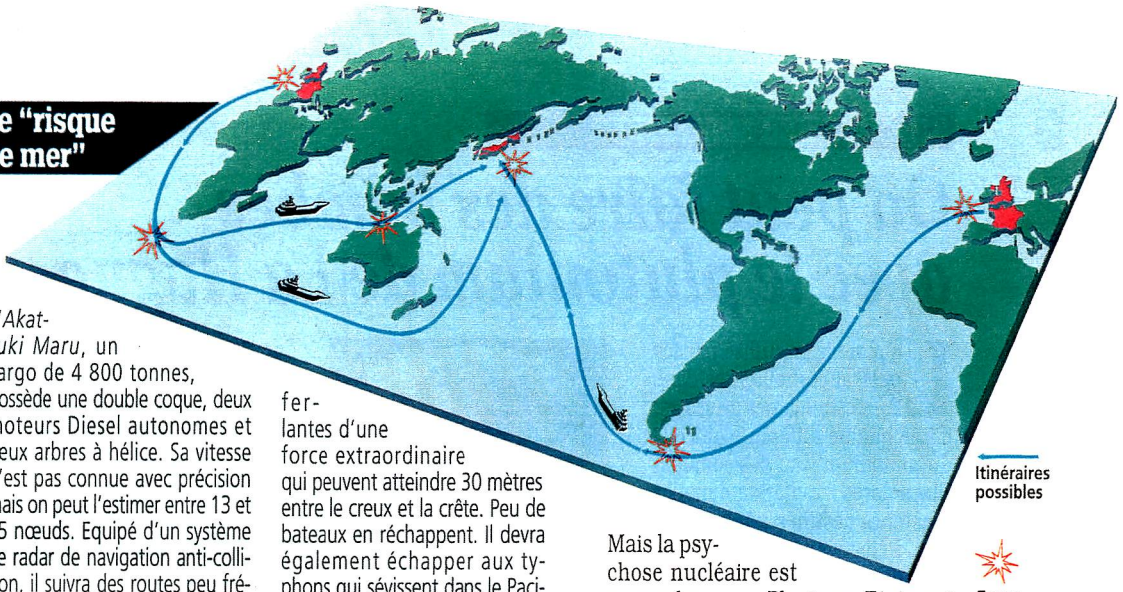
Le retraitement consiste à récupérer et séparer les différents constituants du combustible usé. Les gaines métalliques qui le contiennent sont cisaillées. Il est ensuite plongé dans un bain d'acide nitrique bouillant. Après plusieurs cycles d'extraction, l'uranium et le plutonium dissous sous forme de nitrates sont séparés des produits de fission (sous-produits de la réaction nucléaire comme le strontium 90 et le césium 137) grâce à un solvant organique Ils sont ensuite conditionnés séparément sous forme d'oxyde de plutonium, comme celui transporté par l'*Akatsuki Maru* , et de nitrate d'uranyle.

Depuis 1989, date où a démarré à La Hague un premier atelier de vitrification, baptisé R7, les produits de fission sont coulés dans du verre, lui-même stocké dans des conteneurs en acier inoxydable.

Les 9 150 t de combustibles usés représentant les contrats passés par la Cogema avec l'étrange, généreront un peu plus de 7 000 conteneurs dont 2 250 devront retourner au Japon. En plus du plutonium et de l'uranium, il est en effet prévu que les clients étrangers récupèrent les déchets.

Selon Jean-Louis Ricaud, directeur de la branche retraitement de la Cogema, l'atelier de vitrification a déjà produit 1 350 conteneurs de verre. Etant donné que les déchets vitrifiés doivent subir une phase de "refroidissement" de cinq ans, ils ne pourront être renvoyés au Japon qu'à partir de 1994.

Le "risque de mer"



L'*Akatsuki Maru*, un cargo de 4 800 tonnes, possède une double coque, deux moteurs Diesel autonomes et deux arbres à hélice. Sa vitesse n'est pas connue avec précision mais on peut l'estimer entre 13 et 15 nœuds. Equipé d'un système de radar de navigation anti-collision, il suivra des routes peu fréquentées, passant peut-être au large de l'Australie avant d'accoster à Yokohama.

Le "risque de mer" subsiste, même pour le bateau le mieux équipé. Pour des causes diverses, 700 à 800 bateaux de fort tonnage coulent chaque année.

Au cours de son long périple de près de deux mois, l'*Akatsuki Maru* n'est pas à l'abri des "*freack waves*", ces vagues déferlantes d'une force extraordinaire qui peuvent atteindre 30 mètres entre le creux et la crête. Peu de bateaux en réchappent. Il devra également échapper aux typhons qui sévissent dans le Pacifique entre les tropiques. S'il évite le cap Horn, il devra passer le cap de Bonne Espérance, moins difficile à franchir durant l'été austral. Il évitera ainsi les "Quarantièmes rugissants", ces vents redoutés des marins qui soufflent entre les 40e et 50e parallèles sud. Le triangle situé dans le nord du Pacifique entre les Aléoutiennes, Hawaï et le Japon est une autre zone dangereuse.

Mais la psychose nucléaire est au rendez-vous. Plusieurs Etats ont interdit leurs eaux territoriales à l'*Akatsuki Maru*, qui est donc obligé d'emprunter l'une des routes les plus longues.

Si les engagements pris (de longue date) sont respectés, ce bateau ou d'autres devront faire au moins trois voyages par an pendant dix ans. Il reste en effet 29 tonnes de plutonium japonais à rapatrier de La Hague et de Grande-Bretagne, au fur et à mesure que le combustible fourni sera retraité.

Dans cette affaire, le plutonium n'est que la partie émergée de l'iceberg : le trafic de matières nucléaires engendré par le retraitement comprend en effet, bien entendu, tous les combustibles irradiés sortis des réacteurs et tous les déchets issus du retraitement. «Tout doit repartir», a répété Jean-Louis Ricaud, directeur de la branche retraitement à la Cogema (***voir encadré ci-dessous***).

Reste que les risques écologiques liés à l'accumulation du plutonium paraissent mineurs face à celui de la prolifération nucléaire.

Canada ont poussé des cris d'orfraie. Après quoi il fut question de lui faire prendre la route du pôle Nord, via le détroit de Bering et la mer de Norvège, en Boeing 747 cargo. Du type de celui qui vient de s'écraser à Amsterdam... En tout état de cause, le container qui devait être mis dans la soute du Boeing n'a jamais pu répondre aux spécifications requises. La solution navale qui a finalement été adoptée présente-t-elle plus de garanties ?

Le risque d'un accident et ses conséquences éventuelles sont pour le moins difficiles à évaluer.

SES PROPRES DÉCHETS

D'autres déchets sont plus volumineux. Ainsi, les restes des gaines métalliques (coques et embouts) qui contenaient le combustible usé sont désormais conditionnés à la chaîne et coulés dans du béton. Quant aux boues résultant du traitement des effluents, elles sont emprisonnées dans du bitume. Tous ces déchets conditionnés dans le béton et le bitume comportent des radioéléments à vie longue (des dizaines, voire des centaines de milliers d'années) et sont, tout comme les déchets vitrifiés, destinés à être stockés dans le sous-sol profond. Ils représentent un volume de 30 500 m³ dont 9 750 m³ appartiennent au Japon et devront également lui être retournés.

Ces expéditions ne démarreront toutefois pas avant 1996, car le conditionnement de ces déchets n'a pas encore obtenu le feu vert des administrations étrangères. La résistance des bitumes, notamment, ne serait pas pleinement satisfaisante.

Dernière catégorie de résidus : les déchets technologiques, c'est-à-dire tous les accessoires ou matériaux utilisés au moment des opérations de retraitement et qui ont été contaminés : filtres,gants, bottes,outils, etc. Moins radioactifs, ils sont enrobés dans du ciment et pourront être stockés en surface. Ce sont en revanche les plus volumineux : 41 500 m³ (tous issus de retraitement pour pays tiers), dont 13 270 m³ pour le Japon. En principe, ces déchets doivent aussi retourner au Japon.dans les 25 ans qui suivent le retraitement !

3. LE DOSSIER MILITAIRE

On peut faire des bombes avec le plutonium de La Hague

Le plutonium utilisé par les puissances militaires dans la fabrication des armes est d'une qualité différente de celle du plutonium issu des combustibles après irradiation dans les réacteurs destinés à la production d'électricité. Cette phrase tirée du dossier de presse remis par la Cogema lors du chargement de l'*Akatsuki Maru* constitue la réponse standard donnée par les autorités françaises aux journalistes qui posent la question la plus gênante. La réponse, on le voit, élude finement la question. L'interrogation ne concerne pas, bien entendu, les "puissances militaires", mais bien les Etats, voire les groupes terroristes, qui précisément ne sont pas des puissance militaires - du moins si l'on entend par là des puissances nucléaires.

9 août 1945, à Nagasaki, la première bombe au plutonium

La réalité est plus simple : le plutonium transporté par l'*Akatsuki Maru* est bien utilisable pour fabriquer une bombe nucléaire. William J. Dircks, le directeur de l'AIEA, l'a reconnu après d'autres lors du Forum de l'industrie japonaise à Yokohama, en avril dernier : «Bien que le plutonium issu des réacteurs civils soit impur, a-t-il déclaré, car il contient une quantité significative d'isotopes non fissiles et n'est donc pas idéal pour la fabrication d'armes, il peut néanmoins être utilisé dans ce but».

La littérature spécialisée est émaillée de déclarations de ce genre. Robert Selden, physicien atomiste du Lawrence Livermore Laboratory, le grand laboratoire militaire américain, a écrit dans un volume publié en 1984 par la Federation of American Scientist que «n'importe quel plutonium peut être utilisé directement pour faire des bombes nucléaires». En 1980, le physicien britannique Amory Lovins, collaborateur régulier du *Bulletin of the Atomic Scientists*, écrivait dans *Nature* : «le fait qu'il soit un peu plus difficile techniquement de réaliser une bombe avec du plutonium civil, est largement compensé par la plus grande facilité de s'en procurer». Theodor Taylor, physicien nucléaire du la-

PLUTONIUM, CHAUSSETTES

(Correspondance de Tokyo)

Avec le premier choc pétrolier de 1973, le Japon a pris cruellement la mesure de sa dépendance énergétique. Etat de faible superficie dépourvu de ressources naturelles, comme il le répète à chaque fois qu'il doit se justifier, le Japon déroule le tapis rouge à ce plutonium miracle qui, dans les surgénérateurs, se reproduit plus vite qu'il ne se consomme. Pour les Japonais plus encore sans doute que pour les Occidentaux, ce matériau est la clé leur permettant de se délivrer des fantasmes d'un diktat arabe (pour le pétrole) ou américain (pour l'uranium). De même que le riz, dont ils maintiennent la culture à un coût prohibitif, est pour eux le symbole de la volonté d'autosuffisance alimentaire, le plutonium est en passe de devenir le symbole de l'indépendance énergétique.

Le risque d'une utilisation militaire du plutonium est un sujet tabou. Officiellement, pas l'ombre d'une hésitation : «combustible, seulement combustible. Comment pourrions-nous oublier Nagasaki ?» est le discours sans cesse répété en haut lieu.

Jun Otaki, depuis 24 ans journaliste spécialisé dans le domaine nucléaire pour une télévision régionale, ne doute pas non plus du caractère pacifique de cette accumulation de plutonium : «La raison d'être de l'arme nucléaire, c'est d'exister officiellement afin de servir efficacement de force de dissuasion. Or, si le Japon faisait savoir qu'il possède la bombe, tous ses partenaires économiques asiatiques et peut-être occidentaux lui tourneraient aussitôt le dos. L'économie japonaise ne pourra jamais se le permettre.»

Le seul sujet apparent de controverse est le bien-fondé économique de la filière surgénérateur. Ainsi le Pr Yoshi Tsuji conteste les théories lénifiantes de la commission japonaise pour l'énergie atomique. Intéressant personnage que ce Tsuji, venu de la division nucléaire de l'Agence nationale pour la science et la technologie, il a été recruté par le groupe Sumitomo comme chef ingénieur de centrale électrique avant de se consacrer à l'enseignement de la technologie des centrales nucléaires à l'université du Kinki. Il se retrouve en fin de carrière très sceptique quant aux visions optimistes de la commission japonaise pour l'énergie ato-

boratoire militaire américain de Los Alamos, explique en 1976 à la US Nuclear Regulatory Commission qu'une personne en possession de dix kilos d'oxyde de plutonium pouvait en quelques semaines concevoir et fabriquer une "bombe nucléaire grossière".

La preuve que c'est possible a d'ailleurs été apportée concrètement par les Etats-Unis, qui ont fait exploser en 1962, dans le désert du Nevada, une bombe provenant d'une centrale nucléaire classique. Cet essai, longtemps gardé secret, fut révélé en 1977, après que le Pr Albert Wohlstetter, de l'Université de Chicago et membre de la Nuclear Regularatory Commission, eut vendu la mèche au cours d'une enquête publique conduite par les autorités britanniques pour l'agrandissement de l'usine de retraitement de Windscale.

En nous aidant de la littérature spécialisée et de quelques physiciens et chimistes, nous avons reconstitué les principales opérations nécessaires pour fabriquer, à l'aide de quelques kilos de plutonium subtilisés dans les usines de La Hague, une bombe de la puissance de celle de Nagasaki ***(voir B.D. p.108)***.

La bombe de Nagasaki contenait 6,2 kg de plutonium dont 1,3 kg de plutonium a fissionné, soit l'équivalent de 23 000 tonnes de TNT. La cargaison de l'Akatsuki Maru comprend 1,5 tonne de plutonium dont 1 tonne de plutonium fissile (Pu 239 et un peu de Pu 241). Il suffit à des agents d'avoir dérobé deux cylindres contenant 12 kg d'oxyde de plutonium chacun pour donner à leurs commanditaires les moyens d'arriver à leurs fins.

La technique classique pour fabriquer une bombe A consiste à placer le combustible dans une enceinte en-

LES "FLICS NUCLEAIRES"

Nous sommes les flics nucléaires, disent volontiers les inspecteurs de l'Agence internationale de l'énergie atomique, créée en 1957 à Vienne, en Autriche. Leur rôle consiste à contrôler les installations nucléaires dans les 116 pays qui ont accepté ce principe. Cela afin de s'assurer de l'utilisation pacifique de l'atome. Après la dure leçon infligée par l'Irak, qui avait accepté ce contrôle mais réussi à cacher ses installations sensibles, l'autorité de l'AIEA est fortement ébranlée.

Ses moyens sont limités. Elle ne dispose que de 200 inspecteurs pour surveiller quelque 950 installations. Son budget ne dépasse pas 200 millions de dollars par an et n'a pas été augmenté depuis plusieurs années. Il a même été rogné de 13 % par rapport à 1990 car, depuis deux ans, l'ex-URSS ne verse plus sa contribution. Soit un manque substantiel, de 20 millions de dollars par an.

Or le nombre de pays qui acceptent de se plier au contrôle ne cesse d'augmenter. Pas moins de quatre pays, et non des moindres, au cours des douze derniers mois : l'Afrique du Sud, la Corée du Nord, le Brésil et l'Argentine.

En raison de ses restrictions budgétaires, l'AIEA est contrainte de se décharger d'une partie de son travail. Ainsi l'agence a signé le 28 avril 1992 un protocole d'accord avec Euratom, qui joue un rôle similaire en Europe, rôle qui sera désormais renforcé. En réalité, avant même d'être officiels, les contrôles à l'usine de La Hague et à Dounreay, en Grande-Bretagne, étaient officieusement faits par les agents d'Euratom.

Hans Blix, directeur général de l'AIEA, a peut-être trouvé le moyen de redorer le blason de son institution. Il a lancé l'idée d'un stockage international du plutonium qui serait placé sous le contrôle de l'agence.

ET BOULETTES DE RIZ

mique. Abondamment cité par l'hebdomadaire *AERA*, le *"Nouvel Obs"* de l'élite japonaise, le Pr Tsuji affirme que la faculté d'auto-reproduction du plutonium n'est pas aussi garantie qu'on veut bien le laisser entendre. Le credo officiel estime à 1,2 le taux d'auto-reproduction du plutonium 239 (Pu 239), et minimise la production de plutonium 240 (Pu 240), non fissile. Or, soutient le Pr Tsuji, l'expérience prouve que 20 % du Pu 239 se transforment en Pu 240 en deux ans de présence au cœur du réacteur.

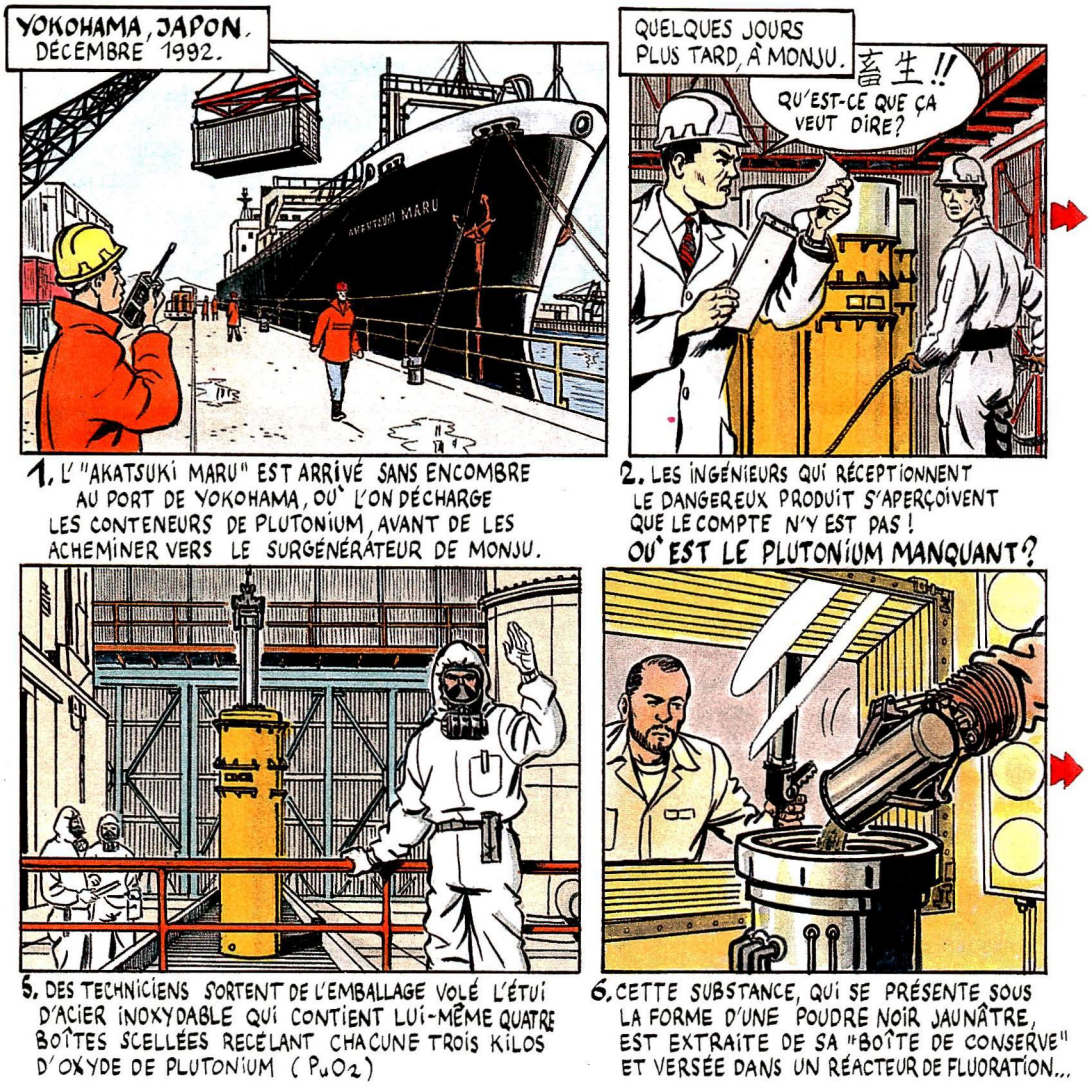
Pour que le moins possible de Pu 239 se change en Pu 240, il est donc prévu, dans le surgénérateur Monju, d'arrêter le réacteur un mois tous les six mois afin de changer à chaque fois un quart du combustible. «Or, s'il faut l'arrêter tous les six mois, son utilité en tant que centrale nucléaire est bien moindre», conclut-il.

De même Jun Otaki émet de sérieux doutes sur ce programme. «Emportés par leur élan et craignant de perdre la face en reconnaissant leurs erreurs de calcul, les responsables gouvernementaux, scientifiques et industriels du projet, tous unis, continuent peut-être tout bonnement à justifier leurs égarements pour ne pas avoir à répondre des milliards de yens engloutis dans l'option plutonium. Cela c'est déjà vu...»

Jun Otaki fait allusion à l'odyssée du *Mutsu*, ce fier navire expérimental à propulsion nucléaire japonais, mis à l'eau en août 1974 et qui se mit, un mois plus tard, à perdre de la radioactivité en mer. Le colmatage de la brèche par où s'échappait la radioactivité, à l'aide de chaussettes et de boulettes de riz, est resté dans les annales tragi-comiques de l'aventure nucléaire japonaise. Raison inavouée de l'attachement du Japon à son autonomie nationale en riz ? Plus collant que le riz américain, il fait un meilleur colmatant en cas de pépin nucléaire...

L'administration japonaise ne s'avoue jamais vaincue. Elle reprit ses travaux sur le *Mutsu* après seize ans de piteux silence. Et le navire atomique reprit la mer en juillet 90. Avant de regagner définitivement son ponton en janvier 1992. La courte existence du *Mutsu* aura coûté aux contribuables japonais la coquette somme de 5 milliards de francs, compte non tenu du prix d'achat des chaussettes et des boulettes de riz... **Etienne Barral**

3. LE DOSSIER MILITAIRE (suite)



Comment faire une bombe avec

Tout bon chimiste familier de la chimie du fluor est capable de convertir de la poudre d'oxyde de plutonium, comme celle que transporte l'*Akatsuki Maru*, en plutonium métal, préférable pour faire une bombe. Cette transformation repose sur deux équations :

$$PuO_2 + 4\,HF \xrightarrow{550\,^\circ C} PuF_4 + 2\,H_2O$$

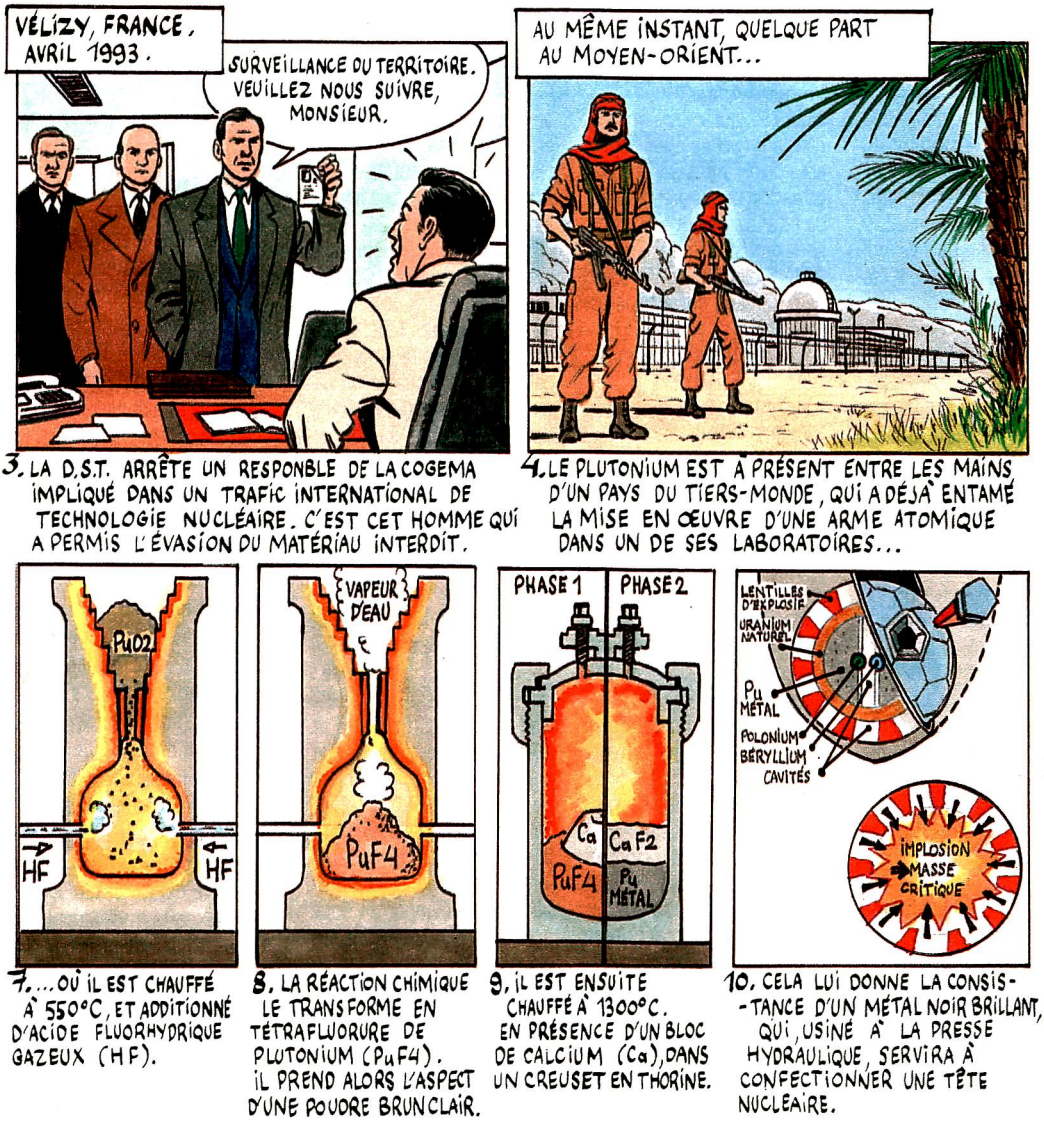
$$PuF_4 + 2\,Ca \xrightarrow{1\,300\,^\circ C} Pu + 2\,CaF_2$$

Le principe de la bombe A consiste, au

tourée d'un réflecteur, elle-même entourée d'explosifs. Mis à feu, ceux-ci compriment le combustible qui atteint ainsi en un instant la masse critique et explose. Les neutrons libérés vont dans un premier temps se heurter au réflecteur qui va les renvoyer vers le plutonium et donc maximiser la réaction en chaîne. Le réflecteur peut être de l'uranium, ou mieux du béryllium. Avec une couche de béryllium de 32 cm d'épaisseur, le plutonium 239 nécessaire peut être réduit à 2,5 kg. Ce qui représente, vu sa forte densité, une sphère de 3,1 cm de rayon. Une mandarine !

Ce serait une bombe d'amateur, mais suffisante pour tuer quelques dizaines de milliers de personnes concentrées dans une ville.

Les Etats qui cherchent à devenir des puissances nucléaires ne peuvent se contenter de voler des boîtes



le plutonium de l'Akatsuki Maru

sein d'une enveloppe métallique, à rapprocher rapidement deux masses sous-critiques d'U 235 ou de Pu 239, entourées d'une couche d'uranium naturel qui sert de "réflecteur" de neutrons. Ce rapprochement est provoqué par l'onde de choc obtenue par des charges d'explosif réparties tout autour. Au centre, le polonium et le béryllium projetés l'un contre l'autre émettent une grosse bouffée de neutrons qui déclenche la réaction en chaîne (voir aussi dessin p.101).

de plutonium. Ils sont obligés de développer eux-mêmes le cycle nucléaire. Pour faire fonctionner ne serait-ce qu'un réacteur, il leur faut de l'uranium enrichi. Pour un usage militaire, il faut de l'U 235, ils peuvent tenter d'en voler. Cela s'est produit. Près de 150 kg ont disparu, entre 1957 et 1967, des établissements Numec, entreprise de Pennsylvanie spécialisée dans le retraitement. De quoi faire une douzaine de bombes. Tout récemment diverses affaires de trafic d'uranium et même de plutonium en provenance d'Europe de l'Est ont défrayé la chronique. Mais pour développer une vraie force de frappe, il faut disposer de combustible à volonté. Ce qui suppose, pour la plupart des Etats, de construire une usine d'enrichissement. C'est ce que l'Irak était en train de faire à la veille de la guerre du Golfe.

3. LE DOSSIER MILITAIRE (suite)

PLUTONIUM CIVIL OU MILITAIRE ?

Dans le cœur d'un réacteur ordinaire, l'uranium naturel (riche en U 238) bombardé par les neutrons se transforme d'abord en plutonium 239, celui recherché par les militaires. Pour ceux-ci, toute l'astuce consiste à irradier suffisamment le combustible pour laisser le temps à l'uranium 238 de se transformer en plutonium 239, mais à ne pas en prolonger le séjour dans le cœur. Car avec le temps d'autres isotopes du plutonium apparaissent (Pu 240, Pu 241, Pu 242), qui compliquent la fabrication des bombes.

Certains types de réacteurs civils (ou prétendus tels) comme les RBMK russes, identiques à celui de Tchernobyl, permettent de décharger des assemblages de combustibles sans avoir besoin d'arrêter leur fonctionnement. Leur utilisation à des fins militaires est donc aisée.

En revanche, dans les réacteurs civils à eau légère français, cette opération est impossible, chaque rechargement ou déchargement du cœur nécessitant l'arrêt du réacteur.

Le temps de séjour habituel des combustibles dans ce dernier type de réacteur (généralement trois ans) ne permet pas de conférer au plutonium la qualité militaire, qui exige au moins 93 % de l'isotope 239.

Prenons l'exemple d'une tonne de combustible classique enrichi à 3,5 % en uranium 235, qui a passé trois ans dans un réacteur à eau légère après avoir fourni 33 000 mégawatts-joules. Après trois ans de refroidissement en piscine, ce combustible peut être retraité. Il contient alors 8 859 g de plutonium qui se répartissent ainsi :

Pu 238 : 169 g
Pu 239 : 5 270 g
Pu 240 : 2 170 g
Pu 241 : 876 g
Pu 242 : 354 g

La plupart de ces isotopes ne feront qu'accroître le poids et le caractère "sale" de la bombe. Mais l'un d'entre eux, le plutonium 240, qui représente 25 % de la masse totale, est particulièrement gênant. Car son taux de fission spontanée est beaucoup plus élevé que celui du plutonium 239. Il émet trop de neutrons. Trente fois plus que le 239.

Or, si la présence du plus grand nombre possible de neutrons est désirable au moment de l'explosion, il vaut mieux qu'il y en ait le moins possible avant. Sinon, la réaction en chaîne risque de partir prématurément. Ce qui empêcherait l'explosion d'être maximale. Un peu comme si les bataillons d'une armée, au lieu de rassembler leurs forces sous l'ordre d'un général, suivaient chacun les directives de leur commandant.

Certes, une telle bombe ne serait pas un pétard mouillé ! Elle ne manquerait pas d'avoir des effets dévastateurs. Mais son rendement serait fortement diminué par rapport à une bombe au plutonium sans Pu 240.

Le plutonium contenu dans les boîtes transportées par l'*Akatsuki Maru* comprend tous ces isotopes. C'est la raison pour laquelle il ne peut pas être dit "de qualité militaire". Cela ne signifie pas qu'il ne puisse pas être utilisé à des fins militaires.

Il faut aussi faire observer que le combustible des centrales nucléaires a parfois séjourné moins de trois ans dans le cœur. Dans ce cas il n'a pas fourni les 33 000 mégawatts-joules par tonne prévus. Ainsi, pour les combustibles "oxyde" qui sont arrivés à l'usine UP2 de La Hague entre 1976 et 1983, les chiffres pour ces huit années étaient respectivement de 15 800, 28 080, 27 270, 20 375, 20 980, 25 420, 21 095 et 23 230 mégawatts-joules par tonne. Le combustible irradié comportait donc un taux de plutonium 239 plus élevé que celui qu'il aurait eu au terme d'un passage normal de trois ans dans le cœur du réacteur. Il comportait donc moins de Pu 240, et était à ce titre plus intéressant militairement.

Au fait, combien de temps les combustibles usés japonais sont-ils effectivement restés dans le cœur des réacteurs ?

Le cas du Japon est différent. Ce pays, interdit de guerre, reçoit régulièrement de l'uranium enrichi des Etats-Unis, pour alimenter ses centrales. Sous contrôle de l'AIEA. Mais ce pays s'est vu autoriser à se lancer dans la filière du retraitement, puis de l'enrichissement, et enfin de la surgénération. Son objectif est l'autonomie complète en matière nucléaire, et nul doute qu'il y parviendra. Ses capacités de retraitement sont pour l'instant insuffisantes, ce qui l'oblige à aller retraiter son combustible irradié en Europe. Mais sa petite usine de Tokai-Mura produit du plutonium, dont une tonne inutilisée s'est déjà accumulée. L'usine suivante, de Rokkasho Mura, jumelle d'UP3 à La Hague, est en construction. Dès l'an 2000, elle devrait être capable de retraiter la totalité du combustible nippon.

En attendant, certaines voix s'élèvent, à Tokyo, pour dénoncer ce qui est présenté comme une dangereuse fuite en avant. Une délégation de l'ordre des avocats japonais est venue dire à Paris son inquiétude. Obsédés par le souvenir de Nagasaki, les avocats japonais font valoir que d'ici à 2010, d'après leurs calculs, leur pays disposera, toutes sources confondues, d'un surplus de 40 t (sur un total de 85 t) de plutonium fissile dont il n'aura pas l'usage. De quoi raser les principales capitales du monde !

La conscience de ce risque existe dans l'esprit des experts nucléaires japonais. En témoigne la suggestion, faite en octobre dernier par le président de la Nuclear Fuel Development Corporation japonaise, de développer le moyen d'utiliser comme combustible du plutonium "sale", mélangé à des éléments beaucoup plus radioactifs (comme l'américium), ce qui le rendrait très difficile à utiliser à des fins militaires.

Même si l'on peut juger excessives les craintes de voir le Japon se lancer un jour dans l'aventure nucléaire militaire, il serait imprudent d'écarter cette hypothèse pour l'éternité. En attendant, il est certain que de nombreux pays ne demandent qu'à se procurer quelques-unes des petites boîtes que l'Akatsuki Maru et d'autres navires vont transporter d'un bout du monde à l'autre pendant dix ans.

Jacqueline Denis-Lempereur et Bertrand Latome

Le N°1 fête son N°100

l'occasion de la parution de
on N°100, SVM, N°1 de la
resse informatique vous
ffre un dossier exclusif et
xplosif : Apple contre
BM, le match au sommet
ue tout le monde
ttend. Les vraies
éponses aux vraies
uestions de fond
oncernant les deux
éants de la micro se
ouvent dans ce N° 100 de
CIENCE & VIE MICRO.

EN VENTE PARTOUT

CONCOURS

Découvrez et gagnez l'ordinateur de vos rêves.

1 000 000 F DE PRIX A GAGNER

PAR ÉDOUARD LAUNET

BIOCARBURANTS : IL EST URGENT D'ATTENDRE

Grande première en France : on tente de dresser un bilan écologique et économique complet d'une filière énergétique. Hélas, nombre de responsables politiques et industriels n'ont pas attendu les résultats de cette étude pour prendre fait et cause pour les biocarburants, dont on ne peut affirmer, en l'état actuel des connaissances, ni qu'ils sont "verts", ni qu'ils représentent une chance pour l'agriculture et l'économie de notre pays.

André Billardon, ministre délégué à l'Energie, est formel : les biocarburants sont «une chance pour la France» et constitueront «une priorité de son action». Ségolène Royal, sa collègue en charge de l'Environnement, ne se fait pas prier pour baptiser des "bus verts" dopés aux carburants végétaux. D'ailleurs les occasions ne manquent pas : aujourd'hui, quelle grande ville n'a pas – au moins en projet – sa flotte de véhicules municipaux ou d'autobus "verts" (1) ? Cherchant à se concilier les bonnes grâces des agriculteurs, des élus de la majorité comme de l'opposition réclament une loi imposant l'addition de 5 % de carburants d'origine agricole aux carburants pétroliers. Quant aux pétroliers eux-mêmes, d'abord réticents, ils ont finalement choisi de faire contre mauvaise fortune bon cœur, se disant sans doute qu'en matière d'environnement mieux vaut en faire trop que pas assez. Elf, en particulier, prévoit de distribuer l'an prochain un million d'hectolitres de biocarburants.

La France menacée par une invasion de bus verts ?

Bref, qu'on se le dise, les biocarburants sont "écologiques", ils représentent un plus pour l'économie et vont soulager nos paysans malmenés par la réforme de la politique agricole commune (la PAC). Problème : aucune de ces affirmations n'est à ce jour totalement étayée. Ce "totalement" peut sembler une précaution inutile quand l'essence et le diesel "verts" sont – à juste titre – salués comme des sources d'énergie renouvelables et comme des débouchés possibles pour une agriculture condamnée à la jachère. Alors pourquoi leur chercher des poux dans la tête ? Précisément parce que cette filière aura de meilleures chances de s'imposer – en supposant qu'elle le mérite – si elle démarre sur des bases saines, à partir de données précises. Et non dans la précipitation d'une période pré-électorale, durant laquelle il est plus important pour les pouvoirs publics de se concilier le vote paysan que de peaufiner des bilans écologiques.

Que sait-on des biocarburants ? Il existe deux principales filières. D'une part, l'éthanol, alcool éthylique obtenu par fermentation de matières riches en sucre comme la betterave, ou par hydrolyse de matières riches en amidon comme les céréales ou la pomme de terre. Il peut être mélangé à l'essence ou au super soit directement, soit après transformation en ETBE (éthyl-tertiobutyléther), un produit à fort indice d'octane (qui limite le pouvoir détonant). Procédé qui a la faveur des constructeurs automobiles car l'utilisation directe de l'éthanol peut, en présence de traces d'eau, poser des problèmes de carburation.

Seconde filière : l'ester méthylique, plus connu sous la marque Diester (2). Mis au point par l'Institut français du pétrole, ce produit dérivé d'huiles végétales (principalement de colza) est destiné aux moteurs Diesel, soit pur, soit mélangé au gazole.

Etablir les bilans écologique, économique et énergétique de ces deux filières, c'est compliqué. Il ne suffit pas de comparer les rejets gazeux à la sortie du tuyau d'échappement pour déclarer l'éthanol plus vert que l'essence ou le Diester plus écologique que le gazole. Pas plus qu'on ne peut se contenter de mettre en balance leur prix de revient pour en déterminer l'avantage économique.

Un bilan écologique sérieux exige que l'on analyse

(1) Paris, Bordeaux, Grenoble, Agen, Toulouse, Nancy, Dijon, etc.
(2) Voir *Science & Vie* n° 887, p. 90.

Appellation non-contrôlée ?

Les biocarburants sont devenus, à 4 mois des élections législatives, un enjeu plus politique qu'écologique. Est-il si vert, ce "bus vert" baptisé par Ségolène Royal ?

ces produits "du berceau à la tombe" : depuis la culture des végétaux jusqu'aux rejets atmosphériques et au devenir des sous-produits (comme les pailles et tourteaux). Combien la culture d'un hectare de betteraves ou de colza demande-t-elle d'engrais, de produits phytosanitaires ? Quel est l'impact de ces intrants sur l'environnement ? Combien de carburant consomment les tracteurs utilisés pour ces cultures ? Combien d'énergie (et de quel type) est consommée pour transformer les végétaux en biocarburants ? Quel est l'impact sur l'effet de serre, les nappes phréatiques, le paysage ?

L'analyse économique est un casse-tête tout aussi redoutable. Les biocarburants ont le mauvais goût de se trouver à l'intersection de deux secteurs – les carburants pétroliers et l'agriculture – dont l'économie est artificielle : les prix de vente et les prix de revient y mènent des vies largement indépendantes... Les carburants croulent sous les taxes et les produits agricoles sous les subventions. Résultat : la mécanique fiscale et administrative prime sur les lois du marché.

Il y aurait une certaine logique dans ce système si les taxes sur l'essence étaient calculées pour contrebalancer les dommages écologiques causés par la circulation routière, et si les aides aux paysans venaient en compensation du rôle écologique positif joué par l'agriculture (entretien du paysage rural, par exemple). Ce n'est bien sûr pas le cas. Les conséquences de ce "découplage" entre raison économique et raison écologique sont plus graves qu'il n'y paraît. Sans vérité des prix, une bonne politique de l'environnement est en effet impossible. Faut-il alors remettre à plat tout le système de taxes et d'aides ? Ce serait l'idéal, mais ne rêvons pas : la seule révision de la fiscalité sur le gazole amènerait le pays au bord de la guerre civile, routiers en tête.

On ne peut que se livrer à des calculs acrobatiques pour évaluer, par exemple, les effets sur le bilan économique du Diester de la récente suppression de l'aide communautaire à la trituration (extraction de l'huile des graines d'oléagineux). Ou encore, pour déterminer le montant d'une aide à l'hectare en fonction des fluctuations du baril de pétrole et des cours mondiaux de l'huile de soja. Tout cela sans perdre de vue les discussions en cours dans le cadre du GATT (négociations sur le commerce mondial), qui pourraient faire s'effrondrer ce bel édifice.

Mais nul n'est obligé d'entrer dans le détail de ces analyses pour se faire une opinion sur l'intérêt des biocarburants. Il suffit de se reporter aux conclusions du seul document de référence disponible en France sur le sujet, à savoir le rapport de la Commission consultative pour la production de carburants de substitution (CCPCS) publié en janvier dernier [3]. En voici les conclusions, brièvement résumées.

Primo, le bilan énergétique des biocarburants est légèrement positif. Aujourd'hui, on consomme moins d'énergie pour produire de l'éthanol ou du Diester que l'on n'en récupère en bout de chaîne sous forme de carburant. C'est nouveau et encourageant.

Secundo, «le bilan économique montre clairement que les carburants d'origine agricole ne pouvaient trouver leur place sur le marché sans aide financière». Même après exemption de la TIPP (taxe intérieure sur les produits pétroliers : 1,67 franc par litre pour le gazole), le prix du Diester restait début novembre supérieur d'environ 70 centimes à celui du gazole [4]. Il serait bien supérieur encore sans les aides communautaires. Reste à savoir si les pertes fiscales dues à la détaxation et le versement d'une prime à l'hectare

(3) Créée en 1983, réactivée en 1991, cette commission réunit parlementaires, ministères, instituts de recherche, industrie automobile, pétrolière, charbonnière et gazière, professions agricoles, etc.

(4) L'exemple du Diester est plus intéressant que celui de l'éthanol, qui vient concurrencer l'essence, dont l'offre est excédentaire en France. Le pays est en revanche obligé d'importer du gazole.

(destinée à éliminer ce différentiel de 70 centimes) seraient compensés par des avantages économiques tels que la création de nouveaux emplois ou la réduction des importations de gazole. L'étude est en cours. L'effort demandé à la collectivité pour le seul Diester serait de l'ordre de 1,2 milliard de francs par an (5). Et de 5 milliards pour le couple éthanol-Diester.

Tertio, «les données disponibles ne permettent pas d'aborder l'analyse quantitative de l'effet des biocarburants sur l'environnement pour chacune des filières». En clair, on ne sait pas si les "carburants verts" sont effectivement "verts". «Des conclusions précises ne pourront être proposées, poursuit la CCPCS, que lorsque des campagnes d'essais, nécessairement longues et coûteuses, auront été entreprises sur les divers types de véhicules susceptibles d'utiliser les biocarburants.»

Les premières études laissent apparaître «une diminution de l'effet de serre dû au gaz carbonique, partiellement compensée par une émission probablement plus forte d'oxydes d'azote [ainsi] qu'une diminution de certains produits de combustion (monoxyde de carbone, suies, etc.) mais avec augmentation de certains autres comme les aldéhydes [produits cancérigènes]. [...] Ce premier examen ne permet pas d'avancer des conclusions définitives.»

Qui l'eût cru ? Les écologistes sont contre les biocarburants

L'Office allemand de l'environnement n'est pas aussi prudent. Dans une étude très contestée, il affirmait récemment que les biocarburants tendaient plutôt à aggraver l'effet de serre. Ces divergences d'appréciation viennent du fait que l'impact des divers produits de la combustion (6) sur l'effet de serre varie selon les experts. Débat très technique, qui se complique du fait que l'autorité mondiale sur le sujet, l'IPCC (International Panel on Climate Changes), est elle-même en train de réviser la valeur de ses facteurs de conversion (en équivalent CO_2). Pour corser encore l'affaire, les bilans économique et écologique doivent aussi prendre en compte l'utilisation qui est faite des sous-produits de la fabrication des biocarburants. Tout comme ils doivent intégrer les différentes pratiques envisageables en matière de cultures. Ce qui induit une nouvelle marge d'incertitude dans les résultats.

Pour les agriculteurs, à qui l'on présente souvent une version très réductrice du problème, ces débats byzantins ne sont que des manœuvres dilatoires de la part des opposants aux biocarburants. Ces derniers – qui l'eût cru ?– se recrutent principalement parmi les écologistes. Les Verts parlent ainsi de "fausse solution", France Nature Environnement (fédération française des sociétés de protection de la nature) de "leurre écologique". Face aux biocarburants, il semble n'y avoir désormais que deux attitudes possibles : l'obstruction ou la précipitation.

Dans les deux camps, on avance de solides arguments. Les paysans trouvent absurde qu'on ne les aide pas à se tourner vers une culture énergétique au moment même où la Communauté européenne tente de freiner les cultures alimentaires. Tout, plutôt que la jachère nue, qui est la négation même de notre raison de vivre, disent-ils en substance. Même s'ils savent que les biocarburants, marché à faible marge, profiteraient d'abord aux grandes exploitations.

Les écologistes, eux, s'interrogent sur cet intérêt soudain pour la valorisation de la biomasse. France Nature Environnement regrette ainsi que l'on n'ait pas choisi de commencer cette politique par la récupération de biocarburants déjà existants, à savoir le méthane des décharges et des stations d'épuration, «qui polluent l'atmosphère en pure perte». Un méthane qui représenterait 2 millions de tonnes d'équivalent pétrole, soit un gisement à peu près équivalent à celui de l'éthanol et du Diester dans le cas d'un mélange à 5 % dans toute l'essence et le gazole consommés en France. Et, surtout, les écologistes craignent qu'avec les biocarburants, on ne fasse que troquer un avantage supposé (et très relatif pour un mélange à 5 %) en matière de lutte anti-effet de serre contre le risque, considérable celui-là, de voir 1 à 1,5 million d'hectares de terres agricoles soumis à des traitements chimiques intensifs.

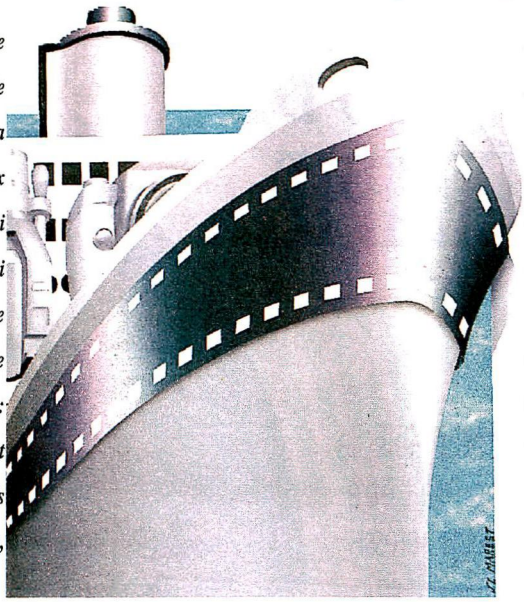
Pour trancher le débat, le gouvernement a demandé à Raymond Lévy, l'ancien patron de Renault, un rapport détaillé. Son premier objectif est de lever les incertitudes qui subsistent dans les conclusions de la commission consultative. L'idéal pour les pouvoirs publics serait de disposer de ce rapport à temps pour inscrire le projet de loi "probiocarburant" au menu de la session d'automne. Mais le rapport ne devrait être remis que vers la fin décembre. A vrai dire, on voit mal, étant donné la complexité du dossier et l'importance des études restant à entreprendre, comment Raymond Lévy pourrait afficher une position tranchée. Si une décision était entérinée avant les élections législatives, elle le serait sur des bases plus politiques que scientifiques. Entendre le ministre délégué à l'Energie, André Billardon, déclarer (le 3 novembre dernier) que la politique publique en faveur des biocarburants «était entrée dans l'irréversible» n'est de ce point de vue guère rassurant. **Edouard Launet**

(5) Correspondant à un taux de 5 % de Diester dans tout le gazole consommé, avec une prime de 1 000 francs par hectare (en complément des quelque 2 000 francs déjà fournis par la Communauté au titre de la jachère industrielle, non inclus dans ce calcul puisqu'ils seraient versés de toute manière en cas de jachère nue).

(6) Il faut y ajouter le protoxyde d'azote (N_2O) libéré par les engrais.

2eme CROISIERE DE LA PHOTO

Un an après la 1ère de la Croisière de la Photographie organisée ns les Fjords de Norvège, et qui aura issé d'innombrables souvenirs aux rticipants, de belles images, mais aussi belles rencontres, le cap est mis en mai ochain sur la Méditerranée. Si le ysage change, le principe qui a fait le ccès de la 1ère croisière reste le même : s photographes, dont la réputation n'est us à faire et qui exercent leurs activités ns des domaines très divers (reportage,



portrait, nu, paysage...), sont invités à faire partager leur passion et leur technique avec tous ceux qui s'embarqueront à bord du navire "The Azur" pendant une semaine. Les horizons marins et le littoral seront évidemment source d'inspiration, mais la vie photographique à bord, faite d'échanges, d'événements et de créations, sera d'une intensité sans cesse renouvelée : ne manquez pas un tel rendez-vous avec l'émotion et l'intelligence d'un art, tant sur la mer que sur le pont.

INVITES D'HONNEUR

GIANNI BERENGO GARDIN - RAYMOND DEPARDON - PETER KNAPP

NVITES EXCEPTIONNELS

EDOUARD BOUBAT - FRANK HORVAT - JEAN LOUP SIEFF.

Itinéraire

NICE
ILE D'ELBE (Italie)
NAPLES (Italie)
MESSINE (Sicile)
LA VALETTE (Malte)
TUNIS (Tunisie)
PORTO VECCHIO (Corse)
NICE

EN MEDITERRANEE A BORD DE THE AZUR DU 15 AU 22 MAI 1993

AVEC LA PARTICIPATION DE PHOTOGRAPHIES MAGAZINE

CROISIERES CHANDRIS

Kodak

LES LABORATOIRES ASSOCIES
ACTIVITE PROFESSIONNELLE

ESPACE CRÉATION PHOTOGRAPHIES MAGAZINE

MAITRES DE STAGES**

**Sous réserve de désistement de dernière minute

JOHN BATHO
LUC CHOQUER
MARIE-PAULE NEGRE
ERWAN QUEMERE
JEAN-FRANCOIS BAURET
JEAN-FRANCOIS GATE
CLAUDE NORI
FRANCESCO RADINO
JEAN-MICHEL RIZZI

A partir de

4625 Frs*

* Prix par personne en cabine Cat. A - en quadruple

EMANDE DE FICHE D'INSCRIPTION
ème CROISIERE ORGANNISEE PAR PHOTOGRAPHIES MAGAZINE

om : ..... Prénom : .....
dresse : .....
él. (Professionnel) : ..... Tél. (Domicile) : .....

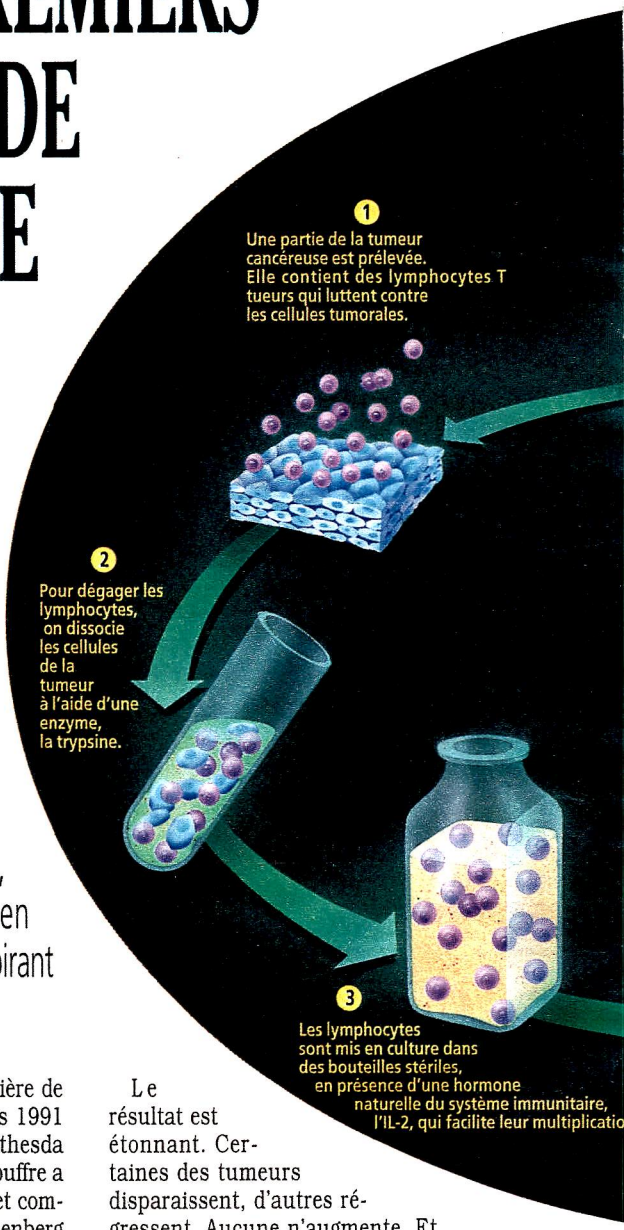
adresser à :
USINESS COMMUNICATION
, rue de l'Amiral Mouchez, 75013 Paris - Tél: (1) 45 65 46 00

CHANDRIS S.A. - S.A.R.L. au capital de 500.000 FF - Siège Social : 35, rue Etienne Marcel, 75001 Paris - LIC. 175521 -
Conception, réalisation, illustration : Agence M'ONDE 44 40 43 30

PAR PIERRE ROSSION

CANCER : PREMIERS RÉSULTATS DE LA THÉRAPIE GÉNIQUE

Associée à l'immunothérapie, la thérapie génique pourrait être une nouvelle arme moins agressive, et plus efficace, que la chirurgie, la chimiothérapie et la radiothérapie. Ce traitement a été imaginé et développé aux Etats-Unis par le Pr Steven Rosenberg. En France, l'Institut Curie a, de son côté, l'intention de mettre en œuvre, en 1993, un programme original s'inspirant des travaux du chercheur américain.



Quand Barbara Spengler, une infirmière de San Francisco, se présente en mars 1991 au National Cancer Institute, à Bethesda (Maryland), le cancer de la peau dont elle souffre a essaimé sur la partie droite de son thorax et commence à gagner l'aisselle. Le Dr Steven Rosenberg qui l'examine tente alors sur elle, avec son consentement, le traitement qu'il vient de mettre au point.

Associant à la fois l'immunothérapie et la thérapie génique, ce traitement consiste, dans ses grandes lignes, à prélever chez la patiente une variété de globules blancs – les lymphocytes T –, et à les lui réinjecter dans le sang après les avoir modifiés génétiquement.

Le résultat est étonnant. Certaines des tumeurs disparaissent, d'autres régressent. Aucune n'augmente. Et on ne distingue pas de nouvelles lésions. On peut parler de rémission. Dans son nouveau livre *The Transformed Cell* (*La Cellule transformée*) (1), le Dr Rosenberg raconte l'événement : «Nous avons fait une biopsie sur deux des lésions restantes. Les anatomopathologistes n'y trouvè-

(1) Presses de la Renaissance, 1992, 382 p., 98 F.

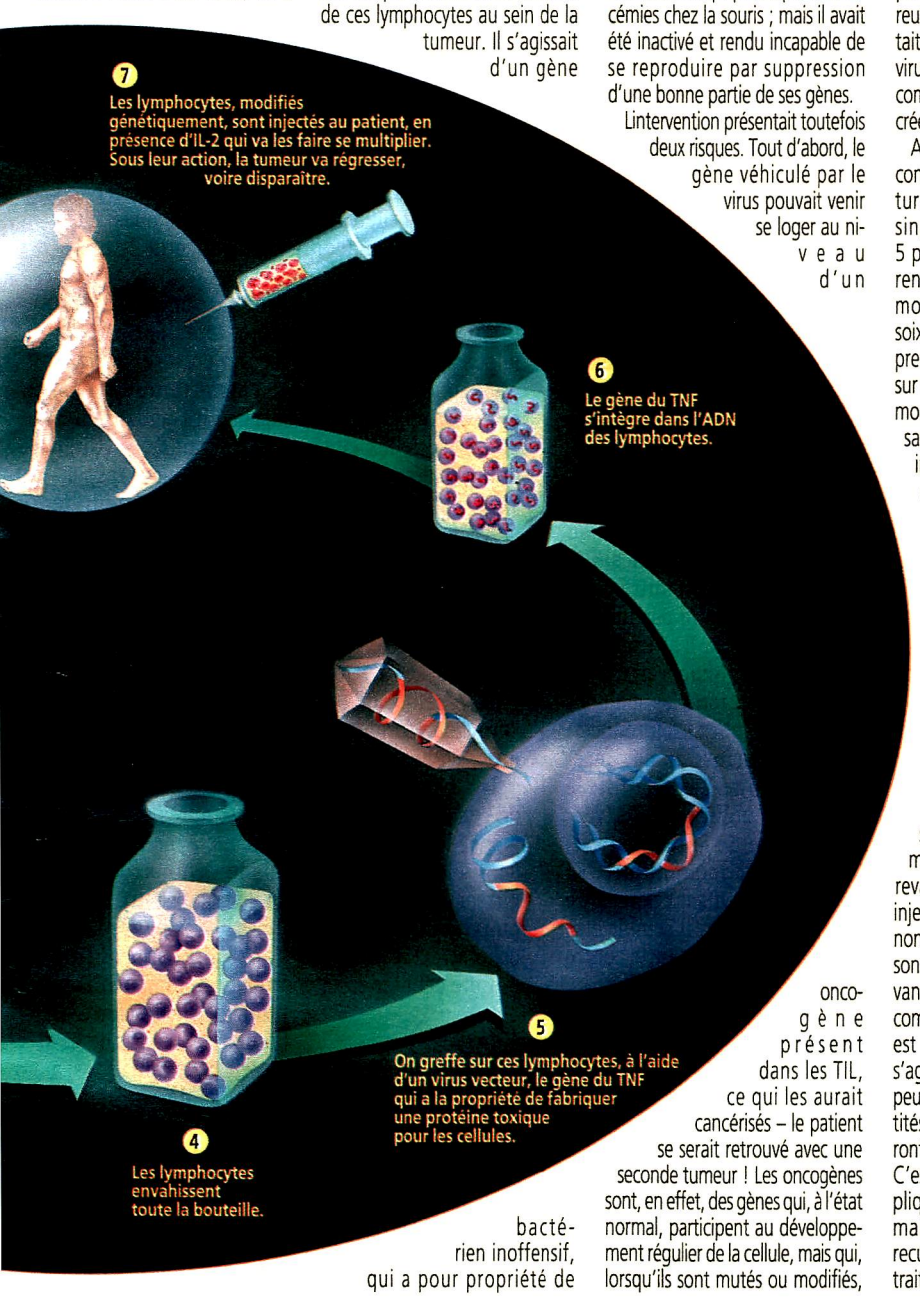
COMMENT SONT DOPÉS AUJOURD'HUI LES LYMPHOCYTES...

Dans un premier temps, pour s'assurer de l'innocuité de l'introduction d'un gène dans une cellule à l'aide d'un virus, on a greffé dans des TIL – des lymphocytes T tueurs prélevés dans la tumeur – un gène marqueur dont le rôle unique était de suivre l'activité de ces lymphocytes au sein de la tumeur. Il s'agissait d'un gène bactérien inoffensif, qui a pour propriété de rendre les cellules résistantes à un antibiotique voisin de la néomycine. Quant au virus vecteur, c'était un rétrovirus qui provoque des leucémies chez la souris ; mais il avait été inactivé et rendu incapable de se reproduire par suppression d'une bonne partie de ses gènes.

L'intervention présentait toutefois deux risques. Tout d'abord, le gène véhiculé par le virus pouvait venir se loger au niveau d'un oncogène présent dans les TIL, ce qui les aurait cancérisés – le patient se serait retrouvé avec une seconde tumeur ! Les oncogènes sont, en effet, des gènes qui, à l'état normal, participent au développement régulier de la cellule, mais qui, lorsqu'ils sont mutés ou modifiés, peuvent provoquer un cancer. Comme l'ADN humain contient un faible pourcentage d'oncogènes, la probabilité de rendre un TIL cancéreux était très faible, mais elle existait. Le second risque était que le virus, bien qu'inactivé, allât se recombiner avec un virus naturel pour créer un virus inconnu.

Après de multiples expériences concluantes sur des cellules en culture, puis sur des souris et des singes, le Dr Rosenberg traita 5 patients. Les biopsies montrèrent que des TIL génétiquement modifiés infiltraient la tumeur soixante jours après le traitement, preuve qu'ils s'étaient bien dirigés sur leur cible. Cette expérience démontra aussi qu'on pouvait utiliser sans risque un virus vecteur pour introduire des gènes étrangers chez des patients.

Le chercheur américain passa alors à la seconde étape, en greffant cette fois sur les TIL un gène codant pour une protéine susceptible de détruire la tumeur (***voir dessin ci-contre***). Le choix se fixa sur le *Tumor Necrosis Factor* (facteur de nécrose tumorale ou TNF). Cette protéine fait disparaître, dans l'heure qui suit son injection, d'importantes tumeurs sous la peau des souris. En revanche, chez l'homme, le TNF injecté par voie intraveineuse est non seulement mal supporté, mais son activité antitumorale est décevante. Toutefois, théoriquement, comme le gène codant pour le TNF est greffé dans des TIL qui iront s'agglutiner dans les tumeurs, on peut penser que les grandes quantités de TNF sécrétées *in situ* seront suffisantes pour les détruire. C'est cette thérapie qui a été appliquée à Barbara Spengler. On manque cependant encore de recul pour juger de l'efficacité du traitement..



rent aucune cellule tumorale viable. Toute la tumeur était nécrosée.» Au moment où nous bouclons ce numéro, le secrétariat du Dr Rosenberg à Bethesda nous a confirmé, par téléphone, que la rémission durait toujours et que les tumeurs restantes continuaient à diminuer.

Ce traitement, pour lequel il a fallu au chercheur américain l'autorisation de la FDA (Food and Drug Administration, l'équivalent de notre ministère de la Santé), n'entraîne aucune séquelle

puisque c'est le corps du patient lui-même qui est sollicité pour rejeter ses cellules malignes. Ce qui n'est pas le cas des méthodes conventionnelles comme la chirurgie, la radiothérapie et la chimiothérapie, où l'utilisation obligée d'un "outil" extérieur (scalpel, rayons, médicaments) peuvent laisser des marques importantes. Raison pour laquelle, d'ailleurs, certains patients n'hésitent pas à se tourner, avec des fortunes diverses, vers les médecines parallèles. L'immunothérapie associée à la thérapie génique s'annonçait comme une forme majeure de traitement.

L'idée de faire appel à l'immunothérapie pour lutter contre le cancer apparut pour la première fois en Allemagne, à la fin du XIX^{e} siècle. Le traitement consistait alors à injecter des streptocoques (agent de l'érysipèle, une inflammation de la peau) à des patients cancéreux, avec l'espoir que cette infection bactérienne stimulerait suffisamment leur système immunitaire pour qu'il s'attaque au cancer. De fait, les patients virent leur santé s'améliorer, mais passagèrement. Un autre essai du même type fut réalisé par la suite par un chirurgien new yorkais, William Coley. Il se traduisit, là aussi, par une amélioration temporaire de la santé des patients. Cependant, tous les malades ainsi traités finirent par succomber à leur cancer.

Dans les années soixante, à l'Institut de cancérologie et d'immunogénétique de Villejuif, le Pr Georges Mathé eut l'idée d'utiliser le BCG (vaccin utilisé dans la prévention de la tuberculose) comme stimulant du système immunitaire. Et bien que ce traitement soit insuffisant pour faire disparaître totalement une tumeur, il semble être aujourd'hui le meilleur instrument de lutte contre le cancer de la vessie.

L'immunothérapie n'est cependant efficace que si elle est spécifique du cancer dont le patient est atteint. C'est un article du Pr Robert Gallo (celui qui a revendiqué la découverte du virus du sida) publié en septembre 1976 dans la revue *Science* qui mit le Dr Rosenberg sur la piste. Gallo avait constaté, à sa grande surprise, que lorsqu'il essayait de faire croître de manière prolongée des cultures de cellules leucémiques humaines, il obtenait, à leur place, la croissance de lymphocytes T humains normaux.

C'était une découverte importante, car, jusqu'alors, les immunologistes estimaient impossible de faire pousser en culture des lymphocytes T, cellules totalement différenciées, c'est-à-dire ayant déjà exprimé les potentialités pour lesquelles elles sont programmées. Gallo finit par identifier une protéine qu'il jugea responsable de cette croissance. Il l'appela "facteur de croissance des lymphocytes T". Plus tard, elle prit le nom d'interleukine-2, ou IL-2. Mais Gallo ne s'intéressa pas davantage aux aspects immunologiques de sa découverte. C'est Rosenberg qui en saisit la portée. Pour le cancérologue, parvenir à faire pousser des lymphocytes T en culture signifiait, en effet, qu'on pouvait produire à volonté l'arme que l'organisme se fabrique lui-même pour lutter contre le cancer.

Les lymphocytes T représentent environ 70 % de l'ensemble des lymphocytes. Après avoir commencé leur développement dans la moelle osseuse, ils le poursuivent dans le thymus avant de passer dans le sang. On en distingue deux principaux sous-types : les cellules T auxiliaires et les cellules T tueuses. Les T auxiliaires règlent l'immunité cellulaire, en contrôlant notamment l'aptitude des lymphocytes B (la deuxième grande catégorie de lymphocytes) à produire des anticorps dirigés contre les antigènes (essentiellement les bactéries). Les cellules T auxiliaires ont une activité générale, elles ne sont pas spécifiques d'une cible particulière. Les cellules T tueuses, au contraire, se spécialisent dans la destruction directe de tel ou tel type d'antigène (tumeur, greffon). Elles se fixent sur les antigènes

LE GÈNE TUEUR DU CANCER

Le gène du TNF (*Tumor Necrosis Factor* ou facteur de nécrose tumorale) se trouve dans toutes les cellules du corps humain, mais il ne s'exprime que dans certaines cellules du système immunitaire, essentiellement les macrophages, les monocytes et les lymphocytes T, en produisant une protéine toxique appelée, elle aussi, TNF.

La libération de ce poison est déclenchée par de nombreux stimuli, dont certains composants de bactéries ou de protozoaires et, bien sûr, les cellules tumorales qui sont détruites sous son action. Le TNF peut également protéger des souris contre le paludisme et plusieurs formes de pneumonie. En outre, il permet à certaines cellules de résister à l'infection par des virus à ADN ou à ARN.

Ayant compris l'intérêt du TNF en cancérologie, le Dr Rosenberg a donc cherché à localiser sur l'ADN humain le gène qui le produit.

Une fois celui-ci repéré, il l'a découpé à l'aide d'un bistouri moléculaire, puis cloné dans une bactérie, la traditionnelle *Escherichia coli*, afin d'en obtenir des millions d'exemplaires. Le gène a ensuite été introduit à l'aide d'un virus dans les lymphocytes T tueurs qu'on rencontre dans les tumeurs.

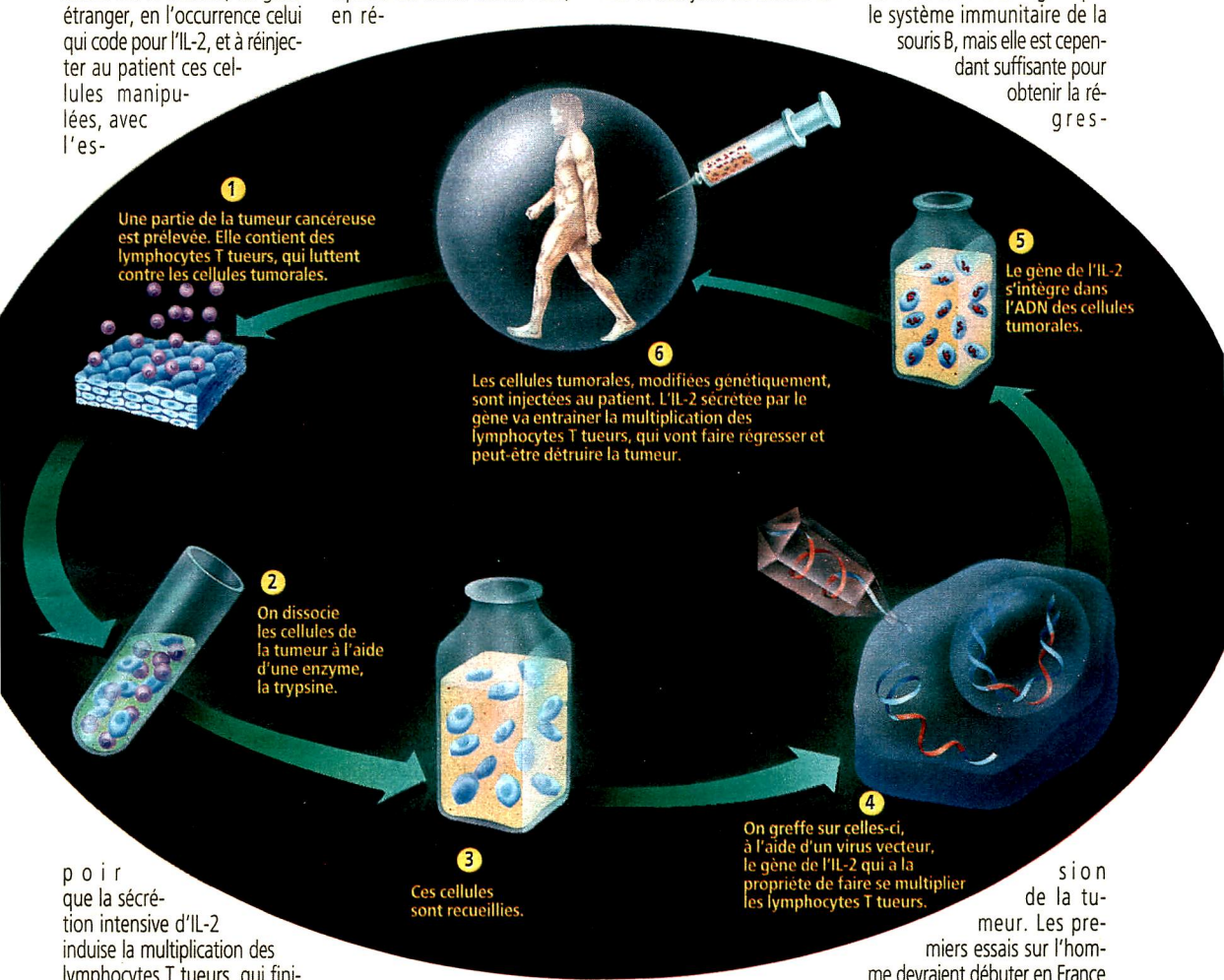
(suite du texte page 120)

... ET COMMENT SERONT DOPÉES DEMAIN LES CELLULES TUMORALES

Peu de temps après la fin du traitement de Barbara Spengler, le Dr Rosenberg a mis au point un protocole encore différent : il consiste à introduire, non plus dans des lymphocytes mais dans des cellules tumorales prélevées sur le malade, un gène étranger, en l'occurrence celui qui code pour l'IL-2, et à réinjecter au patient ces cellules manipulées, avec l'espoir que la sécrétion intensive d'IL-2 induise la multiplication des lymphocytes T tueurs, qui finiront alors par détruire toutes les cellules tumorales (***voir dessin ci-dessus***).

Ce traitement présente toutefois deux risques : la sécrétion permanente d'IL-2 peut provoquer chez le malade des œdèmes, et le gène introduit dans les cellules tumorales peut, comme dans le premier traitement mis au point par Rosenberg, se glisser dans un oncogène et induire un second cancer.

Claude Roth et Lluis Mir de l'équipe de Philippe Kourilsky, de l'Institut Pasteur (1) ont réussi à pallier cet inconvénient. Voici, en résumé, les résultats de leurs travaux : dans un premier temps, on prélève sur une souris normale A des fibroblastes (des cellules indifférenciées) dans lesquels on introduit le gène de l'IL-2. Puis on prend des cellules tumorales sur une souris B, appartenant à une autre lignée que la souris A. Les deux lots de cellules sont ensuite injectés ensemble dans des souris saines de la lignée B. On constate alors que les animaux ne développent pas de tumeur comme ils l'auraient fait si on leur avait injecté les cellules tumorales seules. Les cellules manipulées génétiquement ont donc protégé les souris du cancer. Si on injecte, dans un deuxième temps, les cellules A qui produisent l'IL-2 à des souris B ayant déjà des tumeurs, on observe une régression de celles-ci. L'intérêt de cette méthode est qu'elle permet d'avoir une sécrétion permanente d'IL-2 pendant la durée de vie des cellules A dans le corps de l'animal B. Cette durée de vie est courte puisque les cellules de la souris A sont reconnues comme étrangères par le système immunitaire de la souris B, mais elle est cependant suffisante pour obtenir la régression de la tumeur. Les premiers essais sur l'homme devraient débuter en France en 1993, après accord des comités d'éthique compétents.



(1) L'équipe comprend également Michèle Cressent, Françoise Quintin-Colonna, Stéphane Orlowski, Jean Belehradek, Victoria Ley, Didier Fradelizi. Leur travail a été publié dans les comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, 1992, tome 314, série III, p. 499-504 et 539-544.

au moyen de récepteurs hautement spécifiques et les font "exploser". Au microscope électronique les récepteurs des lymphocytes T se présentent comme des milliers de piquants identiques faisant saillie en surface.

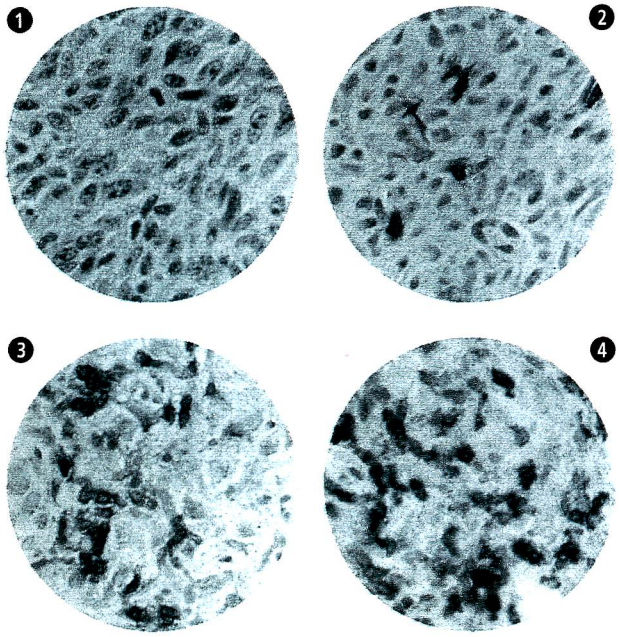
Le plan de Rosenberg était simple. Il consistait à découvrir dans l'organisme des malades, des cellules T tueuses spécifiques de leur cancer, à les prélever, à les faire pousser en culture avec de l'IL-2 et enfin à les réinjecter, avec l'espoir qu'elles détruiraient la tumeur. La difficulté était de disposer d'une quantité importante d'IL-2. Cette molécule protéique est synthétisée par les lymphocytes et son rôle est de faire communiquer les différentes cellules immunitaires entre elles et, comme on l'a vu, de favoriser la multiplication des lymphocytes T. Après des mois de recherches, Rosenberg parvint à mettre au point un procédé de fabrication. Il consiste à prélever des lymphocytes T et à les mélanger à un milieu nutritif contenant de la lectine, une protéine d'origine végétale qui stimule la production d'IL-2 par ces mêmes lymphocytes T. L'IL-2 est ensuite séparée des lymphocytes T par centrifugation.

Avec l'interleukine produite, Rosenberg put obtenir en laboratoire de grandes quantités de lymphocytes T. A ces lymphocytes obtenus *in vitro* il donna le nom de LAK (*Lymphokine Activated Killer cells* ou cellules tueuses activées par les lymphokines). Ils furent d'abord testés en laboratoire sur des cellules, puis sur des souris cancéreuses. Entre 1980 et 1984, on les administra à 66 patients. Sans effet, puisque ceux-ci finirent tous par mourir de leur cancer.

Rosenberg décida alors d'injecter directement l'IL-2 aux malades, afin de les transformer en "usines" de production de cellules tueuses LAK. Un essai similaire démarra en France en 1988 sous les auspices du Groupe d'immunothérapie des cancers (GIC) regroupant cinq centres anticancéreux : l'Institut Curie (à Paris), l'Institut Paoli-Calmette (à Marseille), le Centre Léon-Bérard (à Lyon), l'Institut Gustave-Roussy (à Villejuif) et le département de cancérologie de l'hôpital Avicenne (à Bobigny). L'expérience porte aujourd'hui sur 1 100 malades résistant à toute autre forme de traitement. Les résultats ne sont que partiellement concluants. Ils montrent un taux de réponse positive de 20 à 30 % pour le mélanome et le cancer du rein, de 15 à 20 % pour la leucémie aiguë lymphoïde et le lymphome de Hodgkin ; en revanche, ils sont négatifs pour le neuroblastome (cancer du système nerveux). L'équipe de Rosenberg à Bethesda avait obtenu des résultats similaires. Conclusion : les LAK ne sont pas des cellules tueuses suffisamment spécifiques.

Rosenberg s'intéressa alors aux lymphocytes présents directement dans la tumeur : les TIL (*Tumor Infiltrating Lymphocyte* ou lymphocyte infiltrant les tumeurs). Là, pensait-il, devaient se trouver les cellules T tueuses qui reconnaissent le mieux et attaquent avec le plus de virulence les cellules tumorales d'un individu donné. Pour vérifier son hypothèse, il commença par comparer chez la souris l'activité des TIL et des LAK et il constata que les premières étaient effectivement cinquante fois plus actives que les secondes. Et, pourtant, cette fois encore, les essais chez l'homme ne donnèrent pas les résultats escomptés. Les meilleurs résultats furent obtenus sur le cancer du rein et le mélanome (30 % de succès). Des essais similaires réalisés à partir de 1991 par le groupe du Dr Hervé Fridman, à l'Institut Curie, ont donné des résultats voisins.

Les TIL avaient beau être l'arme naturelle la plus efficace contre le cancer, ils se révélaient, eux



Un traitement naturel qui doit faire ses preuves

Les cellules tumorales du malade remplissent tout le champ du microscope ❶. Trois et quatre jours après le traitement par des lymphocytes T tueurs modifiés génétiquement, associés à de l'IL-2, ces lymphocytes (cellules sombres) commencent à attaquer le cancer (❷ et ❸), et finissent par le détruire totalement ❹

STEVEN ROSENBERG, UN CHERCHEUR CONTESTÉ PAR SES PAIRS

Chef du département de chirurgie de l'institut national du cancer, à Bethesda (Maryland), depuis près de vingt ans, le Dr Rosenberg s'est s'intéressé à l'immunothérapie des cancers lorsqu'un malade condamné par la médecine officielle s'est guéri seul de son cancer. L'histoire de ce patient mérite d'être racontée.

James De Angelo n'était pas du genre sobre : il buvait presqu'un litre de whisky par semaine et fumait quotidiennement deux paquets de cigarettes. Un jour, atteint de violentes douleurs à l'abdomen, il alla consulter un spécialiste. Les radiographies montrèrent une tumeur de la taille du poing dans l'estomac, trois tumeurs plus petites dans le foie et des ganglions lymphatiques durs, donc suspects : trois éléments qui se rencontrent dans les cancers avancés. Pour le soulager de ses douleurs, on lui enleva la masse tumorale principale, en même temps que les deux tiers de l'estomac, mais on ne toucha pas aux tumeurs qui se développaient dans le foie et ailleurs, car on aurait couru le risque de le voir mourir sur la table d'opération. Après l'intervention, le malade fut renvoyé dans ses foyers où il aurait dû mourir rapidement. Cinq mois plus tard, il avait pris 10 kg et avait repris son travail et, douze ans plus tard, il était toujours en vie. Intrigué, le Dr Rosenberg l'examina de nouveau et constata que toute trace de cancer avait disparu dans son abdomen. Sans avoir jamais suivi de traitement, le patient était guéri de son cancer. Convaincu que c'était le système immunitaire du patient qui était à l'origine de cette guérison, le Dr Rosenberg se lança alors dans l'immunothérapie des cancers.

Débuts décevants qui ne manquent pas de dresser ses confrères contre cette nouvelle forme de traitement. Principales critiques invoquées : l'immunothérapie est parfois mal supportée ; elle marche bien chez l'animal mais pas chez l'homme. Le Pr Karol Sikora, un spécialiste britannique, trouve le traitement éprouvant et d'un coût élevé et refuse d'admettre que le système immunitaire puisse être capable d'éliminer totalement un cancer. Il va même jusqu'à s'étonner que Rosenberg puisse obtenir des

rémissions chez 40 % de ses patients alors qu'avec le même protocole, les autres cancérologues n'en ont que 20 %.

Rosenberg ne prétend pas avoir tout compris ni tout guérir. D'ailleurs, il ne s'explique toujours pas pourquoi certains patients répondent positivement à l'immunothérapie et d'autres non. Il dit seulement que l'immunothérapie en est à ses débuts : «Nous sommes comme les frères Wright, en 1903, qui démontrèrent que leur machine pouvait voler douze secondes et parcourir 70 mètres.»

Rosenberg améliore sans cesse ses traitements. Après le cancer du rein et le mélanome malin (***voir article***), il s'intéressera aux cancers du sein et du côlon, puis, bien sûr, aux autres, car, estime-t-il avec raison, tous les cancers doivent avoir entre eux des points communs. Le Dr Lluis Mir, chercheur au CNRS à l'institut Gustave-Roussy à Villejuif, résume la situation : «Si Rosenberg n'avait pas soulevé autant d'espoirs, il n'y aurait pas actuellement autant de gens qui essaieraient de faire la même chose que lui.»

aussi, incapables de lutter contre celui-ci avec un pourcentage de succès satisfaisant. Partant de ce constat, Rosenberg décida, dès 1988, de franchir une nouvelle étape plus délicate encore que les précédentes. Les TIL naturels étant insuffisants, on pouvait les doper, grâce aux nouvelles techniques du génie génétique. Le principe consiste à greffer – par l'intermédiaire d'un virus vecteur – un gène étranger sur des TIL prélevés dans des tumeurs, puis à réinjecter ces TIL dans le patient (***voir encadré p. 117***).

C'est ce traitement que reçut Barbara Spengler. Des TIL prélevés dans sa tumeur furent cultivés *in vitro* en présence d'IL-2. Après quoi, un gène connu pour ses propriétés anticancéreuses, le gène du TNF (***voir encadré p. 118***), fut introduit à l'intérieur de ces TIL ; ceux-ci furent réinjectés à la patiente en présence d'IL-2. Un programme s'inspirant de ce traitement sera mis en place dès l'année prochaine à l'Institut Curie. Il est encore trop tôt pour savoir sur combien de malades il portera.

Rosenberg envisage de soigner très bientôt une trentaine de patients suivant le même protocole que celui appliqué sur Barbara Spengler. Pour l'instant, le chercheur reste très prudent : «Il faudra beaucoup de temps avant de pouvoir tirer des conclusions sur l'efficacité de ce traitement. Mais nous avons déjà commencé à travailler en laboratoire pour l'améliorer» (***voir encadré p. 118***). Le fait que les centres de recherches européens sur le cancer aient emboîté le pas à Rosenberg est quand même bon signe.

Pierre Rossion

PAR JEAN-MICHEL BADER

LE ROBOT CHIRURGIEN

Sans tapage, les robots pénètrent les blocs opératoires. 100 fois plus précis que l'homme pour percer les os, prendre l'empreinte de dents ou de cornées, mettre en place des électrodes cérébrales ou même extirper des tumeurs, ils ont déjà opéré 3 000 malades aux Etats-Unis et 500 en France. Mais les industriels hésitent à investir, et les médecins craignent les procès en cas d'accident.

Hôpital de Grenoble, 7 h 30 : le bloc opératoire s'anime. L'anesthésiste roule sous le projecteur cyalitique un ventilateur et y branche les tuyaux d'oxygène et de gaz anesthésiques, la panseuse déballe du linge et des draps stériles. Pendant que le brancardier aide la malade à monter sur la table, le roboticien met en place l'ordinateur, le bras articulé du robot et sa caméra, et allume les écrans de contrôle. Calme, le neurochirurgien se lave les mains : il va effectuer une opération de routine, une biopsie de cerveau comme on en pratique des milliers chaque année dans notre pays. En attendant, c'est le robot commandé par un ordinateur qui se chargera du calcul des coordonnées spatiales de la tumeur, du calcul et du contrôle de la trajectoire du trocart à biopsie (1). De leur côté, les médecins anesthésistes préparent la patiente ; une fois qu'elle est endormie, le chirurgien lui fixe la tête dans les arceaux métalliques d'un cadre stéréotaxique (voir plus loin), en vissant dans les os du crâne des tiges filetées.

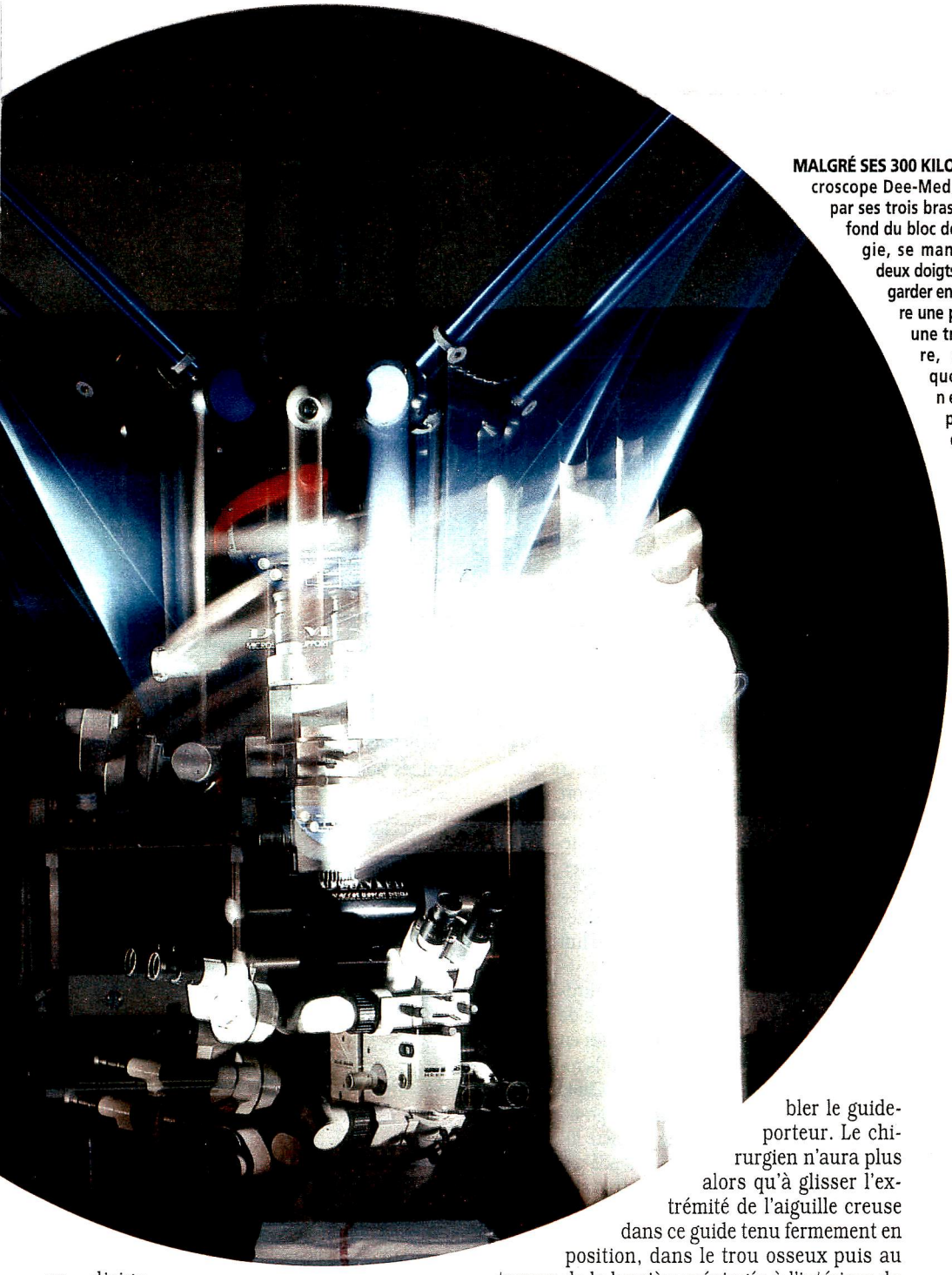
Le robot localise la tumeur, détermine la trajectoire de l'instrument et le mène à sa cible

Dans des salles d'opération voisines, à l'hôpital Albert Michallon de Grenoble, deux robots porteurs de microscopes aident aussi les neurochirurgiens à opérer. Pesant plusieurs centaines de kilos, ces robots se déplacent au bout de trois bras métalliques, commandés par une frêle assistante qui les dirige sans aucun effort et du bout des doigt par le guidon d'un périscope. En tout, 500 patients ont été opérés en France avec de tels assistants mécaniques commandés par l'ordinateur sous le contrôle du chirurgien.

Revenons dans la première salle d'opération. Le robot met en place, autour du crâne de la malade, en évitant les obstacles constitués par le cadre stéréotaxique et les tuyaux de gaz vitaux, une cage de calibrage en plexiglas munie de neuf repères radiopaques, préalable indispensable à la prise de clichés radiologiques.

Sur ces radios, le chirurgien pourra retrouver les éléments anatomiques du cerveau grâce aux repères radiopaques. Il pourra connaître leur position par rapport au cadre, calculer les repères géométriques nécessaires à la programmation de la trajectoire. Dans un deuxième temps, au bout du bras du robot, l'assistant remplace la cage par un guide métallique creux. Le robot reprend son lent mouvement, décrit une nouvelle trajectoire : chacune de ses articulations scellées héberge, à l'abri de l'air, un minuscule disque métallique percé de fentes (comme autant de graduations). Celles-ci laissent passer la lumière venue de microlampes, elles aussi contenues dans l'articulation. Cette lumière est "lue" par des cellules photoélectriques embarquées ; le nombre d'éclairs lumineux est comptabilisé et, à chaque instant, le système sait donc combien de graduations sont passées devant lui, et dans quel sens. Il en déduit instantanément sa position et la direction du mouvement de chaque articulation. A chaque instant, le robot compare sa position et sa trajectoire avec les images médicales du cerveau et du crâne de la malade contenues dans la mémoire de l'ordinateur, et

(1) Instrument en forme de poinçon monté sur un manche et contenu dans une canule, servant à faire des ponctions ou des biopsies.



MALGRÉ SES 300 KILOS, le microscope Dee-Med, pendu par ses trois bras au plafond du bloc de chirurgie, se manipule à deux doigts. Il peut garder en mémoire une position, une trajectoire, et sert quotidiennement pour la chirurgie du cerveau.

se dirige vers sa cible. S'il sortait de l'enveloppe spatiale de sécurité qui lui est impartie, des sauvegardes automatiques actionneraient aussitôt les freins électromagnétiques et arrêteraient net le robot, évitant ainsi tout risque de dégâts.

Enfin le robot atteint sa position exacte et stoppe. C'est le chirurgien qui perce ensuite l'os et la méninge ; le robot, bloqué, tient sans trembler le guide-porteur. Le chirurgien n'aura plus alors qu'à glisser l'extrémité de l'aiguille creuse dans ce guide tenu fermement en position, dans le trou osseux puis au travers de la barrière méningée à l'intérieur du cerveau, pour atteindre enfin sa cible, faire la biopsie et se retirer.

Des opinions contrastées accueillent l'arrivée des robots chirurgiens. «Cela ne va pas révolutionner la neurochirurgie, nous dit un neurochirurigen de Paris, le Pr Yves Keravel. Mais, comme le microscope opératoire, comme la stéréotaxie, c'est une aide opératoire supplémentaire et utile,

qui devra trouver sa vraie place au bloc...» «J'ai un robot qui fonctionne depuis quatre ans, raconte pour sa part le Pr Jean-Baptiste Thiebault, à l'hôpital Henri-Dunant de la Croix-Rouge, mais je dois dire qu'il ne fait pas mieux qu'un cadre de stéréotaxie perfectionné. A-t-on besoin d'un vrai robot dans ces conditions ?»

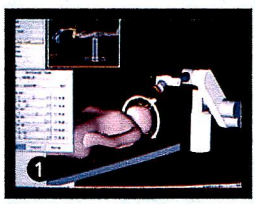
Le cadre de stéréotaxie, un étau perfectionné. Ce cadre constitue une aide indispensable à toute intervention sur le cerveau ; il maintient la tête dans une position fixe permettant de repérer avec précision la cible à opérer. Il a été mis au point en 1905 pour des recherches animales ; en 1947, l'Américain Robert Wycis a fait la première opération d'un cerveau humain dans un cadre de stéréotaxie emprisonnant la tête du patient et, un an plus tard, en 1948, un Suédois, le Dr Max Lexel, en a utilisé un pour enlever les balles des cerveaux de victimes de la guerre entre la Finlande et la Russie. C'est ce dernier cadre qui est aujourd'hui en usage partout dans le monde.

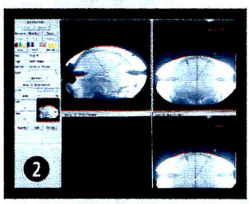
L'informatisation des atlas de neuroanatomie et les calculs automatiques de cibles et de trajectoires ont été réalisés en 1972. Dès lors, la voie était prête pour la robotisation. C'est en 1982, à la Mayo Clinic de Rochester, aux Etats-Unis, que le grand précurseur Patrice Kelly fit la première intervention grâce à un robot commandé par micro-ordinateur. Depuis, les cadres stéréotaxiques motorisés et commandés par ordinateur se répandent.

Et depuis, Patrice Kelly opère des ventricules cérébraux, des tumeurs astrocytaires de l'enfant, des malformations des cavités liquidiennes crâniennes ou les noyaux gris centraux de malades parkinsoniens, grâce à des cadres de stéréotaxie robotisés, commandés par des ordinateurs, ou des endoscopes embarquant des micro-outils chirugicaux, des rayons lasers ou des électrodes de coagulation : plus de 3 000 malades ont déjà été ainsi opérés.

La neurochirurgie n'est pas la seule discipline concernée par la robotique. Aux Etats-Unis, la firme Integrated Surgical Systems vient d'obtenir l'autorisation de la Food and Drug Administration de réaliser avec un robot des interventions humaines pour prothèse totale de hanche. 60 % de ces prothèses sont aujourd'hui posées sans ciment, et elles sont faites sur mesure. Quand c'est

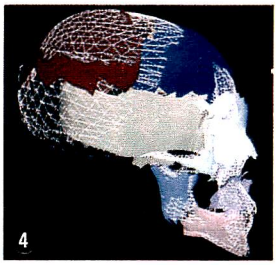
GRENOBLE, CAPITALE DE

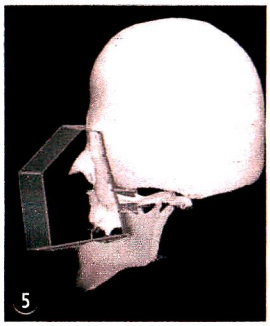


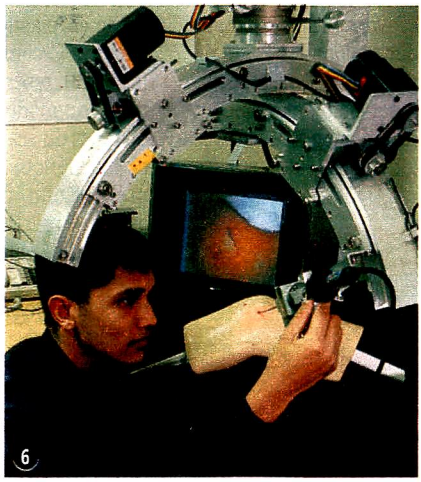


Le Pr Louis A. Bennabid, neurochirurgien au CHR de Grenoble, biophysicien à l'université Louis-Fourier, est également directeur de l'unité de recherches en neurologie préclinique de l'INSERM. 500 malades ont déjà été opérés dans son service avec des aides robotisés, un robot stéréotaxique ou un microscope de neurochirurgie robotisé. Les efforts malheureux, les déceptions, les collaborations houleuses et même les faillites industrielles de ses fournisseurs n'ont pas altéré son enthousiasme.

A Grenoble, toute une microgalaxie de chercheurs et d'industriels travaille sur les robots, pour des applications concernant toute la chirurgie. En font partie : Aleph Med, à Saint-Martin d'Hères, "filiale" de la société Aleph Technologies, en fait trois ingénieurs qui développent des algorithmes de transformation et une banque d'images 3D, mais aussi un simulateur informatique ❶ du fonctionnement du robot déjà installé à l'hôpital et un calculateur automatique des coordonnées géométriques







Redécouper une tête

Pour réparer les malformations complexes de la maladie de Crouzon ❶, le chirurgien coupe les os de la face et les recolle dans une position anatomique normale ❷. Bientôt, il pourra, sur ce modèle 3D reconstruit par l'ordinateur à partir d'images scanner ❹, choisir les angles de coupe et les déplacements exacts à effectuer ❺. Avec ce robot passif ❸, il alignera les fragments osseux avec une précision de 0,75 mm. Monté sur un triple goniomètre motorisé ❻ commandé par ordinateur, le robot pourrait être dirigé automatiquement sur sa cible.

un chirurgien qui creuse le fût de réception dans le fémur, 80 % de la surface de la cavité est trop large de 3 à 4 mm. Le robot, lui, atteint une précision de 0,39 mm en tout point. Résultat : la prothèse est suffisamment ajustée pour se passer de ciment, et elle ne se descellera pas. Il faut savoir que 10 % des 300 000 prothèses posées chaque année rien qu'aux Etats-Unis doivent être reprises car elles sont descellées. «Si cette plus grande précision du robot s'accompagne d'un meilleur résultat clinique et évite des réopérations, les chirurgiens se rueront sur le robot», prédit le Dr Howard Paul, co-inventeur du Robodoc (***voir encadré p. 128***). On attend l'épreuve des faits.

La reconstruction des os de la face fait l'objet de recherches préliminaires au Thomas Watson Research Center d'IBM, où Russell Taylor collabore avec Court Cutting (université de New York). L'ordi-

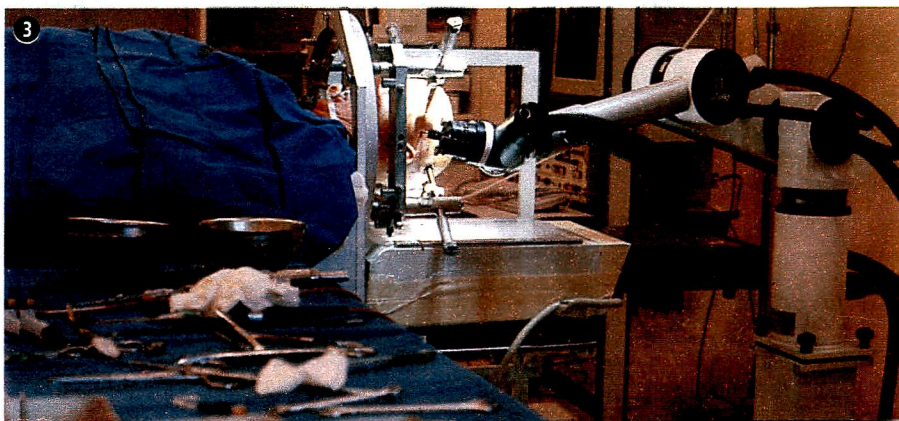
LA ROBOTIQUE CHIRURGICALE

des cibles cérébrales et des trajectoires, qui feront gagner beaucoup de temps. Encore aujourd'hui, en effet, le neurochirurgien doit décalquer à la main sur les radios les contours des formes anatomiques des organes, tracer des droites, calculer les angles au rapporteur. C'est une consommation de temps énorme qui pourrait facilement être divisée par 10.

Le groupe Aleph, qui a par ailleurs une activité de fabrication et de maintenance de robots industriels, a donc décidé de faire une veille technologique sur ces robots médico-chirurgicaux. Pour Philippe Audfray, le patron d'Aleph Technologies, c'est surtout le marché de l'analyse, du traitement et du transfert des images médicales 2D ou 3D qui est porteur. France Télécom, General Electric CGR, Digital, Sopha, Elscint, Hewlett Packard, entre autres, sont sur les rangs.

A Grenoble, une des équipes de l'IMAG (Informatique, mathématiques à Grenoble), le TIMB (Traitement de l'information et modélisation en biomédecine) emploie 45 médecins, mathématiciens et informaticiens. Ils calculent les images tridimensionnelles à partir des images 2D ❷, tâchent de modéliser par les mathématiques les symptômes radiologiques, et travaillent eux aussi à la synthèse des systèmes d'imagerie médicale.

Ce sont eux qui ont mis au point le robot de neurochirurgie stéréotaxique de l'hôpital ❸, dans le cadre de l'institut Albert-Bonniot. Ils ont démontré qu'il est techniquement possible de trouver une cible repérée sur une vertèbre et de diriger un robot sur elle pour faire de la chirurgie vertébrale. Enfin, ils travaillent également sur les systèmes d'information hospitaliers intégrés, et ont permis la création d'Aleph Technologies pour faire le transfert technologique du savoir-faire acquis en robotique.

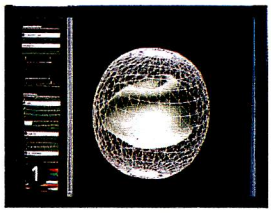


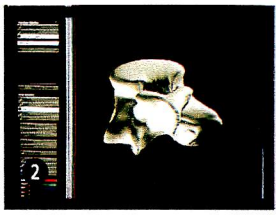
nateur permet de répéter à l'avance l'opération sur écran : il montre en trois dimensions les traits de coupe voulus par le chirurgien dans les os, le résultat des déplacements sur le squelette, et aligne au dixième de millimètre près les fragments osseux. Le système n'a pour l'instant fonctionné que sur un crâne en plastique : dans l'avenir, le robot, piloté par un PC connecté à une station de travail IBM RS 6 000, repérera dans l'espace les os, les comparera aux modèles en trois dimensions issus des données du scanner ou de l'imagerie par résonnance magnétique (IRM), puis coupera selon le plan prévu. Enfin, il alignera les fragments découpés avec une précision de 0,4 mm et de 0,4°. Le chirurgien n'aura plus qu'à poser les agrafes. En France, le robot médico-chirurgical concerne 200 chirurgiens neurologiques, 640 urologues et 1 200 orthopédistes. Mais il s'agit encore de prototypes, dont la maintenance est effroyablement chère.

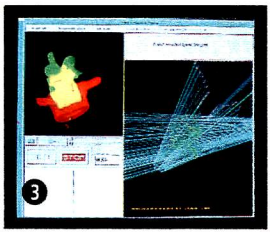
Les yeux du robot. Tous les intervenants le savent, l'enjeu est d'abord celui de l'imagerie médicale avant la robotique, parce que sans imagerie pas de repérage possible, donc pas d'intervention d'un robot. Le gros du marché est celui des systèmes d'exploitation, de traitement et de transfert des images en médecine. Pour montrer en trois dimensions les données de l'IRM, pour transformer et comparer les données du scanner et de l'IRM, pour calculer des données non exploitées et améliorer les diagnostics, General Electric CGR, Siemens, IBM, Toshiba, EMI, Sophamed ont tous des projets et des collaborations avec des centres de recherche institutionels. L'Institut national de recherches en informatique et en automatique (INRIA) travaille avec les firmes Digital et Aleph Médical à la commercialisation d'un système de reconstruction de formes 3D à partir d'images médicales. C'est le projet *Epidaure* (de Projet images, Diagnostic automatique, Robotique), qui utilise les principes mathématiques de

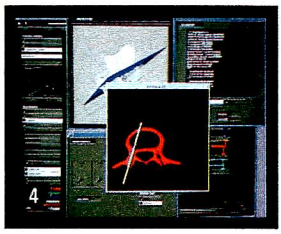
Trouver la forme en 3D d'une vertèbre

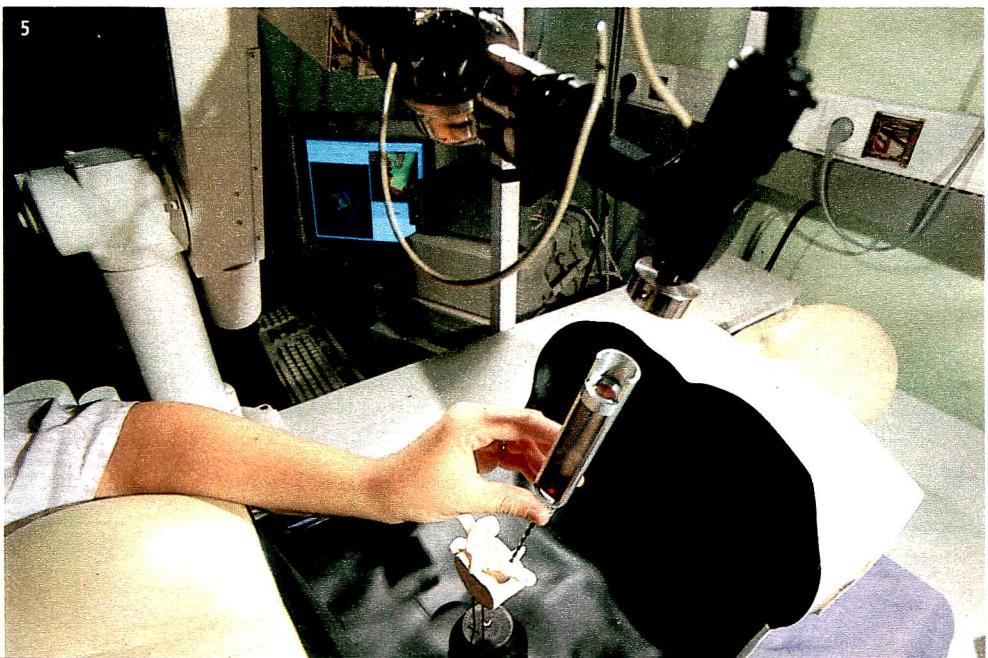
On commencera par traiter les points d'intérêt d'une série d'images de coupes de cette vertèbre prises par scanner ou IRM. Un objet mathématique en gros sphérique ❶ est ensuite positionné autour de la vertèbre, et progressivement "dégonflé" pour "coller" à la surface de celle-ci. On obtient la vraie forme de la vertèbre ❷. Muni de caméras, le robot repère alors sa position ❸ et sa trajectoire ❹ par rapport aux images 3D, et retrouve sur ce mannequin ❺ l'emplacement exact du pédicule vertébral qu'il doit percer.





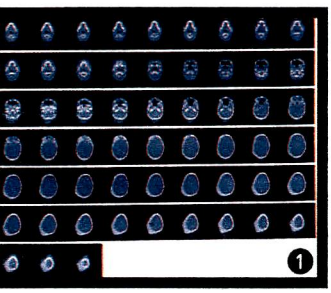






CARTES EN 3D POUR GUIDER LE ROBOT

Pour se diriger, un robot a besoin d'un plan, d'une carte en trois dimensions du monde où il travaille. En médecine, ces cartes seront générées à partir des radiographies,



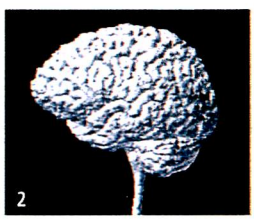
des échographies, des coupes de scanner, ou d'imagerie par résonance magnétique.

Mais toutes ces techniques produisent des signaux *a priori* incompatibles entre eux. Pour donner une impression de volume à partir de successions d'images bidimensionnelles ❶, prises dans plusieurs systèmes d'imagerie (scanner, IRM), il faut donc filtrer avec des algorithmes mathématiques les données produites par les signaux (intensité lumineuse, densité volumique), pour les reconstituer ensuite.

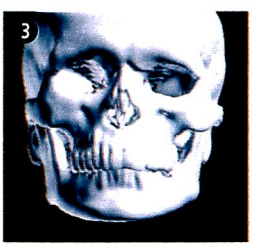
Pour établir le contour des surfaces, on peut, par exemple, "seuiller" les données statistiques de l'image pour n'en garder que les valeurs maxima locales. Il faut également résoudre les difficiles problèmes de recalage spatial entre plusieurs images d'un même patient, qu'elles proviennent de modalités différentes (scanner, IRM, ultrasons) ou qu'elles aient été acquises à des instants différents.

Il existe des solutions. Par exemple, on peut se repérer par rapport à des éléments anatomiques osseux, qui ne bougent pas, par opposition aux tissus mous. Ces "invariants universels" extraits des images servent ensuite de repères très utiles pour recaler les images issues de modalités différentes.

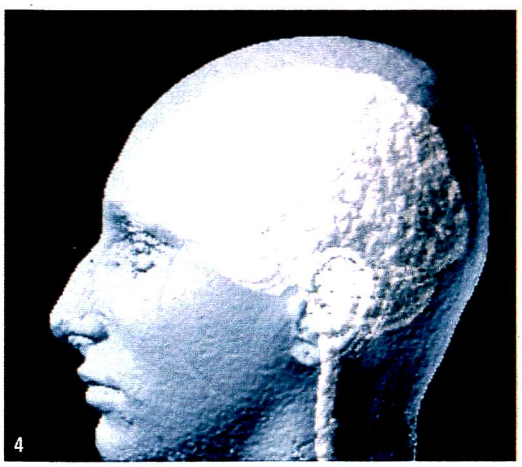
Ainsi, les données de l'angiographie vasculaire permettent de connaître la position des artères et des veines du cerveau. Le décalquage en trois dimensions de ces vaisseaux sur les images des structures anatomiques donne au chirurgien des informations capitales sur les trajectoires permises ou interdites à l'intérieur de la matière cérébrale.



2



3



4

Quand le chirurgien simule sur l'écran la trajectoire entre la cible à atteindre et le point d'entrée dans le crâne, l'ordinateur calcule automatiquement et indique si cette trajectoire risque de rencontrer une artériole ou une cavité ventriculaire, et où elles se trouvent.

La fusion de plusieurs images en trois dimensions fait l'objet de recherches poussées : la richesse des informations de l'IRM sur les parties molles ❷ se mariera sans doute bientôt avec la précision de l'information du scanner X sur les structures osseuses ❸ pour donner des repères encore plus précis à un robot (par exemple pour la chrirugie des os de la face).Ce traitement permettra d'additionner ou de soustraire des structures cibles selon les besoins de l'opération ; par exemple obtenir une image du cerveau avec la peau de la tête, mais sans les os ❹.

A l'INRIA, les chercheurs explorent la segmentation, l'analyse de contours déformables, l'analyse des contraintes élastiques des tissus, la géométrie fractale et les méthodes de topologie mathématique discrète des surfaces pour permettre un jour le diagnostic automatique des images : un vrai robot en aura besoin pour se déplacer, choisir un trajet, en temps réel.

segmentation, l'extraction de contours, de surfaces, de contours déformables, de courbures caractéristiques pour classer et comparer des systèmes diagnostiques auparavant incompatibles.

A Grenoble, la société francaise Aleph Technologies a chargé ses ingénieurs de mettre au point des logiciels d'imagerie et des algorithmes de déplacement des robots. *Idem* au laboratoire de traitement de l'information et de la modélisation en médecine, dépendant de la faculté de médecine de Grenoble. «C'est le préalable à tout vrai robot chirurgien», explique Philippe Cinquin, responsable de ce laboratoire. «L'acquisition de repères spatiaux, de surfaces identifiables est capitale pour, ensuite, définir une action, choisir une trajectoire. Un robot perçoit d'abord, réfléchit ensuite, bouge enfin ; et il recommence !»

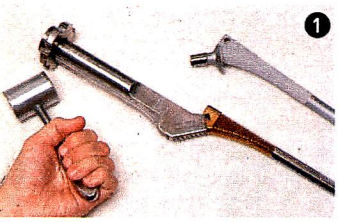
Philippe Cinquin sait de quoi il parle, il a mis au point un robot qui peut trouver sur un mannequin, au

moyen de deux caméras et d'un laser, l'emplacement d'une vertèbre, repérer son pédicule, décrire une trajectoire et guider le foret d'une perceuse pour aller implanter un tuteur métallique. C'est toute la chirurgie de la colonne vertébrale, de la cancérologie à la traumatologie d'urgence, qui peut être concernée par ce développement. Guidé par les données du scanner, le robot trouve la position exacte permettant de faire passer un laser dans le trou d'une vertèbre, préalable indispensable à un futur système de guidage.

Avant de passer du mannequin à l'homme, de nombreuses années peuvent s'écouler. Les outils mathématiques, informatiques et graphiques de la robotique médicale sont en bonne voie, mais les réalisations cliniques se comptent encore sur les doigts des deux mains. Ainsi, un urologue britannique, Brian Davies, de l'institut royal d'urologie de St-Peters, à Londres, a été le premier, avec l'aide du Robotics Center de l'Imperial College, à mettre au point un robot lent, pour des opérations sur des organes mous. Son robot opère les adénomes de la prostate en remontant par la voie urinaire, et en utilisant un couteau monté sur un endoscope motorisé. Mais, à ce jour, seuls 5 malades ont été opérés ainsi. Et en-

PROTHÈSES : FINI LA JAMBE PLUS COURTE

Robodoc et Orthodoc sont deux robots chirurgiens nés des frustrations d'un chirurgien vétérinaire de l'univer-


❶

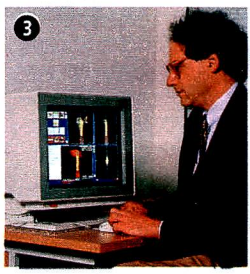
sité Davis de Californie, Howard Paul, et d'un orthopédiste de Sacramento, William Bargar. Impossible de creuser à main levée dans un fémur une cavité vraiment régulière, adaptée sur mesure à la prothèse totale de hanche, avec un marteau, une broche et une râpe ❶.

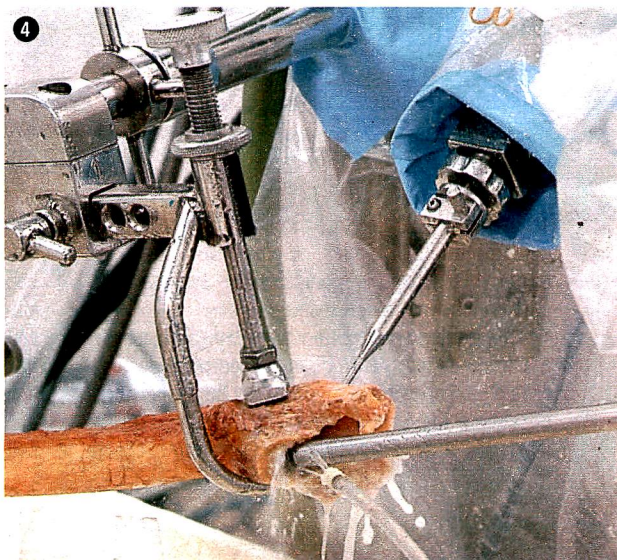
Les nouvelles prothèses de hanche sont dessinées sur mesure par ordinateur, puis façonnées par une machine à commande numérique pilotée par le microprocesseur, avec une précision de l'ordre du centième de millimètre. «Or, c'est avec un marteau de deux kilos qu'il nous fallait enfoncer cette merveille technologique dans un fût fémoral fait à la main, la plupart du temps trop long, trop court, trop large ou trop étroit, nous dit le Dr Howard Paul. Parfois, les fémurs explosent sous les coups de marteau, d'autres fois l'implant est poussé trop loin, avec comme résultat final une jambe plus courte que l'autre. Et dans tout le pays, les autres chirurgiens vivent les mêmes problèmes.» D'où l'idée du robot.

Les ordinateurs de la NASA au service d'une prothèse. Avec les informaticiens du IBM Thomas Watson Research Center de New York, il a d'abord fallu procurer à un ordinateur des images de scanner X individualisées pour choisir l'implant, sa taille, son orientation dans le fût du fémur.

Mais les algorithmes de reconstruction en trois dimensions disponibles sur le marché n'étaient ni assez rapides ni assez précis pour cette application. A Palo-Alto, en Californie, les spécialistes d'IBM se sont servis des super-ordinateurs à 8 000 processeurs en parrallèle, utilisés par la NASA pour mettre en 3D les images du satellite *Landsat*. Le satellite calcule ses images à partir de repères terrestres, des amers remarquables. Les chirurgiens ont fait pareil : ils implantent à travers la peau, dans le fémur, deux vis en titane dans chacun des condyles (les massifs osseux du genou) et une dans le grand trochanter, près du cotyle de la hanche. Un scanner du fémur est effectué, et fait apparaître les vis radiopaques. Toutes les données sont transmises à l'ordinateur Orthodoc, qui calcule une vue 3D du fémur et des vis ❷. Le chirurgien peut alors préparer sur écran l'intervention. Il choisit la forme et la taille de prothèse idéale, en appelle la représentation sur l'écran et le positionne exactement dans le fémur 3D selon l'angle et la longueur voulus ❸. L'ordinateur calcule ensuite les coordonnées géométriques du fémur et de la prothèse.

Lors de l'intervention réelle, lorsque la tête usée du fémur a été enlevée, Robodoc est solidarisé au fémur qu'il va usiner ❹. Chacune des vis en titane est exposée et les extrémités des bras du robot se placent au centre de chaque vis et retransmettent leur position dans l'espace au système informatique. Le contrôleur du robot repère les coordonnées du scanner, et Robodoc creuse la cavité ; à chaque instant, sa


❸


❹

core, ce sont-là des opérations partielles, puisque la finition a été faite par le chirurgien : égalisation de la paroi de l'urètre après ablation de la tumeur, hémostase pour éviter toute hémorragie, etc.

Les précurseurs obstinés de cette robotique chirugicale annoncent pour l'avenir des endoscopes "neuronavigateurs", recalculant en temps réel leur position dans le cerveau et l'affichant pour le chirurgien sur les coupes du scanner ou de l'IRM. Ils prévoient aussi des robots serpents miniatures au bout de câbles ombilicaux flexibles, comme les robots d'exploration sous-marins, qui éviteront les obstacles cérébraux, suivront la carte anatomique établie par l'ordinateur, pour aller au contact d'une artère du cerveau enfiler un anneau métallique autour d'une malformation vasculaire trop mal placée pour être opérée par les mains du chirurgien.

Naturellement, ces robots seront dotés de senseurs de pression, de capteurs de force, de réflecteurs à ultrasons, de capteurs d'impédance électrique, et aussi de systèmes experts décidant, en fonction des données des capteurs, des trajectoires dans les scissures sylviennes, les citernes de la base du cerveau ou les cavités ventriculaires, entités éminemment fragiles, souvent inaccessibles à la main de l'homme. On est très loin aujourd'hui de cet avenir radieux. Aucun des capteurs ou des logiciels intelligents nécessaires ne sont encore sortis des laboratoires.

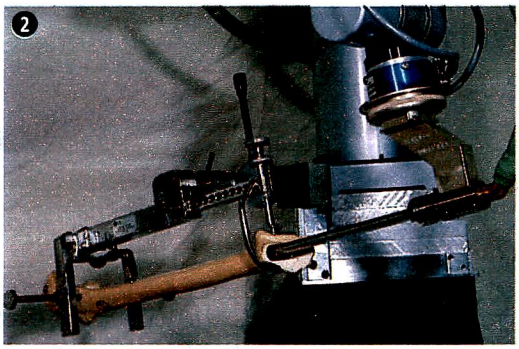
Les problèmes juridiques. Les robots chirurgiens devront aussi lever l'obstacle juridique. Notamment aux Etats-Unis, où les avocats font fortune avec les procès médicaux. Patrick Finlay, qui dirige à Londres une petite compagnie de robotique, l'a dit récemment : «Il est difficile d'imaginer plus litigieux qu'un robot effectuant de la chirurgie du cerveau au soleil de Californie (2).» Les Robodocs, Orthodocs et autres Neurodocs ne plaisent encore qu'à moitié aux chirurgiens, qui se voient déjà au chômage.

D'autant que les robots «souvent se trompent sur la position qu'ils croient avoir atteinte», dit Philippe Cinquin. «J'ai vu certains robots effectuer des trajectoires totalement incontrôlées», nous a également expliqué Jean-Baptiste Thiebault. Les erreurs de l'ordinateur, les arrêts et les pannes électriques – que connaît tout utilisateur d'ordinateur – peuvent déclencher des mouvements erratiques, inopinés et... dévastateurs. Si l'opération est entièrement liée au robot, il est donc indispensable qu'une panne ou une erreur de calcul du processeur électronique stoppent net la progression de l'acte. Et que le scalpel soit redonné au chirurgien. Certes, sa main est moins précise, plus lente, ses gestes ne sont pas reproductibles ; certes, il est maladroit, fatiguable, irascible ; mais le chirurgien réussit des prouesses que le plus sophistiqué des robots ne réussira peut-être jamais....

Jean-Michel Bader

(2) *New-York Times* du 19 juillet 1992.

QUE L'AUTRE



nouvelle position est analysée, ce qui permet de corriger tout écart dans ses mouvements.

Avec ce système, il est possible de mettre 96 % de la surface de la prothèse en contact réel avec l'os. Rappelons qu'un chirurgien entraîné ne peut faire mieux que 20 %.

Après le chien, l'homme. Au vu des 26 opérations réussies sur des chiens (ayant des maladies de la hanche nécessitant la pose d'une prothèse), la Food and Drug Administration américaine vient, le 9 octobre dernier, de donner son feu vert à des études de faisabilité humaine qui seront réalisées à Chicago, Cleveland, Sacramento, Boston et New York.

Les chirurgiens du genou semblent particulièrment intéressés par Robodoc : il leur éviterait les erreurs de placement des éléments des prothèses totales de genou (dans le fémur et dans le tibia), qui conditionnent le succès ou l'échec clinique. Il y a même un otorhinolaryngologiste qui pense adapter le système pour la chirurgie des osselets de l'oreille moyenne !

PAR SERGE BROSSELIN

TRANSPORT MILITAIRE : L'AVION QUI MANQUE À L'EUROPE

La guerre du Golfe a démontré les insuffisances des avions de transport militaire des pays impliqués, à part les Etats-Unis. En Europe, différents candidats se disputent cet important marché, dont le C-17 américain et l'AN-70 russe, tous deux déjà disponibles. Quel va être le choix de la France ?

Depuis la chute du mur de Berlin, la menace potentielle ne se situe plus en Europe, mais bien au-delà. En cas de conflit, il faudra donc pouvoir acheminer, rapidement et en nombre, hommes et matériels vers des théâtres d'opérations plus lointains. Face à une telle situation, l'armée de l'air française se trouverait placée devant l'alternative suivante : recourir à des affrètements extérieurs coûteux et aléatoires (les C-141 de l'US Air Force ou les long-courriers réquisitionnés d'Air France), ou disposer en propre d'une flotte totalement renouvelée (1). Les appareils dont elle dispose aujourd'hui ne couvrent que le tiers de ses besoins en transports tactiques et à peine 40 % des stratégiques. Et surtout, ils atteignent tous un âge certain et ne sont plus tout à fait adaptés.

Ses Transall C-160 sont en effet fatigués. Sur les 71 en service, 49 sont de première génération et termineront leur carrière en 2003. Ces quadrimoteurs à hélice, de moyenne charge et de proximité, sont trop lents, et ceux de première génération ne sont pas ravitaillables en vol.

Ses Hercules C-130 (12 appareils) partiront à la retraite en 2010. Eux non plus ne sont plus tout à fait adaptés. Appareils de moyenne charge, ils permettent, certes, des transports à très longue distance (7 000 km), mais ils souffrent du même handicap – la lenteur – que les Transall.

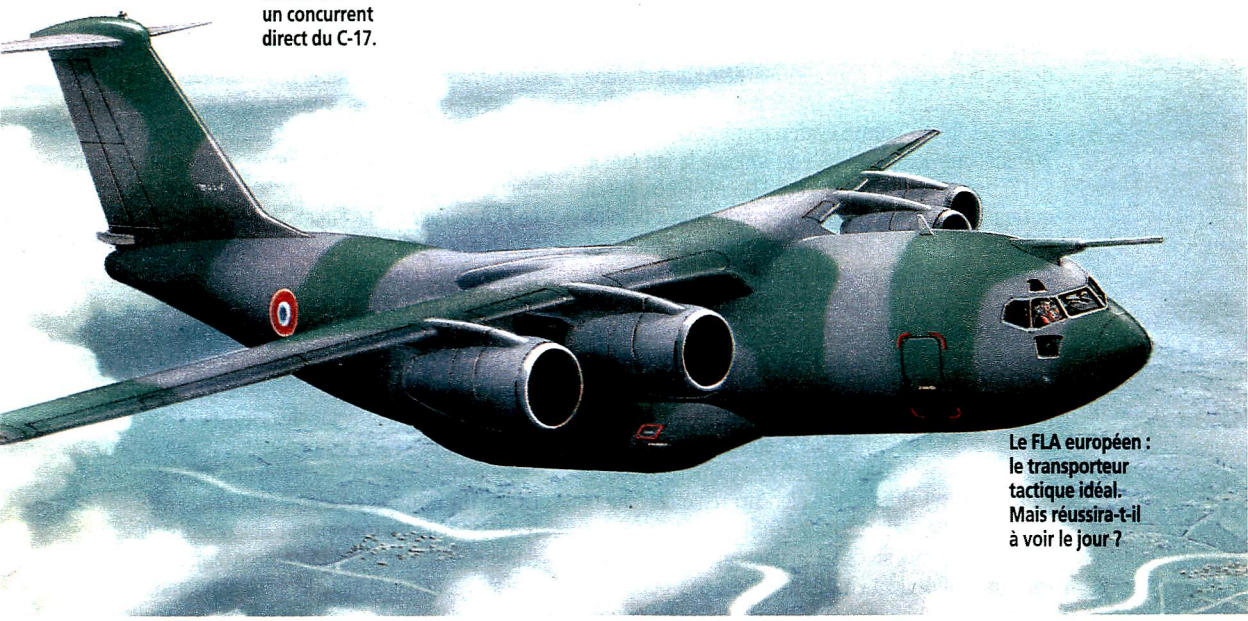
Ses DC-8 (4 exemplaires), enfin, sont des transporteurs de moyenne charge à très longue distance et une fois et demie plus rapides que les Hercules C-130. Mais, avec leur grand âge (30 ans), ils font figure d'ancêtres (ils seront retirés en 1995).

Les nouveaux besoins de l'armée de l'air. Le renouvellement de cette flotte est un vieux serpent de mer. Il a repris de l'actualité après la guerre du Golfe. Aujourd'hui, l'intérêt manifesté par certains militaires – notamment de la Délégation générale pour l'armement (la DGA) – pour un avion russe (voir plus loin) lui donne une dimension politico-stratégique susceptible d'accélérer les décisions concernant les besoins de l'armée de l'air, qui sont de deux ordres.

● Transports stratégiques. Mission : acheminement de charges relativement lourdes à très grande distance, requérant des terrains bien aménagés. Par exemple, des chars AMX 30 avec leurs équi-

McDonnell Douglas C-17 : le *nec plus ultra* stratégique. Mais il coûte trop cher, et il est américain.

L'Airbus A-340 militarisé : un concurrent direct du C-17.



Le FLA européen : le transporteur tactique idéal. Mais réussira-t-il à voir le jour ?

pages, pour réaliser une percée à travers des lignes ennemies. Pour cela, il faut un transporteur lourd permettant de suppléer les DC-8. Ces appareils, nous l'avons vu, sont trop vieux pour qu'on envisage de les rénover, notamment en les dotant d'une avionique (2) dernier cri et en les adaptant à la guerre électronique (écoute, brouillage d'ondes, etc.) ; en outre, la taille de leurs soutes n'autorise pas le transport de blindés légers, de chars ou d'autres systèmes de défense sol-air à déployer à longue distance de la France.

● Transports tactiques. Mission : transfert de charges plus légères (automitrailleuses, batteries de missiles, hélicoptère) à plus courte distance (1 500 à 2 000 km), très près du "front" avec, au besoin, atterrissage sur des pistes très sommaires proches de la base de départ. Par exemple, décoller de Turquie pour déposer ou larguer hommes et matériel sur un champ de bataille en Irak ou au Koweït. Ce serait le rôle d'un appareil destiné à assurer "l'après-Transall".

Trois prétendants sont sur les rangs : le C-17 de McDonnell Douglas, l'Airbus A-340 militarisé et le FLA (*Future Large Aircraft*) étudié par la société Euroflag (3). L'idéal, pour l'armée de l'air, compte tenu des nouveaux scénarios, serait de disposer d'environ quatre-vingts FLA, quatre A-340 et quatre C-17.

(1) Nous développons ici le cas de la France, mais les autres pays européens ont le même type de besoins.
(2) L'avionique est l'ensemble de l'électronique et des logiciels de navigation, de pilotage et de contrôle du fonctionnement des moteurs.

Le C-17 américain est le seul de ces candidats qui soit disponible (à moins d'adopter la solution du pauvre, qui consisterait à se rabattre sur le Hercules C-130 J – voir plus loin). Actuellement en cours d'essais en vol, le C-17 devrait être mis en service dans l'US Air Force en 1994. L'avion est extrêmement sophistiqué : grâce à sa voilure "modulable" pouvant développer une très grande surface, il est capable d'évoluer à basse vitesse pratiquement au ras du sol. Il est doté d'une avionique lui permettant de "voir" le terrain par tout temps (l'équipage dispose, quant à lui, de systèmes optroniques de vision nocturne dernier cri) ; enfin, il est capable de transporter 60 t sur 7 500 km et d'atterrir sur des pistes sommaires en herbe non balisées.

Nos avions de transport militaire : insuffisants et plus tout à fait adaptés

Il s'agit d'un appareil hybride, à mi-chemin entre l'énorme C-5A Galaxy (presque le double d'un B-747 !), uniquement destiné au transport stratégique, et l'Hercules C-130, moins rapide (550 km/h contre 850 km/h pour le Galaxy) et nettement plus petit, mais tout de même capable de déposer sur des terrains "rustiques" un commando de 40 hommes et un véhicule de combat léger (le commando israélien qui libéra l'Airbus d'Air France à Entebbe fut transporté par

(3) Les constructeurs participant à l'étude du programme FLA sont l'Aerospatiale française, British Aerospace, l'allemand DASA, l'italien Alenia et l'espagnol Casa Aerospacial. Belges (Flabel), Turcs (Tai) et Portugais (OGMA) viennent de les rejoindre.

C-130). Toutefois, le C-17 n'est pas un simple intermédiaire entre le Galaxy et l'Hercules. Il est présenté comme "tactico-stratégique" : en temps de guerre, il est censé pouvoir atterrir sur des pistes courtes à peine aménagées, ou larguer du matériel à très basse altitude, tout près de lignes ennemies mal défendues ou dans une zone préalablement préparée par des forces amies.

Un tel "bijou" coûte évidemment cher : plus de 200 millions de dollars ! A cela s'ajoute le fait que le C-17, dessiné sur mesure pour l'US Air Force, serait quelque peu surdimensionné par rapport aux besoins français. Et surtout, pour tirer avantage de toutes ses qualités, il faudrait le conduire extrêmement près du front. Or, exposer au feu ennemi un appareil de ce prix est un luxe que l'on ne peut s'offrir que lorsque l'on dispose du budget américain de la Défense ; avec des crédits treize fois moindres, on y réfléchit à deux fois.

Militariser l'A-340. En face du candidat américain, l'armée de l'Air se voit proposer, entre autres possibilités, la version militaire de l'A-340, rebaptisé A-340 M (pour militaire). Une fois son plancher renforcé, celui-ci pourra transporter 50 t à 10 500 km (ou 20 t à 14 500 km) et être aménagé en plusieurs versions (tout cargo, ravitaillement en vol, transport de troupes, de matériel lourd, blindés et batteries sol-air). Capable d'emporter une charge supérieure à celle du C-17 sur la même distance, il présente néanmoins deux inconvénients par rapport à ce dernier : d'une part, il n'a pas les mêmes capacités de décollage et d'atterrissage courts ; d'autre part, l'A-340 M ne dispose pas de rampe arrière de chargement. Les soutes latérales permettent d'embarquer 3 VAB (véhicules de l'avant blindés) ou trois automitrailleuses de reconnaissance, mais pas un char lourd de type AMX 30, ce dont le C-17 est capable.

En attendant, pour parer à toute éventualité, le ministre de la Défense Pierre Joxe a décidé de doter immédiatement l'armée de l'air de deux A-310, avion capable d'emporter 25 t sur 8 000 km.

Et les missions tactiques ? Le choix du successeur des Transall C-160 et des C-130 Hercules pose un problème autrement plus ardu. Deux prétendants s'affrontent : une nouvelle version de l'Hercules, Hercules-J, qui a le mérite d'exister, mais, là encore, l'inconvénient d'être américain ; et le fameux FLA, qui, outre qu'il assurerait l'indépendance européenne vis-à-vis des Etats-Unis, couvrirait aussi bien des besoins tactiques que stratégiques. Mais le projet n'en est qu'à ses balbutiements, et les temps ne sont pas fastes pour les crédits. Surtout, un troisième larron, russe celui-là (voir plus loin), risque de compliquer encore les choses .

Le FLA européen. Le *Future Large Aircraft* d'Euroflag, de 110t de masse maximale au décollage, a été étudié pour assurer deux types d'opérations : 25 t transportées à plus de 4 500 km ou 12 t sur 7 000 km. Le FLA serait ainsi un hybride tactique-stratégique. Sa capacité d'emport est, certes, inférieure à celle du C-17 américain et son allonge légèrement moindre, mais il coûterait plus de trois fois moins cher : 60 millions de dollars. Le FLA comblerait le trou énorme que constitue l'absence de tout appareil intermédiaire entre Hercules et DC-8. Un trou qui ne s'apprécie pas seulement en termes de masse transportée sur des distances tactiques et stratégiques, mais aussi en termes de délai nécessaire pour que le matériel soit opérationnel.

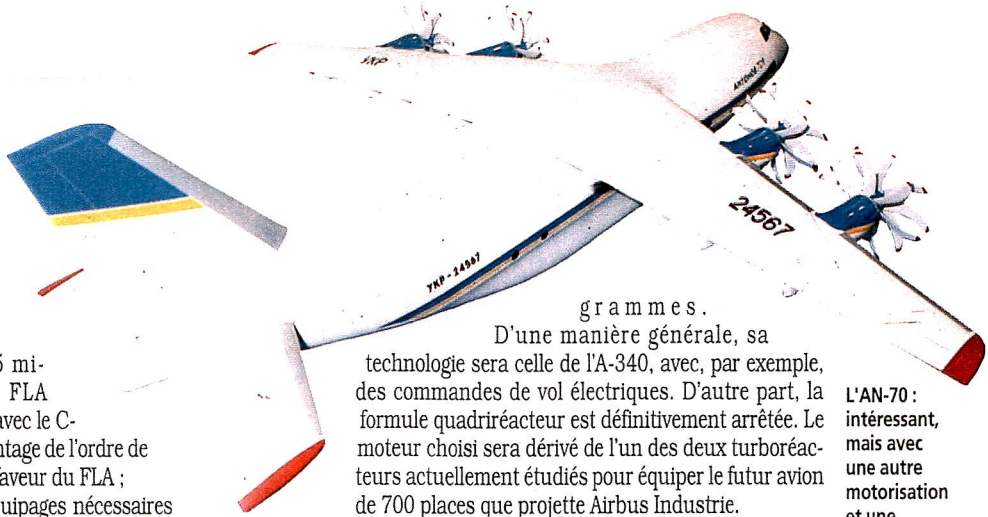
Deux paramètres sont à prendre en compte à cet égard : la vitesse de transport et le temps de démontage et de remontage de charges volumineuses. La question de la vitesse est réglée par l'adoption, pour le FLA, de 4 réacteurs plutôt que de moteurs à hélices rapides (de type propfan), indique-t-on à la division avions d'Aerospatiale. Ainsi, au lieu des 550 km/h auxquels est limitée la nouvelle version de l'Hercules de Lockheed, le FLA offre une vitesse de Mach 0,8 (850 km/h environ) : une différence qui peut être décisive.

Second paramètre vital : la taille de la soute. Celle du FLA mesure 17 m de long, 3,55 m de haut et a une largeur de plancher de 4 m, contre respectivement 12,3 m, 2,7 m et 3,1 m pour le C-130. Grâce à ces dimensions, le FLA pourrait transporter un hélicoptère Super Puma AS-332 ou le futur NH-90 sans avoir à les démonter, ce qui permet de gagner respectivement seize heures ou quatorze heures par rapport au C-130 avec lequel cette opération est inévitable.

Finalement, sur 7 000 km, la plus grande vitesse de vol du FLA permet d'acheminer en dix jours 127 t de matériel, contre 57 t pour le C-130 (même pas la moitié). Si, maintenant, l'on prend en compte l'ensemble des moyens en hommes et en matériel à mettre en œuvre pour transporter 375 t d'équipement sur 7 000 km (sans escale et sans ravitaillement en vol), on constate que :

- il faut 58 Hercules C-130 J contre seulement 32 FLA, soit un rapport de presque deux en faveur du projet européen ;

Le plus difficile : choisir un successeur au Transall C-160 (ici en cours de déchargement à N'Djamena, au Tchad).



L'AN-70 : intéressant, mais avec une autre motorisation et une meilleure avionique.

- l'ensemble de la rotation (un aller et retour, chargement et déchargement compris) est de 22 heures 45 minutes pour le FLA contre 28 heures avec le C-130 J, soit un avantage de l'ordre de 20 % toujours en faveur du FLA ;
- le nombre d'équipages nécessaires est aussi dans le rapport de deux (le temps de vol est en effet plus long sur C-130) ;
- enfin, l'économie de carburant résultant de l'emploi du FLA serait d'environ 300 t !

Quant aux coûts respectifs des trois appareils, une équation permet de les comparer d'un seul coup d'œil : en (très) gros, un C-17 = deux A-340 = trois FLA.

Combien de FLA pourra-t-on commander ? On l'ignore encore : cela dépendra de l'enveloppe budgétaire du transport militaire. En revanche, ce que l'on sait évaluer, c'est le marché potentiel du FLA, puisqu'il est destiné, *grosso modo*, à remplacer l'Hercules C-130. Il est estimé à quelque 300 appareils en Europe et 250 autres environ dans le reste du monde, soit au total un marché de 30 milliards de dollars (l'équivalent de 800 Airbus A 320). Des chiffres qui devraient plaider en faveur du lancement du FLA par l'ensemble des partenaires européens. Les différents pays partenaires (France, Allemagne, Grande-Bretagne, Italie, Espagne), en ratifiant le contrat d'étude de pré-faisabilité début 1992, ont donné un premier feu vert. Fin 1992, si tout va bien, le projet devrait être entré en phase de faisabilité et, dans le meilleur des cas, le lancement officiel du programme aura lieu courant 1996, le premier vol du FLA étant alors prévu pour 2000 ou 2001. Une éventualité renforcée par l'adhésion récente au projet des Turcs, des Belges et des Portugais.

Reste que, pour l'instant, les crédits sont plus que chichement octroyés. La France, par exemple, prévoit une enveloppe comprise entre 50 et 150 millions de francs par an d'ici à 1996 (4). Un responsable de la division avions d'Aerospatiale estime «qu'une participation à hauteur de 20 % de la France ne reviendrait pas plus cher que l'acquisition par l'armée de l'air d'une flotte de remplacement constituée de C-130 améliorés». Raison du faible coût relatif du programme FLA : l'appareil sera conçu autour de solutions technologiques éprouvées, déjà validées sur d'autres programmes.

D'une manière générale, sa technologie sera celle de l'A-340, avec, par exemple, des commandes de vol électriques. D'autre part, la formule quadriréacteur est définitivement arrêtée. Le moteur choisi sera dérivé de l'un des deux turboréacteurs actuellement étudiés pour équiper le futur avion de 700 places que projette Airbus Industrie.

Antonov AN-70 : l'outsider. L'avantage de cet avion proposé par la CEI est qu'il existe déjà – il est en cours de construction – et que ses caractéristiques générales répondent à peu près aux besoins de l'armée de l'air en matière de transport tactique, comme a pu le constater la mission d'ingénieurs de la DGA, accompagnée d'officiers de l'armée de l'air, qui s'est rendue en mai dernier à Kiev, en Ukraine, pour voir le projet d'un peu plus près : 123 t de masse maximale au décollage, capacité de transport de 30 t de charge utile sur 5 000 km, volume de soute convenable. En revanche, le moteur propfan à hélices rapides apparemment choisi par le constructeur ukrainien, au lieu des réacteurs classiques, n'est pas du goût des ingénieurs français. En effet, si les performances du propfan sont alléchantes, notamment au décollage (sur 1 500 m environ, contre 2 200 pour le C-17, par exemple) et en termes de consommation de carburant, on ignore tout de sa fiabilité et de sa robustesse. En outre, on considère, à tort ou à raison, que, dans le domaine de l'avionique, les Russes n'ont pas atteint le niveau de maturité des Occidentaux. Enfin, le général Lanata, chef d'état-major de l'armée de l'air, nous a exprimé ses craintes concernant l'approvisionnement en pièces de rechange.

Les Russes pourraient "abattre" l'industrie aéronautique européenne

Quoi qu'il en soit, un membre du bureau d'études d'Antonov à Moscou a déclaré que la France souhaitait collaborer avec le constructeur ukrainien sur l'AN-70. On peut imaginer que, par ce biais, l'avion soit sensiblement "occidentalisé", notamment par l'adoption de réacteurs – économie de masse et gain de fiabilité par rapport aux propfan – et d'une avionique plus performante. Pareille coopération aurait le mérite d'éviter que les Russes ne bradent leur matériel à des prix qui condamneraient l'industrie aéronautique européenne. Une affaire à suivre, au moment où quelque 500 millions de francs viennent d'être dégagés pour la poursuite des études du FLA qui, lui, concerne l'Europe, mais pas de l'Atlantique à l'Oural.

Serge Brosselin

(4) Le coût du programme FLA est évalué à 70 milliards de francs sur dix à quinze ans, soit 5 % environ des crédits d'équipement de l'armée de l'air sur la même période.

PAR HENRI-PIERRE PENEL

ENFIN UN VRAI RADIOTÉLÉPHONE DE POCHE

Radiocom 2000 va être secondé par un nouveau réseau radiotéléphonique entièrement numérique : le GSM. Il devrait – 1993 oblige – constituer aussi un standard européen. Et son arrivée autorise enfin la mise sur le marché des premiers combinés de poche.

Lors de sa mise en service, il y a déjà plus de dix ans, Radiocom 2000 avait constitué une petite révolution. Son architecture cellulaire – fondée sur la division du territoire français en zones (***voir encadré p. 136***) – avait permis d'accroître dans une large proportion le nombre d'abonnés à ce type de service. En effet, en cellulaire, étant donné la portée volontairement réduite des émetteurs, il est possible de réutiliser de nombreuses fois les mêmes plages de fréquence et, par voie de conséquence, d'augmenter d'autant le débit du réseau. Celui-ci frise pourtant maintenant la saturation en région parisienne et dans certaines grandes agglomérations. En revanche, il reste sous-exploité en zones rurales.

Après consultation des principaux constructeurs (Matra, Motorola, Nokia...), l'Union internationale des télécommunications (UIT) a fixé les normes d'un nouveau type de réseau, le GSM (*Global System for Mobile communications*), qui devrait constituer un standard – européen dans l'immédiat, et, par la suite, probablement mondial.

Fort de l'expérience de Radiocom 2000, le GSM apporte trois innovations techniques : la réduction de la zone de couverture des cellules, la transmission entièrement numérique et l'identification de l'abonné par carte à puce.

Des cellules plus petites pour être plus efficaces. Si l'on diminue la zone de couverture de chaque cellule, on doit augmenter leur nombre. Le risque de saturation de l'une d'entre elles est alors moindre, puisque, à trafic équivalent, chacune aura

LA CARTE SIM, CLEF DU SYSTÈME

C'est la puce dont cette carte est dotée qui sera votre carte d'identité au sein du réseau. Quel que soit le combiné GSM dans lequel vous la glissez, il devient aussitôt, pour le système, le vôtre. Dans la mémoire de cette puce sont logés tous les codes de reconnaissance de l'abonné, et c'est par son intermédiaire que les communications vous seront facturées. En effet, contrairement à celles utilisées dans les cabines téléphoniques, ce n'est pas une carte porte-monnaie mais un identificateur, au même titre qu'une carte bancaire.

Sur le plan commercial, elle constitue une première, puisque sa diffusion n'est pas le monopole de France Télécom. Certes, si abonnement et coût de la communication restent identiques d'un fournisseur à l'autre, chacun pourra, en revanche, proposer des services personnalisés tels que facturation détaillée, introduction de codes clefs pour éviter une utilisation frauduleuse en cas de perte ou de vol, extension du nombre de numéros mémorisables dans le répertoire. Dans ce domaine, pour une fois, la libre concurrence pourra donc s'exprimer.

Le téléphone en liberté

Utilisant le réseau des radiotéléphones de voiture, ce combiné est entièrement autonome. Qui plus est, avec son poids plume (475 g) et ses dimensions extrêmement réduites, il se fera oublier au fond de votre sac.

en charge moins d'abonnés. Ainsi, les cellules pourront donc garder en réserve un certain nombre de lignes libres pour assurer la continuité des communications des abonnés qui, en se déplaçant, arrivent dans leur zone de couverture. Cette fonction, appelée *hand over* (passer la main), posait des problèmes sur Radiocom 2000 (***voir encadré p. 136***) dans les zones où le seuil de saturation était atteint.

Autre avantage de la multiplication des cellules : chaque radiotéléphone se trouve en permanence à une distance relativement faible du relais, ce qui permet de réaliser des combinés équipés d'émetteurs individuels moins puissants : 2 watts suffisent, contre 5 watts minimum pour Radiocom 2000. Le coût de fabrication et donc le prix de vente des appareils s'en trouvent réduits. En outre, en limitant la puissance d'émission, on diminue la consommation électrique du combiné : pour une autonomie identique, une batterie de capacité et de dimensions plus faibles convient. D'où un nouveau pas vers la miniaturisation.

Jusqu'à présent, les radiotéléphones autonomes, pudiquement qualifiés de "portables" parce que capables de fonctionner hors d'un véhicule, ne brillaient pas vraiment par leur discrétion et ne méritaient donc pas l'appellation de "portatifs" (1). Avec ses 475 grammes, batterie comprise, le GSM 1011 de Nokia est le premier véritable radiotéléphone de poche au monde. Dans le même esprit, Motorola lance actuellement le GSM 3200, aux caractéristiques identiques, bien qu'un peu plus gros.

Enfin, avec ses cellules plus petites, le GSM s'adapte encore mieux aux besoins locaux de transmission. A Paris, par exemple, il est possible de disposer de nombreux relais et, inversement, de réduire leur nombre en zone rurale où la demande est moindre. Enfin, il est plus facile d'éviter les "zones d'ombre" créées par des obstacles naturels ou artificiels (collines, immeubles, etc.) en les cernant de relais.

Fax et informatique sur le réseau grâce au numérique. Numérisation bien modeste puisque la

(1) Portables : que l'on peut transporter, mais volumineux ; portatif : de dimensions suffisamment réduites pour tenir dans une mallette ; de poche : qui tient (presque !) dans la poche.

Derniers-nés des radiotéléphones, le Motorola 3200 et le Nokia 1011 devraient être disponibles en France début 1993.

voix n'est codée que sur 4 bits seulement – contre 14 sur le disque compact. Néanmoins, grâce à un procédé de "lissage" du signal, le son obtenu est comparable à celui d'une liaison téléphonique classique de bonne qualité. L'intérêt essentiel de cette opération de numérisation réside en fait dans les possibilités de traitement et de gestion des communications. Le numérique se prête particulièrement bien au "multiplexage", c'est-à-dire à la transmission de plusieurs conversations simultanées sur une même fréquence radio.

En ce qui concerne le son lui-même, le passage au numérique n'a pas que des avantages. En analogique, lorsque l'on se trouve en limite de cellule, la communication est progressivement altérée par des parasites jusqu'à devenir totalement inaudible. En numérique, si la qualité reste constante sur toute l'étendue de la cellule, le son se trouve brutalement coupé dès que le niveau de parasites ne permet plus au décodage de s'effectuer dans de bonnes conditions. Le système *hand over* devrait toutefois pallier ce défaut.

L'option tout numérique retenue pour le GSM offrira, à terme, d'autres services : la fonction *pager* (Operator et Alphapage), par exemple, grâce à laquelle on n'est plus dérangé par une sonnerie en pleine réunion ; on garde toutefois une trace de la tentative d'appel, puisque le correspondant peut faire apparaître un court message, comme son nom et son numéro d'appel, sur l'écran à cristaux liquides du combiné. La fonction répondeur-enregistreur est également prévue. Enfin, le tout nu-

GSM : DES CELLULES QUI DÉCROISSENT ET SE MULTIPLIENT

Le nombre de fréquences disponibles pour acheminer les communications n'est pas infini, et, pour éviter les interférences, deux émetteurs ne doivent pas utiliser une même fréquence si leurs zones de couverture sont proches. Toutefois, en disposant de relais locaux de portée réduite, il est possible de réutiliser plusieurs fois les mêmes fréquences, au niveau d'une ville ou d'un département, par exemple. Seul impératif donc : espacer suffisamment les relais utilisant cette fréquence.

On appelle "cellule" la zone de couverture de chaque relais, par analogie avec un organisme vivant, puisqu'il s'agit ici de l'élément de base indispensable à la "vie" du réseau. Chaque relais peut être considéré comme le cœur de sa cellule : il capte la communication émise par un radiotéléphone pour la retransmettre.

«Ne quittez pas, nous recherchons votre correspondant...» Supposons que M. X, ayant souscrit un abonnement à Paris, soit en déplacement dans la région bordelaise et que son épouse, en vacances à Saint-Tropez, cherche à l'appeler depuis sa chambre d'hôtel. Comment la communication fera-t-elle pour aboutir ?

En fait, les radiotéléphones restent en permanence en veille. Ils "conversent" ainsi continuellement avec le réseau en échangeant des codes. Ces échanges ont un double but. Ils indiquent au combiné la liste des fréquences utilisées par le relais de la cellule dont il dépend ponctuellement et, surtout, ils permettent au réseau de "savoir" par l'intermédiaire de quel relais il peut joindre l'abonné. Pour cela, chaque cellule possède un équipement informatique où est temporairement répertoriée la liste des abonnés dont elle a alors la charge. Interconnecté à celui des autres cellules, le système pourra trouver le relais dont dépend M. X, et l'appel de son épouse lui sera transmis.

Plusieurs petites cellules valent mieux qu'une grosse. Plus les besoins en communications sont grands, plus on installe de cellules. Car la capacité d'une cellule est limitée par le nombre de fréquences dont elle dispose. Si elle possède une zone de couverture importante, elle "bloque", en termes de fréquences, un grand territoire. Si, à l'inverse, sa zone de couverture est restreinte, on peut, comme nous l'avons dit plus haut, réutiliser des fréquences identiques à une distance plus faible. La capacité de transfert de communications d'un secteur donné aux autres secteurs est donc d'autant plus élevée que la couverture individuelle de chaque cellule est limitée.

Pour assurer le maintien de la communication lors d'un changement de cellule, ce qui est le cas lorsqu'une voiture roule – fonction baptisée *hand over* –, il faut que les cellules encadrant celle en cours d'utilisation disposent d'une réserve de lignes libres. Elles "converseront" entre elles pour déterminer celle qui prendra effectivement la suite, puisque, la direction de déplacement du véhicule étant inconnue du réseau, il ne peut déterminer d'emblée vers laquelle s'effectuera le transfert.

Enfin, l'utilisation de petites cellules donne plus de souplesse pour ajuster l'infrastructure aux besoins réels d'une région.

mérique est particulièrement bien adapté à les transmissions dites non-vocale – télécopies, échanges de fichiers informatiques ou minitel.

Une carte à puce pour passeport. L'abonnement et la facturation des appels ne sont plus liés à l'appareil, mais confiés à la carte SIM (*Subscriber Information Module*) (***voir encadré p. 134***). Cette carte à puce fonctionne à la manière d'une carte bancaire. Elle fournit au combiné un code qui sera transmis au réseau. Ce code permet d'identifier le possesseur de la carte, auquel l'appel sera facturé. Ce point est essentiel : il devient ainsi parfaitement possible de s'abonner au réseau radiotéléphonique sans acheter d'appareil.

En effet, tout possesseur de la carte SIM pourra la brancher dans un appareil mis à sa disposition, par exemple dans un taxi, dans un véhicule de location ou dans un autocar. Réciproquement, une compagnie de taxis ou de location de voitures pourra offrir un service de radiotéléphonie à ses clients sans pour autant être obligée de s'abonner elle-même au réseau. Sur GSM, contrairement aux autres procédés, le combiné n'est plus, finalement, qu'un intermédiaire passif.

Enfin, notons que pour son utilisation dans les radiotéléphones de poche il est possible de détacher la zone active de la carte. En effet, le format carte de crédit est pratique pour le rangement dans un portefeuille, mais il est trop important dès qu'il s'agit de faire fonctionner un appareil portable.

Si sur le plan technique le GSM apparaît comme la solution miracle, financièrement, le paysage s'obscurcit. Certes, le coût des appareils est très inférieur à celui des générations antérieures (8 500 F pour un Nokia 1011, contre près de 15 000 F pour un portable Radiocom) et tout laisse supposer qu'ils devraient encore chuter ; mais la facturation de l'abonnement et des appels (***voir encadré ci-dessus***), quant à elle, réserve des surprises...

Henri-Pierre Penel

COMBINÉS MOINS CHERS MAIS SERVICE PLUS CHER

Les nouveaux combinés GSM coûtent environ moitié moins cher que ceux fonctionnant sur Radiocom : le 1011 de Nokia sera proposé à 8 500 F HT contre de 15 000 à 20 000 F pour les anciens combinés. Actuellement, le taux d'équipement en radiotéléphones en France est dix fois moindre que celui de certains de nos partenaires européens (Suède, Norvège, Finlande...). Un fait qui provoque pleurs et lamentations chez Ligne SFR, entre autres, où il n'est question que de débarrasser le radiotéléphone de son image de gadget de luxe pour p.-d.g. en goguette. Alors, plutôt que d'affoler le client en lui disant froidement «ça coûte tant», on sort des noms commerciaux qui sentent bon le dynamisme : Service 180 et Service 315. Des intitulés qui cachent une politique commerciale pour le moins étonnante.

- Service 180, c'est Radiocom 2000, dont l'abonnement est facturé 213,48 F TTC par mois (180 F HT), ce à quoi il faut ajouter une taxe de mise en service de 237,20 F TTC. Ces tarifs ont d'ailleurs enregistré récemment une baisse de 20 %.
- Service 315, c'est l'abonnement mensuel à GSM pour 373,59 F TTC (315 F HT) plus une taxe de mise en service de 415,10 F TTC.

Autrement dit, même si les tarifs des communications sont, dans le cas des appels longue distance, un peu moins élevés sur GSM (***voir tableaux ci-dessous***), l'abonnement à ce réseau est à peu près deux fois plus cher que celui à Radiocom 2000. Pourtant, l'inverse serait préférable, puisque c'est Radiocom 2000 qu'il faut alléger.

Dernière "surprise" : sur GSM, c'est l'appelant qui paie toujours l'intégralité de la communication. Sur le réseau Radiocom, si un particulier appelait son richissime cousin dans sa limousine, il payait la communication au prix d'un appel conventionnel. Au cousin de régler le surcoût lié au fait qu'il recevait l'appel dans sa voiture. Sur GSM ce n'est plus le cas. Si, par exemple, vous appelez votre directeur bloqué sur le périphérique depuis votre domicile, bien que vous-même ne soyez pas abonné au GSM, vous aurez la joie de voir apparaître sur votre facture une communication GSM au prix fort !

Contrairement au discours tenu, le GSM semble bien être considéré comme le produit de luxe de la radiotéléphonie...

COÛT (TTC) DES COMMUNICATIONS GSM

Prix à la minute	Local	Longue distance	International et numéros spéciaux
Heures pleines (1)	5,12 F	6,40 F	4,40 F + RTCP (3)
Heures de pointe (2)	5,69 F	7,00 F	4,97 F + RTCP
Heures creuses	2,97 F	3,84 F	2,66 F + RTCP

COÛT (TTC) DES COMMUNICATIONS RADIOCOM 2000

Relais utilisé pour la communication	Prix à la minute	Emission d'appel		Réception d'appels
		Local	Longue distance	
Relais de rattachement de l'abonné	Heures pleines (4)	3.49 F	2.90 F + RTPC	2.18 F
	Heures creuses	1,76 F	1,46 F + RTPC	1,09 F
Autre relais	Heures pleines	8,72F + RTPC	8,72F + RTPC	8,72 F
	Heures creuses	4,36F + RTPC	4,36F + RTPC	4,36 F

(1) De 7 h à 8 h 30, de 11 h à 17 h et de 20 h 30 à 22 h 30, sauf jours non ouvrés.
(2) De 8 h 30 à 11 h et de 17 h à 20 h 30, sauf jours non ouvrés.
(3) Taxes de base du réseau téléphonique classique.
(4) De 8 h à 21 h, sauf jours non ouvrés.

PAR HENRI-PIERRE PENEL

CONSOLES DE JEU : LE COMBAT DES SAMOURAÏS

Il y a deux ans, Sega frappait fort avec sa console *Megadrive* 16 bits. Nintendo réplique aujourd'hui, en sortant sa nouvelle arme absolue : la *Super Nintendo*, 16 bits également, mais profitant des tout derniers acquis de la micro-informatique. Qui l'emportera ?

Equipées de microprocesseurs 16 bits, les consoles de jeu ont désormais une puissance comparable à celle de micro-ordinateurs, auxquels elles sont souvent bien supérieures par les qualités graphiques, sonores et d'animation.

Deux ans après la sortie de la *Megadrive*, la console de jeu 16 bits de Sega, Nintendo riposte enfin avec sa *Super Nintendo*, 16 bits également. S'octroyer un tel délai pour lancer sa propre machine constituait pour Nintendo un pari à la fois technologique et commercial. Ce dernier avait la certitude qu'en deux ans, l'amélioration des caractéristiques des composants électroniques ainsi que la diminution de leurs coûts joueraient en sa faveur. Il lui est donc possible, aujourd'hui, à prix de fabrication équivalent, de proposer un appareil, en théorie du moins, beaucoup plus performant. La *Super Nintendo* est effectivement équipée d'un microprocesseur de dernière génération, tournant à 24 MHz et assisté dans sa tâche de "la bagatelle" de 5 coprocesseurs. Solution impensable, pour des raisons de coût de fabrication, il y a seulement deux ans.

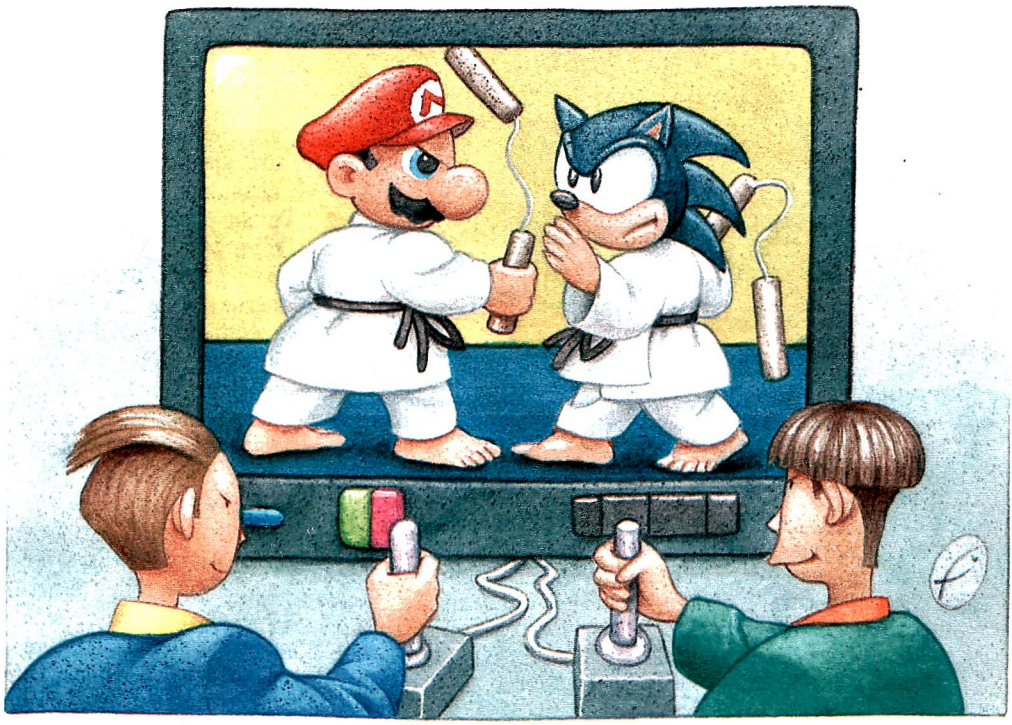
Sur le plan commercial, en revanche, Nintendo a pris un grand risque en laissant deux ans d'avance à son principal concurrent, lui aussi japonais, dans un secteur où "l'effet copain" joue plus que dans tout autre domaine. Le choix d'une machine est, en effet, le plus souvent déterminé par l'argument massue : «Mon copain a la même», auquel s'ajoute la possibilité de pouvoir s'échanger des jeux. Cela reste toutefois à nuancer par l'autre argument : «La mienne est mieux», sur lequel Nintendo mise sûrement. Ce type de lutte s'est déjà produit par le passé entre les deux marques : alors que Nintendo a fait, et continue de faire, un "malheur" avec sa petite console de poche noir et blanc *Game Boy*, Sega rencontrait toutes les peines du monde pour imposer sa *Game Gear*, pourtant en couleurs et plus attrayante.

Pour la *Megadrive*, Sega a tout misé sur la vitesse d'animation. En micro-informatique, disposer d'un microprocesseur 16 bits accroît notablement la vitesse d'exécution des programmes. En jeu vidéo, cela se traduit concrètement par la rapidité de déplacement des décors, personnages et autres objets présents sur l'écran. Afin de donner corps à

UN PHÉNOMÈNE DE SOCIÉTÉ BIEN ENTRETENU

Aux Etats-Unis, plus de 80 % des foyers ayant des enfants de 6 à 14 ans possèdent au moins une console de jeu. En France, si le phénomène n'a pas encore atteint une telle ampleur, il en prend néanmoins le chemin. On constate que les plus accrochés sont essentiellement de sexe masculin. Considérée par certains comme l'exemple type de l'appareil "asocial", par d'autres comme la clef de la tranquillité, voire comme un outil éducatif, la console de jeu a détrôné la micro-informatique familiale.

Dépouillées de tout périphérique, ces machines peuvent être produites au prix des seuls composants électroniques, désormais très bon marché. Comme une console d'une marque donnée ne peut utiliser que les cassettes de jeux de la même marque, les fabricants n'hésitent pas à commercialiser leurs appareils pratiquement sans bénéfice. Les cartouches de chaque constructeur sont en effet d'un modèle bien précis. Quel que soit le concepteur du logiciel, sa commercialisation résulte d'un accord avec le fabricant de la console. De la sorte, chaque modèle est absolument incompatible avec ceux des marques concurrentes. L'utilisateur d'une machine devenant "prisonnier" de sa marque, le constructeur a donc tout loisir de se rattraper sur le prix de vente des logiciels de jeux.



cette vitesse, Sega a même créé Sonic, le hérisson en baskets. Ce petit personnage avait, en fait, une double vocation. Il fallait certes à Sega un personnage bien adapté à ses jeux et, surtout, une mascotte en mesure de concurrencer Mario, le célèbre petit bonhomme de Nintendo.

Cette rapidité d'exécution reste d'ailleurs toujours un atout sur la *Megadrive*. En outre, Sega a mis à profit ses deux ans d'avance pour éditer un grand nombre de cassettes de jeu. Enfin, il suffit d'un adaptateur pour que la *Megadrive* accepte les cartouches de sa petite sœur 8 bits, la *Master System*. Elle dispose ainsi en tout d'une ludothèque de près de 200 titres (dont 85 lui sont propres).

En revanche, sur le plan technique, ses deux ans lui donnent quelques rides. Ainsi, la palette de couleurs de l'écran ne comporte que 64 nuances au total (contre, pour la *Super Nintendo*, 128 simultanément affichables, extraites d'une palette de 3 072 teintes au total). De même, le son reste relativement "synthétique". Car, bien que le générateur qui en a la charge comporte 10 canaux et permette de très bonnes illustrations musicales, il manque tout de même de finesse.

Sega, conscient de ce problème, travaille activement à la mise au point de logiciels exploitant les possibilités du CD Rom. Connecté à la console, il remplace les sons issus du générateur électronique par des séquences sonores de qualité "son numérique". Déjà disponible dans de nombreux pays, il devrait être prochainement commercialisé en France. L'autre intérêt du lecteur CD Rom est la possibilité de remplacer les décors par de véritables photos, et ce grâce à sa très grande capacité de stockage d'informations. En ce qui concerne les logiciels eux-mêmes, la capacité des cartouches actuelles, jusqu'à 16 mégaoctets, est plus que suffisante.

Pendant ces deux années, quelques bonnes fées se sont penchées sur le berceau de la *Super Nintendo*. Ainsi, son microprocesseur 16 bits est assisté dans sa tâche, nous l'avons vu, par 5 coprocesseurs. Ces derniers déchargent le microprocesseur central des tâches routinières, telles qu'animation des graphiques, mouvements et changements de décor et génération des illustrations sonores. Cela se traduit par des performances techniques nouvelles, entre autres la rotation ou l'effet de distorsion de l'image, le zoom, etc. Cela produit, notamment, un meilleur "lié" des mouvements. D'une manière générale, les caractéristiques de l'image sont meilleures. Le tracé est plus fin et les nuances plus nombreuses. En jouant sur ces dernières, on obtient un meilleur rendu des volumes.

Dans cette guerre de géants, ce sont les enfants qui choisiront le vainqueur

Encore faut-il que le logiciel de jeu utilise au maximum les capacités des coprocesseurs. Dans le jeu *Super Mario World*, par exemple, Nintendo, en voulant conserver à son célèbre peintre italien et aux décors le graphisme qui avait fait leur succès sur la console 8 bits, n'a pas su exploiter à fond les possibilités du nouvel appareil. En revanche,

Six disquettes dans cette puce

Ce circuit constitue le cœur d'une cartouche de jeu. D'une capacité de 8 mégaoctets (Mo), soit presque 6 disquettes haute densité, il contient les instructions du logiciel, ainsi que les données correspondant au graphisme des décors et à la génération du son. Une telle capacité de mémoire, superflue avec des microprocesseurs moins puissants (les "8 bits"), se justifie pleinement avec la nouvelle génération de consoles 16 bits. Vu sa taille (5 x 1,2 cm), il est possible d'en loger deux dans la même cartouche et d'étendre ainsi la capacité de celle-ci à 16 Mo. Grâce à ce procédé de mémorisation, plus besoin de charger des disquettes dans un ordinateur pour jouer : une solution beaucoup plus "confortable" pour les utilisateurs les plus jeunes. En outre, le piratage de telles cartouches est quasi impossible, en raison de la chaîne d'assemblage qu'il requiert, contrairement aux disquettes, faciles à dupliquer.

d'autres jeux (*Adam's Family*, par exemple) présentent des images somptueuses, tant par la qualité des décors que par celle de l'animation. Certains jeux s'offrent même le luxe d'illustrer leur "page d'accueil" de photos numérisées.

Le son de la *Super Nintendo* est également remarquable. Numérique et stéréophonique, il est d'une grande finesse et restitue avec beaucoup de fidélité aussi bien le timbre d'un piano classique que celui d'un grand orchestre, en passant par le plus pur style rap ou le disco.

Nintendo travaille aussi beaucoup les périphériques de son nouvel enfant. Le premier d'entre eux, nommé Nintendo Scope, évoque un bazooka avec lequel on peut "tirer" sur le téléviseur. Fourni avec une cartouche comportant six jeux, il permet d'"embarquer" à bord d'un chasseur en mission, d'intercepter des missiles, d'interdire le débarquement d'extraterrestres ; ou, si vous êtes d'un tempérament plus pacifique, d'envoyer des rafales de boules de cotillon à des petits animaux imaginaires, ou de faire pivoter des briques s'empilant dans un jeu voisin de *Tétris*. Un lecteur de CD Rom est également prévu, à un prix qui ne dépassera pas les 2 500 F sur le marché français.

La *Super Nintendo* a, finalement, les défauts de sa jeunesse. Elle ne dispose pour l'instant que d'un petit nombre de logiciels et aucune compatibilité n'est envisagée avec ceux, pourtant nombreux, disponibles pour l'appareil 8 bits.

Nintendo et Sega se retrouvent maintenant dans un combat proche de celui qui les opposa par *Game Boy* et *Game Gear* interposées. D'un côté, un appareil un peu moins performant mais solidement établi sur le marché, doté de surcroît d'une ludothèque imposante ; de l'autre, une machine techniquement plus performante, mais jeune, avec les avantages et les inconvénients que cela implique. En fin de compte, ce seront sans doute les enfants qui décideront du vainqueur...

Henri-Pierre Penel

LES DEUX SUPER-CONSOLES MISES À NU

ELECTRONIQUE	SEGA MEGADRIVE	SUPER NINTENDO
Microprocesseurs	un 16 bits + un 8 bits	un 16 bits + 5 coprocesseurs
Fréquence de travail	7,6 MHz et 3,5 MHz	21 MHz
Capacité RAM	74 Ko	1 Mo + 2 X 256 Ko (générateur son)
Capacité RAM vidéo	64 Ko	2 X 256 Ko
Capacité ROM cartouches jeu	16 Mo	16 Mo
VIDÉO		
Résolution de l'image	320 x 224 pixels	512 X 448 pixels
Nombre de couleurs	64	1 024 simultanées parmi 32 768
Fonctions traitement d'image directement assurées par le hard	*Scrolling* (1) horizontal et vertical	*Scrolling* (1) horizontal et vertical Rotation, zoom, distorsion Gestion 3 dimensions
Nombre de plans d'image	3	3
GÉNÉRATEUR DE SONS		
Nombre de canaux	10	8 voies PCM
Type		Numérique stéréo
LOGICIELS		
Nombre	35, plus ceux de la *Master System*	20
Prix moyen	995 F	1 290 F
EXTENSIONS		
	CD Rom (non disponible en France) Adaptateur jeux *Master System* (2)	CD Rom (à l'étude en 32 bits)
	Télécommande infrarouge	Super Nintendo Scope

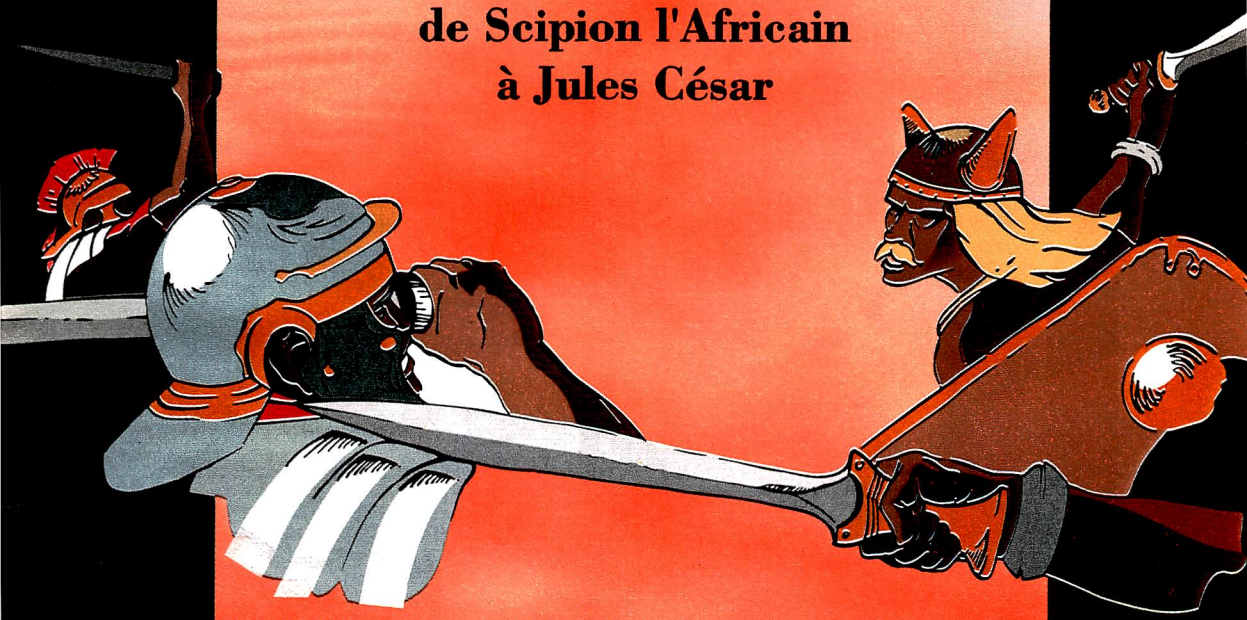
(1) *Scrolling* : effet de travelling de l'image
(2) Modèle 8 bits de Sega

Serez-vous à la hauteur de votre prochain rendez-vous avec l'Antiquité ?

RES PUBLICA

ROMANA

Le jeu d'intrigues politiques dans la Rome des sénateurs de Scipion l'Africain à Jules César



© 1992 AVALON HILL. Version française éditée sous licence de The Avalon Hill game Compagny par :

Jeux Descartes, 1 rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris cedex 15 - Tél : 46.48.43.20

AH GAMES OF STRATEGY

DESCARTES EDITEUR

Je désire recevoir :

❑ une documentation gratuite sur le jeu de simulation RES PUBLICA ROMANA

❑ le jeu RES PUBLICA ROMANA au prix de 299 F. franco de port.

Ci-joint mon règlement de 299 F. (chèque, mandat, CCP) à l'ordre de : JEUX DESCARTES, 1 rue du Colonel Pierre Avia, 75503 Paris cedex 15

NOM.....PRENOM.....

ADRESSE .....

.....

PAR CHRISTINE MERCIER

NOËL 92 : DES JEUX ÉCOLOS

Fabriquer du papier recyclé, comprendre la pollution, ou encore devenir un spécialiste des quatre éléments qui composent notre Terre, ce globe si beau vu de la Lune : les apprentis écologistes sont à l'honneur.

1 L'ENVIRONNEMENT EN QUESTIONS
350 F

La terre, l'air et l'eau, c'est la vie. *Oïkos Logos* (qui signifie, en grec, "la science du logis", c'est-à-dire la connaissance de l'environnement), est un jeu présenté par la boutique de la Cité des sciences et de l'industrie. Il teste les capacités des joueurs à défendre la planète menacée. Sur un plateau divisé en quatre zones colorées (la vie, l'eau, l'air, le sol), chaque joueur se déplace et doit répondre en arrivant sur une case à une, deux ou trois questions de difficulté croissante sur chacun de ces thèmes. Par exemple : «Que fait-on des déchets comme les feuilles mortes ou les branches d'arbres taillés ?» Ou encore : «Comment l'atmosphère de la Terre s'est-elle enrichie en oxygène au cours des âges ?» Si la réponse est bonne, le joueur gagne un anneau de couleur, signe de son aptitude à protéger ce mi-

lieu. Pour corser le tout, le joueur doit tirer des cartes "événement" qui, selon la situation décrite (planter une bonne variété d'arbres dans son jardin, fonder une association antipollution, prendre parti pour ou contre la construction d'un hôtel sur une plage, etc.), le font avancer ou reculer. Le gagnant est le premier à revenir sur la case "vie" avec quatre anneaux. Ce jeu rassemble 4 000 questions et réponses qui rappellent l'actualité récente, et demande de bonnes connaissances de base. Il est entièrement réalisé en papier et carton recyclés et s'adresse à des joueurs à partir de 12 ans.

2 RECYCLER LE PAPIER
200 F

Recycler les vieux journaux en feuilles de papier vierge, utilisables pour écrire et dessiner : c'est ce qu'apprend aux enfants le jeu *Paper Maker*, proposé par la Cité des sciences et de l'industrie. De la pâte à papier au feuillet personnalisé (agrémenté de végétaux ou coloré à l'aide de peinture en poudre), le processus prend environ deux jours, mais le résultat est très valorisant pour l'enfant.

3 QUESTIONNEZ-VOUS SUR LA PLANÈTE 199 F

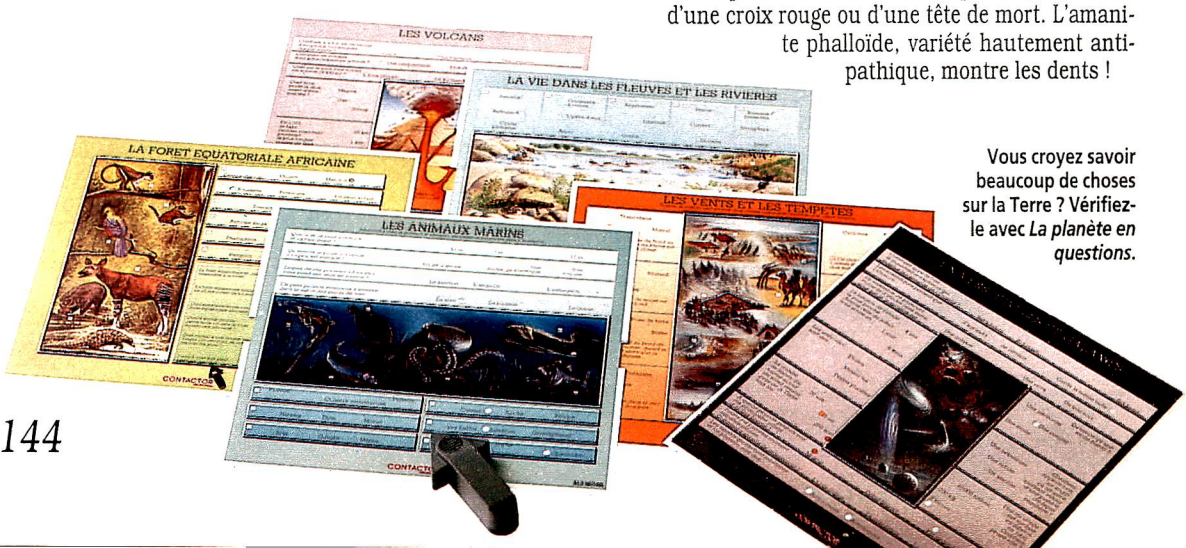
Les astéroïdes sont-ils des étoiles ou des météorites ? Le rhinocéros blanc est-il en voie de disparition ? De quoi est fait le noyau interne de la Terre ? Océans, forêts, animaux, cosmos : *La planète en questions* (de chez Nathan) aborde 76 sujets, sous la forme de 800 questions. On pose une fiche perforée traitant un thème sur une plaque dotée de pastilles magnétiques. Selon la carte choisie, l'emplacement des bonnes réponses varie et, dès que le joueur place une flèche, munie d'électrodes, sur la bonne pastille, celle-ci émet un "bip". Nathan recommande ce jeu à partir de 9 ans, mais il nous a semblé cependant que certaines questions s'adressaient à des enfants plus âgés.

4 UN PUZZLE GRANDEUR NATURE
250 F

L'Ecrin de papier propose des puzzles découpés en vingt très grosses pièces, ce qui les destine tout particulièrement aux jeunes enfants. Photos d'animaux, d'insectes ou de végétaux, très grossis et détaillés, sont accompagnées d'un texte décrivant l'espèce représentée. Les mêmes modèles existent pour les adultes avec quatre fois plus de pièces. On peut également les faire réaliser sur commande d'après les photos de son choix. Chaque puzzle est présenté dans un élégant classeur en carton recyclé.

5 CONNAISSEZ-VOUS LES CHAMPIGNONS ? 280 F

La cueillette des champignons en toute saison, c'est enfin possible : *Cryptogame* (de Connectic) vous propose 38 variétés à ramasser – comestibles, vénéneuses ou mortelles – sur un beau plateau représentant un sol de sous-bois très dense, riche en espèces végétales. Quatre joueurs, de 5 à 99 ans, doivent rassembler cinq champignons comestibles de la même espèce dans leur panier (cèpe de Bordeaux, girolle, coulemelle, amanite des césars, russule charbonnière). Bien sûr, le parcours est semé d'embûches : perdre son couteau, vider son panier, trébucher et renverser sa cueillette, manger un petit bout de champignon – très risqué ! –, etc. Il existe de nombreux pions pour chaque espèce et les joueurs échangent les doubles. Tout est joliment dessiné : les champignons comestibles sourient et sont accompagnés d'une petite assiette ou d'un panier, les autres d'une croix rouge ou d'une tête de mort. L'amanite phalloïde, variété hautement antipathique, montre les dents !



Vous croyez savoir beaucoup de choses sur la Terre ? Vérifiez-le avec *La planète en questions*.

6 UN LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE 260 F

L'effet de serre, les pluies acides et la pollution de l'air se retrouvent (à une échelle miniature, rassurez-vous !) dans les 150 expériences du coffret *Ecology*, de la Cité des sciences et de l'industrie. Voilà qui devrait sensibiliser les enfants aux atteintes que peut subir leur environnement naturel. Dans les trois tiroirs du coffret, on trouve un brûleur à alcool, une balance avec plateau, quelques produits chimiques (hydroxyde de calcium, bicarbonate de soude, levure chimique, etc.), des flacons vides, une loupe, des tubes à essais, du papier pH, du fil de fer, du papier de verre, etc. Tout le matériel pour aborder des phénomènes tels que la chaleur (fabriquer un thermomètre), l'effet de serre, l'atmosphère (qu'est-ce qu'un baromètre ?), mais aussi les pluies acides (distinguer acide et base, observer le gaz carbonique dilué dans l'eau), la pollution de l'air, le rôle des bactéries (comprendre la fermentation, faire du vinaigre), le recyclage, les poubelles, les usages de l'eau domestique, etc. Ce coffret s'adresse à des enfants de 10 ans et plus, de préférence sous la surveillance d'un adulte.

Tous les instruments de l'apprenti écologiste.

7 MILLE BORNES DANS LA NATURE 180 F

Etes-vous apte à protéger les végétaux ? Avec *Les mille bornes de la nature* (Dujardin), quatre joueurs (ou quatre équipes) doivent, pour gagner, amasser le plus grand nombre de végétaux (arbres, fleurs, champignons, épices, etc.), appartenant à un maximum de groupes différents, afin de les protéger. Ils cherchent à rassembler les sept plantes d'un même groupe en tirant et rejetant des cartes. Pour empêcher la progression d'un joueur, les autres l'attaquent avec des cartes "agression" à la nature : défrichement, incendie, sécheresse, pollution des eaux... Une seule solution pour s'en sortir : opposer la carte "protection" correspondante (reboisement, Canadair, pluie, etc.).

8 LA PLANÈTE BLEUE 980 F

La Terre, on la connaît vue du ciel, mais contemplée depuis la Lune, quel spectacle ! La boutique de la Cité des sciences et de l'industrie propose un globe terrestre tel que l'observent les satellites. C'est en effet grâce à leurs clichés que cette mini-Terre a été réalisée. Les photos ont été prises à des périodes différentes, au moment où chaque continent est dégagé des nappes de nuages qui masquent périodiquement les deux hémisphères.

Observée de l'espace, la Terre paraît bleutée à cause de son atmosphère – d'où son surnom de "planète bleue". Mais sur ce globe, les couleurs réelles des forêts, des déserts, des mers, etc. ont été rétablies. Pour faciliter la lecture, les rivières sont élargies, le nombre d'icebergs réduit, les sommets montagneux recouverts d'une neige d'été, et aucun nom de lieu ne vient troubler cette immensité sans frontières, vierge de toute vie humaine ou animale. La planète apparaît comme un ensemble de grandes masses colorées, traversées ici et là de fissures bleues. L'Europe, par exemple, se présente comme une forêt profonde face au désert saharien, de l'autre côté de la Méditerranée. On remarque un ouragan se dirigeant vers le sud-est du continent américain, un banc de nuages au large du Chili, phénomène typique de cette région. Un livret contenant un jeu-questionnaire pour tester ses connaissances sur la planète et des informations sur le système solaire accompagne le globe. L'espoir des auteurs de ce travail : «Mettre un globe dans chaque foyer.»

9 NETTOYER LES FONDS MARINS 170 F

Tous les personnages du dessin animé Captain Planet peuvent s'installer dans *L'éco sous-marin*. Ce jouet amphibie vient compléter la collection de jouets Captain Planet (de Kenner Parker). Sur le thème de la lutte contre les "méchants pollueurs" des océans, ce petit sous-marin, destiné aux enfants à partir de 4 ans, est équipé de pinces pour collecter fûts de produits toxiques et autres déchets jetés au fond des mers. Un dispositif permet aussi de lancer des projectiles "antipollution". Tous les personnages de la série télévisée – dont certains parlent – peuvent piloter l'engin.

Christine Mercier

TOUS LES JEUX DU MONDE !

JEUX DESCARTES

Jeux de société, jeux de simulation, figurines, jeux de casino, cadeaux...

, rue des Ecoles
005 PARIS
: 43 26 79 83
Cluny- La Sorbonne

39, Bld Pasteur
75015 PARIS
Tél : 42 34 25 14
M° Pasteur

DESCARTES
BOUTIQUES

13, rue des Remparts
d'Ainay
69002 LYON
Tél : 78 37 75 94
M° Ampère Victor Hugo

6, rue Meissonier
75017 PARIS
Tél : 42 27 50 09
M° Wagram

o réalisation BEICIP-FRANLAB image Satellite METEOSAT 2

CARREFOUR DE L'INNOVATION

INFORMATION

L'encyclopédie de la technologie

Deux mille cinq cents pages et trois tomes, c'est à la fois peu et beaucoup. Parce que le *Dossier des technologies*, que publie l'Association des centraliens sous la forme de trois épais volumes, en petits caractères et format A4, présente l'"état de l'art" dans les seize grands secteurs de la technologie moderne.

Cet état fut dressé il y a quelques mois seulement, lors du premier colloque "Entretiens de la technologie" (1), organisé par l'Association des centraliens, l'Ecole centrale de Paris et la Société des amis de Centrale. L'objectif essentiel était d'améliorer la diffusion de la technologie entre les différents secteurs économiques et, en particulier, de transférer au tissu industriel les acquis concrets des organismes de recherche et de veille technologique.

Lors de ce colloque, 350 experts et ingénieurs de tous pays ont confronté et complété leurs savoirs respectifs à l'occasion de quelque 80 ateliers d'information. Ce sont les interventions de ces spécialistes et les actes de leurs travaux, qui ont été réunis et – il s'agit d'un événement majeur dans la communication technologique – nous sont aujourd'hui présentés, classés par grands thèmes. De la mécanique aux traitements de surface, des vibrations à la productique et à l'informatique industrielle, des télécommunications à l'environnement, des biotechnologies au génie civil, au bâtiment et à la gestion de la technologie, etc. Pour chaque secteur traité, on a en outre regroupé l'ensemble des sources d'information en une fiche synthétique.

Ce *Dossier des technologies* constitue ainsi un outil de référence extrêmement précieux pour tous ceux, chercheurs, entreprises ou étudiants, qui sont conscients que la technologie constitue un enjeu capital pour l'économie française. Sans compter que ces ouvrages apportent en plus tant des informations pratiques, immédiatement "opérationnelles" pour les petites et moyennes entreprises, que des éclairages sur les technologies du futur.

Le *Dossier des technologies* est diffusé par Londez Conseil, 116 avenue Gabriel-Péri, 93400 Saint-Ouen. Tél. : 1 40 11 87 08. Il coûte 1 600 F (HT) et 2 076 F franco de port.

(1) Le second colloque se tiendra en mars 1994.

COMMERCE INTERNATIONAL

Des techniciens et des spécialistes, pas des politiques et des touristes !

Nous avons peut-être un peu trop tendance à nous apitoyer sur notre propre sort quant à l'efficacité – à l'inefficacité – des missions commerciales que nous envoyons au Japon et, plus généralement, en Asie. Car c'est nous, en fait, qui créons les conditions de cette inefficacité.

C'est ce que constate de façon assez virulente le Dr Dubois, qui préside l'association Nord-Japon et qui a participé à beaucoup de ces voyages dits "de prospection économique". «Ces derniers, constate-t-il d'abord, comprennent le plus souvent un nombre beaucoup trop élevé de politiciens et de leurs relations, alors qu'on néglige la présence de techniciens.» Un exemple bien concret ? Une récente mission au Japon du conseil régional Nord-Pas-de-Calais comportait «une quarantaine de politiques, alors qu'on n'y comptait guère de techniciens ou de spécialistes de ce pays». Les Japonais, on veut bien le croire, ont été les premiers étonnés...

En outre, «la préparation de ces missions apparaît insuffisante, non dans le programme, mais dans les objectifs». Dans ces conditions, on ne sera pas surpris par «le total manque de suivi des missions : après un voyage au Japon de responsables politiques de la région, il n'y a même pas eu une réunion de synthèse !»

Au total – ce sont les Asiatiques eux-mêmes qui le font remarquer –, «ces missions comprennent généralement trop de personnes pour être discrètes, leurs participants organisent trop de réceptions pour être efficaces et logent uniquement dans les hôtels

(Suite)

les plus somptueux !»

Ne nous oublions pas, nous, les journalistes. Ceux qui sont accrédités auprès de ces missions donnent trop souvent «l'impression que leur présence n'a d'autre but que de ramener quelques photos en souvenir d'un voyage où les à-côtés touristiques prennent souvent le pas sur les impératifs économiques».

Le Dr Dubois, on le voit, ne craint pas l'administration de violents électrochocs. Il est vrai que la médecine est aussi concernée. Espérons qu'ils seront suffisamment bien tolérés par le monde politico-économique pour être efficaces...

■ ***L'appareil pour réaliser des décorations culinaires*** *avec des légumes de toutes les formes (Science & Vie n° 900 de septembre 1992, p. 116) a intéressé un nombre très important de nos lecteurs. Les deux adresses figurant sur la documentation qui nous a été remise sont malheureusement fausses. Nous espérons que l'inventeur ou des personnes de sa connaissance liront ces lignes. Nous leur demandons de se mettre au plus vite en contact avec : Monique Vogt, Science & Vie courrier des lecteurs. Tél. direct : 1 46 48 48 66.*

■ ***A la recherche d'un financement ?*** *Une conférence répondant à cette préoccupation, "les Clefs d'un dossier accepté", organisée par LBM, se tiendra le 17 décembre à l'hôtel Royal Monceau, à Paris. Tous les trucs, astuces et ficelles seront présentés par des experts financiers. Et toutes les sources de financement possibles, parfois mal connues, comme les concours régionaux, seront rappelées. Contact : Stéphanie Pavie, LBM. Tél. : 1 48 57 51 50.*

CONTREFAÇON

L'empreinte génétique contre l'imitation horticole

Garantir aux horticulteurs, et tout spécialement aux viticulteurs, qu'on leur fournit bien exactement les souches "pures" qu'ils croient acheter, et non des variétés, des dérivés ou des imitations frauduleuses, c'est le travail auquel se sont attelés deux chercheurs australiens, le Dr Nigel Scott et Mark Thomas, du département d'horticulture du CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, l'équivalent de notre CNRS).

Jusqu'à présent, la plupart des plantes étaient identifiées par leurs caractéristiques physiques : forme et nombre de feuilles, de pétales, de fruits, etc. Tout cela restait très subjectif, ces caractéristiques descriptives étant liées à l'environnement direct de la culture des plantes et variant fortement selon les régions, la nature des terres et même les microclimats.

Il existe en revanche une donnée indiscutable, une pièce d'identité si sûre qu'elle fait foi en criminologie ou en biologie : c'est l'empreinte génétique. «Le caractère génotypique de la plante, disent les chercheurs australiens, matière de base de tout organisme, est une donnée qui ne peut être modifiée que par la reproduction ou la mutation, et non par le climat ou toute autre influence extérieure de circonstance». Au point, précise le Dr Scott, qu'«en théorie, le raisin de Chiraz d'aujourd'hui est le même que celui originaire de Perse, il y a cinq mille ans».

Ces empreintes génotypiques présentent cet intérêt supplémentaire qu'elles permettront non seulement d'identifier les espèces et les cépages, mais qu'elles donneront aux horticulteurs et aux viticulteurs la possibilité de protéger, de désigner et, en quelque sorte, de "breveter" leurs propres créations. Toute information auprès de ces chercheurs : CSIRO Division of Horticulture, Hentley Grove, Urrbrae, SA 5064, Australie.

AUTOMOBILE

Voici l'hybride solaire-hydrogène

Vingt-cinq kilos – soit 3,5 m² – de cellules recouvrent ce véhicule biénergie solaire-hydrogène. Les cellules solaires recouvrent les parties supérieures de la voiture. Transmise à une batterie nickel-cadmium, leur énergie permet, les jours de soleil, de rouler deux heures à 40 km/h. Si le temps est nuageux, ou la nuit, la même batterie est alimentée par un classique "*fuel cell*", ce dispositif qui transforme directement en courant l'énergie libérée par l'oxydation d'un combustible – en l'occurrence, ici, de l'hydrogène. Le *fuel cell* est placé à l'avant du véhicule, la batterie à l'arrière.

Construite par Sanyo, la "Mira I" ne pèse que 400 kg. Evidemment, on est un peu déçu quand on compare les performances réelles de cette voiture avec ses airs de bolide !

Thierry Joly

Voici les "mini-pompiers"...

Cet engin, qui parait dérivé à la fois du véhicule tout terrain, de "l'auto de plage" et de la voiturette de golf, est en fait une voiture de pompiers, la plus petite et compacte de Grande-Bretagne – et peut-être du monde.

La MULE (*Multi Purpose Light Engine*) a été initialement conçue pour rouler à 38 km/h dans les ruelles les plus étroites de deux villages de pêcheurs de Cornouailles, Looe et Polperro, où le matériel de lutte contre l'incendie ne pouvait jusqu'ici être porté qu'à dos d'homme.

La MULE est dotée d'échelles dépliables, de tuyaux, de pompes, d'un appareil d'aide à la respiration, etc., spécialement adaptés à ses dimensions.

Pour tout renseignement : Mr Merwyn Kettle, Cornwall County Fire Brigade, Liskeard, Cornwall, Grande-Bretagne. Tél. : 19 44 057 942 392.

... et le robot pompier

Très hautes températures, atmosphères explosives, zones fortement irradiées, cette machine-robot montée sur chenillettes et télécommandée ne craint rien des milieux les plus hostiles et les plus dangereux. On la voit ici s'attaquer, grâce à la multitude d'outils dont elle est dotée et aux caméras qui l'équipent, à l'incendie d'une tête de puit de pétrole, semblable aux feux qui ont dévasté le Koweit.

Le pilote qui la dirige est logé à bonne distance de l'incendie, dans un camion hermétiquement clos. De là, il peut vérifier la température en divers points de l'engin et diriger précisément les jets d'eau ou de mousse vers le feu et son foyer, mais aussi vers son propre véhicule pour en assurer le refroidissement. Il dirige ces manœuvres en observant le sinistre par la fenêtre panoramique de son camion ; quant aux mouvements délicats, ils sont pilotés au moyen des téléviseurs du poste de commande, reliés à des caméras. Au nombre de trois, ces dernières sont placées sous chaque aile du bouclier et au creux de la flèche.

L'essai en conditions réelles du véhicule et de ses équipements, que montre notre photo, a établi que l'ensemble de ce nouvel engin de lutte contre l'incendie supporte sans ciller des températures de l'ordre de 2 000 °C.

L'engin, baptisé Safer, a été conçu et construit par la société SubSea, d'Aberdeen, en Ecosse, spécialiste mondial de la fabrication de véhicules sous-marins télécommandés. La société SubSea travaille déjà depuis longtemps à construire des engins télécommandés et leurs outillages pour l'inspection des plates-formes de forage et des pipe-lines, la construction de tours de forage, la récupération des matériels et l'assistance aux scaphandriers. Pour tout renseignement : Tom Caplis, SubSea Offshore Ltd, Greenwell Base, Greenwell Road, Aberdeen, AB1 4AX, Ecosse, Grande-Bretagne. Tél. : 19 44 224 896 505.

(Suite)

ARCHITECTURE

Quand les femmes repensent leur maison

Combien de femmes ne pestent-elles pas contre les architectes et les décorateurs d'intérieur, parce que l'évier ou les sommiers, trop bas, leur cassent les reins ou, au contraire, parce que les placards, trop hauts, sont inaccessibles, ou encore parce qu'elles ne trouvent jamais de prise de courant là où c'est vraiment nécessaire ?

Le salon Habitat 92, qui s'est tenu à Örebro en Suède, a eu le mérite de permettre à un groupe de femmes, puisque ce sont elles qui se sentent, pour le moment, le plus concernées par ces problèmes, de présenter le projet d'un immeuble d'appartements répondant à leurs besoins et à leurs rêves. C'est le projet *Athena*, une construction en étoile comportant 30 appartements et des espaces extérieurs. Il a été présenté par un groupe de travail animé par Helena Ljunghe, architecte, et le Dr Annika von Schiele, chargée de la recherche et de la coordination.

Parmi les idées exprimées dans cette création : un maximum de lumière dans chaque appartement, grâce à la forme en étoile de l'immeuble ; une hauteur de plafond portée de 2,40 m, norme usuelle, à 2,60 m ; des cuisines spacieuses où plusieurs personnes peuvent travailler en même temps ; un espace spécial pour le tri et le stockage, avant recyclage, des déchets domestiques ; des étagères de placards pouvant se tirer afin de les nettoyer facilement ; l'encastrement de toutes les armoires et placards, jusqu'au plafond, ce qui élimine les espaces inaccessibles, véritables "ramasse-poussière" ; l'absence de tuyauteries ou de fils électriques apparents gênant la disposition des meubles ; la pose pratique des prises et des interrupteurs rassemblés sur des panneaux verticaux...

Dans le projet *Athena*, le hall d'entrée comporte un espace pour la collectivité ; les cages d'escalier bénéficient de la lumière du jour en provenance de deux directions ; les paliers sont équipés d'un "coin-rangement" et d'un espace réservé aux activités sociales et communautaires ; à l'étage supérieur de l'immeuble, une salle avec un coin-cuisine peut servir à l'usage souhaité par les habitants.

La dimension écologique n'a pas été oubliée : les matériaux utilisés ne sont pas nocifs pour l'environnement et beaucoup de place est réservée au ramassage des ordures et à la fabrication de compost. Enfin, l'extérieur de l'immeuble est également aménagé : garages pour les voitures et les bicyclettes et jardin communautaire où les habitants disposent de parcelles individuelles pour leurs cultures.

On le voit, les femmes sont pleines de bonnes idées concernant l'habitat. Qui saura, qui voudra s'en soucier et les mettre en œuvre ?

PROTOTYPE

Demain le téléphone à images

Voilà des lustres qu'on en parle (en fait, depuis les années soixante-dix) et voici que, soudain, le téléphone à images doté d'un écran et d'une caméra permettant de voir son correspondant, le visiophone numérique, échappe à la science-fiction : il va non seulement voir le jour, mais encore devenir prochainement un produit grand public.

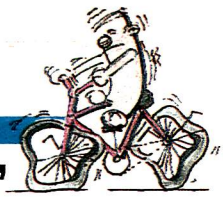
La première étape concrète se déroule actuellement dans le cadre de l'expérimentation européenne de visiophonie *Eve 2*. L'opération a été lancée par les gestionnaires du téléphone de 6 pays : la France, la Grande-Bretagne, l'Allemagne, la Norvège, les Pays-Bas et l'Italie. Chacun de ces 6 opérateurs installe, auprès de grandes entreprises clientes, 50 appareils, 300 donc au total – ce qui constitue une première mondiale. Notons que des négociations sont en cours pour élargir ce test d'utilisation réelle à plusieurs autres pays européens, et même aux Etats-Unis et au Japon. Ces visiophones sont construits par 15 entreprises différentes, telles que Alcatel-Matra, IBM et Hewlett-Packard.

Jusqu'en juillet 1993, ces entreprises utiliseront le visiophone pour leurs communications à travers l'Europe. En contrepartie, elles acceptent d'être interrogées régulièrement par les opérateurs qui, grâce à ces informations, pourront améliorer le service.

Il s'agit ainsi, pour l'instant, de répondre à trois objectifs principaux : promouvoir le marché du visiophone, analyser les besoins des utilisateurs professionnels, s'assurer de la compatibilité des terminaux provenant de multiples constructeurs et raccordés aux RNIS (Réseau numérique à intégration de services) des pays participants.

L'étape suivante, dès 1993, consistera à stimuler et à ouvrir le marché en s'adressant toujours à des entreprises, mais à part entière et de toute taille. Pour faire baisser les prix (80 000 F HT environ pour les entreprises participant à la première étape), France Télécom lance un appel d'offres européen portant sur 10 000 appareils. On estime que les modèles bas de gamme seront alors vendus 10 000 F et les modèles haut de gamme entre 25 et 30 000 F.

Enfin, à l'horizon 1995, les visiophones devraient atteindre le grand public, avec des appareils proposés à des prix de 5 000 F et moins. On pourra alors se télévisiophoner en famille...



Révision générale pour la "petite reine"

En quelques années, le vélo a beaucoup évolué. Vélo de tous les jours (la vieille "bicyclette hollandaise"), de sport – le "roi de la petite reine" (1) – ou VTT (un marché qui a littéralement explosé), il est devenu une "bête" racée, complexe et coûteuse. L'usage des matériaux composites, la multiplication des pièces de plus en plus sophistiquées et les réglages extrêmement précis exigent de réelles connaissances techniques.

En même temps, les circuits de distribution ont été bouleversés. Les magasins traditionnels du cycle, 13 000 en 1980, 4 000 aujourd'hui, ne détiennent plus que 19 % du marché. Ils n'assurent le service après vente que des vélos qu'ils vendent. Aussi leur stock de pièces détachées est-il le plus souvent limité. Ils préfèrent, question de rentabilité, se consacrer aux deux-roues motorisés. Ce sont les magasins de sport et surtout les grandes surfaces qui effectuent désormais le gros des ventes (environ 3 millions par an). A eux seuls, les hypermarchés vendent un vélo sur deux – en matière de VTT, leur part de marché a, cette année, augmenté de près de 51 % ! Or, achetés dans un "hyper", les vélos ne bénéficient d'aucun service après vente. Il faut se débrouiller tout seul, ne serait-ce que pour laver et graisser son VTT après dix jours de raid... Si bien qu'on estime à environ 20 millions les bicyclettes, du vélo de grand-père au vélo d'enfant, qui attendent désespérément, au grenier ou à la cave, la simple petite remise à neuf qui leur permettrait de circuler à nouveau. Le moins polluant et le plus sportif des moyens de locomotion souffre singulièrement d'un cruel manque d'assistance technique...

Tout cela justifie amplement l'idée originale – c'est une première mondiale – d'ouvrir l'Atelier du cycle (10 rue Robert-Schumann, 94220 Charenton. Tél. : 1 45 18 08 05), qui se fait fort d'entretenir et de réparer sous vingt-quatre heures tous les vélos, du plus simple au plus technique. Un marbre redresseur de cadres (70 % des vélos de basse et moyenne gammes sont voilés avant l'achat, car on ne voyage pas sans dommages de Taïwan à Paris...), une station de lavage haute pression, un outillage spécifiquement "cycle", des milliers de pièces, trois mécaniciens passionnés, véritables "docteurs ès cycles", sont là pour assurer les remises en état. En toute clarté et toute garantie : sur rendez-vous, l'équipe de l'Atelier dresse le diagnostic de l'opération, le devis est immédiat et gratuit, les pièces changées sont garanties, la réparation est testée sur le terrain. A titre indicatif, une révision générale – contrôle et réglage des dérailleurs, freins, jeu de pédalier, jeu de direction, roues et gonflage – coûte 250 F ; la révision, le démontage, le graissage et le réglage d'un pédalier, 80 F.

L'Atelier permet en outre de se documenter et d'essayer, sur des *home-trainer* ou dans le tout proche bois de Vincennes, les dernières nouveautés (pédales, cadres, etc.), voire de se composer, pièce par pièce, avec l'aide d'un conseiller technique, le vélo parfait et unique dont on rêve. C'est aussi le seul endroit en France où l'on peut trouver la totalité des systèmes Shimano (pour les non-avertis : le numéro un mondial des composants mécaniques, avec 80 % du marché) et l'ensemble des produits Look (leader sur le marché des pédales automatiques, des cadres de carbone et des vêtements pour cyclistes).

(1) Voir *Science & Vie* n° 902, p. 118.

■ ***Agro-alimentaire : de plus en plus de "plus" et de moins en moins de "moins".*** *Ralentissement dans l'innovation agro-alimentaire, si l'on en croit le dernier Salon international de l'alimentation (SIAL). 35 000 produits exposés sur 100 000 m² par 400 entreprises de 73 pays, mais seulement 187 produits nouveaux, contre 730 lors du précédent salon. Ces innovations traduisent la progression de la demande en plats présentés en portions individuelles et, surtout, consacrent la chute libre (– 30 %) des produits "moins" (de sel, de gras, etc.), et l'avènement des produits "plus" (enrichis en vitamines, fibres, protéines, etc.).*

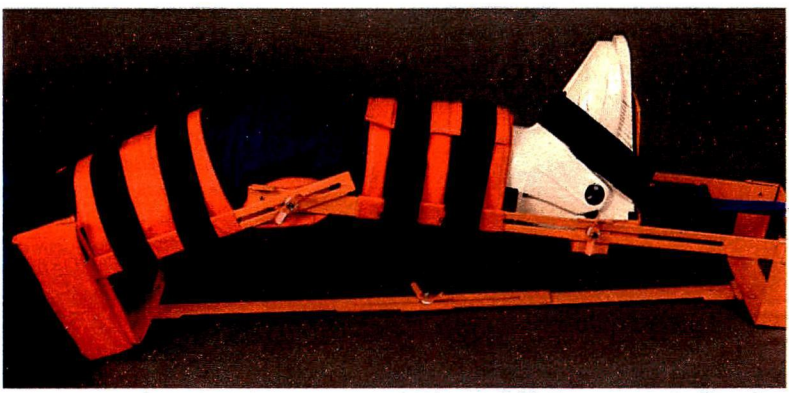
■ ***L'écu, quel intérêt pour l'entreprise ?*** *C'est le thème de la journée d'étude organisée le 8 décembre à la Chambre de commerce internationale par Leader Business Management. Des experts-comptables et des financiers exposeront tous les avantages que devrait susciter pour les firmes le développement de l'écu : la sécurité financière sur les placements et financements, la facturation en écus (un nouvel argument commercial), les intérêts comptables et fiscaux, le cadre juridique et les perspectives de développement de l'entreprise. Contact : Stéphanie Pavie, LBM. Tél. : 1 48 57 51 50.*

(Suite)

DES MARCHÉS À SAISIR

Les innovations, et les techniques et procédés présentés dans cette rubrique ne sont pas encore exploités sur le marché français. Il s'agit d'opportunités d'affaires, qui semblent "bonnes à saisir" pour les entreprises industrielles et commerciales françaises. Comme dans l'ensemble des articles de "Science & Vie", les informations que nous sélectionnons ici sont évidemment libres de toute publicité. Les sociétés intéressées sont priées d'écrire à "Des marchés à saisir", "Science & Vie", 1 rue du Colonel-Pierre-Avia, 75015 Paris, qui transmettra aux firmes, organismes ou inventeurs concernés. Aucun appel téléphonique ne pourra être pris en considération.

UNE ATTELLE INTELLIGENTE



Quoi ?

Une attelle, dont la première qualité est de ne pas empirer l'état du blessé, conçue par un médecin qui, habitant la montagne, voit défiler tout l'hiver des victimes d'accidents de ski.

Comment ?

Dans les stations de sports d'hiver, on compte 80 000 accidentés de ski par an, dont 45 % sont des traumatisés des membres inférieurs.

Jusqu'ici, tous les dispositifs utilisés entraînaient la mise en extension de la jambe dans le prolongement de la cuisse.

Or, une telle géométrie est tout à fait exceptionnelle : rappelons que la jambe est, en effet, le plus souvent fléchie, – ce qui est d'ailleurs conforme à l'anatomie, puisque c'est la position de repos de l'articulation du genou.

Cette nouvelle attelle permet, grâce à un ingénieux système de barres coulissantes, de supports et d'attaches en caoutchouc, de relever le blessé tout en respectant l'angle du genou après le traumatisme et en calant le pied. Ce calage a pour effet, quels que soient la taille du pied, son angle par rapport à la jambe et le type de chaussure utilisé, d'exercer une légère traction qui soulage immédiatement la douleur du traumatisé. Elle est adaptable en fonction de la taille de la cuisse et de la jambe de chaque blessé, de l'enfant jusqu'aux adultes de grande taille.

La nouvelle attelle est d'une mise en œuvre très aisée. Elle permet aux pisteurs secouristes, qui, quelle que soit l'excellence de leur formation et leur bonne volonté, ne sont pas des médecins, d'agir cependant efficacement pour le blessé dès sa prise en charge.

Pour qui ?

Cette attelle, qui commence à être fabriquée, reste d'un prix de revient relativement peu coûteux (environ 2 000 F HT). Son inventeur cherche des relais pour la mise sur le marché en France et des distributeurs à l'étranger.

UNE BARQUETTE POUR LES "DÉJEUNERS EN VILLE"

Quoi ?

Un mini plateau-récipient, qui contient tout ce qui est nécessaire à un repas tranquille et qui facilite le transport. Pour tous ceux qui doivent manger "sur le pouce" les plats du jour vendus par un nombre de plus en plus large de commerces alimentaires.

Comment ?

L'originalité apportée par cette barquette en plastique transparent (ce qui rend difficile de vous la présenter en photo) est qu'elle ne comporte pas seulement un récipient creux servant à contenir la nourriture. Un orifice central lui permet également de recevoir une boîte-boisson ronde, en aluminium ou en acier, de 33 ou 50 cl, tandis qu'un couvert, une paille et un sachet rince-doigts l'accompagnent également.

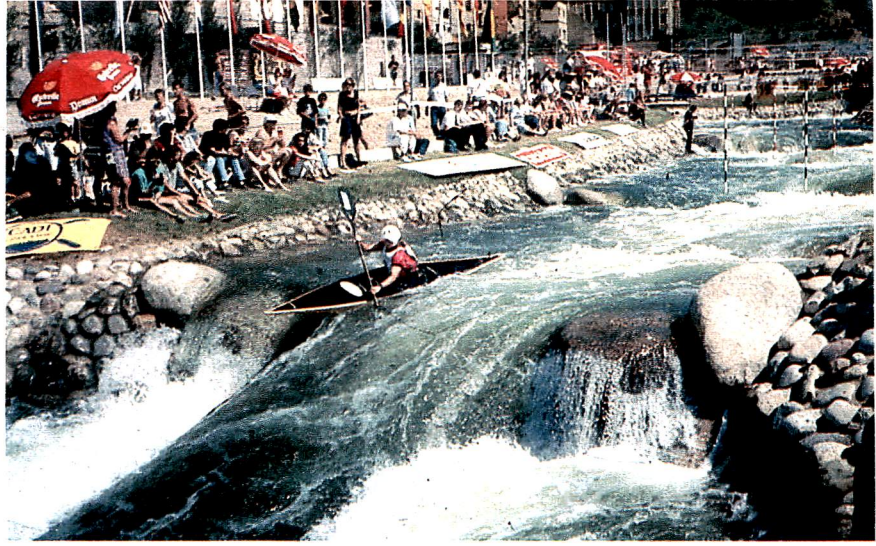
Ainsi le consommateur n'a-t-il plus qu'à choisir la barquette contenant le plat qu'il souhaite, puis sa boisson préférée. Il rassemble les deux éléments et peut aussitôt "se mettre à table". Mais l'orifice conçu pour la boîte-boisson peut servir de poignée afin de tenir et transporter la barquette. Tous ceux qui doivent grignoter hors de chez eux apprécieront.

Pour qui ?

L'inventeur cherche des sociétés spécialisées dans la préparation et la distribution de repas individuels hors domicile. Il a fait réaliser une présérie de barquettes afin de pouvoir fournir des échantillons.

Comment passer dans cette rubrique

Si vous avez conçu une innovation ou un produit nouveau, adressez à "Des marchés à saisir" un descriptif de votre invention le plus clair possible, en vous inspirant de la présentation que nous avons adoptée pour cette rubrique. Joignez-y une copie de votre brevet et une photo ou un schéma de votre prototype. Enfin faites preuve de patience et de tolérance ; nous ne pouvons présenter toutes les inventions, et celles que nous publions doivent être d'abord étudiées par notre service technique.



IDENTIFICATION

Le chien "haute technologie" est arrivé

Qu'est-ce qu'un chien berger sarde peut avoir en commun avec un chat suisse domestique ou un cheval pursang ? La réponse est le *Transponder*, un équipement de relais radio miniaturisé qui peut être implanté chez un grand nombre d'animaux afin d'en assurer une identification sûre et immédiate.

Face au problème que posent les chiens porteurs de maladies – menace pour la santé des quelque trois millions de moutons de leur île – les Sardes ont fait appel à une industrie suisse de pointe, afin que celle-ci les aide à identifier et à contrôler les chiens et leurs maîtres.

Proposée pour remplacer le tatouage, l'implantation d'une minuscule marque d'identification est une solution plus sûre, plus fiable, moins douloureuse et qui peut être réalisée par un vétérinaire en l'espace de quelques minutes seulement. Une fois l'implant posé, l'animal possède une marque d'identification à vie, avec son propre signe distinctif unique et inimitable. Un scanner portatif est ensuite capable de lire son code et de dire si à un chien déterminé correspond un propriétaire enregistré. Un registre informatisé pour les animaux domestiques est donc la conséquence logique du système. Commercialisé par DataMars (via Ponteggia, CH-6814 Cadempino-Lugano, Suisse. Tél. : 19 41 91 58 27 01), ce système est approuvé et recommandé par la Clinique universitaire de chevaux et de bétail de Berne.

ÉNERGIE

Quand les pompes se transforment en turbines

Une boucle artificielle du *riu Segre*, au pied de la cité historique de la Seu d'Urgell (Catalogne), a permis, lors des Jeux olympiques de Barcelone, de faire découvrir le canoë-kayak en eaux vives à des centaines de millions de téléspectateurs. C'est une station de pompage invisible de quatre groupes submersibles à hélice de 300 kW (la photo ci-dessus en présente trois), qui a permis à cette boucle de rivière, artificielle mais plus vraie que nature, de couler en plein été alors que la Segre était à sec. Cette station de pompage de la compagnie Flygt permettait d'ajuster à volonté le débit entre 5 et 15 m^3/s – un débit qui restait constant du début à la fin d'une compétition.

Mais, l'hiver, le débit de la Segre redevient important. Pour que ce ne soit pas en pure perte, les pompes deviennent alors des turbines et la station de pompage se transforme en micro-centrale électrique. Près de 5 millions de kWh peuvent ainsi être vendus chaque année à la Compagnie catalane d'électricité. Comme quoi il est intéressant de toujours examiner les problèmes sous tous leurs angles...

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

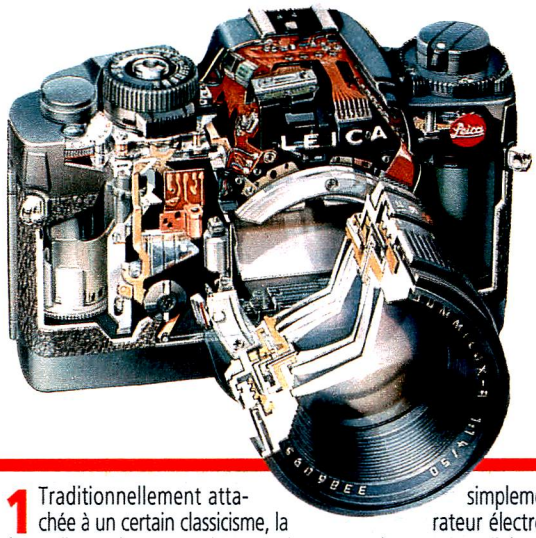
Et pourquoi pas des robinets d'eau tiède ?

L'idée est japonaise et n'a rien de farfelu ; elle est proposée et étudiée avec le plus grand sérieux. Elle découle d'un double constat : d'une part, 90 % de l'eau consommée par les ménages est utilisée tiède, pour la cuisine ou l'hygiène corporelle ; d'autre part, toute l'énergie relâchée dans l'atmosphère par les centrales électriques et d'incinération des ordures l'est en pure perte. L'agglomération de Tokyo gaspille ainsi 20 000 téracalories (1 téracalorie = 10^{12} calories), aisément récupérables pour alimenter des robinets qui fourniraient de l'eau tiède à la place d'eau froide.

Le ministère japonais de la Santé a donc mis à l'étude le préchauffage de l'eau distribuée dans les appartements en utilisant des canalisations existantes. L'eau dite "froide" coulerait alors à 30 °C. Seul inconvénient du système : il faudra pour la boire refroidir l'eau du robinet, ce qui consomme de l'énergie...

LES OBJETS DU MOIS

1
PREMIER LEICA À MICROPROCESSEUR
14 900 F



1 Traditionnellement attachée à un certain classicisme, la firme allemande Leica n'adopte une innovation qu'après qu'elle a été largement éprouvée. C'est ainsi que, pour la première fois, un modèle reflex, le tout nouveau Leica R7, a été doté d'un microprocesseur contrôlant le fonctionnement des divers automatismes et améliorant la rapidité d'exécution des ordres de réglage de l'obturateur et du diaphragme. En particulier, et pour la première fois aussi, l'éclair de flash est dosé en temps réel par mesure de la lumière sur le film.
Le Leica R7 reprend par ailleurs les caractéristiques du modèle qu'il remplace, le Leica R5 : multiprogramme d'exposition (automatisme total, priorité vitesse, priorité diaphragme) et réglage manuel, mesure de la lumière sur l'ensemble du champ ou sélective au centre, obturateur de 16 s à 1/2 000 s et pose B, possibilité de mémoriser les mesures avant cadrage de la photo et déclenchement de l'obturateur.

2 Voici, avec l'Acmel MD, l'un des rares appareils photographiques miniformat sur le marché. Mesurant 8 x 3,7 x 2,7 cm et pesant 60 g, il utilise un micro-chargeur de pellicule 9,5 mm, le même que celui du plus célèbre des miniformats, le Minox. Toutefois, l'Acmel MD est loin d'avoir le même degré de finition. Il possède simplement un obturateur électronique commandé par une cellule au sulfure de cadmium (CDS) pour des durées d'exposition de 2 s à 1/500 s. L'objectif 3,5/15 mm permet la photo rapprochée à 30 cm du sujet. Le posemètre couvre les sensibilités de 25 à 400 ISO. Enfin, un flash automatique de 40 g peut s'adapter à l'Acmel MD.

2
UN APPAREIL PHOTO MINIFORMAT
2 000 F

3
UN 24 X 36 COMPACT GRAND ANGLE ET PANORAMIQUE
2 500 F

3 Les appareils 24 x 36 compacts possèdent généralement un objectif de 25 à 40 mm ou un zoom descendant à 35 mm. Avec le modèle Zoom 280P, Pentax propose un appareil doté d'un très grand angle (zoom 3,5-8 de 28-80 mm). Il possède en outre un dispositif panoramique. Il s'agit d'un limiteur de champ de prise de vue et de visée, qui peut être mis en service et retiré en cours de cartouche 35 mm.
Pour le reste, le Pentax Zoom 280P est un appareil dont toutes les fonctions sont automatiques, avec possibilité de corrections. Il permet également la surimpression et le "vue par vue" automatique (intervalles de dix secondes à une heure).

4 Les appareils ne servant qu'une fois, dits "jetables", sont à la mode et connaissent un grand succès. Pourtant, ils coûtent de 60 à 100 F. Une firme australienne, Hanimex, propose pour 99 F un 24 x 36 classique, l'HD-1, utilisable comme tel, donc avec des films négatifs en 24 poses (sur les "jetables" il y a 20 poses) coûtant de 25 à 35 F. Bien entendu, l'Hanimex HD-1 possède des caractéristiques minimales, mais des performances supérieures aux "jetables" : objectif à mise au point fixe 8/31 mm (net de 1,20 m à l'infini), obturateur au 1/125 s, film de 100 à 400 ISO, poids : 135 g.

5 JVC, inventeur du système VHS, vient de lancer le magnétoscope HR-S 6800 MS, spécialement étudié pour faciliter le montage vidéo. A cet effet, il est tout d'abord au standard S-VHS, lequel assure une définition de 400 lignes (au lieu de 250 en VHS classique), cette haute définition étant nécessaire pour obtenir une certaine qualité malgré les pertes résultant des copies. Ensuite, ce magnétoscope possède l'éventail des caractéristiques nécessaires à un montage : sélection et assemblage automatique des plans à monter sur ordre de l'utilisateur, tête d'effacement, molette pour lire une bande dans les deux sens, insertion de plan, doublage son, télécommande, etc. Bien entendu, le JVC HR-S 6800 MS permet l'enregistrement des programmes de télévision, y compris en format 16/9 pour les émissions D2-MAC et HD-MAC. Le son est aux normes hi-fi stéréo.

4
UN COMPACT 24 X 36 AU PRIX D'UN "JETABLE"
99 F

6
UN MAGNÉTOSCOPE PROGRAMMABLE PAR CODE À BARRES
5 490 F

5
UN MAGNÉTOSCOPE POUR MONTAGE VIDÉO
10 000 F

6 Dans votre magazine de télévision vous avez, sous chaque programme, un code à barres. Celui-ci permet de mémoriser son enregistrement automatique sur votre magnétoscope, simplement en passant dessus un crayon ou une télécommande optiques. Tel est le cas avec le magnétoscope Blaupunkt RTV 760 hi-fi stéréo. Fini les programmations manuelles fastidieuses ! Par ailleurs, ce magnétoscope est un modèle VHS très complet, PAL-SECAM et lecture NTSC. Il est doté de diverses fonctions de montage : assemblage de plans, insertion de scène et post-synchronisation du son.

7 Le caméscope Hitachi VMH 37E (8 x 23 x 10 cm) est l'un des plus petits modèles actuels. Conçu pour le standard Hi-8, il offre des performances élevées : capteur CCD de 470 000 pixels, résolution de 400 points par ligne, traitement numérique du signal vidéo, zoom à commande numérique de variation de focale, autofocus, quatre têtes vidéo et son hi-fi stéréophonique. Le zoom, un 6-48 mm, possède une position macro et, grâce à une ouverture 1 : 1,4, permet de filmer en lumière faible (2 lux). Le caméscope est compatible avec le format 16/9, c'est-à-dire que son microprocesseur permet de filmer en 16/9 afin de permettre la lecture des images sur l'écran large des nouveaux téléviseurs.

8 Lorsqu'on filme caméra au poing, surtout avec un zoom réglé sur une longue focale, il est difficile d'obtenir une image stable car les mains sont toujours animées d'un léger tremblement. Sony propose un caméscope, le CCD-TR 805, doté d'un stabilisateur optique éliminant ce défaut. Le système comporte deux lentilles formant prisme qui, sous contrôle de microprocesseurs, détectent les tremblements et les corrigent par des mouvements inverses. Les autres caractéristiques de ce caméscope sont des plus classiques : standard vidéo Hi-8, capteur CCD 470 000 pixels, sensibilité 3 lux, zoom 1,6/6,2-62 mm, obturateur électronique de 1/50 à 1/10 000 s, automatisme de la mise au point, son stéréophonique.

7
UN CAMÉSCOPE DE POCHE
8 900 F

8
UN CAMÉSCOPE ÉLIMINANT LES TREMBLEMENTS D'IMAGE
10 000 F

11
UN PHOTOCOPIEUR COULEUR PERSONNEL
38 900 F

10
UNE IMPRIMANTE À ÉTIQUETTES
1 750 F

12
UN PC DANS LA POCHE
2 350 F

9
UNE CALCULATRICE GRAPHIQUE
1 000 F environ

9 En priorité destinée aux étudiants, la TI-85 est capable de transférer tout ou partie de sa mémoire en moins de 30 secondes à une autre calculatrice de même type. Conçue par Texas Instruments, elle est dotée d'un grand écran (8 lignes de 21 caractères, graphes de 64 x 128 pixels) et d'une mémoire puissante (32 Ko). Elle trace les courbes correspondant à des équations différentielles du neuvième ordre, et résout des systèmes à 30 équations et des exercices statistiques à une ou deux variables avec 8 modèles de régression. Les graphiques peuvent être imprimés *via* PC ou Macintosh.

10 Elle imprime des étiquettes partout, même sur du tissu. Les étiquettes sont disponibles en 10 couleurs pour le papier et en 3 couleurs pour les transferts sur tissu. Malgré sa petite taille (environ 15 x 12 x 3 cm), la KL 2000 de Casio possède un petit traitement de texte intégré et un écran à cristaux liquides sur lequel s'affiche le message (15 caractères maxi). Fonctionne sur batterie rechargeable avec une pile pour la mémoire.

11 ce photocopieur couleur tient sur un coin de bureau (54 x 47,6 x 21,7 cm, 19,5 kg) et cache sous son capot un scanner et une imprimante. Le scanner (caméra à fibre optique) convertit l'image originale en une série de chiffres, avec une résolution de 160 points/mm (équivalente à celle d'un copieur noir et blanc). Une fois numérisée, l'image peut alors être traitée (intégrée à une autre image ou à un texte, etc.) par un ordinateur. Le résultat repart vers le copieur pour l'impression. Le CLC 10 de Canon règle la balance des couleurs, réduit ou augmente l'image, agrandit les films 35 mm et tire les films inversibles (du négatif au positif).

12 Autorisé aux examens et concours de l'Education nationale, le PC E500 de Sharp est un ordinateur de poche très puissant pour sa taille (200 x 100 x 14 mm, 250 g). Un processeur ESR-L et 1 101 programmes de mathématiques, physique et statistiques permettent de tracer des courbes sur un écran de 4 lignes et 40 caractères par ligne (résolution 32 x 240 points). Il dispose d'une mémoire ROM (*Read Only Memory*) de 256 Ko et d'une RAM (*Random Access Memory*) de 32 Ko, extensible à 96 Ko. La programmation se fait en Basic (jusqu'à 20 chiffres, 65 279 lignes maxi) et utilise des fonctions proches de celles des PC classiques. Connectable à un lecteur de disquettes ou à une imprimante (noir et blanc ou couleur).

13 Pour réaliser un collage particulièrement résistant sur des matériaux "impossibles" : acier, acier inox, acier zingué, aluminium anodisé, cuivre, laiton, ABS, PVC, polycarbonate, métacrylate, polyamide, polyester, GRP, stratifiés, polypropylène, bois, caoutchoucs durs, etc., Bostik, filiale de Total Chimie, a élaboré la M 890 pour le collage des rétroviseurs intérieurs des véhicules sur le pare-brise. Sa haute résistance aux vibrations, à la traction, aux chocs, à la température, à l'humidité et à différents agents chimiques, en font un produit prisé du monde industriel. M 890 est conditionnée en kit et s'applique sans mélange à l'aide d'une spatule sur une des surfaces, un activateur étant étalé sur l'autre face.

14 Le système Car Vision de Philips permet une bonne réception de la télévision dans votre voiture. Quatre signaux différents sont contrôlés simultanément par ordinateur au moyen de deux antennes. Le meilleur signal est sélectionné et les parasites sont éliminés. Le modèle DT 104 possède un écran à cristaux li-

13 ELLE COLLE UN RÉTROVISEUR 80 F

14
CHAUFFEZ VOTRE AUTO À L'ARRÊT
395 F
ET INSTALLEZ-Y UN TÉLÉVISEUR DE QUALITÉ
20 000 F environ (système complet)

quides de 10 cm et capte les programmes PAL et SECAM. Il peut mémoriser 69 émetteurs et recevoir un magnétoscope VHS de voiture (DT 124) doté d'un son hi-fi stéréo.
Si vous souhaitez regarder ces programmes dans votre voiture à l'arrêt sans que l'habitacle se refroidisse, branchez l'Auto-Céramic sur l'allume-cigare : ce mini-radiateur à éléments de céramique est capable de réchauffer votre auto en deux à trois minutes. Sa puissance de 150 watts convient à un habitacle de taille moyenne (environ 2 m³).

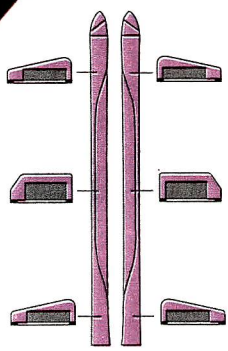
15 De l'aérographe à l'agrafeuse-cloueuse, on peut tout connecter ou presque au Super-Silent, mini-compresseur silencieux (40 dB) de Mécafer. Cet appareil de 20 kg pour une cuve de 9 l comprime l'air à un volume de 50 l/mn. Son moteur électrique, qui consomme 340 W/h et produit une pression maximale de 8 000 hPa, est la pièce maîtresse d'un équipement complet d'accessoires pneumatiques : pistolet à peinture, meuleuses, etc. On peut aussi y adapter des embouts de gonflage pour les pneus de voiture et de vélo ou les ballons.

15
UN MINI-COMPRESSEUR À TOUT FAIRE
2 900 F (+ accessoires)

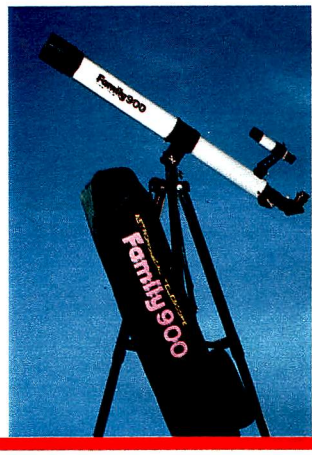
16
UNE VOITURE AMPHIBIE
250 000 F à 300 000 F
à partir de janvier 1993

16 Le Hobbycar est une voiture qui va sur l'eau. Des quatre roues motrices, on passe aux hydrojets (2 x 150 kg de poussée, vitesse de 5 à 15 nœuds) par le point mort, et vogue le navire ! Sa coque, en résine époxy, est montée sur un châssis insubmersible en matériaux composites (fibre de verre, époxy, kevlar, carbone). Ce véhicule de 3,50 m est propulsé par un moteur Diesel turbo Peugeot de 1 769 cm³ (5 vitesses, vitesse maximale 150 km/h) et trois systèmes de suspension lui permettant de circuler sur tous les terrains : asphalte, terre, sable et eau. Sur l'eau, tout s'escamote, jusqu'au tableau de bord, dont les instruments sont traités contre la corrosion, hi-fi et radiotéléphone compris. Les 4 sièges sont escamotables et pivotants. Décapotable en option.

18
DES SKIS ASYMÉTRIQUES
2 390 F à 2 890 F



17
POUR LES PREMIERS PAS EN ASTRONOMIE
1 900 F



17 La société Médas a mis au point, avec la lunette Pearl Family 900, un ensemble didactique permettant de faire ses premiers pas dans l'observation du ciel.
La lunette, de 800 mm de focale et 60 mm de diamètre, dotée d'oculaires de 4 mm, 12,5 mm et 20 mm, permet des grossissements de 40 x, 60 x et 200 x. Elle est livrée avec tube et trépied. On peut l'installer partout en quelques dizaines de secondes.
Divers outils pédagogiques l'accompagnent : une notice d'utilisation, des exemples et conseils d'observation, un guide et une carte mobile du ciel et un livret informatif sur la Lune.

19
MICRO-PROCESSEUR D'ALTITUDE
1 990 F

18 Des spatules de ski au profil évolutif, c'est l'ID, de la société Dynastar. En effet, on constate que l'appui est toujours plus important sur l'intérieur du ski, notamment dans les courbes. La forme asymétrique de chaque ski a donc été calculée pour une meilleure répartition du poids. Au niveau de la spatule et du talon, le ski s'épaissit progressivement de l'extérieur vers l'intérieur. A hauteur du patin (directement sous le pied), l'ID a une forme de parallélépipède classique, plus épais que les autres parties. Ce profil particulier permet d'obtenir un appui plus grand sous le pied et donc, entre autres, un meilleur contrôle dans les virages. Selon les fabricants, le ski pivotant plus facilement, on limite les fautes de carres. Tout de même destiné à des skieurs initiés, l'ID donne de bons résultats sur la neige dure ; il est aussi "à l'aise" dans les virages courts coupés que dans les courbes à grande vitesse.

19 Pour mesurer l'altitude au mètre près jusqu'à 10 000 m, les alpinistes, randonneurs et autres amateurs d'altitude pourront utiliser le K2 de Pretel. Cet instrument de 90 g (avec les piles, dimensions : 80 x 65 x 23 mm), doté de deux touches de fonctions, peut se programmer d'une seule main. Il contient un microprocesseur qui fournit l'altitude en mètres et en pieds, la pression en hectopascals et en pouces de mercure (pour les Anglo-saxons), la pression au niveau de la mer, la dénivelée (différence de hauteur entre deux points d'un parcours).
Cet appareil peut aussi être programmé pour calculer le cumul des montées et des descentes, la vitesse moyenne de chacune ; enfin, il contient un chronomètre et une alarme d'altitude qui se déclenche à la hauteur voulue.

20 Pour une fois, on trouve un véritable tableau de bord électronique sur un rameur d'appartement. Alors que vous travaillez sur l'Hydroclipper de Care, cinq cadrans séparés affichent simultanément votre vitesse, la distance fictive parcourue, le nombre de coups de rame, les calories dépensées ainsi que votre rythme cardiaque. Ces dernières données sont calculées par un programme qui tient compte de votre poids et de votre âge.
Pour augmenter le travail musculaire des membres inférieurs, la poutre centrale est légèrement en pente, évitant à l'appareil, par la même occasion, de se déséquilibrer. Les rames, montées sur un système classique de pistons hydrauliques, sont équipées de poignées tournantes, qui facilitent le mouvement (et évitent les ampoules !). Dimensions : 1,20 x 0,87 x 0,26 m, 23 kg.

20 LA FORME EN CHIFFRES 1 972 F

● **Les échos de cette rubrique** ont été réalisés par Roger Bellone, Christine Mercier et Paule Sully.

GADGETS PAS BÊTES

UNE BROSSE À DENTS AVEC INDICATEUR D'USURE

17 F

La brosse à dents Oral-B Indicator vous indique quand vous devez la changer. A cet effet, certains poils ont été colorés dans la masse jusqu'à une certaine profondeur et, au fur et à mesure des brossages, ils se décolorent jusqu'à ce que réapparaisse le blanc initial. La durée d'usure (environ trois mois) correspond à un nombre moyen de brossages et devrait inciter les utilisateurs à changer de brosse à dents plus souvent...

UN BALADEUR RECRÉANT UNE SALLE DE CONCERT

790 F

Baladeur magnétophone et radio, le Panasonic RQ-V 195 est doté d'une fonction *live* qui, en ajoutant un effet de réverbération au son, produit une ambiance de salle de concert. Parmi les autres caractéristiques de ce baladeur :

tuner numérique avec recherche automatique des stations FM et AM, Dolby, fonction *auto-reverse* et système de renforcement des basses. Dimensions : 9 x 12 x 3,6 cm. Poids (sans batterie) : 250 g.

L'ÉLECTROCHOC DES POUX

280 F environ

Le Robi-Combi électrocute les poux. Ce peigne électronique est doté de 46 dents – des électrodes positives et négatives disposées alternativement. Elles prenent les poux en sandwich, et leur envoient des décharges de dix micro-coulombs, trop faibles pour nuire à un être humain mais suffisantes pour tuer un petit insecte.

UN CHRONO POUR TOUTES LES BOURSES

400 F

La Swatch-stop de Swatch cache un chronomètre dans son boîtier. Lors du déclenchement du chronomètre, un microproces seur arrête les aiguilles, qui se placent automatiquement en "position de départ" sur le 12 et se mettent à compter les secondes, jusqu'à six heures de suite. Si on arrête le chronomètre, toujours grâce au microprocesseur, la montre se remet d'elle-même à l'heure qu'elle indiquait initialement. Des performances rares à un tel prix.

UN RÉVEIL ATOMIQUE

490 F

Le Time Track de Audioline est un radio-réveil piloté à distance (en grandes ondes) par l'horloge atomique de Brunswick en Allemagne. Toutes les heures, il compare son heure avec celle de cette horloge et s'ajuste automatiquement. Il est aussi doté de fonctions classiques : deux alarmes distinctes, cinq messages parlés différents, cinq mélodies de réveil. Une voix synthétique annonce le jour et l'heure, et une minuterie (jusqu'à 60 mn) permet de s'endormir en musique.

SCIENCE & JEUX

PHYSIQUE AMUSANTE

Le moteur du TGV A en miniature

Durant plus d'un siècle, deux moteurs électriques auront régné sur la société industrielle : le moteur à courant continu, avec collecteur et balais, et le moteur asynchrone, sans l'un ni l'autre. Un troisième type les surclasse maintenant : le moteur autosynchrone, où le transistor remplace collecteur et balais.

En découvrant, en1819, qu'un courant électrique engendrait un champ magnétique, le Danois Œrsted ouvrait la voie à la transformation de l'électricité en mouvement mécanique ; en effet, les forces d'attraction entre aimants de pôles opposés ou de répulsion entre aimants de pôles identiques étaient alors déjà bien connues. Mais, faute d'écran magnétique, ces forces ne donnaient lieu qu'à des mouvements de courte amplitude : rapprochements ou éloignements de quelques centimètres.

Bien des chercheurs avaient pourtant rêvé d'un moteur magnétique dont le principe aurait été simple : un aimant lié à un axe est attiré par un aimant fixe dont il va se rapprocher en donnant un début de rotation à cet axe ; au moment où les deux pôles vont se trouver en face, un écran magnétique relié à l'axe vient s'interposer entre eux et la force d'attraction cesse d'agir. La rotation continue sur sa lancée et l'écran s'efface quand les deux pôles se retrouvent en position d'attraction.

On pouvait aussi multiplier le nombre d'aimants et utiliser tour à tour attraction et répulsion. Le gros ennui vient de ce qu'il n'existe pas d'écran magnétique – pas plus qu'il n'existe d'écran anti-pesanteur – qui couperait le champ comme un rideau coupe la lumière. Par ailleurs, un tel moteur aurait produit de l'énergie sans en consommer, ce qui est contraire aux bases les plus sûres de la physique.

Dans l'absolu, le schéma de principe était toutefois valable, et la découverte du champ magnétique engendré par un courant allait permettre de le mettre en application : on remplaçait l'un des aimants par un bobinage conducteur dont il suffisait de couper le courant au bon moment pour avoir exactement le même effet qu'un écran magnétique : sans courant, plus de champ et donc plus d'attraction.

Tout le problème venait en effet de ce que l'aimant lié à son axe est attiré par l'aimant fixe, ce qui amorce la rotation, mais il continue à être attiré après l'avoir dépassé et, du coup, il revient en arrière : le mouvement s'arrête après quelques oscillations. Mais si l'aimant est constitué d'un bobinage, il suffit de couper le courant dès qu'il arrive en face de l'aimant fixe pour que cesse l'attraction qui voudrait le ramener en arrière.

On peut même faire mieux : inverser le sens du courant après l'avoir coupé, ce qui inverse le sens du champ ; l'attraction devient répulsion et le bobinage est repoussé dans le sens de sa lancée. Pour assurer ces coupures et ces inversions, on trouva un procédé fort simple : amener le courant par des balais frottant sur un collecteur fait de lames disposées en rond autour de l'axe moteur. En tournant, cet axe amène au bon moment le balai sur la lame qui conduit au bobinage voulu, et la rotation devient parfaitement fluide.

Il y a peu de temps encore, tous les moteurs alimentés en courant continu étaient basés sur ce dispositif de commutation obtenu avec un collecteur et des balais. Le procédé avait toutefois un inconvénient : les contacts tournants présentent des forces de frottement qui se traduisent par un échauffement du collecteur et des balais, leur résistance électrique n'est pas négligeable, et le passage d'une lame à une autre est facilement le siège d'étincelles ou d'arcs qui détérioreront les matériaux et la qualité du contact.

La seule manière d'éviter le collecteur et ses inconvénients était d'alimenter le moteur avec un courant non continu et changeant régulièrement de sens tout seul, autrement dit un courant alternatif. Ce procédé donna naissance à l'immense famille des moteurs synchrones et asynchrones (de loin les plus utilisés).

Et puis vint le transistor qui pouvait servir d'interrupteur pour de forts ampérages sous la seule impulsion d'un très faible courant de commande. C'est un ingénieur français, M. Lavet, qui eut l'idée géniale d'appliquer le transistor au moteur électrique alimenté en courant continu. Pour couper ce courant au bon moment, c'est-à-dire quand le bobinage est devant l'aimant, on envoie une petite impulsion au transistor qui cesse alors d'être conducteur.

Cette impulsion sera donnée par une petite bobine secondaire qui va être le siège d'un courant quand elle passe devant l'aimant fixe. On a donc un système fort simple qui va servir à interrompre et rétablir le courant sans qu'il y ait de contact matériel : le seul passage d'un aimant devant une bobine suffit à engendrer

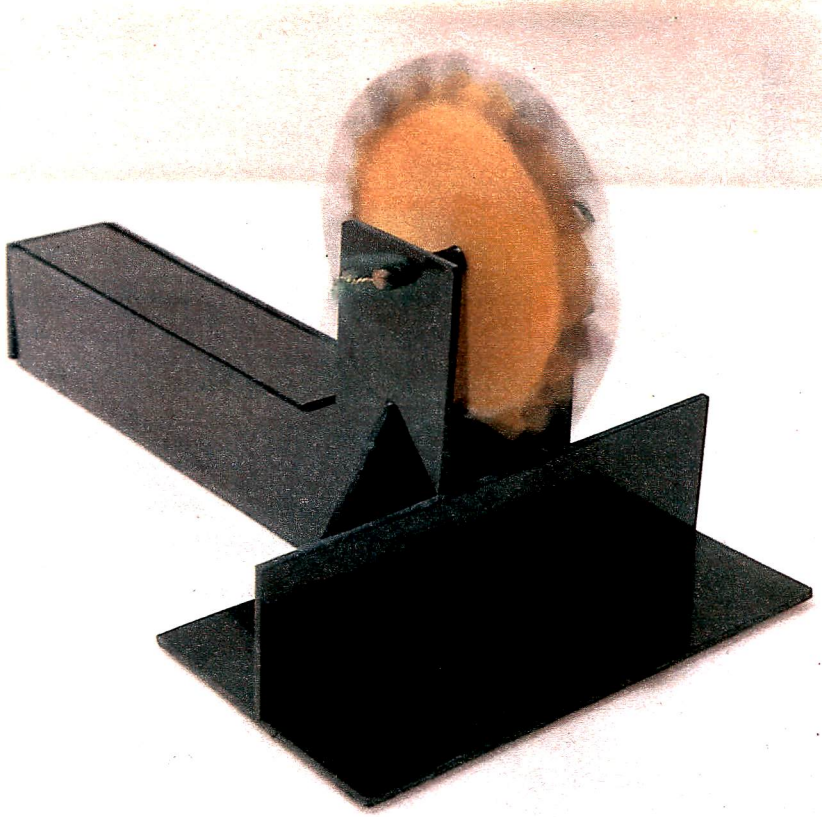
un courant minuscule qui va servir à enclencher ou à déclencher le transistor.

L'intérêt du procédé vient de ce qu'on garde tous les avantages du collecteur (fractionner et alterner le courant en phase avec la position du rotor) tout en s'en débarassant totalement. De ce fait, ce type de moteur, dit autosynchrone – bien qu'il ne le soit ni plus ni moins que le moteur à collecteur, mais il fallait bien trouver un nom pour le différencier – est de plus en plus employé, en particulier dans la traction électrique où ses performances se sont avérées assez remarquables puisqu'il équipe en série les TGV Atlantique, y compris la rame qui a roulé à 515 km/h.

Il nous a de ce fait paru intéressant de fabriquer une version élémentaire de ce type de moteur, plus simplifiée encore que celle que nous avions présentée il y a quelques années. Le matériel nécessaire à sa construction est d'ailleurs très limité :

- Polystyrène choc en feuilles de 1 et 2 mm d'épaisseur. Disponible, directement ou par correspondance, chez Adam Montparnasse, 11 bd Edgar-Quinet, 75014 Paris ; ou chez Pierron, BP 609, 57206 Sarreguemines.
- Un transistor 207/b97614.
- 100 g de fil émaillé de 15/100 à 25/100 ; 1 entretoise en acier de 6 mm, longueur 35 mm; 3 cosses à souder (à sertir) ; 1 connecteur à boutons-pression pour pile de 9 V.
- 2 passe-fils miniature de 4 mm de diamètre intérieur ; gaine thermorétractable de plus de 4 mm ; un axe en laiton de 4 mm, longueur 45 mm.
- 5 aimants ferrite Arelec de 7,5 x 9 x 25 mm.

La plupart de ces composants sont disponibles chez les revendeurs de pièces radio, et en particulier chez RAM, 13 bd Diderot, 75012 Paris.



C'est ce moteur – en plus gros ! – qui alimente le TGV Atlantique

On commence par construire la bobine inductrice et on découpe donc les deux pièces A et B. On percera A de 4 trous : l'un est destiné à recevoir le noyau d'acier (6 mm de diamètre, 34 mm de long) ; les trois autres, centrés, auront le diamètre des cosses à souder qu'on se sera procurées. Le noyau en acier sera découpé dans une tige de 6 mm.

On montera sur A les trois cosses qui seront serties entre les mors d'un étau comme indiqué **figure 1**. Ces cosses sont indispensables, à la fois pour servir de relais mécanique de fixation du transistor et aussi d'arrivée des fils de cuivre émaillé en provenance des bobines.

On assemblera par collage (cyanocrylate) les deux joues A et B de la bobine sur le noyau ; comme indiqué **figure 2**, il faut que le noyau dépasse de 2 mm de la joue B. En effet, c'est cette partie dépassante qui sera engagée dans les mors d'une perceuse, car il est hors de question de bobiner à la main. On revêtira le noyau avec un isolant de faible épaisseur (genre ruban en plastique utilisé pour les circuits de courant lumière).

Pour procéder au bobinage, il faut disposer d'une perceuse électrique avec variateur de vitesse. Sinon, on utilisera une chignole à main dont le manche sera solidement fixé dans un étau ; en ce cas, on se fera aider pour maintenir le fil et le répartir le plus régulièrement possible. Avec une perceuse électrique, il est possible de faire seul ce travail un peu délicat car il faut si possible éviter les ruptures de fil.

Il s'agit de fil émaillé de 15, 20, ou à la rigueur 25/100 de diamètre. Si on ne peut se procurer 100 grammes de fil de ce diamètre chez un revendeur de composants électroniques, il faudra le récupérer sur un vieux (ou un neuf) transformateur 220 V/9 V, que l'on trouve dans ce type de magasin.

Pour commencer, on dénudera soigneusement une extrémité du fil. Pour ce faire, on l'enserre dans un petit morceau de papier abrasif plié en deux et on enlève le vernis avec précaution, sans abîmer le cuivre. Ensuite, on étame, avec un fer à souder, la partie dénudée. Notons que si une rupture se produit au cours du bobinage – la chose est à peu près certaine en raison du procédé utilisé – il faudra dénuder et ressouder les deux extrémités.

Pour le début du bobinage de l'induit, on entourera l'une des cosses (**figures 4 et 5**) et on y soudera le fil ; il faut agir vite avec un fer bien chaud, et surtout sans trop insister : la chaleur ferait fondre le polystyrène et la cosse se déchausserait. On enroulera ensuite le premier tour dans le bon sens et on mettra la partie dépassante du noyau dans les mors de la perceuse. On s'assurera que le fil se déroule sans accrochage depuis la bobine débitrice et on lancera la perceuse le plus lentement possible.

On répartira le fil de manière régulière sur le noyau et on

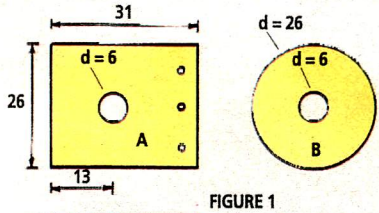


FIGURE 1

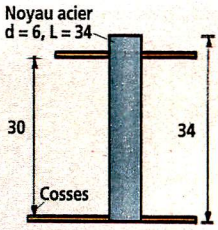
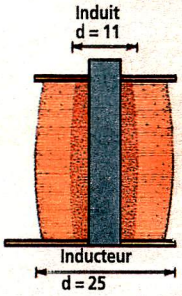
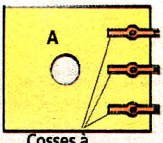


FIGURE 2





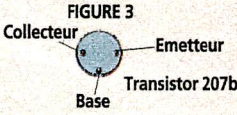


FIGURE 3

NB : les deux joues de la bobine sont découpées dans du PS de 1 mm d'épaisseur

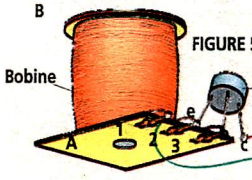


FIGURE 5

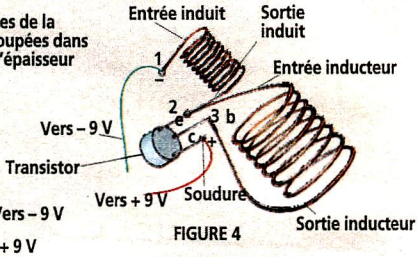


FIGURE 4

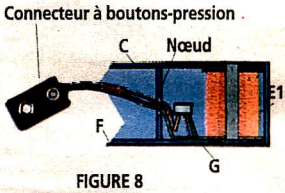


FIGURE 8

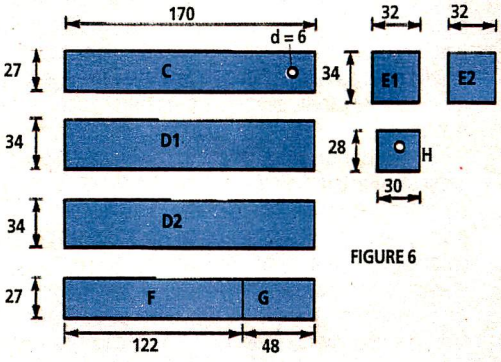


FIGURE 6

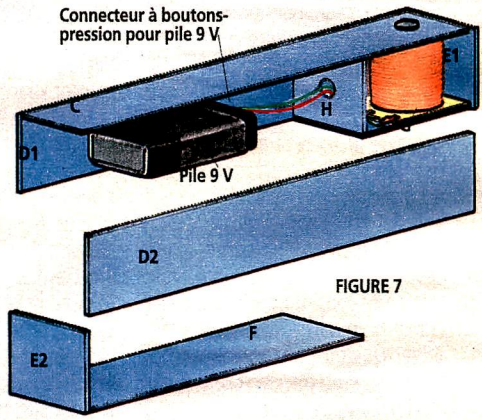


FIGURE 7

mesurera le diamètre de temps en temps. En effet, plutôt que de donner un nombre de tours à bobiner, ce qui est difficile à contrôler, nous préférons indiquer les diamètres respectifs (et approximatifs) des deux bobines. La première devra avoir un diamètre de 11 mm environ ; la seconde, concentrique et bobinée dans le même sens autour de la première, aura environ 25 mm de diamètre au total.

Afin d'éviter une trop grande pression sur les joues, on n'hésitera pas à tricher un peu, comme indiqué **figure 3**, en remplissant un peu plus la partie centrale de la bobine. Elle prendra un peu de ventre mais cela ne l'empêchera pas de fonctionner. Notons toutefois que c'est la partie la plus ventrue qui devra avoir 25 mm.

Quand on aura atteint les 11 mm de diamètre, il faudra effectuer la soudure sur la seconde borne comme indiqué **figures 4 et 5**. On peut se passer de couper le fil puisque la sortie du premier enroulement est reliée à l'entrée du second ; mais on effectuera le dénudage et la soudure avec les mêmes soins que ceux apportés à la borne 1. Avant de poursuivre le bobinage, on isolera l'induit avec le même adhésif que celui employé pour le noyau. Quand les 25 mm seront atteints, il restera à fixer la sortie de l'inducteur à la borne 3.

Il restera à souder le transistor 207b/97614 selon les indications données **figures 4 et 5** : l'émetteur sera soudé à la borne 2, la base à la borne 3 et le collecteur sera relié ultérieurement au fil rouge (+) d'un connecteur à pression pour pile 9 V, tandis qu'on reliera la borne 1 au fil noir (–). Mais ces connexions ne seront faites qu'après construction du boîtier car les fils doivent être noués avant d'être passés dans un trou foré dans une pièce solidaire du boîtier.

La bobine terminée, on

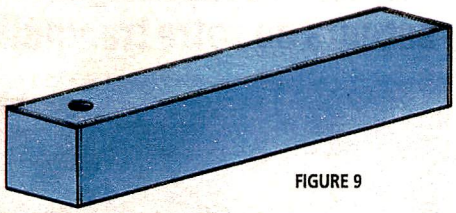


FIGURE 9

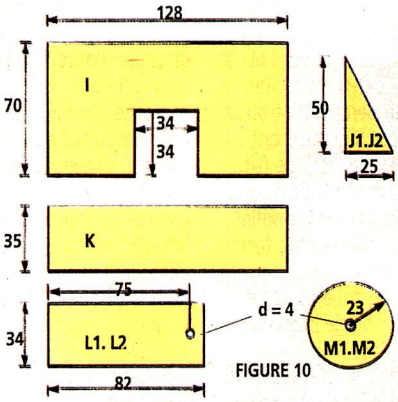


FIGURE 10

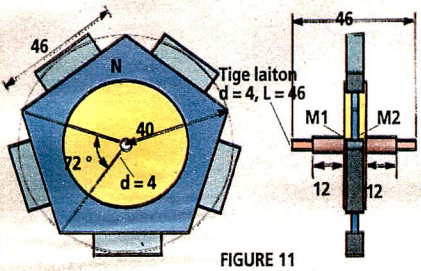


FIGURE 11

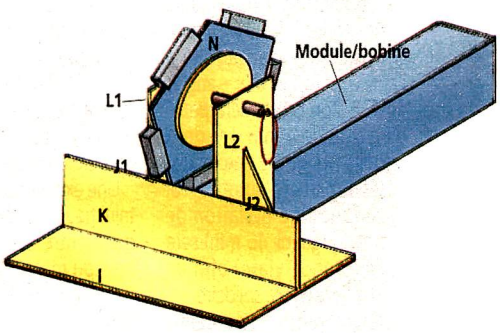


FIGURE 14

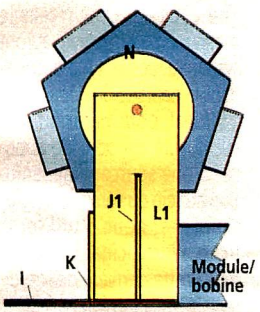


FIGURE 12

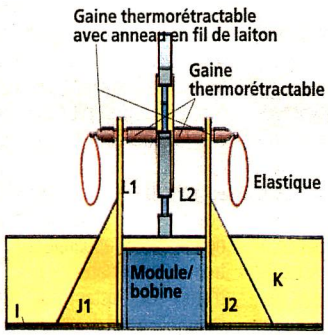


FIGURE 13

confectionnera le boîtier (**figures 6 à 9**). On commencera par tracer, marquer et découper les pièces C, D1, D2, F, G et H. La pièce C sera percée d'un trou de 6 mm destiné à recevoir la partie dépassante du noyau de la bobine que l'on collera en place à la cyanocrylate. On assemblera C, D2 et E1 comme indiqué **figure 7**. On passera les fils en provenance du connecteur à pression dans un trou percé dans H et, après avoir fait un nœud, on soudera le fil noir à la cosse 1 et le fil rouge au collecteur du transistor. On collera ensuite G et H en place, puis D2 sera collé par points, c'est-à-dire provisoirement. Il vaut mieux se réserver la possibilité d'accéder au câblage en cas d'intervention.

Le couvercle situé sous le boîtier est constitué par les deux pièces F et E2 collées à angle droit. Il ne sera maintenu que par des morceaux de ruban adhésif afin de pouvoir éventuellement changer la pile ; celle-ci, de 9 V et de type 6LR61, sera maintenue dans son logement par un petit morceau de mousse. Pour commencer on ne branchera pas la pile, et on attendra pour ce faire de pouvoir vérifier le bon fonctionnement du montage : si une erreur avait été commise, il vaut mieux qu'il ne reste sous tension que le temps de voir qu'il ne fonctionne pas.

Le socle du rotor (**figure 10**) est constitué par un rectangle échancré, pièce I. Cette échancrure est destinée à laisser passer le module bobine qu'on vient de terminer. Les paliers sont supportés par les pièces L1 et L2 rendues solidaires du socle par les deux équerres J1 et J2. Les trous de 4 mm sont destinés à recevoir l'axe du rotor. On les percera en même temps sur L1 et L2 maintenus solidaires avec de petits morceaux de ruban adhésif.

Le raidisseur K a pour fonction de maintenir l'assembla-

ge orthogonal – voir vue générale **figure 14**. Enfin on tracera, marquera et découpera (méthode du compas de découpe) les deux disques M1 et M2. Au centre de chaque pièce, on percera un trou de 4 mm. Les pièces seront assemblées par collage (Uhu-Plast). L2 et son équerre J2 seront collées ensemble définitivement, mais le bloc formé par ces deux pièces ne sera pas encore collé au reste du montage afin de permettre la mise en place du rotor.

Les essais nous ont montré que pour la forme et le volume de la bobine considérée, les meilleurs résultats étaient obtenus avec un rotor pentagonal comportant cinq aimants ferrite Arelec 7,5 x 9 x 25 mm. On tracera le pentagone à l'aide d'un rapporteur – angles de 72°. Son centre sera percé d'un trou de 4 mm. Les deux disques M1 et M2 seront disposés de part et d'autre de N et l'axe (une tige de laiton de 4 mm, longueur 46 mm) sera collé (cyanocrylate) afin de rendre l'ensemble solidaire.

Deux petits morceaux (12 mm) de gaine thermorétractable (diamètre supérieur à 4 mm) seront alors disposés de part et d'autre du rotor et légèrement chauffés afin qu'ils enserrent l'axe et le maintiennent centré, sans toucher les paliers (**figures 12 et 13**). Notons que la présence de ces écarteurs serait inutile si l'on se contentait de faire tourner librement le rotor : les forces magnétiques suffiraient à le maintenir centré ; mais nous verrons que, pour l'expérience de fonctionnement alterné, ils évitent un blocage.

On placera alors le rotor dans son logement et on mettra en place le palier L2 et son équerre J2. On ne les collera pas encore définitivement (collage par points) car il va falloir, lors des essais, s'assurer que le rotor tourne le plus librement possible. Une goutte d'huile sera alors déposée dans les paliers.

C'est le moment de mettre en place le module/bobine muni de sa pile (**figure 14**) et de lancer légèrement le rotor dans n'importe quel sens. Il se mettra à tourner immédiatement. S'il a tendance à ralentir, c'est que les paliers ne sont sans doute pas parfaitement alignés. On décollera alors le bloc L2/J2 et on le déplacera avec précautions jusqu'à ce que la rotation atteigne son maximum. Après avoir arrêté le rotor, on collera alors définitivement le bloc palier à ce nouvel emplacement.

Si aucune velléité de rotation n'est enregistrée, on peut penser que la pile de 9 V est épuisée, ou que le fil de la bobine est coupé en un point, ou bien que le câblage est défaillant. Il faudra donc vérifier tout le montage. Mais si l'on a respecté nos indications, tout doit bien se passer.

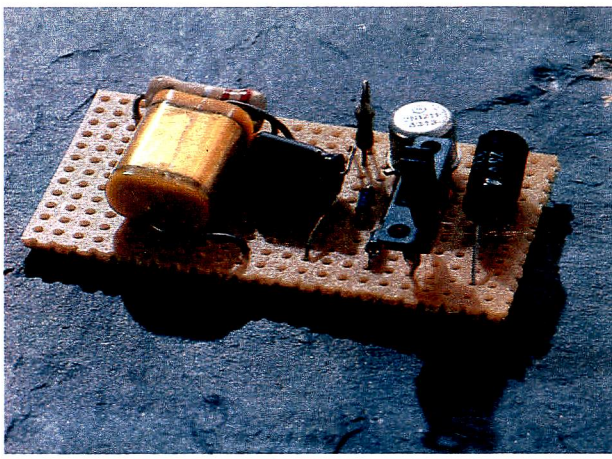
Une expérience complémentaire peut alors être entreprise, qui montre une qualité originale du moteur autosynchrone. Contrairement aux moteurs classiques à courant continu, il peut tourner dans les deux sens. Pour mettre cette capacité en évidence, il suffit de munir les deux extrémités de l'axe de deux anneaux en fil de laiton, emprisonnés, collés à la cyanocrylate comme indiqué **figure 13**.

Dans ces anneaux, on passera deux petits bracelets en caoutchouc que l'on maintiendra très légèrement tendus après avoir lancé le moteur. Après un certain nombre de tours, les bracelets torsadés finiront par arrêter le rotor et le relancer en sens contraire. C'est là qu'on notera que notre moteur autosynchrone accepte très bien cette inversion ; il est apolitique, et va donc aussi bien à droite qu'à gauche.

Renaud de La Taille
Modèle Pierre Courbier

ÉLECTRONIQUE AMUSANTE

La fiche allume-cigare au secours de votre tranquillité



Avec l'apparition des jeux vidéo de poche, la tranquillité des longs trajets en voiture dépend bien souvent de la durée de vie des piles. Généralement, si en début de parcours les "chers bambins" semblent être beaucoup plus proches des faubourgs d'Andromède que de ceux de Paris, le charme est rompu dès les premiers hoquets de la machine. Or, l'autonomie de ces appareils est extrêmement variable. Si certains d'entre eux résistent à une utilisation continue de plus de trente heures, d'autres jettent l'éponge après seulement deux heures de bons et loyaux services. De toute façon, en voiture, l'autonomie n'a pas grande importance puisque les piles que vous aurez achetées le matin même du voyage auront systématiquement été oubliées dans la panique du départ.

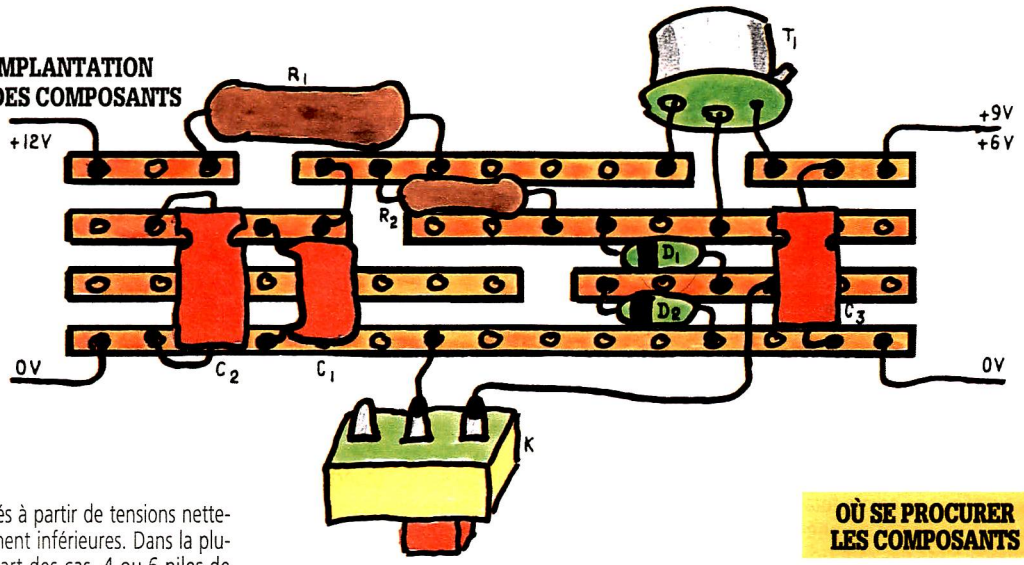
L'idéal, pour parer à toute éventualité, est donc de disposer d'une source d'alimentation au sein du véhicule. Le plus simple est donc d'utiliser la fiche allume-cigare. Cependant, cette dernière délivre directement la tension issue de la batterie, à savoir du 12 volts, alors que les jeux sont alimen-

ERRATUM ONDULEUR

Dans la première partie de notre montage du n° 900, toutes les diodes sont du type 1N 4148 ou équivalentes. Dans la seconde partie, une inversion de fichier informatique a conduit à la publication d'une nomenclature de pré-montage. Veuillez donc trouver ci-dessous la nomenclature exacte.

R1 = R12 = 10 kilohms (brun, noir, orange, or)
R2 = R13 = 2,2 kilohms (rouge, rouge, rouge, or)
R3 = R9 = 10 ohms 1 W (brun, noir, noir, or)
R4 = R10 = 220 ohms (rouge, rouge, brun,or)
R5 = R11 = 10 ohms 1 W (brun, noir, noir, or)
R6 = R8 = 68 ohms (bleu, gris, noir, or)
R7 = 5,8 kilohms (vert, gris, rouge, or)
T1 = T6 = 2N 1711 ; T2 = T4 = MJ 3000 ; T3 = T5 = MJ 2501
C1 = C4 = 22 microfarads 12 V
C2 = C3 = C5 = C6 = 470 microfarads 12 V

IMPLANTATION DES COMPOSANTS



tés à partir de tensions nettement inférieures. Dans la plupart des cas, 4 ou 6 piles de 1,5 volts sont utilisées, fournissant donc une tension de 6 ou 9 volts. Leur appliquer les 12 volts issus de la fiche, pouvant d'ailleurs atteindre 15 à 16 volts dès que l'alternateur tourne à plein régime, provoquerait leur destruction à plus ou moins court terme. Le petit montage que nous vous proposons de réaliser ce mois-ci a donc pour but d'abaisser cette tension afin de la rendre compatible avec celle que nécessite la console de jeu.

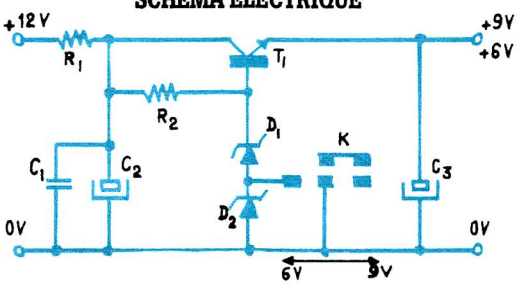
Très simple dans sa réalisation, ce montage, outre son côté utilitaire, constitue une excellente initiation au câblage. Nous utiliserons deux diodes Zenner en tant que références de tension. En effet, ce type de composant a la particularité, lorsque le courant électrique le traverse, de présenter à ses bornes une tension quasiment constante quelque soit – dans certaines limites – l'intensité de ce courant. L'une des deux diodes sera donc utilisée en tant que référence pour le 9 volts, l'autre pour le 6 volts. Un simple inverseur permettra de les commuter en fonction de la tension choisie. Cependant, la puissance que les diodes peuvent supporter n'est pas suffisante pour permettre de réaliser directement un régulateur de tension. La référence, issue de l'inverseur, sera donc appliquée à la base d'un transistor. Celui-ci aura simplement pour mission d'assurer au montage un débit suffisant en intensité pour l'alimentation de la console de jeu.

Les seules précautions à prendre lors de l'assemblage de cet adaptateur sont le respect du brochage du transistor et celui de la polarisation des diodes et du condensateur chimique. En ce qui concerne la fiche allume-cigare elle-même, le +12 V est présent sur le contact central et le 0 V sur la périphérie. Il est bien entendu indispensable de respecter la polarité générale d'alimentation du montage. Il est donc conseillé de repérer les fils reliant la fiche à la plaquette de câblage afin d'éviter toute erreur. Le même repérage est d'ailleurs à pratiquer côté sortie. Il faut vérifier si, sur la console de jeu, le + est bien relié sur le contact périphérique. Généralement, ce point est précisé soit dans le fascicule d'utilisation du jeu, soit directement sur le boîtier de l'appareil à proximité de la fiche.

Si ces quelques points sont respectés, le montage doit parfaitement fonctionner. Enfin nous ne saurions trop vous conseiller de rendre volontairement peu accessible l'inverseur de choix de tension afin d'éviter toute manipulation intempestive en cours de fonctionnement.

Henri-Pierre Penel

SCHÉMA ÉLECTRIQUE



NOMENCLATURE

R1 = 4,7 ohms 3 watts
R2 = 220 ohms (rouge, rouge, brun, or)

C1 = 470 nanofarads
C2 = 22 microfarads 16 volts
C3 = 22 microfarads 12 volts

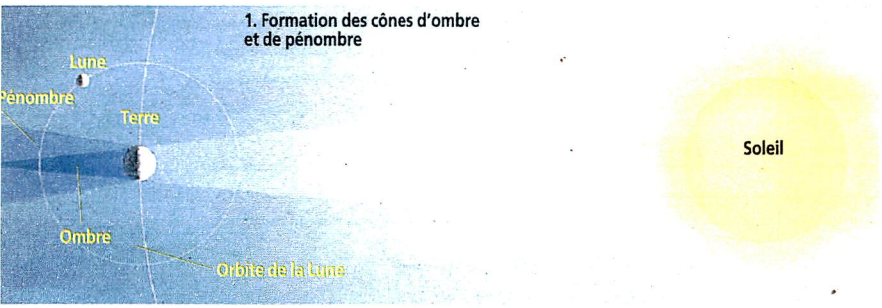
T1 = 2N 1711 (sur clip refroidisseur)
D1 = diode Zenner 6,8 volts 0,5 watt
D2 = diode Zenner 2,8 volts 0,5 watt
K = inverseur à glissière
Divers :
Une fiche allume-cigare
Une fiche en croix multistandard
Une plaquette de câblage

OÙ SE PROCURER LES COMPOSANTS

- MAGNETIC FRANCE, 11 place de la Nation, 75011 Paris. Tél. : 1 43 79 39 88.
- PENTASONIC, 10 bd Arago, 75013 Paris. Tél. : 43 36 26 05.
- TSM., 15 rue des Onze-Arpents, 95130 Franconville. Tél. : 34 13 37 52.
- URS MEYER ELECTRONIC, 2052 Fontainemelon, Suisse.
- Ces composants sont également disponibles chez la plupart des revendeurs régionaux.

JOURNAL DE L'ASTRONOMIE

Eclipses de lune



1. Formation des cônes d'ombre et de pénombre

Le 9 décembre prochain aura lieu une éclipse totale de lune. En soi, le phénomène n'est pas rare ; on peut observer presque chaque année une éclipse de ce type, visible de presque la moitié de notre planète.

Cependant, les circonstances ont fait que, depuis six ans, nous n'avons pas eu l'occasion d'observer, depuis la France métropolitaine, une éclipse totale de lune dans d'aussi bonnes conditions. Une observation à ne pas rater, si la météo le permet.

En quoi consiste une éclipse ? Les trois corps concernés sont la Terre, la Lune et le Soleil. Lorsque la Lune s'intercale entre le Soleil et la Terre, il y a éclipse de soleil. Remarquons que cela ne peut se produire qu'à une nouvelle lune, puisque c'est la phase lunaire où notre satellite est en conjonction avec le Soleil. A l'inverse, lorsque la Lune se trouve à l'opposé du Soleil par rapport à la Terre, c'est alors la pleine lune. Elle peut pénétrer dans le cône d'ombre de la Terre et il y a éclipse de lune (**dessin ci-contre**).

Force est de constater qu'il n'y a pas éclipse à chaque nouvelle lune ou pleine lune. Cela est dû à l'orbite que décrit notre satellite autour du globe terrestre. La Lune tourne autour de la Terre en vingt-neuf jours. Le plan de son orbite est incliné par rapport au plan de l'orbite terrestre et tourne aussi par rapport à la Terre. Par conséquent, lors des nouvelles ou les pleines lunes, la Lune passe "au-dessus" ou "au-dessous" du Soleil ou du cône d'ombre de la Terre et l'éclipse n'a pas lieu. La mécanique céleste nous apprend qu'il ne peut se produire d'alignement parfait – ou presque – que tous les six mois. Chaque année, il y a au minimum quatre éclipses (totales ou partielles), deux de soleil et deux de lune, et au maximum sept, dont deux à quatre de lune.

Toute les éclipses de lune ne se ressemblent pas. Elles diffèrent selon la trajectoire de la Lune par rapport au cône d'ombre de la Terre. En fait, le Soleil, qui éclaire la Terre, génère derrière elle deux cônes : un d'ombre, l'autre de pénombre (**figure 1**), ce qui entraîne les possibilités suivantes (**figure 2**) :

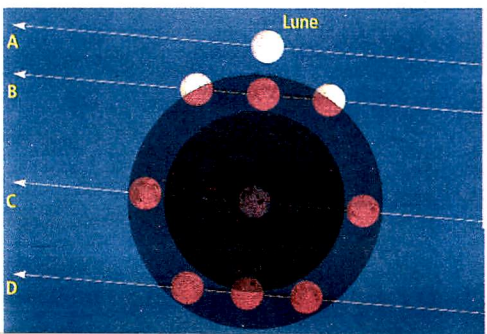
- La Lune passe au-delà des cônes d'ombre et de pénombre. Il n'y a pas éclipse mais tout simplement pleine lune.
- La Lune traverse uniquement le cône de pénombre. Il y a éclipse totale ou partielle par la pénombre, selon que le globe lunaire est entièrement ou partiellement immergé dans la pénombre lors de la phase maximale. Ce type d'éclipse est peu spectaculaire et difficile à observer car, la plupart du temps, la luminosité de la pleine lune n'est que très peu affectée.
- La Lune traverse le cône d'ombre. Il y a tout d'abord éclipse par la pénombre puis éclipse totale par l'ombre. C'est ce qu'on appelle une éclipse totale de lune, comme celle de ce mois-ci.
- Autre cas possible : la Lune ne passe pas entièrement dans le cône d'ombre. Il y a alors éclipse partielle. La prochaine visible en France aura lieu le 25 mai 1994.

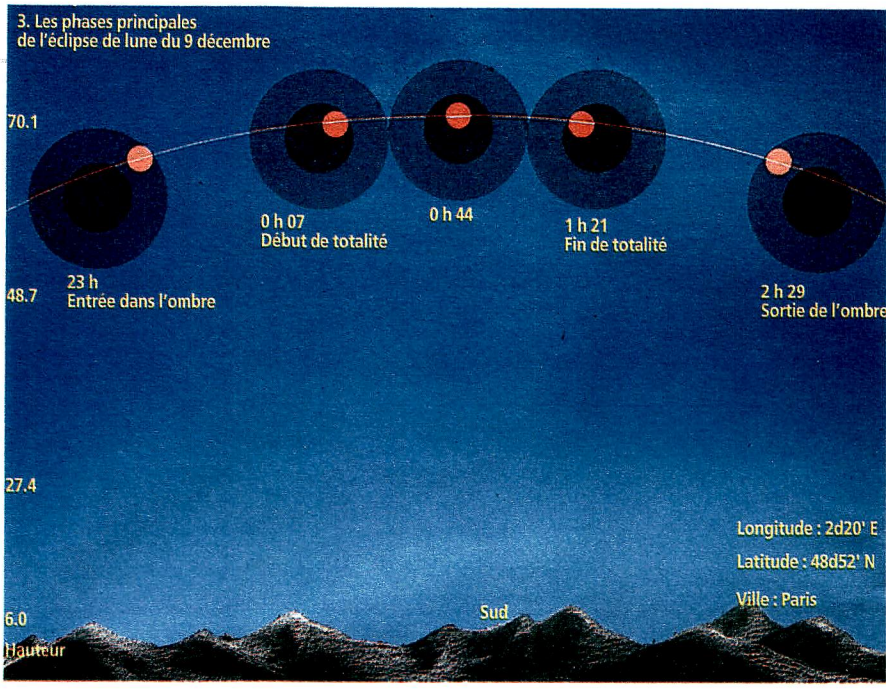
Comme l'orbite de la Lune n'est pas circulaire mais elliptique, sa distance à la Terre varie de 356 400 à 406 700 km. Ainsi, le diamètre des cônes d'ombre et de pénombre à l'endroit où la Lune passe est plus ou moins important. Conséquence directe de cela : la durée du phénomène est variable d'une éclipse à l'autre ; l'ensemble peut atteindre plus de 6 h 15 mn. Quant à la phase totale, elle dure de 8 mn minimum – ce sera le cas de l'éclipse de lune du 4 avril 2015 – à 1 h 47 mn, comme celle du 16 juillet 2000.

Lors de la totalité, on pourrait croire que le disque lunaire disparaît entièrement. En fait, c'est relativement rare. La plupart du temps, la Lune éclipsée reste visible et prend une teinte qui va du gris fer au rouge cuivre. L'origine de cette "luminosité" réside dans l'atmosphère terrestre. En effet, les rayons solaires qui atteignent notre globe pénètrent les couches denses de l'atmosphère. Ils sont alors déviés, réfractés, et éclairent le disque lunaire. L'absorption atmosphérique des rayons réfractés étant plus forte dans le bleu que dans le rouge, c'est cette dernière couleur que prend notre satellite à la totalité, avec une

2. LES TROIS TYPES D'ÉCLIPSE DE LUNE

A) La Lune passe au-delà des cônes d'ombre et de pénombre. Il n'y a pas éclipse mais tout simplement pleine lune.
B) La Lune traverse uniquement le cône de pénombre. Il y a éclipse totale ou partielle par la pénombre.
C) La Lune traverse le cône d'ombre. Il y a tout d'abord éclipse par la pénombre puis éclipse totale par l'ombre. C'est ce qu'on appelle une éclipse totale de lune, comme celle de ce mois-ci.
D) La Lune ne passe pas entièrement dans le cône d'ombre. Il y a alors éclipse partielle. La prochaine éclipse partielle visible en France aura lieu le 25 mai 1994.





intensité variant d'une éclipse à l'autre en fonction de l'état de pureté de l'atmosphère.

Un astronome français, André Danjon, a établi une échelle de quatre degrés pour caractériser les éclipses totales de lune :

- Degré 1 : éclipse sombre, grise ou brune, détails lunaire peu visibles.
- Degré 2 : éclipse rouge foncé, tache sombre au milieu du disque, zone périphérique claire.
- Degré 3 : éclipse rouge brique, bord gris jaune, assez clair.
- Degré 4 : éclipse brillante, "cuivrée" ou orangée, bord bleuté très lumineux.

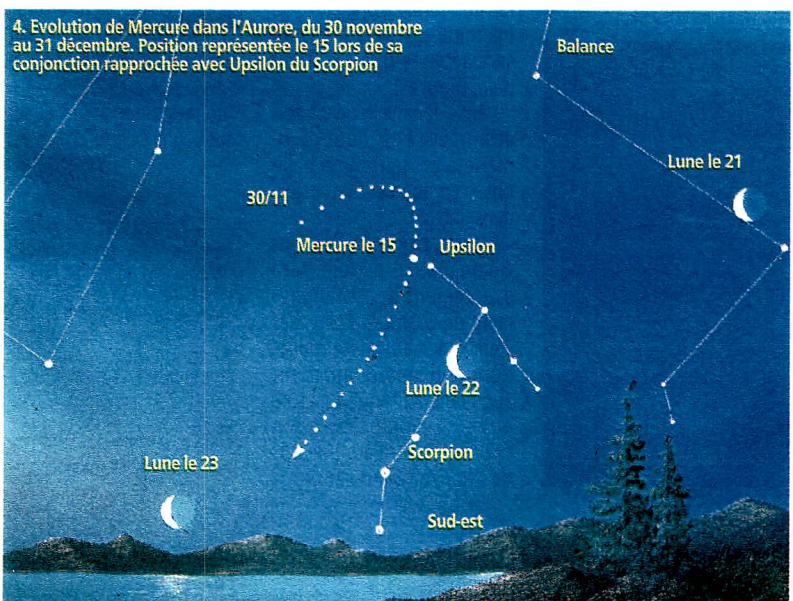
Sur le plan anecdotique, on rapporte que, pour une tribu de Bornéo, les Dayaks, les différences de coloration des éclipses totales de lune seraient dues aux types de monstres qui la dévorent. Ainsi, la Lune serait rouge lorsqu'il s'agit du monstre de cuivre, grise lorsque c'est le monstre de brouillard ou très sombre si c'est le monstre de la nuit...

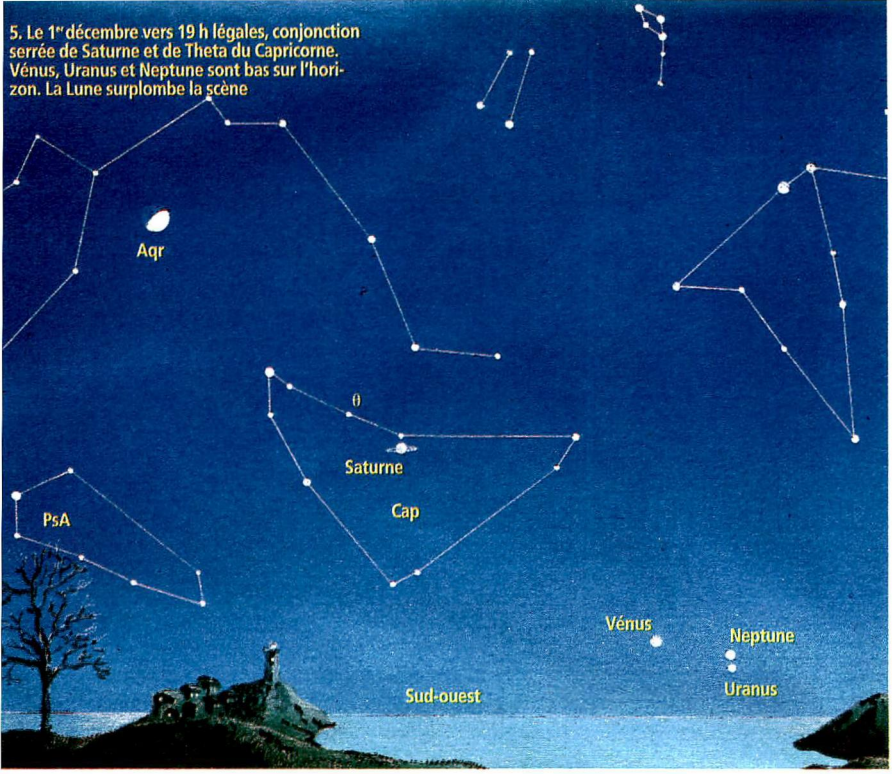
Observation de l'éclipse du 9 décembre. Il est utile de préciser pour les débutants que, à l'inverse de ce qui se passe pour les éclipses de soleil, l'observation d'une éclipse de lune ne présente aucun danger et ne nécessite pas de protection particulière. Choisissez un site dégagé, à l'écart des lumières parasites. Vous pouvez suivre le phénomène à l'œil nu mais, avec une paire de jumelles fixée sur un trépied photo, le spectacle sera encore plus saisissant, particulièrement lors de la totalité. L'idéal est une lunette ou un télescope, muni d'un grossissement faible, 60 fois maximum, pour voir la Lune en entier. Un grossissement plus fort permettra de noter en détail la progression de l'ombre. Rien ne vous empêche d'effectuer des dessins, en couleur pour les plus artistes, montrant cette progression. Bien entendu, la photographie est également possible. Utilisez un film rapide (400 ISO), ouvrez le diaphragme au maximum, fixez le boîtier sur un pied photo et munissez l'appareil d'un déclencheur souple pour éviter les vibrations au déclenchement. Il faudra un objectif d'au moins 135 mm de focale pour avoir une image correcte. Réalisez plusieurs temps de pose : de 1/125 à 3 secondes pour les phases partielles et de 2 à 8 secondes pour la totalité. Attention, au-delà de 2 secondes, une monture équatoriale est nécessaire ; sinon, il y a risque de filé dû à la rotation de la Terre.

Il faut noter que, lors de toute l'éclipse par l'ombre, la Lune se trouvera à plus de 55° au-dessus de l'horizon sud, ex-

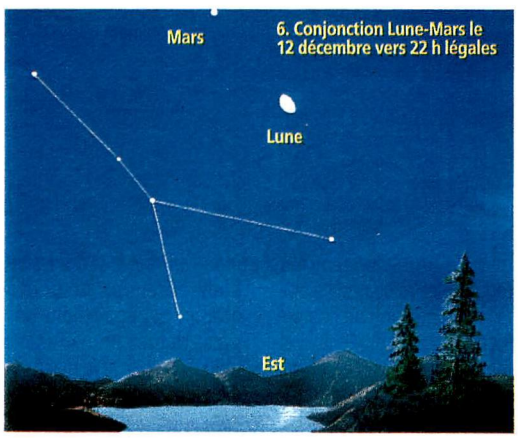
LES HEURES DU PHÉNOMENE EN TEMPS LÉGAL

Entrée dans la pénombre : 21 h 57 mn le 9 décembre
Entrée dans l'ombre : 23 h 00 mn
Début de la totalité : 0 h 07 mn le 10 décembre
Maximum : 0 h 44 mn
Fin de la totalité : 1 h 21 mn
Sortie de l'ombre : 2 h 29 mn
Sortie de la pénombre : 3 h 31 mn
Durée totale de l'éclipse : 5 h 34 mn
Durée de la totalité : 1 h 14 mn

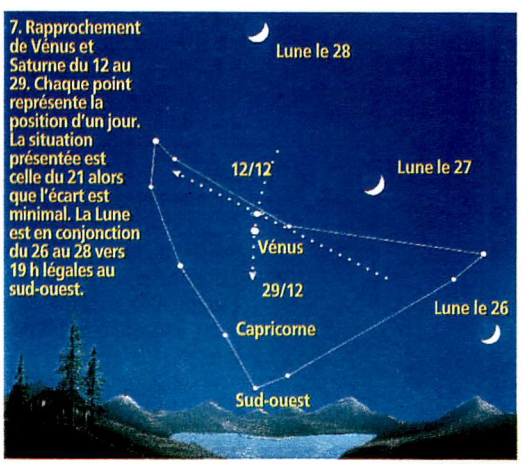




5. Le 1er décembre vers 19 h légales, conjonction serrée de Saturne et de Theta du Capricorne. Vénus, Uranus et Neptune sont bas sur l'horizon. La Lune surplombe la scène



6. Conjonction Lune-Mars le 12 décembre vers 22 h légales



7. Rapprochement de Vénus et Saturne du 12 au 29. Chaque point représente la position d'un jour. La situation présentée est celle du 21 alors que l'écart est minimal. La Lune est en conjonction du 26 au 28 vers 19 h légales au sud-ouest.

cellente position qui assure une bonne visibilité en tout lieu, un minimum de turbulence et d'absorption atmosphérique (**figure 3**).

Les rendez-vous du mois.

A l'exception de Neptune et d'Uranus, difficilement observables, toutes les autres planètes sont visibles. Ainsi, Mercure, qui atteint sa plus grande élongation ouest à 21° du Soleil le 9 et qu'on suivra le matin avant le lever du Soleil au sud-est. A noter, le 15, sa conjonction avec Upsilon du Scorpion, une étoile de magnitude 4,3 dont elle ne sera séparée que par 3 mn d'arc (**figure 4**).

Vénus domine le ciel du soir et se trouve à 42° du Soleil. La planète présente une belle phase en quartier bien visible dans une petite lunette.

Mars rétrograde dans les Gémeaux. Le 13, elle sera exactement dans l'alignement de Castor et Pollux des Gémeaux. La planète rouge, dont le diamètre apparent augmente au fur et à mesure qu'on se rapproche de son opposition, brille au-dessus de l'horizon nord-est dès la tombée de la nuit.

Jupiter est un astre brillant dans la constellation de la Vierge. Il devient visible toute la seconde moitié de la nuit à la fin du mois.

Saturne se couche de plus en plus tôt mais reste néanmoins visible le soir près de 4 h après le coucher du Soleil.

On remarquera le 1er une conjonction Lune-Saturne, vers 19 h qui domine Vénus, basse sur l'horizon sud-ouest, et Uranus et Neptune, noyées dans la brume. La planète aux anneaux est aussi en conjonction serrée avec l'étoile Thêta du Capricorne, de magnitude 4,2 ; seulement 27 mn d'arc les séparent (**figure 5**).

Le 12, c'est en début de nuit qu'on assistera au rendez-vous de la Lune et de Mars (**figure 6**).

A peine un degré séparera Vénus de Saturne dans la soirée du 21. A suivre aux jumelles ou avec un instrument muni d'un oculaire de faible grossissement à grand champ. On a d'ailleurs intérêt à observer le déplacement des deux planètes du 12 au 29. On notera le passage de la Lune à proximité du duo du 26 au 28 (**figure 7**).

Signalons également l'essaim d'étoiles filantes des Géminides qui est actif du 9 au 13, avec une chance d'observer une pluie d'étoiles filantes dans la nuit du 12.

Bonnes observations et surtout bonne éclipse !

Yves Delaye

NOUVEAU

L'Univers, une cassette vidéo VHS SECAM, vient de sortir : la découverte du cosmos grâce aux résultats des dernières sondes spatiales ! Trente minutes, en couleur et en français. En vente à la Maison de l'Astronomie, 33 rue de Rivoli, 75004 Paris. 200 F franco de port pour les lecteurs de *Science & Vie*.

INFORMATIQUE AMUSANTE

Jouons au Mastermind

Nous vous proposons de programmer, ce mois-ci, un grand classique : le Mastermind. Cependant, ce jeu de société – dont nous ne vous rappellerons pas les règles tant elles sont connues – se met très aisément sur informatique et ce, en relativement peu de lignes. Cela dit, passons à l'écriture du programme.

En premier lieu, nous fournirons à l'ordinateur l'ensemble des données nécessaires à la représentation des "pions" de couleur qu'utilise le jeu. Afin de limiter le nombre de ces données, nous les mémoriserons sous forme compressée dans des chaînes DATA. Rappelons que, pour cette opération de création graphique et de compactage, nous avons utilisé le logiciel *Supergraph* et son compresseur que nous avons déjà eu l'occasion de vous proposer dans ces pages. La première tâche de la machine sera donc d'effectuer l'opération de décompression lui permettant de retrouver le tracé d'origine. La sous-routine composée des lignes 1540 à 1630 assurera cette fonction. Notons qu'elle exploite l'instruction DRAW, propre au GW Basic. Si votre machine exploite un autre langage, notamment le Quick Basic, il faudra modifier cette sous-routine en remplaçant l'instruction DRAW par une boucle FOR... NEXT encadrant un ordre PLOT. De même, le résultat obtenu à la suite de la décompression est prévu pour fonctionner en mode VGA ; assurez-vous donc que votre machine est en mesure de fonctionner sous ce mode d'affichage précisé d'emblée en début de notre listing par l'instruction SCREEN 9 de la ligne 10.

La décompression effectuée, les graphiques seront mémorisés dans des tableaux dimensionnés par les instructions DIM des lignes 370 et 380. Trois tableaux auxiliaires mémoriseront quant à eux l'évolution du jeu. Celui-ci pourra alors commencer. Pour cela la machine affichera la "plaque perforée" recevant les pions, ainsi qu'un rappel de leurs couleurs et du numéro permettant de la demander.

A ce niveau d'exécution du programme, la machine tirera au hasard dans sa mémoire des combinaisons de couleurs ; la frappe d'une touche validera l'une d'entre elles mais elle ne vous sera, évidemment, pas communiquée. Cette solution permet d'obtenir un tirage réellement aléatoire de la disposition de pions à découvrir, ce qui, si l'on n'utilise pas ce subterfuge, n'est pas forcément le cas sur un PC.

```
10 SCREEN 9:COLOR 1,1:CLS
20 COLOR 14
30 LOCATE 10,30:PRINT "Décompression des"
40 LOCATE 11,30:PRINT "données graphiques,"
50 LOCATE 12,30:PRINT "veuillez patienter."
60 REM      ******************************
70 REM    * DONNEES DES PIONS COMPRESSEES  *
80 REM      ******************************
90 DATA 0,3,15,20,0,5,15,20,0,6,15,18,0,8,15,16
100 DATA 0,10,12,14,0,12,15,12,0,14,15,10,0,16,15,8
110 DATA 0,18,15,6,0,20,15,4,0,21,15,4,0,21,15,4
120 DATA 0,21,15,4,0,21,15,4,0,21,15,4,0,21,15,4
130 DATA 0,21,15,4,0,21,15,4,0,21,15,4,0,21,15,4
140 DATA 0,9,14,8,0,14,14,14,0,9,14,18,0,5,14,22
150 DATA 0,2,14,24,0,1,14,24,0,1,14,24,0,2,14,22
160 DATA 0,9,14,10,0,18,14,4,0,21,14,4,0,21,14,4
170 DATA 0,21,14,4,0,21,14,4,0,21,14,4,0,21,14,4
180 DATA 0,21,14,4,0,21,14,4,0,21,14,4,0,21,14,4,0,0
190 DATA 0,159,9,8,0,14,9,4,3,6,9,4,0,9,9,3
200 DATA 3,12,9,3,0,6,9,2,3,6,8,4,3,6,9,2
210 DATA 0,6,9,3,3,1,8,10,3,1,9,3,0,9,9,4
220 DATA 8,6,9,4,0,14,9,8,0,0
230 REM     ******************************
240 REM   * INITIALISATION DES VARIABLES   *
250 REM   *     DE DECOMPRESSION.          *
260 REM     ******************************
270 RESTORE 90:LET MONO=1:LET TP=1:LET LDT=80:LET
YS=0:LET CLP=15:GOSUB 1500
280 RESTORE 90:LET MONO=1:LET TP=1:LET LDT=80:LET
YS=50:LET CLP=6:GOSUB 1500
290 FOR P=10 TO 15
300 RESTORE 140:LET MONO=1:LET TP=50:LET LDT=80:LET
YS=(P-10)*50:LET CLP=P:GOSUB 1500
310 NEXT P
320 RESTORE 190:LET MONO=0:LET TP=1:LET LDT=56:LET
YS=100:GOSUB 1500
330 REM     ******************************
340 REM   *   CREATION DES TABLEAUX DE     *
350 REM   *         MEMORISATION.          *
360 REM     ******************************
370 DIM PCTB(500):DIM PCTM(500):DIM TROU(500)
380 DIM P1(500):DIM P2(500):DIM P3(500):DIM P4(500):DIM
P5(500):DIM P6(500)
390 DIM M(5):DIM J(5):DIM R(5)
400 GET (1,1)-(25,20),PCTB:GET (1,50)-(25,70),PCTM
410 GET (50,100)-(75,120),P1:GET (50,150)-(75,170),P2
420 GET (50,200)-(75,220),P3:GET (50,250)-(75,270),P4
430 GET (50,50)-(75,70),P5:GET (50,1)-(75,20),P6
440 GET (1,100)-(25,120),TROU
450 COLOR 1,1:CLS
460 REM     ******************************
470 REM   * AFFICHAGE DE L'ECRAN DE JEU.    *
480 REM     ******************************
490 FOR H=25 TO 125 STEP 25
500 FOR V=15 TO 315 STEP 15
510 PUT (H,V),TROU:PUT (H+200,V),TROU
520 NEXT V
530 NEXT H
540 PUT(400,100),P1:PUT(432,100),P2:PUT(464,100),P3
550 PUT(496,100),P4:PUT(528,100),P5:PUT(560,100),P6
560 PUT(400,205),PCTB:PUT(400,245),PCTM
570 COLOR 14
580 LOCATE 10,52:PRINT "1  2  3  4  5  6"
590 LOCATE 16,55:PRINT "Présent"
600 LOCATE 19,55:PRINT "Bien placé"
610 LOCATE 22,50:PRINT "Pour jouer taper une touche."
620 LET NUL=RND*5:IF INKEY$="" THEN GOTO 620
630 LOCATE 22,50:PRINT STRING$(28,32)
640 REM     ******************************
650 REM   * TIRAGE ALEATOIRE DES PIONS     *
660 REM     ******************************
670 FOR T=1 TO 5:LET M(T)=1+INT(RND*6):NEXT T
680 LET ESS=0
690 REM     ******************************
700 REM   *         DEBUT DU JEU.          *
710 REM     ******************************
720 FOR P=1 TO 5
730 LET K$=INKEY$:IF K$="" THEN GOTO 730
740 LET CJ=(ASC(K$))-48:IF CJ<1 OR CJ>6 THEN GOTO 730
750 LET J(P)=CJ
760 LET V=10+(ESS*15):LET H=25*P
770 IF CJ=1 THEN PUT(H,V),P1,PSET
780 IF CJ=2 THEN PUT(H,V),P2,PSET
790 IF CJ=3 THEN PUT(H,V),P3,PSET
800 IF CJ=4 THEN PUT(H,V),P4,PSET
810 IF CJ=5 THEN PUT(H,V),P5,PSET
```

Lors du déroulement de la partie, chaque combinaison proposée par le joueur sera temporairement mémorisée dès la frappe du choix du cinquième pion dans le tableau J(5), puis comparée à celle tirée en début de partie et, enfin, mémorisée dans le tableau M(5). Deux sous-routines seront employées à cet effet. La première, occupant les lignes 1240 à 1310, détecte les couleurs effectivement présentes. La seconde, lignes 1320 à 1490, compte les pions correctement placés.

Tant que la solution ne sera pas découverte et qu'il restera de la place sur la grille pour jouer, le programme reboucla. Si la solution est découverte, il précisera combien de coups vous ont été nécessaires et proposera une nouvelle partie. Enfin, si vous séchez lamentablement, l'ordinateur, grand seigneur, vous dévoilera son choix à l'issue de la vingtième tentative.

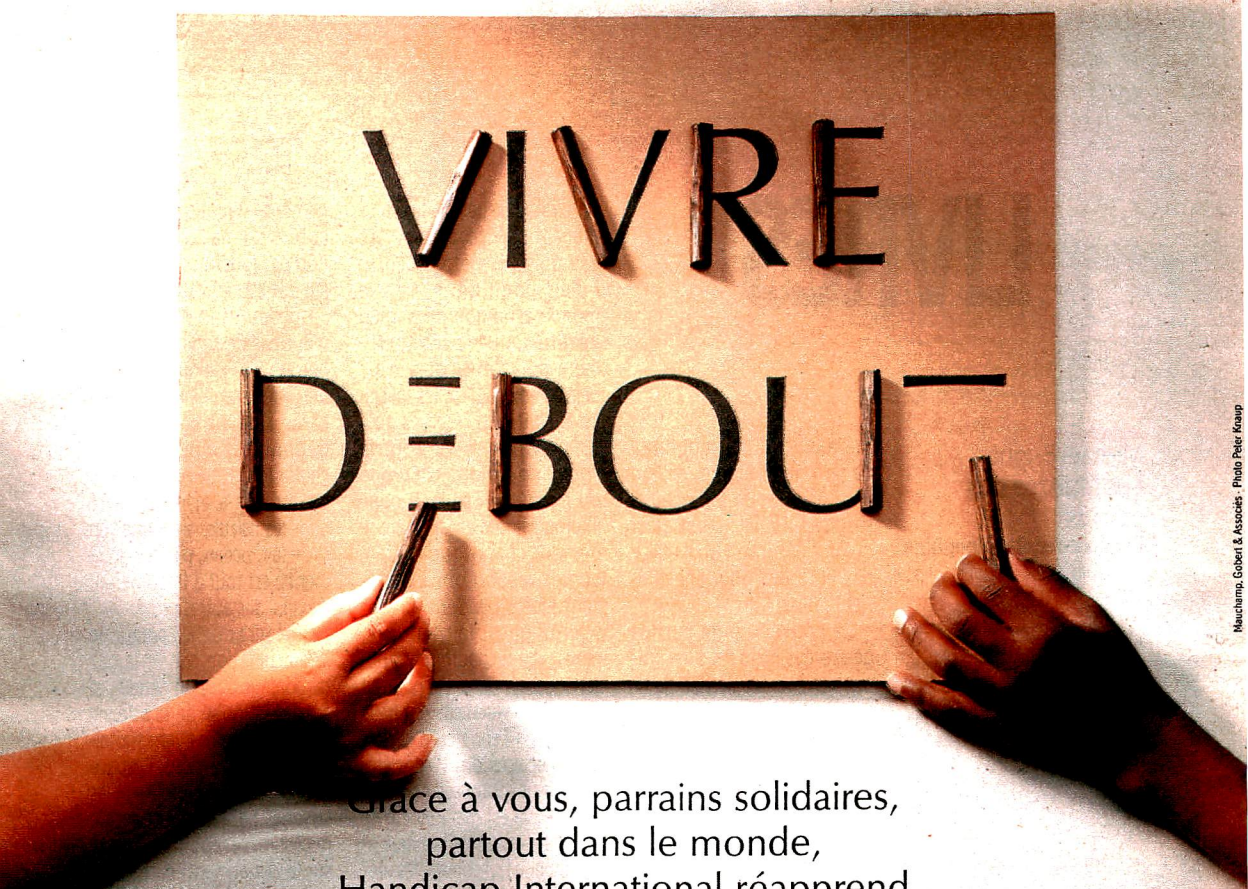
L'utilisation de ce jeu est des plus simples. Après avoir entièrement saisi le programme et demandé RUN, l'ordinateur indiquera qu'il traite les données graphiques puis affichera l'écran de jeu. Il suffira alors de taper une touche quelconque pour lancer la partie. Le choix des pions de couleur s'effectuera simplement en frappant cinq touches numériques à la suite. Au fur et à mesure, les couleurs choisies par leur numéro seront positionnées sur la grille de gauche à droite et, dès que le cinquième pion sera demandé, le résultat du coup apparaîtra. L'affichage passera alors automatiquement à la ligne suivante de la grille. En fait, l'ordinateur, en vous évitant toute manipulation inutile, fera son possible pour que vous puissiez utiliser tout votre potentiel de réflexion à la résolution de l'énigme !

Henri-Pierre Penel

VÉRIFICATIONS IMPORTANTES

De très nombreux lecteurs nous écrivent régulièrement au sujet de problèmes de fonctionnement des logiciels que nous proposons. Il ressort que, dans l'immense majorité des cas, les problèmes proviennent d'une incompatibilité de leur machine ou du langage employé. Rappelons donc que nos programmes sont destinés à des micro-ordinateurs type PC ou compatibles équipés d'un écran couleur ou monochrome VGA. Pour le langage de programmation il s'agit du GW Basic Microsoft. Certaines instructions utilisées sont incompatibles avec le Quick Basic, notamment DRAW. Avant toute tentative de saisie veuillez donc vérifier ces quelques points. Si ces conditions sont respectées les logiciels doivent fonctionner dès la demande d'exécution... sauf en cas d'erreur de copie, évidemment !

```
820 IF CJ=6 THEN PUT(H,V),P6,PSET
830 NEXT P
840 LET ESS=ESS+1
850 REM     ******************************
860 REM  *  CONTROLE SOLUTION TROUVEE.   *
870 REM     ******************************
880 GOSUB 1240
890 GOSUB 1320
900 LOCATE 1,1:PRINT CHR$(7)
910 IF PG<>5 THEN GOTO 1000
920 COLOR 14:LOCATE 21,50:PRINT "Bravo, vous avez trouvé"
930 LOCATE 22,50:PRINT "la solution en";ESS;"coups!"
940 LOCATE 23,50:PRINT "Pour une autre partie taper P."
950 IF INKEY$<>"p" AND INKEY$<>"P" THEN GOTO 950
960 GOTO 450
970 REM     ******************************
980 REM  *   AFFICHAGE DE LA SOLUTION.    *
990 REM     ******************************
1000 IF ESS<19 THEN GOTO 1190
1010 IF ESS>19 THEN GOTO 1040
1020 COLOR 14: LOCATE 21,50:PRINT "DERNIER COUP !"
1030 GOTO 1190
1040 COLOR 14: LOCATE 21,50:PRINT "-- PERDU ! --"
1050 LOCATE 22,50:PRINT "Voici la solution:"
1060 FOR I=1 TO 5
1070 LET H=25*I:LET V=310:LET PS=M(I)
1080 IF PS=1 THEN PUT(H,V),P1,PSET
1090 IF PS=2 THEN PUT(H,V),P2,PSET
1100 IF PS=3 THEN PUT(H,V),P3,PSET
1110 IF PS=4 THEN PUT(H,V),P4,PSET
1120 IF PS=5 THEN PUT(H,V),P5,PSET
1130 IF PS=6 THEN PUT(H,V),P6,PSET
1140 NEXT I
1150 GOTO 940
1160 REM    ******************************
1170 REM *    REBOUCLAGE DU JEU.          *
1180 REM    ******************************
1190 GOTO 720
1200 REM    ******************************
1210 REM * SOUS-ROUTINE DE CONTROLE DES    *
1220 REM *       COUPS JOUES.             *
1230 REM    ******************************
1240 LET PG=0:LET HG=0
1250 FOR G=1 TO 5
1260 IF J(G)=M(G) THEN LET PG=PG+1
1270 NEXT G
1280 FOR I=1 TO PG
1290 LET HG=200+(25*I):PUT(HG,V),PCTM,PSET
1300 NEXT I
1310 RETURN
1320 LET PD=0
1330 FOR I=1 TO 5:LET R(I)=0:NEXT I
1340 FOR D=1 TO 5
1350 LET DPR=0:LET RD=0
1360 FOR L=1 TO 5
1370 IF J(D)=R(L) THEN LET RD=1
1380 NEXT L
1390 IF RD=1 THEN GOTO 1440
1400 FOR H=1 TO 5
1410 IF J(D)=M(H) THEN LET DPR=1:LET R(D)=J(D)
1420 NEXT H
1430 LET PD=PD+DPR
1440 NEXT D
1450 FOR I=1 TO PD-PG
1460 IF HG=0 THEN LET HG=200
1470 PUT(HG+(25*I),V),PCTB,PSET
1480 NEXT I
1490 RETURN
1500 REM    ******************************
1510 REM * SOUS-ROUTINE DE DECOMPRESSION   *
1520 REM *    DES DONNEES GRAPHIQUES       *
1530 REM    ******************************
1540 READ CL:READ NPX
1550 LET PXX=TP:LET PXY=1+YS
1560 LET SCODE=NPX
1570 IF LDT=0 THEN RETURN
1580 IF SCODE=0 THEN READ CL:READ NPX:LET SCODE=NPX:LET LDT=LDT-2
1590 IF CL<>0 AND MONO=1 THEN COLOR CLP:PSET(PXX,PXY)
1600 IF CL<>0 AND MONO=0 THEN COLOR CL:PSET(PXX,PXY)
1610 LET PXX=PXX+1:IF PXX>(TP+24) THEN LET PXY=PXY+(1-ABS(DG/2)):LET PXX=TP
1620 LET SCODE=SCODE-1
1630 GOTO 1570
```



Maucharnp, Gobert & Associés - Photo Peter Knapp

Grâce à vous, parrains solidaires,
partout dans le monde,
Handicap International réapprend
aux enfants à marcher.

Un enfant qui perd une jambe, c'est un enfant qui entre dans la vie à cloche-pied.
Alors, partout où la guerre, la famine et la maladie mutilent, Handicap International commence par l'essentiel : un atelier d'appareillage et une équipe de formation.
Pour réapprendre aux enfants à marcher et, surtout, à vivre debout.
Avec les matériaux et les moyens dont leur entourage dispose sur place.
En devenant parrain solidaire,
vous redonnez tout simplement à ces enfants ce qui leur est dû : l'autonomie, la liberté, la joie de vivre.
125 centres Handicap International fonctionnent déjà dans le monde.
Ailleurs, d'autres enfants attendent.
Mais avec leurs nouveaux parrains, plus pour longtemps.

HANDICAP INTERNATIONAL

Quand vous faites un geste, d'autres font un pas.

Pour que demain, concrètement, des enfants puissent remarcher, je fais aujourd'hui le geste indispensable et deviens parrain solidaire, dans le pays où mon aide sera la plus utile.

☐ Je veux apporter un soutien efficace et durable aux enfants handicapés, je vous adresse un chèque (bancaire ou postal) de 120 F. correspondant à mon premier mois de parrainage.
Je recevrai un dossier de parrainage dans un délai de trois semaines, ainsi que chaque trimestre, des nouvelles de la mission, des photos et l'histoire d'un nouvel enfant qui aura bénéficié des services de l'unité de soins.

☐ Je souhaite recevoir préalablement une information complète sur le parrainage de Handicap International.

Handicap International est assimilé fiscalement à une Association Reconnue d'Utilité Publique (loi du 23 juillet 1987).
Vous pourrez ainsi directement déduire 40 % de votre don de vos impôts, dans la limite de 5 % de vos revenus imposables.

Nom _____ Prénom _____

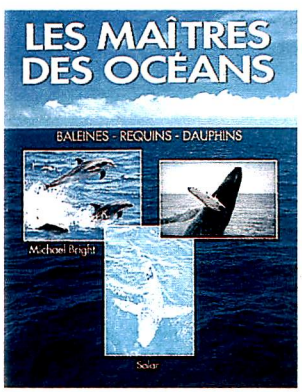
Adresse _____

_____ Téléphone _____

HANDICAP INTERNATIONAL - 14 AVENUE BERTHELOT - 69361 LYON CEDEX 07 - CCP 508 11 C LYON - TEL. 78 69 79 79

LIVRES

Michael Bright
Les Maîtres des océans
Baleines-requins-dauphins
Solar, alb. 23 X 29 cm, 192 p., 160 F.



Si le comportement des requins ne semble plus garder beaucoup de mystère, celui des baleines et des dauphins, lui, reste énigmatique. On ignore toujours, en effet, pourquoi l'orque – ou baleine tueuse – a, avec les hommes, un comportement joueur, et quelquefois absurde. En témoigne l'anecdote d'une bande d'orques attaquant un yacht, qu'ils mirent en pièces, forçant ainsi l'équipage à l'abandonner, mais ne témoignant d'aucun intérêt pour les hommes, qui eussent pourtant fait des proies de choix. Féroce avec les baleines, les dauphins et les requins, l'orque se laisse apprivoiser, devient "savant" comme un chien et même... cabot !

On ignore aussi les raisons du comportement invariablement amical du dauphin à l'égard de l'homme, et l'on n'en finit pas d'étudier aussi sa physiologie : c'est ainsi qu'on a découvert qu'il utilise des ultrasons pour anesthésier sa proie !

Ce nouvel album sur les géants des mers est à recommander pour sa clarté et la richesse de ses informations, ainsi que de ses anecdotes, et le choix remarquable des 260 photos qui constituent près de la moitié de son contenu. C'est un beau cadeau pour tous les jeunes, mais on peut parier que plus d'un adulte s'en emparera. **Gerald Messadié**

Yves Lenoir
La Vérité sur l'effet de serre
Le Dossier d'une manipulation planétaire
La Découverte, 170 p., 92 F.

Le réchauffement climatique qu'on nous annonce depuis quelques années, dû à l'effet de serre du gaz carbonique que nous rejetons dans l'atmosphère... une vaste imposture : telle est la thèse défendue par Yves Lenoir. L'auteur est rompu à ce genre d'exercices : ingénieur, ancien dirigeant de Greenpeace en France, expert et auteur de plusieurs ouvrages sur (et contre) les technologies nucléaires, il continue de s'opposer, mais cette fois à ce qu'il appelle "le consensus de l'effet de serre" – et du même coup à ses anciens camarades "verts".

Mais malgré l'étendue de ses connaissances en climatologie, Lenoir pousse parfois ses argumentations trop loin. Un exemple : il s'érige contre l'idée, dont, dit-il «tout le monde est aujourd'hui bien pénétré», que le réchauffement dû à l'effet de serre a déjà commencé. Or, les spécialistes sont plus réservés qu'il semble le penser (***voir l'article "Coup de froid sur l'Europe du Nord", p. 58***). Le Groupe intergouvernemental du changement climatique (IPCC), dont le rapport officiel, souvent moins prudent que les scientifiques, fait autorité, note : «Le réchauffement observé depuis un siècle pourrait être dû à la variabilité naturelle du climat.» Lenoir tend parfois à donner pour des vérités établies des hypothèses encore à l'étude : «Il est malhonnête de présenter le gaz carbonique et le méthane [...] comme les moteurs des changements climatiques passés», affirme-t-il péremptoirement. «La causalité est différente : les changements ont été impulsés par de brusques transitions dans la circulation océanique qui ont modifié le cycle du gaz carbonique.» En fait, les mécanismes des climats passés sont loin d'être élucidés...

Des revues telles que *Nature* ou *Science* n'hésitent pas à publier des articles de climatologie qui critiquent un article précédent ou proposent un nouveau mécanisme. Le consensus que déplore Lenoir est peut-être illusoire. Et les climatologues relativisent souvent eux-mêmes la portée des modèles élaborés et reconnaissent les insuffisances, les approximations grossières et les données douteuses que le livre souligne justement.

Le rôle majeur de l'océan (à la fois comme transporteur de chaleur et comme "absorbeur" de CO_2), que Lenoir considère d'ores et déjà comme le moteur des changements climatiques, est encore trop mal connu, mais non pas ignoré : il est actuellement très étudié.

Un peu plus de nuances n'eût pas desservi ce livre, où l'on trouve quelques critiques très intéressantes et plus nouvelles. Comme cette interrogation : est-il pertinent de choisir le CO_2 comme référence des gaz à effet de serre dans les calculs, alors que son cycle (air, océan, plantes, sédiments) est tout à fait différent de celui des autres gaz ?

Quel serait donc l'auteur de la machination contre le gaz carbonique ? Selon Lenoir, ce serait le "lobby de la science appliquée" qui, voyant s'affaiblir ses deux bastions, l'espace (fini la guerre des étoiles et les voyages habités) et l'énergie nucléaire, se reporte en masse sur le climat. Certes, ce lobby n'a encore aucune victoire à son actif, aucune mesure contraignante contre l'effet de serre n'ayant été décidée au sommet de Rio. Comme «tous les phénomènes naturels interfèrent avec le climat et que la plupart des activités productrices ont des conséquences climatiques», la science climatique serait "totalitaire" par essence, et l'écologie accéderait «à une position d'idéologie dominante». Il aurait sans doute été intéressant d'expliquer pourquoi la montée de la "conscience" écologique coïncide à la fois avec l'effondrement des pays communistes et avec une aggravation de la crise de l'économie de marché...

Le lecteur intéressé aura avantage à se procurer d'abord des ouvrages de vulgarisation de climatologues, pour mieux comprendre, ensuite, le ton polémique de l'auteur. Il n'en appréciera que davantage les éléments intéressants versés au dossier du climat.

Hélène Guillemot

Géographie universelle

Sous la direction de Roger Brunet

Antoine Bailly, Gérard Dorel, Jean-Bernard Racine, Paul Villeneuve

Etats-Unis, Canada

Hachette-Reclus-CIC Banque, alb. 23 X 29 cm, 480 p. ,448 F.

Ce quatrième tome d'une vaste entreprise qui en comptera dix, et dont nous avons présenté dans ces pages les deuxième et troisième tomes, se distingue des précédents. L'approche s'en veut beaucoup plus factuelle, voire technologique, nettement moins chargée d'intentions sociologiques et d'un style considérablement plus direct. Comparé aux précédents, c'est un ouvrage "froid".

Il frappe par l'usage extensif de grands schémas dynamiques, certes très savants, mais dont on peut se demander s'ils seront accessibles à tous. Ainsi les deux schémas accolés p. 167, "La façade du Pacifique – modèle graphique", résument l'un le milieu, l'histoire et la résultante contemporaine des deux, l'autre, le modèle d'ensemble. Surchargés de flèches colorées, de symboles, de sigles et de termes obscurs ("associat", "conurbations", "synapses"), ils ressemblent à des illustrations de biologie moléculaire ou de neurologie, et, sauf faiblesse intellectuelle de notre part, ils sont bien abstrus. D'autant plus qu'ils ne sont pas accompagnés de légendes explicatives.

Or, de tels schémas abondent et même surabondent, comme celui de la p. 159, sur "Les structures spatiales" de la Californie, établi avec "trois groupes de chorèmes" (qu'est-ce qu'un chorème, grand ciel ? Même *le Grand Dictionnaire encyclopédique Larousse* ne le dit pas !). Et ils sont tellement savants, tellement denses, qu'on en reste perplexe.

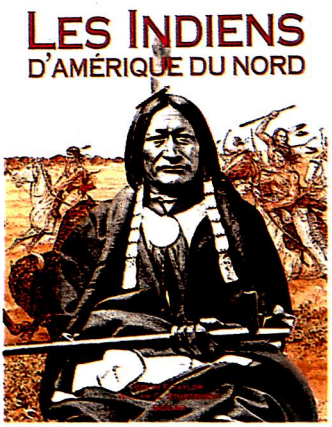
Le texte est constitué d'exposés successifs, heureusement plus clairs, mais tellement secs qu'en comparaison, l'exposé annuel de la Cour des comptes apparaît comme un roman d'aventures. C'est rigoureux, certes, mais cela ne flatte pas le goût de la découverte. Exemples du style : «La plupart des grands référents idéologiques des habitants des Etats-Unis se combinent pour faire du croissant périphérique leur terre d'élection.» Ou encore : «Dès les années 1970, il apparaît à tout observateur des horizons suburbains torontois, même lointains, que le modèle du déferlement pavillonnaire strictement horizontal et discontinu, si typique des Etats-Unis, est déjà dépassé.» Ah bon ?

A qui s'adresse donc un tel ouvrage ? A une poignée de spécialistes, sans doute. Car un lecteur moyen, et même supérieur, qui voudrait obtenir l'essentiel des données historiques, économiques ou démographiques sur les Etats-Unis ou le Canada les trouverait bien plus commodément dans *l'Encyclopædia Universalis* ou la *Britannica*.

Nous sommes contrariés de conclure que ce volume de la *Géographie universelle* n'est pas plus réussi que les précédents. Nous le sommes parce que nous espérions en effet

beaucoup d'un projet aussi ambitieux, placé sous le signe de l'illustre Elisée Reclus et qui mobilisait autant de moyens et de compétences. Mais la cible nous semble avoir été mal définie, et l'approche apparemment laissée au gré de tendances étrangères à la transmission simple et directe de l'information. **G.M.**

Colin F. Taylor et William C. Sturtevant
Les Indiens d'Amérique du Nord
Solar, album 234 X 29 cm, 254 p., 220 F.



Il s'agit de la traduction de l'un des ouvrages américains sur les Indiens – et il en est évidemment beaucoup – qui ont connu le plus grand succès. L'une des raisons de ce succès est une originalité très heureuse : la présentation, sur double page en couleurs, des habits, armes et artefacts typiques de chaque tribu. C'est une prouesse ethnographique de tout premier ordre. Très nettement photographiés, en couleurs, les objets donnent presque une impression tactile. Seule la collection de Gallimard "Les yeux de la découverte" a fait mieux, du point de vue de la qualité de reproduction, dans ce domaine. C'est une admirable méthode pédagogique pour démontrer la spécificité des cultures tribales, et dissiper l'idée que les Indiens d'Amérique du Nord étaient "tous les mêmes" – ou peu s'en faut. Elle compense largement le caractère assez sommaire de l'exposé général sur les Peaux-Rouges.

Un ouvrage à la fois pour spécialistes et pour grand public de tout âge. **G.M.**

Alain Mercier et Luc Guinguet
Les Arts et Métiers en toutes lettres
Regards d'écrivains sur un musée technique
Musée national des Techniques (tél. : 1 40 27 23 71), 102 p., 65 F.

D'abord négligé, puis devenu vétuste, le musée des Arts et Métiers est en cours de rénovation. Il rouvrira ses portes en octobre 1994, pour le bicentenaire du conservatoire national qu'il est.

En dépit des quelque 80 000 objets qu'il abrite, cette réhabilitation s'inscrit heureusement dans les murs qui l'ont vu naître. Afin de préserver la charge d'histoire et d'émotion qu'ont captée ces murs, sous l'égide, d'abord, de la spiritualité, puis de la technique et du progrès. Car, enfant métis mettant à profit cette hérédité pour se forger une spiritualité unique, lieu en quelque sorte magique, carrefour de mémoires ancestrales et de techniques novatrices, où rêve et réalité s'imbriquent au fil du temps, le conservatoire est issu de l'ancien prieuré des bénédictins de Saint-Martin-des-Champs et d'une jeune collection d'objets techniques. Le musée ne sera dissocié qu'au XIX^{e} siècle de sa fonction d'établissement d'enseignement. Créé en 1794 par l'abbé Grégoire et la Convention, ce «dépôt de machines, modèles, outils, dessins, descriptions et livres» devait recueillir un exemplaire de chaque objet industriel, de la même manière que tout ce qui est édité doit être déposé à la Bibliothèque nationale.

Nulle grande voix n'aura aujourd'hui à s'élever et à tonner, comme retentit celle du formidable Hugo, en 1880, à l'occasion d'un réaménagement architectural prévoyant la destruction de l'une des quatre tours principales de l'ancienne abbaye : «Démolir la tour, non. Démolir l'architecte, oui... Il ne comprend rien à l'histoire et par conséquent rien à l'architecture... Prenez cette base : tous les vieux vestiges de Paris doivent être conservés désormais. Paris est la ville du passé. Pourquoi ? Parce qu'elle est la ville de l'avenir.»

Il était donc "entré en littérature" ; il n'en est pas ressorti. Quelques-unes des voix qui l'ont salué ou décrit, Balzac, Mérimée, Jules Romains, Strindberg, Julien Green et quelques contemporains, ont participé au recueil conçu et réalisé par Alain Mercier, archiviste du musée national des Techniques, et magnifiquement illustré par Luc Guinguet, dans la tradition du dessin technique qui a fait la renommée du conservatoire.

De la nostalgie ? Non, de l'amour du futur, comme disait Hugo. **Gérard Morice**

Paul Couteau
Le Grand Escalier
Flammarion, 270 p., 115 F.

«A passer ses nuits à la belle étoile, on réfléchit», note l'auteur dans son avant-propos. Inventeur de 2 700 étoiles doubles, Paul Couteau, astronome à l'observatoire de la Côte d'Azur, a largement eu le temps de méditer sur le "grand escalier" qui mène des quarks aux galaxies. Il propose au lecteur de l'explorer marche après marche, chaque échelon correspondant à un changement d'échelle d'un facteur 10.

Le voyage commence par une descente, de l'échelle humaine (le mètre, ou "marche 0") à celle des atomes (la dixième marche vers le bas, c'est-à-dire l'angström). Puis on plonge vers les quarks, composants ultimes de l'atome, et les particules vecteurs des forces fondamentales (vingtième marche). A la marche 35, l'escalier se termine sur «des phénomènes de fluctuations quantiques qui font penser à la fin du monde», conclut l'auteur.

Couteau remonte alors l'escalier quatre à quatre vers le monde des astres (marches 8 et 9 vers le haut) sur lequel l'astronome, davantage à l'aise que dans l'infiniment petit, s'étend plus longuement. Suivent les galaxies, les trous noirs et, une nouvelle fois, en bout de piste, l'inconnu. Tout au long de ce grand voyage, le texte reste très accessible, même à ceux qui ne connaissent rien en physique. L'auteur recourt en effet à de nombreuses images pour représenter les mutations profondes qui s'opèrent à chaque changement d'échelle. Revers de la médaille : ces images risquent de lasser un lecteur plus averti, lequel trouvera sans doute un peu "courtes" ces métaphores destinées à esquiver les plus gros obstacles.

L'ouvrage est émaillé d'incidentes parfois drôles, parfois surprenantes. On apprend ainsi comment une balle de tennis pourrait accomplir le trajet Paris-New York en quarante minutes (il suffirait de percer un tunnel rectiligne entre les deux villes et de lais-

ser jouer la force de gravité). Incidentes quelquefois même saugrenues : «La meilleure façon de sauver l'humanité d'une catastrophe à long terme, propose l'auteur, serait de reproduire à distance l'espèce humaine par émission radio du code génétique.»

Voilà quelques mois, Claude Allègre nous conviait à un voyage à travers le temps – du big-bang à la disparition de l'homme – avec son excellente *Introduction à une histoire naturelle* (Fayard, 1992). La promenade de Couteau est plus superficielle, mais ouverte à un public plus large.

Edouard Launet

Pascal Entremont
Chasseur de pierres
Robert Laffont, 210 p., 110 F.

On s'en doute, la pierre ne se chasse ni à l'arc, ni au fusil, ni au faucon, mais au marteau de géologue, au densitomètre et au réfractomètre ; à part cela, il y faut tout autant de flair, de coup d'œil, d'endurance pour suivre la piste en brousse ou en altitude, et de connaissance du milieu prospecté. Quant aux munitions, elles ne sont pas en cuivre, mais en papier vert libellé en dollars.

Pour l'auteur, le départ à la chasse s'est fait en trois temps : une enfance effervescente consacrée aux champignons, aux poissons exotiques, et aux quartz de la Haute-Savoie ; puis l'adolescence à Londres pour apprendre l'anglais, et là, une rencontre : celle d'un prestidigitateur qui va lui apprendre les arcanes de son art, mais après lui avoir fait jurer de toujours lutter contre les mystifications.

Troisième temps, "baba cool" à 18 ans, Katmandou, la route des Indes, et, tout le long de cette route, des pierres colorées pour lesquelles il se prend de passion, mais qui vont lui rappeler son serment : émeraude ou cul de bouteille verte, quartz rose ou verre d'officine ? Car la pierre de couleur, c'est le royaume de la mystification : vendre au touriste, comme au prospecteur sans compétences, du corindon fait à la chaîne – quand ce n'est pas du verre à vitres mollement teinté – au prix du rubis. Pascal Entremont découvre que, pour déjouer les mystificateurs, il faut commencer par s'y connaître.

Retour au pays, études de gemmologie et travail le soir chez un marchand de minéraux. A 20 ans, importateur de pierres précieuses, un premier magasin à Annecy et un bagage scientifique qui devient solide. Et depuis, l'auteur n'a pas cessé de courir le monde, d'y chercher des pierres et d'approfondir ses connaissances. C'est qu'aujourd'hui, les techniques de pointe de la synthèse et des traitements de surface ont progressé, à tel point qu'il devient presque impossible de distinguer un rubis naturel d'un corindon rouge fondu en laboratoire, ou d'un cristal naturel chauffé, irradié ou traité au faisceau de particules.

Pour déceler la supercherie, il faut un matériel de laboratoire haut de gamme, et il faut savoir s'en servir. C'est ce métier d'aventurier scientifique que retrace Entremont dans un style volontiers elliptique, passant du Gemmological Institute of America aux fondrières birmanes sans transition. Mais, vrai, il y a tant à dire : la recherche, la prospection, la course à la variété rarissime dans le vent glacé de l'Himalaya, dix mille kilomètres pour voir un filon qui commence dans l'arrière-cour d'un bar à matelots malgaches et se termine à Paris sur les graphiques que débite le spectrographe...

Un livre qui se lit comme un

POUR LES FÊTES DE FIN D'ANNEE

" Offrez-lui le journal du jour de sa naissance ! "

Le journal anniversaire en coffret cadeau

Cadeau précieux, le journal anniversaire est présenté dans un luxueux coffret. C'est un **vrai journal** puisé dans un stock unique de journaux de collection parus de 1890 à nos jours.

Il est accompagné d'un **certificat d'authenticité du Musée de la Presse.**

Il est expédié chez vous, sans risque, sous 48 heures.

Bon de Commande

A envoyer, accompagné d'un chèque bancaire, CCP, ou mandat du montant de votre commande à : **Boutique du Musée de la Presse, 43, rue de l'Arbre Sec 75001 PARIS**

Nom _____
Pénom _____
Adresse _____
_____
Code postal _____
Ville _____

Dates des journaux commandés		
Jour	**Mois**	**Année**

Prix: 190f par journal avec son coffret et son certificat d'authenticité. Frais d'envoi inclus.

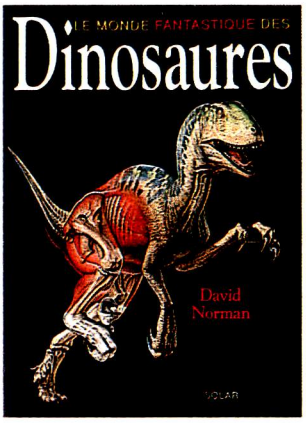
M22

Ci-joint un paiement de !

roman, d'autant plus corsé que les pierres de couleur valent des centaines de fois leur poids d'or, ce qui, bien sûr, fait courir beaucoup de monde sur un terrain où les experts dignes de ce nom sont bien rares : la science et le commerce n'ont pas les mêmes intérêts. C'est une chose à savoir quand il s'agit de séparer le vrai du faux, et on peut espérer qu'elle sera encore mieux connue quand l'auteur aura réalisé son rêve : monter un musée où seront exposées toutes ses plus belles gemmes. En résumé, un auteur original dans une aventure où les palabres ont autant de poids que le verdict du spectromètre.

Renaud de La Taille

David Norman
Le Monde fantastique des dinosaures
Solar, alb. 23 X 29 cm, 92 p., 165 F.



Même si le sujet commence à être un peu défraîchi, cet ouvrage se distingue par le nouvel éclairage jeté sur les dinosaures. Ce ne sont là ni des squelettes figés dans un muséum, ni des maquettes rigides dans un décor, mais des reptiles en chair et en os avec un cœur qui bat, un tube digestif qui absorbe et digère les aliments, des muscles qui bougent.

Grâce aux traces des insertions musculaires laissées sur les os, on peut voir, sous forme de planches anatomiques, la musculature de ces animaux et, en s'appuyant sur la distance du cerveau par rapport à la cage thoracique, on apprend que le cœur était un organe bien cloisonné, semblable à celui des mammifères et des oiseaux. La découverte de cailloux polis à l'intérieur de la cage thoracique de certains dinosaures herbivores nous apporte des lumières sur l'anatomie de leur tube digestif, qui devait être muni d'un organe masticateur comparable au gésier des oiseaux actuels.

L'un des meilleurs chapitres est celui qui traite des différentes hypothèses émises sur l'origine des dinosaures depuis la découverte des premiers ossements au XVII[e] siècle. Une anecdote amusante : un fémur, mis au jour en 1677 dans une carrière d'Oxford, fut attribué à un éléphant qui aurait été amené en Angleterre par les Romains...

Pour la partie traitant de la zoologie, pas de révélations sensationnelles, mais des données de base. Même si on l'a déjà lu quelque part, l'auteur nous rappelle que, contrairement aux idées reçues, les dinosaures étaient de toutes les tailles, les plus grands atteignant une vingtaine de mètres de long, les plus petits étant à peine plus gros qu'un poulet. Ils vivaient sur la terre ferme, étaient bipèdes ou quadrupèdes, herbivores ou carnivores. Ils apparurent sur la Terre il y a environ 220 millions d'années et disparurent à la fin du Crétacé, il y a 66 millions d'années, sans qu'on sache encore de manière sûre si cette extinction est due ou non à l'impact d'une météorite géante.

L'auteur dirige en Angleterre le département de paléontologie du Nature Conservatory Council, et poursuit des recherches sur les premiers dinosaures de Grande-Bretagne. Les illustrations sont cependant un peu tristes.

Pierre Rossion

David T. Suzuki, Anthony J. F. Griffiths, Jeffrey H. Miller et Richard C. Lewontin
Introduction à l'analyse génétique
De Boeck-Wesmael, 800 p., 432 F.

Lorsque quatre "poids-lourds" de la génétique moderne se lancent dans l'exposition d'une science aussi rapidement remaniée que la génétique, le résultat est impressionnant.

C'est le premier ouvrage aussi complet qui soit offert, en français, au monde universitaire et estudiantin. Les deux grands chapitres sur la discipline génétique et le mécanisme de l'hérédité, d'une part, et les techniques génétiques moléculaires pour l'étude du gène, d'autre part, sont magistraux. Car la génétique classique est irremplaçable ; elle seule permettra d'étudier ce territoire encore largement inconnu qu'est le génome, d'aborder les territoires inexpliqués, d'analyser les mécanismes cellulaires. C'est elle qui, récemment, a établi le rôle prééminent de l'ARN transcrit de la matrice de l'ADN chromosomal.

Au premier chapitre, on nous rappelle que Gregor Mendel a fondé la génétique sans aucun des outils de la biologie moderne et qu'il en énonça les lois, en 1865, par simple raisonnement. Première loi : les deux membres d'une paire de gènes se séparent, lors de la formation des gamètes, de telle manière qu'une moitié des gamètes porte l'un des membres de la paire, et la moitié restante, l'autre. Deuxième loi : pendant la formation des gamètes, la ségrégation des membres d'une paire de gènes s'effectue indépendamment de celle des membres d'une autre paire de gènes.

Le deuxième chapitre, consacré à la théorie chromosomique de l'hérédité, comporte un rappel historique qui garde toute sa valeur : en 1902, Walter Sutton, étudiant, et Theodor Boveri, biologiste allemand, énoncèrent le principe que les "particules" de Mendel ont le même comportement que les chromosomes : elles vont par paires et se comportent de façon indépendante. Cela fit l'effet d'une bombe et, pendant quarante ans, on s'efforça de démontrer que c'était faux.

En 1909, Thomas Morgan, en croisant des mouches du vinaigre, découvrit l'hérédité liée au sexe ; en effet, le mode de transmission de certains gènes est tel qu'il apparaît plus que probable que ceux-ci se trouvent sur les chromosomes déterminant le sexe. En 1913, Elinor Carrothers découvrait chez la sauterelle une paire de chromosomes qui n'étaient pas identiques. De là, et de l'étude d'un chromosome solitaire, découla une hypothèse majeure : les chromosomes non homologues se réarrangent de façon indépendante.

Tous ceux qui avaient cru que la biologie consistait en l'observation des fourmis, à la façon de Fabre, en restèrent abasourdis. Et plus encore quand un élève de Morgan, Calvin Bridges, utilisa la théorie chromosomique pour prédire exactement les résultats de certaines analyses génétiques des descendants exceptionnels d'une première, puis seconde génération de mouches : c'était la première démonstra-

tion de la théorie chromosomique des gènes.

Le quatrième chapitre est consacré aux développements de l'analyse mendélienne – aux allèles, qui sont les états et formes différents de chaque gène, à leurs rapports, aux interactions entre gènes différents, et à l'importance de chaque gène dans le phénotype, qui dépend non seulement de sa dominance, mais de conditions liées au reste du génome et de son milieu.

Les cinquième et sixième chapitres font le lien avec la biologie génétique, et expliquent justement le *linkage* : deux gènes séparés par une distance physique D sur un même chromosome ont d'autant plus de chances d'être transmis ensemble à la descendance que cette distance est faible. Ce phénomène s'explique par le *crossing-over* : les chromosomes d'une même paire échangent du matériel génétique lors de la méiose. Des études statistiques permettent de calculer cette distance.

Le chapitre sept porte sur la mutation, somatique ou germinale, sur les mutations conditionnelles ou de résistance, sur leur utilité, leur fréquence, leur détection, les systèmes de sélection utilisés pour produire des mutations au laboratoire et sur leur utilisation en élevage.

Ce n'est qu'en seconde partie que les concepts clefs de la génétique actuelle sont analysés : recombinaisons chez les bactéries et virus, transferts d'ADN par conjugaison des cellules, transductions généralisées de segments de chromosomes pour les virus encapsulés. On y retrouvera tout ce qu'on peut espérer de plus récent sur la structure de l'ADN, sa réplication, sa fonction, la nature du gène, sa relation avec la protéine spécifique pour laquelle il code, sa forme, les sites de mutation, la complémentation entre chromosomes défectueux, le code génétique, les introns et exons, etc.

La fin de l'ouvrage est remarquable pour son exposé des manipulations génétiques par la méthode de l'ADN recombiné et la sélection des gènes clonés. Son caractère hautement spécialisé n'en fait certes pas un livre ennuyeux : dès le premier chapitre, on apprend que la pilosité du bord de l'oreille est déterminée par un gène du chromosome Y. L'abondance et la qualité des illustrations sont confondantes. Ce n'est pas seulement un ouvrage de référence, mais un modèle du genre. **Jean-Michel Bader**

Claude Hagège
Le Souffle de la langue
Odile Jacob, 286 p., 130 F.

Il faudra donc que nous parlions plusieurs langues, dit en substance Claude Hagège. «L'Europe donne vocation à ceux qui l'habitent d'étreindre la diversité du monde, écrit-il ; elle devrait donc échapper aux dangers de l'unilinguisme.» Le propos est généreux, et l'on veut espérer que l'avenir le vérifiera.

Avec la grande érudition dont il est coutumier, Hagège entend démontrer que le phénomène est en cours ; il va chercher ses exemples parfois assez loin, par exemple en Ukraine subcarpathique, l'ancienne Ruthénie, enlevée à la Slovaquie et rattachée à l'Ukraine en 1945. On y parle, en effet, l'ukrainien, le slovaque, le hongrois, le polonais et le roumain. L'exemple, toutefois, est discutable, parce que le multilinguisme de cette région est dû à des déplacements brutaux de populations. On parle aussi allemand

POURQUOI ACCEPTER D'ÊTRE CHAUVE ?

La chirurgie Esthétique vous permet par une technique sure, efficace et indolore, **de retrouver définitivement vos vrais cheveux.** Grâce à un progrès technique spectaculaire, les MICROGREFFES permettent de reconstituer la **ligne frontale de façon naturelle.**

Clinique du Rond-Point des Champs-Elysées
61, av. F.D. ROOSEVELT, 75008 PARIS
43.59.49.06 / 43.59.71.63
Sur Minitel : 3615 CLINFORM

Consultation gratuite ou documentation envoyée sur demande

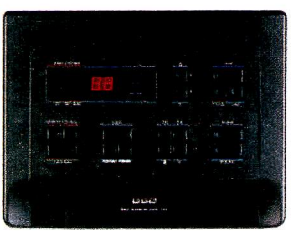
NOM .....
ADRESSE .....
.....

S.V. 12-92

ACTUALITÉ COMMERCIALE

TABLE DE MONTAGE AUDIO VIDEO : GSE VAE 1 (- de 4000 F TTC)

NOUVEAU
Pilotage du camescope lecteur par prise remote; Type Sony-Panasonic
OPTION
Kit de montage au RCTC SONY



Les camescopes - Magnétoscopes - Lecteurs de formats différents et standards SECAM ou PAL s'adaptent sur la GSE VAE 1 (VHS-8 - SVHS-HI 8)

- Grande précision de montage pour l'ensemble des formats vidéo.
99 plans programmables.

***CADEAU* : une cassette VHS Secam de mode d'emploi et de conseils.**

Pour toutes informations complémentaires écrire à: **UNIVERSAL ELECTRONIQUE**
29, rue Stephenson - 75018 Paris

dans l'ancien Sudetenland, comme on parle turc en Bulgarie et grec dans certaines régions de la Turquie. Ou allemand à Strasbourg.

C'est donc faisable, mais à quel prix ? Il le dit lui-même : on enseigne en France treize langues, dont neuf européennes. A qui bénéficie cet enseignement ? Combien y a-t-il de diplômés français du "banal" anglais ? Combien parmi eux parviennent à comprendre couramment et précisément un journal anglais (ou américain) ou à suivre sans difficulté une émission de télé anglaise ou américaine ? Il n'existe pas d'étude qui permette de le dire, sur la base d'une appréciation qualitative, mais nous ne serions pas surpris que le taux ne dépassât pas 10 %. C'est-à-dire 10 % d'une crème de la crème.

«L'effort à consentir pour développer encore l'enseignement des langues étrangères apparaît comme un des préalables au maintien des positions actuelles du français», écrit encore Hagège. Nous en convenons, qui ne le ferait ? Mais combien de temps faudra-t-il donc pour que la France devienne polyglotte ? Et que les autres pays le deviennent aussi ? Quelles raisons aurait-on de croire que le polylinguisme ne serait pas le fait d'une élite, c'est-à-dire qu'il ne changerait rien aux habitudes ?

Il donne lui-même des raisons de scepticisme : «La complaisance que les Français mettent à vénérer leur langue maternelle et à la placer au-dessus de tout autre idiome européen éveille une méfiance inutile...», écrivait un auteur en allemand, en 1973, aux grandes heures de l'entente franco-allemande. Sans doute cet auteur eût-il voulu que les Français préférassent naturellement l'espagnol ou le grec, pour ne pas dire l'allemand. Mais enfin, on l'a vu pour Maastricht, et on le voit encore plus en Yougoslavie et dans les républiques satellites de la Russie, il est bien difficile d'enlever aux peuples le sentiment de leur identité. Or, l'identité ethnique est indissociable de la langue.

L'abondance des données peu connues ou inédites qu'on trouve dans le livre de Hagège fait que la lecture n'en est jamais ennuyeuse. Mais l'absence de quelques autres laisse perplexe. Dans quelle mesure peut-on espérer qu'un citoyen d'un quelconque pays d'Europe, qui, le plus souvent, maîtrise tout juste sa langue, en apprendra correctement une autre ? Au Canada, par exemple, le bilinguisme coutumier ne change rien au fait que la majorité des gens parlent mieux une langue qu'une autre, et rarement les deux de façon satisfaisante. Peut-on espérer qu'il en apprendra trois ou quatre ?

Les descriptions qu'il donne de langues intermédiaires, comme le judéo-espagnol, ou djudezmo, ou encore le yiddish, semblent indiquer que Hagège plaiderait pour la création de pareilles *linguae francae*. Il relève ainsi que l'extinction du djudezmo entraîna la fin du rayonnement espagnol ; le point mériterait vérification. Mais il nous semble que la création de ces deux langues tenait à la condition des Juifs, constamment chassés ou pourchassés d'un pays à l'autre et, pour commencer, d'Espagne. Envisage-t-on, sur le même modèle, un "frallemand", un "frusse" ou un "anglagnol" ? Et quel aura été, en fin de compte, l'intérêt d'une langue altérée telle que le franglais, si ce n'est, pour de fausses raisons de commodité, c'est-à-dire de paresse et d'ignorance, de rendre le discours confus ?

Serait-ce un plaidoyer masqué pour l'abâtardissement que présente Hagège ? On lui opposera alors que, lorsque la langue française était, avant l'anglais, la première langue internationale, les francophones de Russie, de Turquie, d'Allemagne, d'Egypte, d'Argentine, la parlaient et l'écrivaient impeccablement et, parfois, même, avec plus d'esprit que les "naturels". **G.M.**

Philippe Devisme
Packaging mode d'emploi
Dunod, 236 p., 192 F.

Le "packaging" – restons français, l'emballage – n'est plus seulement le contenant d'un produit, son protecteur et le moyen de le transporter. Il est aussi devenu, depuis belle lurette, un média : il doit véhiculer également les caractéristiques et l'identité uniques de ce produit et le faire acheter de préférence à ses voisins, placés aux mêmes endroits, sur les mêmes rayons des magasins, et qui rendent le même service ou un service similaire. Il doit encore être adapté aux exigences du consommateur en matière de transport, de facilité d'usage et d'élimination finale.

L'emballage est l'ultime enveloppe (l'ultime message) et le premier contact entre le consommateur et le produit. Or, l'évolution de la distribution (libre-service, chaîne du froid, etc.) a à ce point modifié les principes de vente que ce deuxième rôle est devenu le plus important : tout en protégeant le produit contre les facteurs d'agression internes et externes, et en maintenant sa qualité jusqu'à l'utilisation, l'emballage provoque la vente. On dit de lui qu'il est un "ven-

PHOTOGRAPHES ET ILLUSTRATEURS

(Les crédits sont indiqués page par page, de gauche à droite et de haut en bas)

Couverture : P. Chapelle – L. Lacoste ; p. 2-3 : MPIA/Ciel & Espace – Cornuet – Ch. Lascu – Stereotactiz Med. Syst. – F. Henry/REA – D. Chailloux/IBM – K. Can/SIPA ; p. 6 : Finzo ; p. 8 : DR ; p.12-17 : Finzo ; p. 23 : Coll. Christophe L. ; p. 24 : J. Bero/Photothèque SDP ; p. 26 : Futuropolis ; p. 30 : A. Meyer ; p. 36-37 : CNES ; p. 38-41 : I. Corréia ; p. 44-45 : Eso - A. Fujit/Ciel & Espace ; p. 46 : Eso/Ciel & Espace ; p. 47 : CEA/Ciel & Espace ; p. 50 : F. Henry/REA ; p. 51 : I. Corréia – DR ; p. 55 : Johnshone-Liaison/Gamma ; p. 56 : Hestoft/Saba/REA ; p. 57 : I. Python ; p. 58 : B. Van Vliet-Lanoé/CNRS ; p. 59 : P. Bon d'après P. D. Jones ; p. 60 : G. Delpit d'après B. Van Vliet-Lanoé ; p. 61 : B. Van Vliet-Lanoé/CNRS ; p. 62 : D. Galland d'après P. D. Jones ; p. 63 : P. Bon d'après P. D. Jones ; p. 64 : D. Galland ; p. 66-67 : Cornuet ; p. 68-69 : L. Mee ; p. 70-71 : P. Bon – DR ; p. 72 : A. Lyskine/RIA-Novosti ; p. 74-75 : Ch. Lascu ; p. 76 : J. -F. Pénichoux ; p. 78-79 : Ch. Lascu – DR ; p. 81-82 : DR ; p.83 : DR - Siteh/REA ; p. 84 : I. Python ; p. 86 : DR ; p. 88-89 : I. Python – DR ; p. 90 : IBM ; p. 91 : D. Chailley/IBM ; p. 92 : Texas Instr. ; p. 93 : F. Ménager ; p. 94 : D. Galland ; p. 95 : I. Corréia ; p. 98-99 : N. Vial ; p. 100 : Cogema ; p. 101 : I. Corréia ; p. 103 : E. Malemanche ; p. 105 : I. Corréia ; p. 106 : Gamma ; p. 108-109 : P. Chapelle ; p. 113 : Cham/Sipa Press ; p. 116-119 : I. Corréia ; p. 120 : DR ; p.121 : Guis-Lenotre/Gamma ; p. 123 : F. Malzieu ; p. 124-125 : Dr C. Cutting NYU Med. Center – K. Andriotis/IBM Research Center – Studio de la Revirge – P. Cinquin/Imag Timb ; p. 126 : F. Malzieu ; p. 127 : A. Eidelman/INRIA ; p. 128-129 : T. Lippert ; p. 130 : M. Isaac ; p. 131 : C. Lacroix ; p. 132 : Du Feutrelle ; p. 133 : M. Isaac ; p. 134-136 : L. Lacoste ; p. 139 : Finzo ; p. 140 : L. Lacoste ; p. 142-145 : E. Malemanche ; p. 147-148 : N. Papamiltiades – DR ; p. 149 : London Picture Service ; p. 150-153 : N. Papamiltiades – DR ; p. 154-159 : DR – E. Malemanche ; p. 161 : M. Toscas/Galerie 27 ; p. 162-163 : M. Roux-Saget ; p. 164 : M. Toscas/Galerie 27 ; p. 166-168 : M. Roux- Saget ; p ; 172-176 : DR.

deur silencieux", du fait de sa puissance d'attraction visuelle.

L'importance de ce rôle, dont les industriels ne sont pas toujours suffisamment conscients, s'exprime par un pourcentage : 80 % des produits lancés chaque année sont des échecs commerciaux et c'est, dans la quasi-totalité des cas, l'emballage qu'il faut incriminer en premier lieu.

Packaging mode d'emploi, écrit par un professionnel qui ne fait qu'étudier, concevoir et adapter les emballages, est, nous assure-t-on, le premier ouvrage du genre publié en Europe. Pas à pas, ce véritable guide pratique expose les méthodes et démarches à suivre dans la réalisation globale de l'emballage, de A à Z, de l'étape de la conception jusqu'à celle de la fabrication, c'est-à-dire de l'amont à l'aval du produit. Car l'emballage est devenu plus qu'un art : une science dont il faut, pour "taper" juste – et au moindre coût –, connaître et dominer tous les paramètres, et ce afin de rester maître de la situation – de son produit et de sa vente. L'expérience d'un créateur et celle d'un acheteur de packaging rendent tout cela bien concret. Un lexique du vocabulaire couramment utilisé dans cette jeune branche du design et des fiches techniques qui résument la marche à suivre à chaque instant complètent fort clairement l'ouvrage et le rendent accessible à tous. **G. Mo.**

Jean Echenoz
Nous trois
Editions de Minuit, 219 p., 78 F.

Il n'est pas dans notre vocation de présenter des ouvrages littéraires, et l'exception que constituent ces lignes devrait confirmer la règle. Elle est motivée par le caractère exceptionnel de l'ouvrage : contrairement à ses confrères, Jean Echenoz ne semble pas tenir les sciences et techniques pour des matières insolubles dans le roman. *Nous trois* prouve même, avec brio, qu'elles peuvent relever le plat.

Premier morceau de bravoure du livre, le récit d'un tremblement de terre qui ravage Marseille. Description clinique, alliant la rigueur du manuel de sismologie et l'humour grinçant du comique de situation, d'une ville surprise par un événement imprévu. Rien n'y manque, de l'angoisse du grutier au moment de la chute jusqu'aux «escaliers de la gare ondulant comme un drap secoué par la fenêtre». Comme une répétition générale du séisme – hélas bien réel celui-là – qui a frappé Le Caire en octobre dernier.

Second temps fort, un voyage en navette spatiale. Echenoz n'a pas planté son décor dans l'espace pour faire l'apologie du progrès scientifique. Avec lui, c'est l'espace-cambouis plutôt que l'espace-paillettes. La navette est d'occasion, ses hublots sont sales. Il y même des graffitis dans les toilettes.

On ne peut certes pas demander aux écrivains de consacrer à la science une sorte de "1 % culturel". Mais on peut s'étonner que le roman contemporain persiste à ignorer les mutations scientifiques et technologiques de son temps.

Il n'y pas si longtemps pourtant, Marcel Proust lui-même consacrait quelques-unes de ses plus belles pages à cette étrange invention appelée téléphone. Peu avant de résilier son abonnement, lassé de ces "téléphonages" qui lui faisaient perdre tant de temps... **E. L.**

Avec cette cassette gratuite voyez pourquoi vous pourrez parler l'anglais ou l'allemand dans 3 mois

La Méthode Réflexe-Orale vous apprend à parler une langue étrangère, exactement comme vous avez appris le français.

Cela paraît étonnant, mais c'est ainsi: même si vous n'en connaissez pas un mot vous pourrez converser en anglais ou en allemand dans trois mois. Et lorsque nous disons converser, cela veut dire «parler facilement, naturellement». Parler une langue, ce n'est pas traduire du français en anglais ou en allemand, mais transformer immédiatement et sans effort votre pensée dans la langue, exactement comme vous le faites en français.

Vous parlerez «instinctivement» comme en français. Nombre d'entre nous ont étudié une langue au lycée, pendant des années: ils connaissent beaucoup de choses et pourtant sont incapables de parler. La Méthode Réflexe-Orale a pour but de vous faire parler par «réflexe naturel», comme vous l'avez fait lorsque vous étiez enfant, pour apprendre votre langue maternelle. En associant le texte, le son et l'image, la Méthode Réflexe-Orale grave la langue étrangère dans votre esprit et lorsque vous avez à parler, les phrases se forment toutes seules. Les leçons sont simples, intéressantes et ne demandent pas d'effort. La grammaire n'est pas étudiée «avant», mais seulement lorsqu'on est déjà familiarisé par des exemples.

Rien à apprendre par cœur. La Méthode Réflexe-Orale est très progressive: elle commence avec des leçons vraiment faciles (vous le constaterez vous-même avec la cassette gratuite) et elle vous amène peu à peu à un niveau supérieur. Sans jamais avoir appris quoi que ce soit par cœur, vous arriverez rapidement à comprendre une conversation, la radio ou les journaux et vous commencerez à penser dans la langue. Tous ceux qui l'ont essayée sont du même avis: la Méthode Réflexe-Orale vous amène à parler dans un temps record. Les résultats sont tels que ceux qui l'ont suivie, semblent avoir séjourné longtemps en Angleterre ou en Allemagne. Pour ceux qui ont des examens oraux, c'est une méthode irremplaçable.

Dans 2 mois vous serez «débrouillé». La Méthode Réflexe-Orale a été conçue pour être étudiée chez soi. Vous pouvez apprendre une langue à vos heures de liberté où que vous habitiez, quelles que soient vos occupations. En consacrant moins d'une demi-heure par jour à cette étude qui vous passionnera, vous commencerez à vous «débrouiller» dans deux mois et peu de temps après, vous serez capable de converser. Votre accent sera impeccable, car les cassettes sont enregistrées par des comédiens et speakers ayant une prononciation parfaite.

Un atout pour votre avenir. Dans le monde d'aujourd'hui, parler une langue étrangère est un atout essentiel, dans toutes les professions. Rien ne peut vous apporter autant que cette étude passionnante. Si vous ne vous décidez pas, vous en serez au même point dans trois mois ou dans un an. Si vous agissez, vous pourrez parler l'anglais ou l'allemand dans trois mois. La première chose à faire est de renvoyer le coupon ci-dessous, mais faites-le tout de suite, car actuellement vous pouvez profiter d'un avantage supplémentaire.

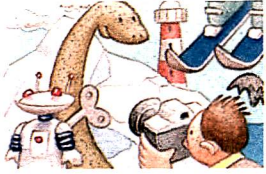
GRATUITS 1 cassette + 1 leçon + 1 brochure A 14X

Bon à retourner à Service A,
Centre d'Etudes, 1, avenue Stéphane-Mallarmé,
75847 Paris Cedex 17.
Envoyez-moi gratuitement et sans engagement votre brochure «Comment apprendre l'anglais ou l'allemand et parler couramment» ainsi que la cassette d'essai:

☐ Anglais ou ☐ Allemand

(Joindre 3 timbres pour frais; pays hors Europe: joindre 5 coupons-réponse.)

Mon nom: ..... Mon prénom: .....
(majuscules SVP)
N° et Rue: .....
Code postal: ..... Ville: .....



ECOUTER, VOIR

EXPOSITIONS & ÉVÈNEMENTS

● ***Les glaces racontent.*** *200 000 ans d'histoire du climat dans les glaces du Groenland. Jusqu'au 6 décembre. Maison du Danemark, 142 avenue des Champs-Elysées, 75008 Paris. Tél. : 1 44 31 21 21.*

● ***Jouer avec la Science.*** *Les phénomènes scientifiques auxquels les jouets font appel pour fonctionner. Jusqu'au 17 janvier 1993. Palais de la découverte, avenue Franklin-Roosevelt, 75008 Paris. Tél. : 1 40 74 80 00.*

● ***Tous parents, tous différents.*** *Comment chacun d'entre nous est un être unique aux yeux de la génétique. Jusqu'au 31 janvier 1993. Musée de l'Homme, Palais de Chaillot, 17 place du Trocadéro, 75116 Paris. Tél. : 1 45 53 70 60.*

● ***La photographie scientifique.*** *Du daguerréotype à la photo numérique. Jusqu'au 18 janvier 1993. Centre national de la photographie, Palais de Tokyo, 13 avenue du Président-Wilson, 75016 Paris. Tél. : 1 45 35 43 03.*

● ***A la rencontre des Amériques.*** *De l'Alaska à la Terre de Feu. Musée de l'Homme, Palais de Chaillot, 17 place du Trocadéro, 75116 Paris. Tél. : 1 45 53 70 60.*

● ***Mémoires d'Amériques.*** *Histoire des Indiens d'Amérique après Christophe Colomb. Jusqu'au 28 février 1993. CNIT, 2 place de La Défense, 92053, Paris-La Défense. Tél. : 1 46 92 12 12.*

● ***Electropolis.*** *Le plus important musée d'Europe consacré à l'énergie électrique. 55 rue des Pâturages, 68100 Mulhouse. Tél. : 16 89 32 48 60.*

● ***32e Salon nautique international.*** *Du 5 au 14 décembre . Palais des expositions, Porte de Versailles, Paris. Tél. : 1 45 62 84 58.*

● ***Dinosaures et Cie.*** *Jusqu'au 28 mars 1993. Musée d'Archéologie, 25 rue Richebourg, 39000 Lons-le-Saunier. Tél : 16 84 47 12 13.*

● ***L'Homme et la Santé.*** *La Villette, Cité des sciences et de l'industrie, 30 avenue Corentin-Cariou, 75019 Paris. Tél. : 1 40 05 70 00.*

● ***Mondes sonores.*** *La Villette, Cité des sciences et de l'industrie, 30 avenue Corentin-Cariou, 75019 Paris. Tél. : 1 40 05 70 00.*

● ***La Douleur : au-delà des maux.*** *La Villette, Cité des sciences et de l'industrie, 30 avenue Corentin-Cariou, 75019 Paris. Tél. : 1 40 05 70 00.*

● ***Les Feux de la mer.*** *Les phares des côtes de France. Jusqu'au 31 janvier 1993. Musée de la Marine, Palais de Chaillot, 17 place du Trocadéro, 75116 Paris. Tél. : 1 45 53 31 70.*

● ***Dinosaures et Mammifères du désert de Gobi.*** *Jusqu'au 26 avril 1993. Muséum national d'histoire naturelle, 18 rue Buffon, 75005 Paris. Tél. : 1 40 79 30 00.*

● ***Kalina, des Améridiens de Guyane à Paris en 1892.*** *Jusqu'au 4 janvier 1993. Musée national des Arts et Traditions populaires, 6 avenue du Mahatma-Gandhi, 75016 Paris. Tél. : 1 44 17 60 00.*

● ***La Chauve-souris et l'Homme.*** *Jusqu'au 27 décembre. Muséum d'histoire naturelle, 1 rue Dolomieu, 38000 Grenoble. Tél. : 16 76 44 05 35.*

● ***Archéologie d'un prince celte.*** *La Maison du patrimoine de l'Isle-Crémieu, place de l'Eglise, 38118 Hières-sur-Amby. Tél. : 16 74 95 13 90.*

● ***11e festival du Film d'environnement (RIENA).*** *Du 5 au 11 décembre. Palais de Tokyo, 13 avenue du Président-Wilson, 75016 Paris. Tél. : 1 45 35 43 03.*

COLLOQUES & CONFÉRENCES

● ***Stage d'informatique musicale à l'IRCAM,*** *les 5 et 6 décembre, 1 place Igor-Stravinski, 75004 Paris. Tél. : 1 44 78 48 16.*

● ***Les gènes et la parole.*** *Par André Langaney. Jeudi 3 décembre à 18 h 30. Entrée libre. Musée de l'Homme, Palais de Chaillot, 17 place du Trocadéro, 75116 Paris. Tél. : 1 45 53 70 60.*

● ***Colloque sur les recherches polaires arctique et antarctique.*** *Du 16 au 18 décembre. Palais de l'Institut, 23 quai de Conti, 75006 Paris. Tél. : 1 43 26 85 15.*

● ***Langues et cultures face aux multimédia.*** *Les 4 et 5 décembre. Centre Wallonie-Bruxelles, 46 rue Quincampoix, 75004 Paris. Tél. : 1 48 43 58 73.*

● ***Les Touaregs.*** *Autour de l'ouvrage de M. Dayak (éditions R. Lattès). Le 9 décembre. Institut du monde arabe, 1 rue des Fossés-Saint-Bernard, 75005 Paris. Tél. : 1 40 51 38 38.*

● ***Les skis :*** *de la planche en bois au composite verre-carbone, par Philippe Trompette, de l'Ecole nationale supérieure d'hydraulique et de mécanique de Grenoble. Le 5 décembre à 15 h. Palais de la découverte, av. Franklin-Roosevelt, 75008 Paris. Tél. : 1 40 74 80 00.*

● ***Kepler, Newton et les sphères,*** *par Joseph Oesterle, de l'université Paris VI. Le 12 décembre à 15 heures. Palais de la Découverte, av. Franklin-Roosevelt, 75008 Paris. Tél : 1 40 74 80 00.*

● ***Les caulerpes, algues extraordinaires,*** *par M. Denizot, directeur de l'Institut botanique de Montpellier. Sur invitation. Le 4 décembre à 20 h 30. Institut océanographique, 195 rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : 1 43 25 63 10.*

● ***L'environnement littoral,*** *par C. Alzieu, direction de l'Environnement de l'IFREMER de Nantes. Vendredi 11 décembre à 20 h 30. Institut océanographique, 195 rue Saint Jacques, 75005 Paris. Tél. : 1 43 25 63 10.*

● ***Yemen, architecture millénaire.*** *Jusqu'au 10 janvier 1993. Institut du monde arabe. 1 rue des Fossés-Saint-Jacques. 75005 Paris. Tél. : 1 40 51 38 38.*

À LA RADIO

● ***L'homéopathie est-elle vraiment efficace ?*** *Avec les docteurs Philippe Servais et Mario Bensasson. "Divergences", France-Culture, le 9 décembre de 9 h 05 à 10 h 30.*

● ***Perspectives scientifiques.*** *Tous les jours du lundi au vendredi de 19 h 30 à 20 h 00 sur France-Culture.*
– La chimie de l'eau, par M. Cazenave. Les 14 et 21 décembre.
– Les roses, par C. Bourgine. Le 1er décembre.
– Les rapaces, avec J.-F. Terrasse du Muséum d'histoire naturelle. Les 8 et 15 décembre.
– La topographie des océans, par A.-C. Souchon. Les 22 et 29 décembre.
– Psychanalyse et sciences modernes, par D. Miermont. Les 2 et 9 décembre.
– Les bases du langage, par F. Breton. Les 16, 21 et 30 décembre.
– Le mystère de Géminga, par J. Labeyrie, avec J. Paul. Le 4 décembre.
– A propos de Georges Charpak. Les 11 et 18 décembre.

● ***La science et les hommes.*** *Tous les mercredi de 9 h 05 à 10 h 30 sur France-Culture.*
– Où en est-on aujourd'hui avec l'hypnose ?, par Michel Cazenave. Le 2 décembre.
– Les Arabes et la science, par P. Thuillier. Le 16 décembre.
– Histoire de la chimie, par G. Minot. Le 30 décembre.

● ***La chronique scientifique de Pierre Kohler.*** *Tous les samedis à 8 h 50 sur RTL.*

À LA TÉLÉVISION

● ***"Fractales".*** *Magazine scientifique hebdomadaire pour la jeunesse. Tous les mercredis sur France 3.*

● ***E = M6.*** *Magazine scientifique. Tous les dimanches à 10 h 30 et les mercredis à 15 h sur M6.*
– Le 6 décembre : La grotte de Movile. La disparition des morues. Les systèmes d'alarme. Georges Charpak.
– Le 20 décembre : La pollution des lignes à haute tension.

Le directeur de la publication : Paul DUPUY - Dépôt légal : n° 84007 - N° de Commission paritaire : 57284 du 15 décembre 1975 - Printed in France
Photogravure et impression : Imp. Alsacienne Jean Didier F/67200 Strasbourg

LA PHYSIQUE GÉANTE

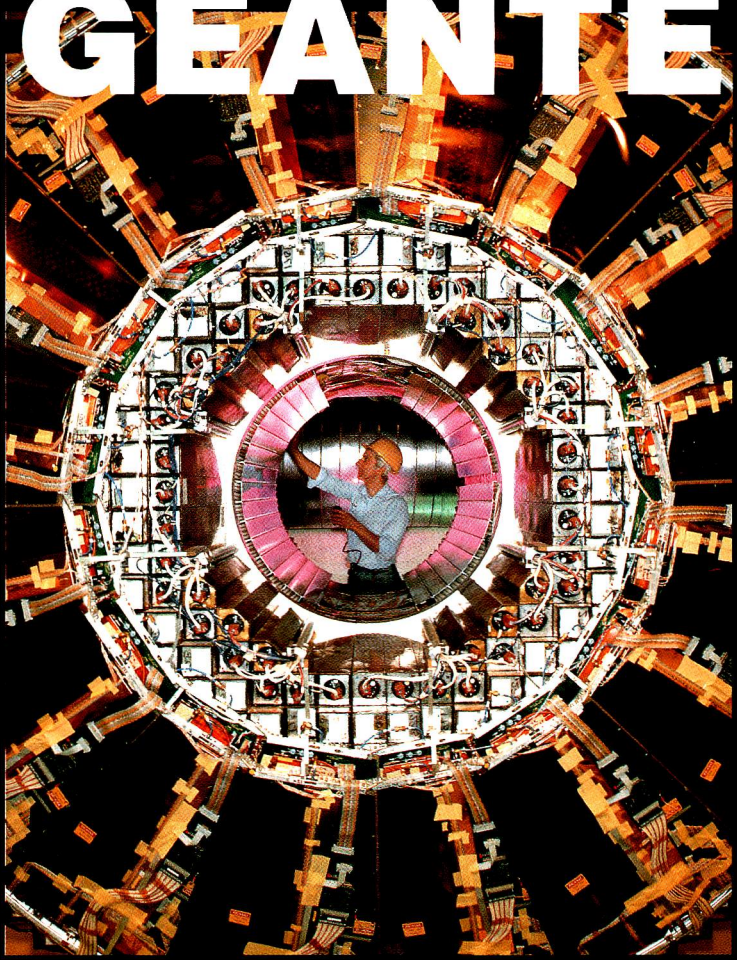


Photo : COSMOS

1953. Onze pays européens relèvent le défi américain et s'unissent pour construire le plus grand accélérateur de protons du monde. Objectif : casser les particules fondamentales de la matière. Six ans plus tard, le synchrotron est inauguré près de Genève. C'est la naissance du premier grand instrument scientifique international que vous racontent les prochains CAHIERS DE SCIENCE & VIE.

LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE

COLLECTION 1992

BIG SCIENCE : LES GRANDS PROJETS SCIENTIFIQUES DU XXE SIECLE

PARUTION LE 16 DÉCEMBRE

EXTRA LEGERES

GITANES

Gitanes blondes

Nuit gravement à la santé

EUROCOM

SELON LA LOI N° 91.32

FUMER PROVOQUE DES MALADIES GRAVES