

Science & Vie

Mensuel n° 984 - septembre 1999

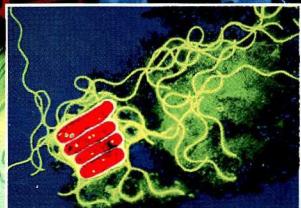
Le mystère des maths

Invention de l'esprit
ou réalité du monde ?

$$f(x) = x^2 + y^2 + z^2$$

Sous-marins
100 ans de recherche
de pointe

Astronomie
La nouvelle
cartographie martienne



Légionellose
Comment on nous
cache une épidémie

$$E=mc^2$$

T 2578 - 984 - 23,00 F





L'esprit bière par Heineken



*Représentation graphique en onde radio due aux crépitements de la mousse Heineken.

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

Mémoire jetable



PH. GONZALEZ/REUTERS

On pensait que la numérisation des données permettrait de les conserver éternellement. Une étude américaine établit qu'elles ne restent consultables en moyenne que quinze ans. Non seulement les supports se dégradent mais encore les instruments qui permettent de les lire disparaissent dès qu'ils sont obsolètes.

Qui n'a jamais montré à ses amis ses vidéos de vacances? Regardez-les bien, car dans une bonne dizaine d'années, cela ne sera plus possible! La bande magnétique sera dégradée et nous n'aurons plus la technologie idoine pour la visionner. On nous avait pourtant dit que le stockage électronique, numérique ou non, des informations était la voie royale pour conserver, traiter et diffuser la mémoire de notre société. Rien n'est moins vrai. Au JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) en Californie, 20% des images prises par les sondes martiennes *Viking* en 1976 et stockées sur support magnétique sont déjà inexploitables. 75% des documents fédéraux américains enregistrés l'année prochaine sous forme électronique ne pourront plus être lus dans 10 ans, prévient le magazine américain *Newsweek*.

Le *software* n'est pas seul concerné. Les nouvelles technologies de stockage d'informations changeant tous les 15 ans environ (Voir notre article page 140), nous ne sommes plus assurés d'avoir les dispositifs pour lire les documents électroniques, à moins de constituer de gigantesques conservatoires technologiques. Les films enregistrés par des caméras bétamax 8 pistes sont déjà devenus pour la plupart inexploitables.

Le transfert d'un support à l'autre avec transcodage, ne constitue pas la solution car il s'accompagne toujours d'une perte d'information. La FDA (*Food and Drug Administration*) en a fait récemment les frais : des essais thérapeutiques transcodés d'*Unix* à *Windows NT* se sont révélés inutilisables, des données capitales ayant été transcrites de manière fantaisiste. « Plus nous sommes technologiquement avancés, et plus fragiles nous devenons », constate Abby Smith, président *Council on library and Information resources* (conseil américain des bibliothèques et sources d'information).

Alors que faire? Pour l'instant, personne ne possède la réponse. Notre société est condamnée à être touchée par une amnésie insidieuse. A moins de découvertes fondamentales.

S & V

n° 984 • septembre 1999

1 rue du Colonel-Pierre-Avia

75503 Paris Cedex 15

Tél. : 01 46 48 48 48

Fax : 01 46 48 48 67

E-mail : svmens@excelsior.fr

Recevez Science & Vie chez vous. Vos bulletins d'abonnement se trouvent pp. 35 et 129.

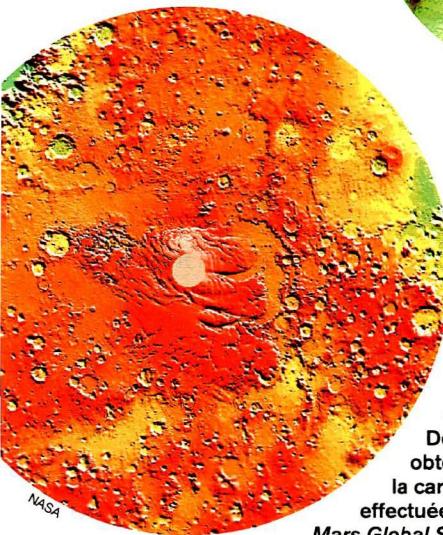
Organigramme p. 7.

Encart abonnement jeté dans Science & Vie. Diffusion vente au numéro France métropolitaine.

Un catalogue "Les Objets du Savoir" est joint aux exemplaires destinés aux abonnés.

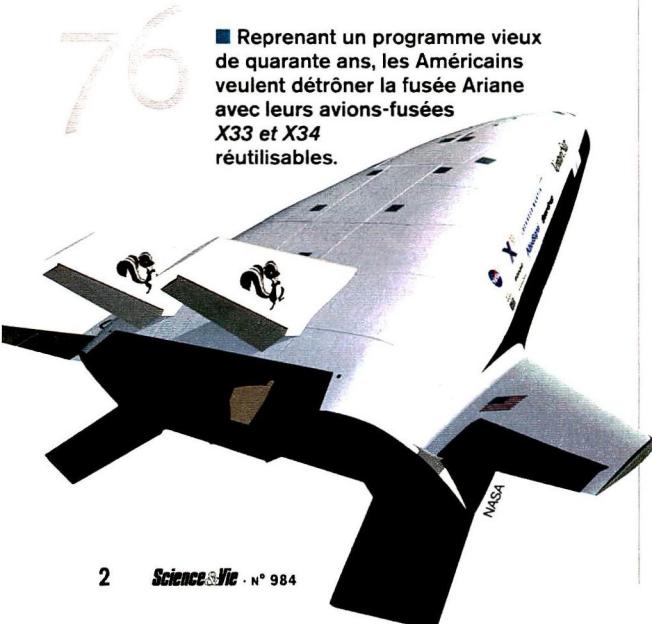
Diffusion : France métropolitaine

Couverture : Fabrice Redlenden



60

■ Il y a plus de 3 milliards d'années, Mars était parsemée de fleuves et d'un vaste océan. Des révélations obtenues par la carte altimétrique effectuée par la sonde Mars Global Surveyor.



■ Reprenant un programme vieux de quarante ans, les Américains veulent détrôner la fusée Ariane avec leurs avions-fusées X33 et X34 réutilisables.

NASA

Sommaire

Forum 4

Actualité

Recherche 10

Environnement 24

Technologie 32

Médecine 38

En couverture

Le mystère des maths... 42

- Invention de l'esprit ou réalité de l'Univers .. 44
- La biologie des maths .. 46
- Le miroir intérieur de la réalité 52

Astronomie

Sur les sommets de Mars 60

Environnement

Le fond de l'air n'est pas très frais 66

Epidémiologie

L'océan, un bouillon de culture 70

Agroalimentaire

Quand le sel tue 74

Aviation

Décollage sous "X" 76

Ethologie

Moins stupides qu'elles n'en ont l'air 86

Linguistique

Le parler des banlieues 92



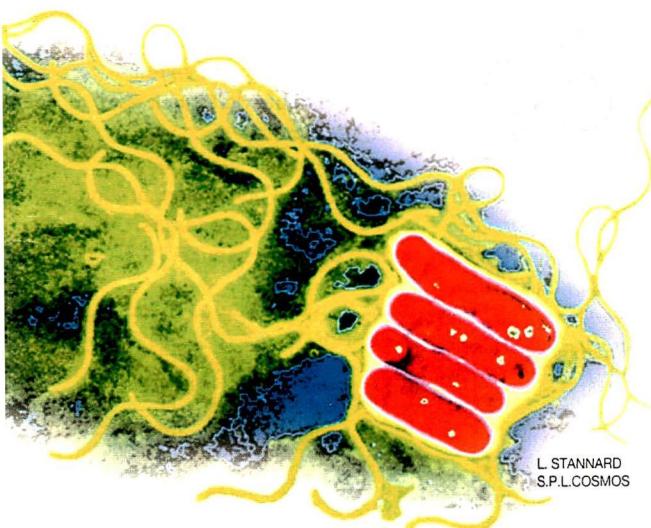
■ Selon l'idée communément admise, les poules sont des volatiles stupides. Un éthologue belge leur rend justice : ces gallinacés possèdent des facultés d'abstraction !

STOCK IMAGE



■ Le ghetto s'exprime aussi par le langage. Langue de référence des jeunes des cités, le parler des banlieues, mélange de verlan, de français et de mots étrangers, les enferme sur eux-mêmes.

SAID BELLOUMI/SYGMA



■ En France, la "maladie du légionnaire" touche 3 000 personnes chaque année. La bactérie *Legionella pneumophila* prolifère insidieusement dans la vapeur d'eau des canalisations.

Enquête

La légionellose frappe en silence .. 98

Défense

Plongée dans la haute technologie .. 106

Technologie

Des trains pas comme les autres 116

Multimédia

L'éclosion des parcs virtuels 120

Pl@net

Actualité du multimédia 125

Le télé-achat et les cybermarchands 130

Les maths au Net 136

Conso

Super Audio CD contre DVD .. 140

Encyclopédie xx^e siècle

L'invention de la relativité 147

■ Le monde selon Einstein 148

■ Voyage en relativités ... 154

■ Thibaut Damour : «Une théorie si condensée qu'on ne peut en saisir toute la richesse» 156

Loisirs

Rétro 160

Le ciel du mois 162

CD-Rom 164

Livres 166

Traitement de choc « Dans votre écho sur la culture des fraises hors sol [Science & Vie n° 981, p. 37], vous faites mention de l'utilisation du bromure de méthyle en agriculture, écrit Mme Nicole Reboul, de Solliès-Pont (Var). Ce produit va-t-il être frappé d'interdiction par Bruxelles ? D'autres produits peuvent-ils le remplacer ? [...] L'horticulture, en usant et souvent abusant de ce produit, peut également nuire à l'environnement. [...] »

Le bromure de méthyle est effectivement un gaz très utilisé dans le monde, à des doses variables selon la cible : traitement fongicide du sol pour de nombreuses cultures (fraises, légumes, cultures ornementales...), traitement insecticide des locaux, traitement avant expédition (cacao...), traitement de quarantaine

pour prévenir l'immigration d'un nouveau parasite, comme le carpocapse des pommes inconnu au Japon. Toxique pour les mammifères, c'est aussi un gaz à potentiel de destruction de la couche d'ozone. Il a donc été inscrit, en 1992, au protocole de

CULTURE Les fraises se cueillent debout

Pour cultiver les fraises, on utilise de plus en plus la technique des "hors sol". Ce qui permet de renouveler des sols usés sans déranger les cultures dans la culture des pommes ou d'occuper des terrains de stockage du tabac. En Virginie occidentale, un centre de recherche en horticulture du Département d'agriculture des Etats-Unis, les plants poussent dans une



Montréal, et doit être banni dans les pays industrialisés le 31 décembre 2004, sauf pour certains usages irremplaçables (quarantaine). En attendant, on diminue et réglemente son usage : doses maximales, obligation de traitement sous film plastique par une entreprise agréée, etc.

Traits d'union De nombreux lecteurs nous interrogent sur la raison pour laquelle on place des traits d'union entre les termes des noms des villes, des rues, des institutions, des monuments, etc. C'est une règle typographique, énoncée dans les manuels de référence tels que le *Dictionnaire des difficultés de la langue française* (Larousse) ou le *Lexique des règles typographiques* (l'imprimerie nationale) : par exemple, on écrit 1, rue du Colonel-Pierre-Avia (adresse de Science & Vie), Joinville-le-Pont, lycée Henri-IV, métro Notre-Dame-des-Champs, tunnel du Mont-Blanc, musée Victor-Hugo, etc.

Le plaisir de savoir **Science & Vie**

Publié par Excelsior publications SA.

Capital social : 10733500 F.

Durée : 99 ans.

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

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

E-mail : svmsens@excelsior.fr

Adresse télégraphique : Sienve Paris.

Principaux associés : Yveline Dupuy, Paul Dupuy.

DIRECTION, ADMINISTRATION

Président-directeur général : **Paul Dupuy**. Directrice générale : **Yveline Dupuy**. Directeur général : **Jean-Pierre Beauvaret**. Directeur général adjoint : **François Fahys**. Directeur financier : **Jacques Béhar**. Directeur marketing et commercial : **Marie-Hélène Arbus**. Directeurs marketing et commercial adjoints : **Jean-Charles Guérat**, **Patrick-Alexandre Sarradeil**. Directeur des études : **Roger Goldberger**. Directeur de la fabrication : **Pascal Rémy**.

RÉDACTION

Rédacteur en chef : **Jean-René Germain**, assisté d'**Elisabeth Lasague**. Rédacteurs en chef adjoints : **Jean-François Robredo**, **Didier Dubrana**, **Gérard Morice**. Chef des informations : **Isabelle Bourdial**. Secrétaire général de la rédaction : **Norbert Régin**. Secrétaires de rédaction : **Agnès Marillier**, **Jean-Luc Glock**, **Camille Chaplain**, **Alain Le Roch**. Chefs de rubrique : **Philippe Chambon**, **Germain Chambost**, **Roman Ikonoff**. Rédacteurs : **Renaud de La Taille**, **Pierre Rossion**, **Marie-Laure Moinet**, **Henri-Pierre Penel**, **Hélène Guillermot**, **Valérie Greffoz**. Conception graphique : **Nathalie Baylaucq**. Direction artistique : **Gilles Moine**. Maquette : **Lionel Croson**, **Valérie Samuel**. Service photo : **Anne Levy**. Documentation : **Marie-Anne Guffroy**. Renseignements lecteurs : **Monique Vogt**. Correspondante aux Etats-Unis : **Sheila Kraft**, 11259 Barca Boulevard, Boynton Beach, Florida 33437, Etats-Unis, tél. : (00) 1 561 733 9207, fax : (00) 1 561 733 7965.

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

Claire Charpy, Loïc Chauveau, Yves Delaye, Valérie Eudier, Marie-Sophie Germain, Philippe Henarejos, Frank Jubelin, Christophe Labbé, Philippe Lambert, Olivia Recases, Véronique Rochewsky.

RELATIONS EXTRÉMIERES

Michèle Hilling.

DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

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

PUBLICITÉ

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

À NOS LECTEURS

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

SERVICES COMMERCIAUX

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

ABONNEMENTS

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

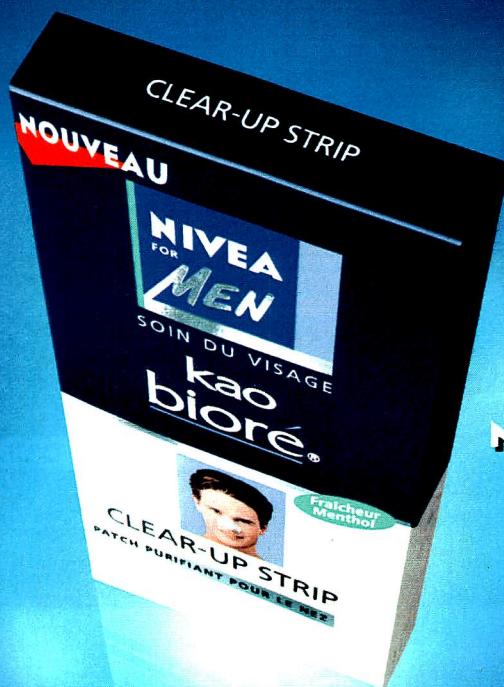
À NOS ABONNÉS

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



Enlève les points noirs
en 15 min.

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



NIVEA FOR MEN
kao
biore®

NIVEA FOR MEN. POUR CEUX QUI OSENT LE SOIN.
www.niveaformen.tm.fr



■ Amortisseurs à clapets pressurisés

■ Train arrière multibras

■ Filtrages longitudinaux et verticaux



LE CONFORT D'UN SYSTEME D'AMORTISSEMENT

www.peugeot.fr

Peugeot 406. Vous ne choisirez plus entre le plaisir et la sécurité.

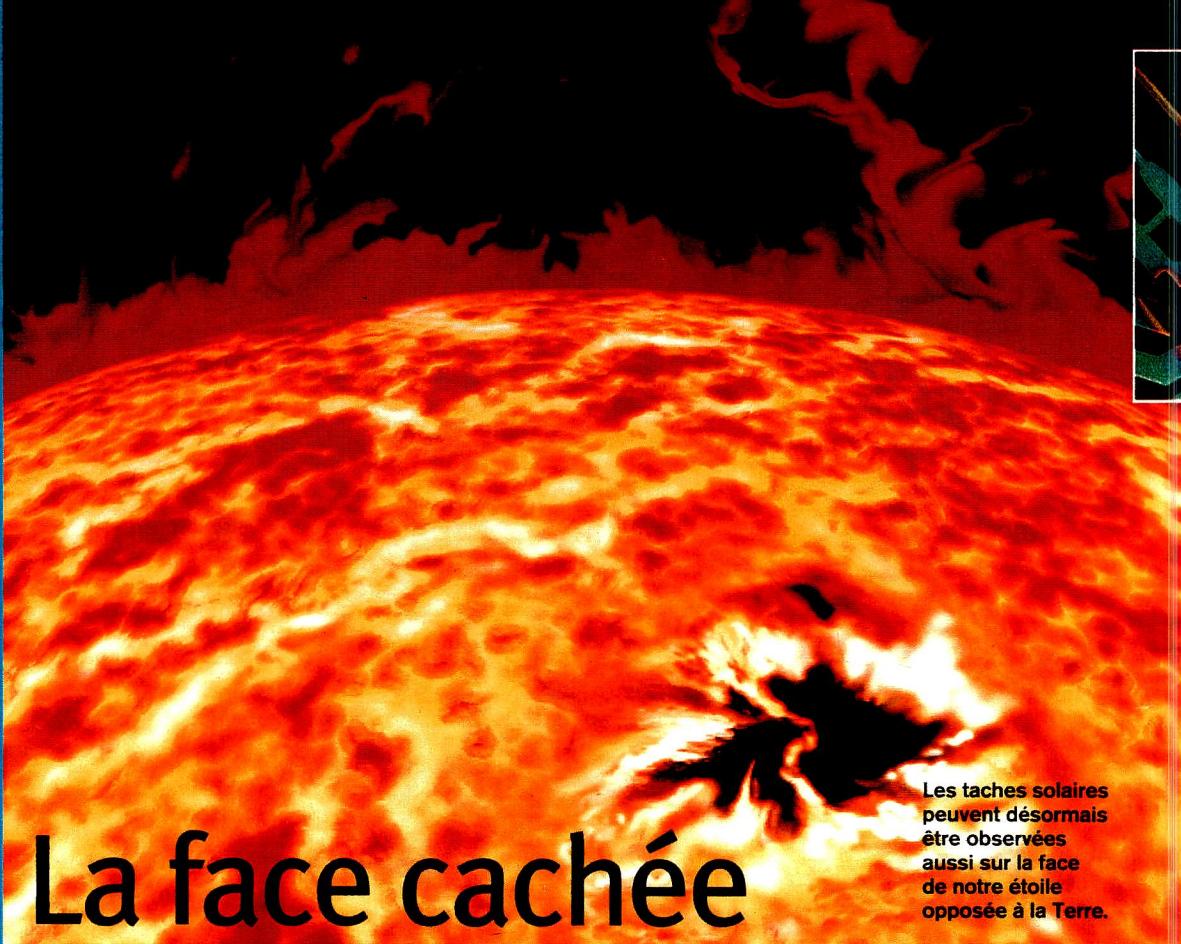


DYNAMIQUE

406 
PEUGEOT

RECHERCHE

PAR ISABELLE BOURDIAL ET HÉLÈNE GUILLEMOT



La face cachée du Soleil

Grâce au satellite d'exploration européen Soho, des astrophysiciens sont parvenus à suivre l'activité solaire sur "l'envers" de l'astre.

Une équipe européenne d'astrophysiciens vient de découvrir le moyen de voir ce qui se passe sur la face du Soleil opposée à la Terre. En étudiant les images recueillies par Swan, un instrument embarqué sur Soho qui a pour fonction d'observer le vent solaire, Jean-Loup Bertaux (CNRS) et ses collaborateurs ont

découvert des ombres sur la voûte céleste.

Ces taches, qui se déplacent dans le ciel en suivant la rotation sur lui-même de l'astre du jour, sont engendrées par des orages solaires. Ceux-ci se signalent par l'émission de faisceaux de rayons ultraviolets qui, tels les phares d'une voiture, balayent le paysage spatial. Lorsqu'ils croisent le vent

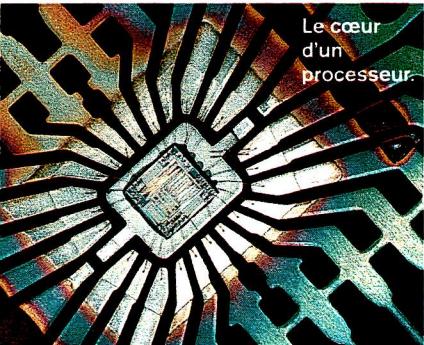
Les taches solaires peuvent désormais être observées aussi sur la face de notre étoile opposée à la Terre.

J. BAUM/SPL/COSMOS

solaire, ces faisceaux impriment dans la voûte céleste une trace circulaire que Swan détecte très bien et qui trahit la présence d'une perturbation.

Cette découverte offre donc la possibilité aux astrophysiciens d'observer indirectement l'activité de la face cachée du Soleil. Autre avantage : la méthode permet de suivre un orage solaire et, par conséquent, de prévoir son arrivée imminente sur la face de l'astre tournée vers notre planète. Or ces régions actives peuvent perturber le fonctionnement des satellites. Ce qui explique l'attention particulière que les scientifiques portent au développement de la météorologie spatiale.

I. B.



MICROÉLECTRONIQUE

Trop petites, les puces ?

Une équipe du Bell Laboratories (New Jersey) vient d'établir une limite aux performances croissantes des traditionnels transistors au silicium qu'utilisent les puces de nos ordinateurs et de la plupart des appareils électroniques. Dans un article publié par *Nature* (24 juin), les six chercheurs démontrent que l'épaisseur de la couche isolante de dioxyde de silicium au cœur de ces composants ne peut être inférieure à quatre molécules. Or, depuis plus de trente ans, le nombre de transistors par microprocesseur double tous les dix-huit mois grâce à leur extrême miniaturisation : à ce rythme, la barrière fatidique devrait être atteinte dans moins de quinze ans. Et trouver un remplaçant dont les qualités électriques dépasseraient celles de l'actuel matériau demeure un défi.

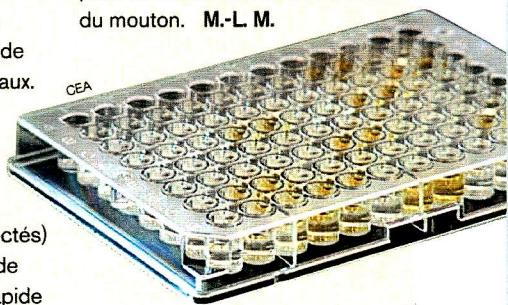
M. C.

IMMUNOLOGIE

TEST RAPIDE POUR VACHE FOLLE

Parmi les quatre tests retenus par la Commission européenne pour détecter la maladie de la vache folle, le meilleur s'est avéré être celui du Commissariat à l'énergie atomique (*Nature*, 8 juillet 1999). Développé par deux de ses équipes (neurovirologie, pharmacologie et immunologie), il repose sur un procédé original de purification de la protéine anormale et sur son dosage immunologique à l'aide de deux anticorps monoclonaux. Le test, pratiqué sur des échantillons provenant de 1 300 animaux, est sensible à 100 % (tous les animaux malades furent détectés) et spécifique à 100 % (pas de faux positif). De plus, il est rapide : son automatisation par Pasteur Sanofi Diagnostics

promet de réduire à moins de six heures le délai de réponse. D'où l'intérêt qu'il présente pour un dépistage systématique à l'abattoir : aujourd'hui, il faut attendre quinze jours une confirmation d'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) par analyse au microscope du cerveau. Ce test post-mortem peut aussi détecter la tremblante du mouton. M.-L. M.



La coloration révèle la présence de la protéine anormale.

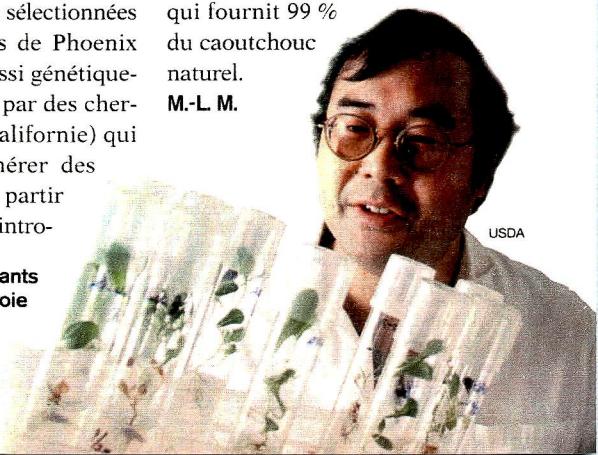
AGRONOMIE

Du latex de guayule...

Pour produire du caoutchouc naturel, les Américains misent sur le guayule (*Parthenium argentatum*), une plante buissonnante du désert texan, dont le latex aurait l'avantage d'être hypoallergénique. Au demeurant, les plantes sélectionnées par des chercheurs de Phoenix (Arizona) seront aussi génétiquement transformées par des chercheurs d'Albany (Californie) qui ont réussi à régénérer des plants de guayule à partir de cellules où l'on a intro-

duit des gènes accroissant la sécrétion de latex. Pour le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), cette plante de substitution ne peut prétendre rivaliser avec *Hevea brasiliensis*, qui fournit 99 % du caoutchouc naturel.

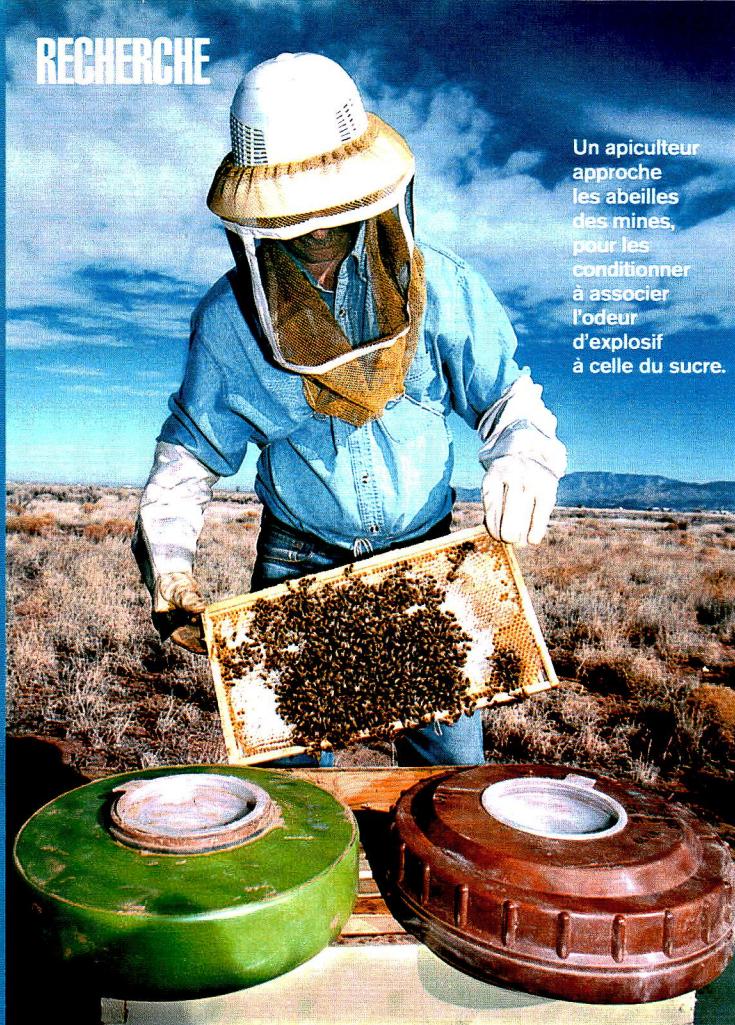
M.-L. M.



USDA

La régénération de plants de guayule ouvre la voie à leur transformation génétique.

RECHERCHE



Un apiculteur approche les abeilles des mines, pour les conditionner à associer l'odeur d'explosif à celle du sucre.

PHOTOS R. MONTOYA/SANDIA NAT. LAB.

ENVIRONNEMENT

Abeilles anti-mines

Des abeilles pour détecter les mines anti-personnel! C'est la méthode originale proposée par des chercheurs de l'université de Montana, au Nouveau-Mexique.

Les butineuses conditionnées à associer l'odeur d'explosif à celle du sucre sont lâchées sur un champ supposé être miné. Si tel est le cas, les corps velus des abeilles accrochent les poussières chimiques lentement diffusées par la mine à travers le sol et les plantes. Ces "balais volants" ra-

mènent ensuite à la ruche ces échantillons de poussière. Un spectromètre situé dans la ruche permet de détecter automatiquement la présence d'explosifs.

Si cette méthode s'avère efficace, chaque champ suspect pourra être balayé par ces détecteurs volants. « Nul besoin d'un équipement cher, remarque Susan Bender, responsable du projet, un apiculteur et un spectromètre suffisent. »

Les milliers d'hectares de terres laissées, par peur, en jachère pourront alors redevenir cultivables. H. P.

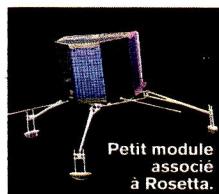


ASTRONOMIE

Rosetta et son module

La sonde européenne Rosetta prend forme.

Le 1^{er} juillet dernier, à la Royal Society de Londres, l'Agence spatiale européenne (ESA) a dévoilé le concept définitif du vaisseau spatial automatique qui devrait explorer



Petit module associé à Rosetta.

la comète Wirtanen en 2012.

Il pèsera 3 tonnes et mesurera 32 mètres d'envergure. Cette taille impressionnante est due aux énormes panneaux solaires nécessaires pour fournir de l'énergie électrique aux instruments

à plus de 675 millions de kilomètres du Soleil.

La sonde emportera avec elle un petit module (voir photo) destiné à se poser sur le noyau de la comète. Le lancement de Rosetta par une fusée Ariane 5 est prévu pour janvier 2003.

La sonde parcourra 5,3 milliards de kilomètres autour du Soleil avec deux survols de la Terre, un survol de Mars

et une rencontre avec deux astéroïdes, 4979 Otawara et 140 Siwa, et approchera Wirtanen à partir de novembre 2011.

P.H.



Pour son exposé de sciences nat., on a pêché les infos sur Internet

Avec AOL, profitez de toute la richesse documentaire d'Internet



La Chaîne Savoir AOL

> Réponses à tout

Vos encyclopédies en accès immédiat. Des rencontres en direct avec des personnalités et tout pour apprendre et se cultiver dans le domaine des arts, des sciences et de la littérature.

Depuis qu'il a découvert que les têtards se changeaient en grenouilles, notre fils est devenu un crac sur les amphibiens ! Quand il a décidé de faire un exposé pour sa classe, c'était le branle-bas de combat à la maison... Heureusement, avec AOL, nous avons pu mettre toutes les ressources d'Internet de notre côté.

Avec AOL, il suffit de faire une recherche par critère par exemple "zoologie" et de cliquer pour trouver des documents et des sites Internet qui traitent le sujet. Mais ce n'est pas tout. Sur AOL, il y a 15 chaînes de programmes exclusifs en français sur tous les thèmes qui nous intéressent. Sur la chaîne Savoir, on peut accéder en direct à des encyclopédies, des dictionnaires. Pas besoin de s'encombrer de gros livres ou d'arpenter les bibliothèques. J'ai tout de suite trouvé des photos, des articles que

j'ai aussitôt imprimés et copiés sur une disquette. Grâce à la messagerie électronique, notre fils a même pu partager sa science avec d'autres zoologues en herbe...

- ▷ AOL, n°1 mondial de l'accès à Internet
- ▷ Tout Internet et les 15 chaînes thématiques exclusives AOL
- ▷ Un accès direct aux meilleurs sites Web
- ▷ Un abonnement en connexion illimitée à partir de 55 F/mois
- ▷ Une assistance technique gratuite** 7 jours sur 7 de 9h à 22h
- ▷ Un accès au coût d'une communication téléphonique locale
- ▷ 5 adresses électroniques personnalisables

profitez de

3 MOIS GRATUITS*
en connexion
ILLIMITÉE
01 69 19 94 50



Qui d'autre que le leader mondial de l'Internet pourrait m'offrir une telle richesse ? Internet, je suis pour à 100%, mais jamais sans mon AOL...

AOL

AOL est un service de  cegetel

Simplifiez-vous Internet

RECHERCHE

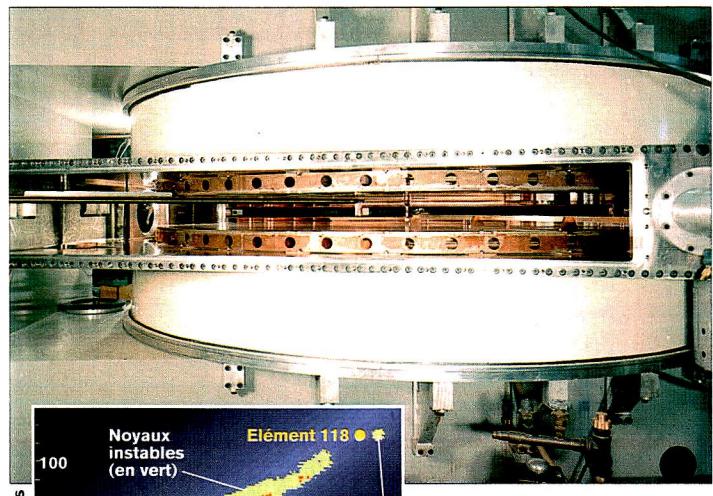
PHYSIQUE

Deux nouveaux éléments lourds

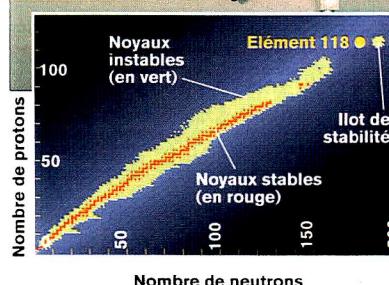
L'univers compte deux éléments de plus : les numéros 116 et 118.

Leur principal intérêt n'est pas de rallonger la liste des éléments mais d'ouvrir l'accès à cet "ilot de stabilité" que les physiciens nucléaires recherchent depuis trente ans.

Deux éléments "superlourds" ont été découverts (ou plutôt fabriqués) au cyclotron du Lawrence Berkeley National Laboratory (Californie) en mai dernier. Si les 94 premiers éléments du tableau de Mendeleïev, de l'hydrogène au plutonium, sont l'œuvre de la nature, les hommes ont synthétisé les suivants, du 95 au 112, dans des accélérateurs, en envoyant des particules ou des noyaux sur d'autres noyaux pour les faire fusionner. Les noyaux sont constitués de protons, de charge positive, et de neutrons. La répulsion électrique des protons entre eux est compensée par les puissantes forces nucléaires qui lient protons et neutrons. Cependant, la répulsion électrique totale augmente avec la masse, de sorte que les superlourds se désintègrent très vite.



ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NAT. LAB.



Sur ce tableau, les éléments 116 et 118, synthétisés au cyclotron (ci-dessus) du laboratoire Berkeley, sont proches du domaine de stabilité prévu par les théories du noyau atomique.

Pourtant, les physiciens prévoient l'existence de superlourds stables autour de l'élément 114. Ce miraculeux "ilot de stabilité" résulte d'un effet purement quantique. Les neutrons et les protons occupent des "niveaux d'énergie" dans le noyau, comme les électrons dans les atomes. Quand ces couches (qui n'ont pas de réalité matérielle) se trouvent "remplies", on dit que le noyau a un "nombre magique" de protons ou de neutrons, et il est plus stable. 114 est un de ces nombres magiques.

Encore faut-il fabriquer ces noyaux, tout en évitant qu'ils éclatent — ce qui demande une énergie énorme et des détecteurs ultrasensibles. Les physiciens de Berke-

lev ont dirigé un faisceau d'ions kryptons 86 sur une cible de plomb 208, avec juste l'énergie nécessaire à la fusion. Ils ont obtenu trois atomes de l'élément 118. Ceux-ci se sont désintégrés en moins d'une milliseconde en émettant un alpha (particule constituée de deux protons et deux neutrons), donnant l'élément 116 qui lui-même a émis un autre alpha pour donner le 112, et ainsi de suite jusqu'au 106.

Le taux de production de 118 (un atome pour mille milliards de collisions) est assez "élevé" par rapport aux superlourds précédents pour laisser penser qu'on s'approche enfin de l'ilot de stabilité tant attendu.

H. G.

TOTAL Activa 9000 5W30.

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



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

VOUS NE NOUS CHOISIREZ PAS PAR HASARD.

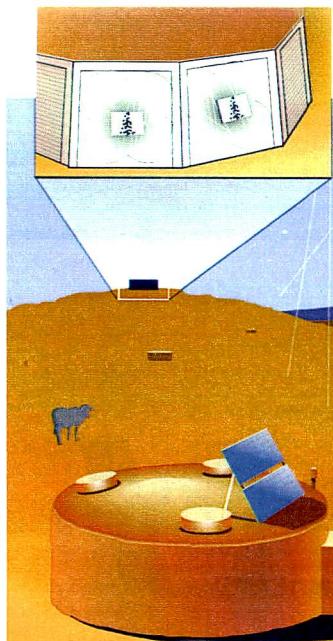


RECHERCHE

TOXICOLOGIE

Pour en finir avec les drogues

Prenez un rat cocaïnomane, donnez-lui un peu de BP 897. Il cesse presque aussitôt de rechercher la drogue, qui reste pourtant toujours à sa disposition. Découvert par une équipe de l'INSERM dirigée par Pierre Sokoloff, le BP 897 est une molécule qui vient se fixer dans le cerveau sur l'un des récepteurs de la dopamine, substance naturelle directement impliquée dans tous les comportements de dépendance. Régulant la transmission de dopamine, le BP 897 semble réduire fortement le besoin de drogue sans induire de dépendance. Des tests cliniques révéleront si ce produit peut devenir un nouveau traitement de la dépendance à la cocaïne et à d'autres drogues. Ph. C.



CNRS

AGROALIMENTAIRE

CHOU-FLEUR ORANGE

■ Ce chou-fleur mutant contient tellement de beta-carotènes qu'il en est orange. Cette particularité offre un avantage diététique relativ : les caroténoïdes, classe de pigments à laquelle appartiennent les beta-carotènes, sont présents dans



USDA

de nombreux fruits et légumes, dont les carottes. Mais le Service américain de recherche en agriculture espère faire du chou mutant

un modèle pour décortiquer les processus biochimiques impliqués dans la production de caroténoïdes.

I. B.

ASTRONOMIE

Observatoire pour rayons cosmiques

Le mystère des rayons cosmiques trouvera-t-il un début d'explication à l'aube du xx^e siècle? C'est ce que les astronomes espèrent avec la construction, à partir de décembre 1999, du premier observatoire de rayons cosmiques.

Baptisé *Pierre-Auger* en mémoire de l'astronome français qui, en 1938, a compris que ces particules



En Argentine, 1600 instruments répartis sur 3000 km² constitueront un vaste détecteur de rayons cosmiques.

venues de l'espace étaient produites par des événements plus violents que tout ce qu'on avait imaginé, ce gigantesque détecteur composé de 1600 cuves de 11 000 litres d'eau pure chacune, réparties sur 3000 km² (soit trente fois la superficie de Paris), sera installé en Argentine. Complètement opérationnel à partir de 2001, il devrait permettre aux astronomes de capturer suffisamment de rayons cosmiques pour entamer une étude de statistique du phénomène. C'est à ce jour le seul moyen imaginé pour comprendre quels événements plus puissants que les supernovae et les sursauts gamma bombardent en permanence la Terre de particules énergétiques accélérées à des vitesses proches de celle de la lumière.

En 2002 un second détecteur devrait être construit aux Etats-Unis afin de couvrir toute la voûte céleste. Dix-neuf pays ont investi 70 millions de dollars dans ce projet. P. H.

GÉNÉTIQUE

Nul besoin de sexe pour évoluer

La reproduction sexuelle permet un large brassage génétique entre chaque génération. Mais l'organisme qui s'autoreproduit ne peut profiter de cette formidable dynamique d'évolution. Comment ces espèces asexuées peuvent-elles évoluer rapidement ? Une surprenante réponse à cette vieille question a été proposée par Michel Hosny (membre de l'équipe du Pr Dulieu à l'INRA), et publiée dans *Fungal Genetic Biology* (n° 26) et *Gene* (n° 226). Les chercheurs ont braqué leurs instruments biogénétiques sur les glomales. Ces champignons microscopiques, qui vivent dans les racines et dans le sol, sont apparus il y a près de

400 millions d'années et sont toujours présents aujourd'hui !

Première surprise : chaque glomale contient une population de noyaux génétiquement différents. Plus étonnant encore : un même glomale possède des séquences d'ADN appartenant à des familles de champignons ayant divergé de la sienne il y a plus de 350 millions d'années ! En fusionnant leurs extrémités, les champignons de familles distinctes s'échangent mutuellement leurs noyaux, enrichissant ainsi leur bagage génétique. Dans cette stratégie de mise en commun réside sans doute le secret de leur exceptionnelle longévité. Le secret d'un monde sans sexe.

H. P.

AGRONOMIE

La "variole" des arbres fruitiers

Les

Prunus

– pêchers,
abricotiers,

pruniers... – sont victimes d'un virus, le *plum pox virus* (virus de la variole du prunier), responsable de la *Sharka*, une maladie qui, chaque année, s'étend dramatiquement.

Les symptômes sur pêches sont discrets, mais il faut les déceler sur feuilles dès le printemps car pour un pêcher atteint, dix seront contaminés l'année suivante, via les pucerons. Si l'on n'arrache pas les arbres infectés, ils constituent un réservoir de virus pour l'abricotier et le prunier qui, eux, ont des symptômes sur fruits très marqués (voir photo). Environ 17 000 arbres sont touchés en région Rhône-Alpes cette année. Hormis l'arrachage et le contrôle des plants en pépinière, on ne connaît pas encore de remède à cette maladie, qui mobilise une dizaine de chercheurs de l'INRA. L'une des pistes explorées est l'acquisition de la résistance au virus, notamment par génie génétique. Chauds débats assurés lors de la journée consacrée à cette maladie le 23 septembre prochain à Balandran (Gard). M.-L. M.



INRA



Les glomales s'échangent leur bagage génétique afin d'être mieux armés devant la sélection naturelle.

RECHERCHE



BACTÉRIOLOGIE

Cristaux d'ADN

Le Pr Avi Minsky a révélé l'armure naturelle produite par *Escherichia coli*.

INSTITUT WEISSMAN

Les bactéries connaissent des périodes de stress et de famine, durant lesquelles leur ADN est agressé de toutes parts. Des chercheurs israéliens et américains viennent de découvrir un moyen de défense de leur patrimoine génétique (*Nature*, 1^{er} juillet). Stressée, la bactérie *Escherichia coli* produit une protéine qui s'associe à l'ADN en cristallisant : cette structure, formée en quelques secondes, résiste

remarquablement aux agressions, notamment aux enzymes et aux agents oxydants. La formation de ce biocristal est, dans *Nature*, qualifiée de « mode de protection sans précédent », tant l'état cristallin est inhabituel chez les êtres vivants. En remarquant que la présence de certaines protéines inhibe le processus de défense, l'étude ouvre la voie à de possibles applications médicales dans la lutte antibactérienne. M. C.

AGRONOMIE

DES GUÊPES A LA RESCOUSSE

■ Les plantes attaquées par les Chenilles herbivores (ou des acariens) émettent un bouquet de substances volatiles qui attire les guêpes parasites de ces ennemis (voir *Science & Vie* n° 980, p. 82). Mais elles produisent aussi des molécules toxiques qui affaiblissent à la fois la chenille ennemie et les guêpes parasites. Qui l'emporte alors? Pour répondre, Jennifer Thaler, de l'université de Californie, a traité une parcelle de plants de tomates avec de l'acide jasmonique, une substance qui stimule le système de défense de la plante comme le ferait l'attaque d'un herbivore.

L'effet positif (attraction des guêpes parasitoïdes, *Hyposoter exiguae*) l'emporte sur l'effet négatif (affaiblissement de leurs performances). Les Chenilles *Spodoptera exigua* qui s'attaquent aux plants de tomates traités sont deux fois plus parasitées que celles qui s'attaquent aux plants témoins. Belle perspective en vue pour la protection des cultures : stimuler les défenses naturelles des plantes. M.-L. M.

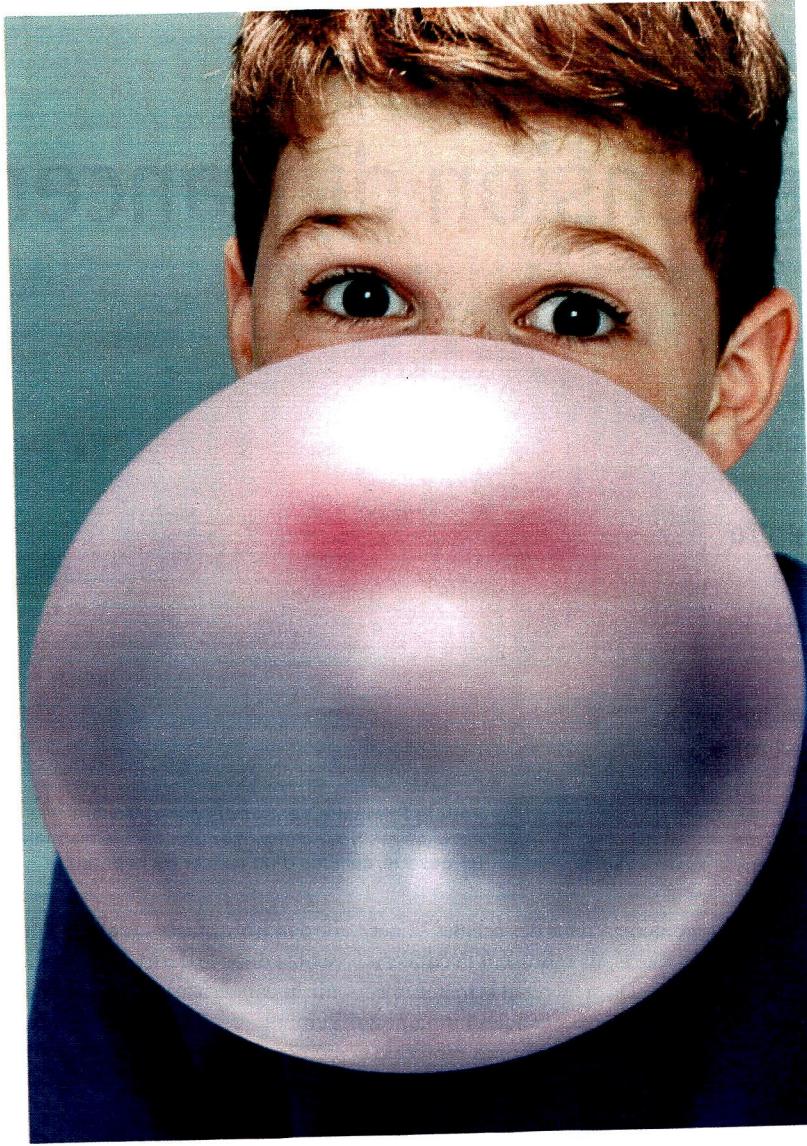


BIOTECHNOLOGIE

Mesurer les risques des OGM

Quels risques représentent les organismes génétiquement modifiés (OGM)? Le débat est d'autant plus acharné que les intérêts économiques en jeu sont énormes. Le ministère de l'Education nationale, de la Recherche et de la Technologie vient de lancer un appel à propositions pour des recherches sur les plantes transgéniques utilisées en agriculture et leur impact sur la santé humaine et l'environnement. Outre les risques sanitaires, les recherches devront mesurer aussi les risques indirects liés aux modifications des pratiques agricoles, y compris sous l'aspect socio-économique. Les études devront concerner les pays du tiers-monde aussi bien que les pays développés. Objectif concret : définir un cahier des charges scientifiquement fondé précisant quels sont les OGM "acceptables" et comment les employer.

H. G.



SEULE LA RÉALITÉ DÉPASSE L'IMPRESSION.



IMPRIMANTES
HP DESKJET
avec PhotoREt

Si vous ressentez une irrésistible envie de percer cette bulle, c'est parce qu'elle a été imprimée grâce au plus avancé des procédés d'impression jet d'encre disponibles actuellement : la technologie de précision PhotoREt de Hewlett-Packard. Un procédé révolutionnaire qui permet aux imprimantes jet d'encre HP de placer jusqu'à 16 gouttes d'encre à l'intérieur de chaque point microscopique. Résultat : vous obtenez une photo d'une qualité extraordinaire, imprimée en un temps record. Non seulement vous ne perdrez plus de temps, mais vous aurez toujours des images d'une qualité exceptionnelle, aussi vivantes que la réalité elle-même.

hp HEWLETT
PACKARD

Expanding Possibilities*

*HP. Et tout devient possible

RECHERCHE

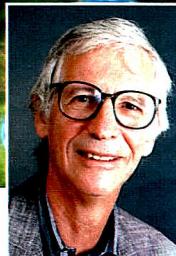
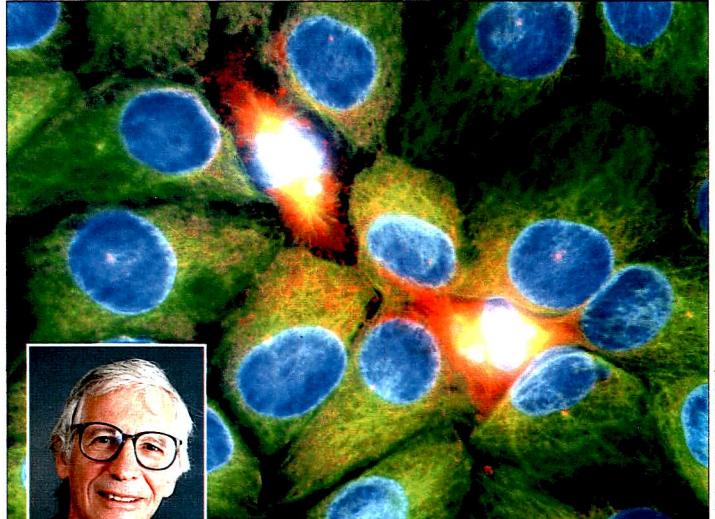
MÉDECINE

Un grand pas vers la compréhension du cancer

On savait déjà que le cancer était provoqué par certains gènes mutés. On sait maintenant qu'ils doivent collaborer entre eux pour que la cancérisation ait lieu.

Une équipe du Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Etats-Unis), dirigée par le Pr Robert Weinberg (*Nature* du 29 juillet 1999)

vient de réussir à rendre cancéreuse une cellule humaine normale. Pour qu'une cellule devienne maligne, elle doit subir des mutations génétiques bien précises qui lui permettent d'échapper aux mécanismes normaux de contrôle de la division cellulaire. Ces mutations se produisent sur des gènes particuliers, appelés oncogènes parce qu'ils sont directement impliqués dans le cancer. Cependant, pour qu'il y ait cancer, il faut une coopération entre les divers oncogènes. C'est cette collaboration que les chercheurs du MIT viennent de mettre en évidence. Pour ce faire, ils sont partis d'une constatation. Lorsqu'on insère deux oncogènes – le gène H-ras, qui pousse la cellule à se reproduire sans fin et le gène large-T qui bloque les signaux permettant à la cellule de s'arrêter de



INSTITUT PASTEUR

Pour le Pr Moshe Yaniv, trois gènes sont nécessaires pour cancériser une cellule normale (ci-dessus, cellules d'un cancer de la peau).

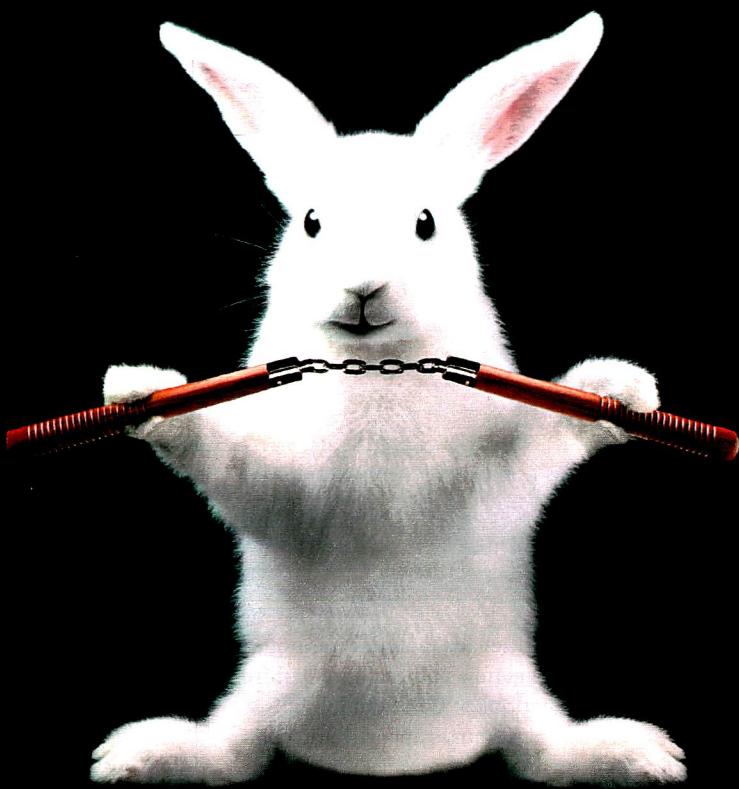
proliférer – dans des cellules saines de souris, ils induisent la cancérisation. Or, si on refait la même opération avec des cellules humaines, les résultats ne sont pas reproductibles. Pourquoi ? Parce que, nous dit le Pr Moshe Yaniv (Institut Pasteur, Paris), « dans des cellules normales humaines en culture, le gène de la télomérase ne s'exprime pas, alors qu'il s'exprime dans des cellules de souris en culture ». La télomérase, enzyme impliquée dans le vieillissement cellulaire, joue donc un rôle dans la cancérisation.

Il ne restait plus aux chercheurs du MIT qu'à insérer les deux oncogènes H-ras et large-T, plus le gène hTERT de la télomérase dans des cellules humaines, en l'occurrence des cellules épithéliales (cellules que l'on trouve dans l'épiderme)

et des fibroblastes (cellules présentes dans le derme), pour obtenir la cancérisation. C'est effectivement ce qui s'est produit, démontrant ainsi qu'une coopération entre les trois gènes était nécessaire. On pense qu'ils agiraient l'un après l'autre, en cascade.

Dans le dernier numéro de *Science & Vie*, nous faisions état de travaux scientifiques chinois et français montrant qu'il est possible de rendre normale une cellule cancéreuse, c'est-à-dire l'inverse de ce qu'ont fait les chercheurs du MIT. Il serait donc étonnant qu'en possession de toutes ces clefs, les recherches sur le cancer ne progressent pas à pas de géant et ne débouchent pas rapidement sur de nouveaux traitements, mieux ciblés et plus efficaces.

P. R.



nescafé NES. Ne vous fiez PAS à sa douceur.

Non, ne vous fiez
pas aux apparences !

nescafé NES
est doux
car c'est un mix
inédit d'Arabica
et de Robusta
doux à la
torréfaction
légère. OK.
Mais attention !
Parce que c'est
un 100% café
Il est 100% Stimulant.



NESCAFÉ.
Open up*

RECHERCHE

PSYCHIATRIE

Génétique de l'autisme



E. DEXHEIMER EDITING

Les enfants ayant des liens de parenté avec des autistes courent cinquante fois plus de risques de présenter eux-mêmes ce trouble du développement du système nerveux central. Une étude internationale coordonnée par l'INSERM (Institut national de la santé et de la recherche médicale) et publiée dans *Human Molecular Genetics*, s'est attachée à

identifier les facteurs impliqués dans cette « vulnérabilité d'ordre génétique ». Cette étude réalisée sur des fratries appartenant à cinquante et une familles a isolé onze régions du génome susceptibles d'être impliquées dans l'autisme. Lors de travaux antérieurs, cinq de ces régions ont déjà été identifiées. Reste à passer au crible les gènes qui y sont localisés.

I. B.

PALÉOCLIMATOLOGIE

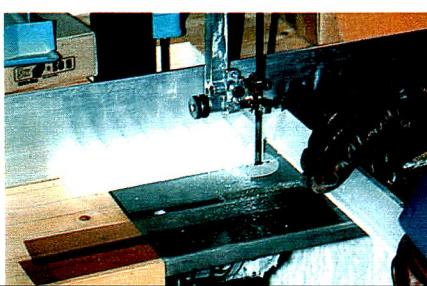
LES GLACES DE L'ILLIMANI

■ La glace conserve la mémoire des climats passés : les forages glaciaires réalisés en Arctique et en Antarctique sont riches de renseignements sur les climats polaires depuis 400 000 ans. Au mois de juin dernier, des équipes de scientifiques suisses et français ont prélevé

plusieurs carottes de glace dans un glacier du massif de l'Illimani, en Bolivie, à 6 350 m d'altitude. L'analyse isotopique et chimique de la glace, mais aussi des gaz et des éléments-trace qu'elle contient, fourniront de précieuses données sur le passé climatique des régions tropicales.

Premiers résultats au printemps 2000. H. G.

Ces carottes de glace âgées de plusieurs millénaires gardent la mémoire des climats.



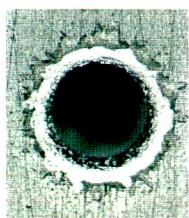
CEA

ESPACE

Poubelle spatiale

Éléments de lanceurs, rejets ou abandon de pièces en tout genre : avec huit mille débris spatiaux de plus d'un gramme en orbite, parfois lancés à plus de 20 000 km/h, la banlieue terrestre est bien mal famée pour les nombreux satellites artificiels qui s'y aventurent. Et bien plus encore pour ceux disposés en « constellations », tel le système Iridium permettant de téléphoner de n'importe de quel point du globe. Trois chercheurs italiens (*Nature*, 24 juin) ont modélisé les conséquences d'une possible collision entre un projectile de un kilogramme et l'un des soixante-six satellites d'Iridium. Il en résulterait la dissémination de nombreux fragments de taille importante qui pourraient à leur tour heurter de nouveaux satellites, déclenchant ainsi une réaction en chaîne aux effets lents – quelques dizaines d'années – mais inexorables.

M. C.



NASA

Ont collaboré à cette rubrique : Philippe Chambon, Matthieu Crocq, Philippe Henarejos, Marie-Laure Moinet, Hervé Poirier, Pierre Rossion.

DÉSORMAIS,
LA LÉGENDE VOUS APPARTIENT EN **DVD**
VIDEO !

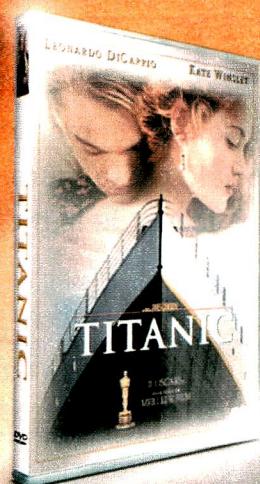


UN FILM DE JAMES CAMERON

TITANIC



11 OSCARS.
DONT CELUI DU
MEILLEUR FILM



TWENTIETH CENTURY FOX AND PARAMOUNT PICTURES PRESENT A LIGHTSTORM ENTERTAINMENT PRODUCTION A JAMES CAMERON FILM "TITANIC" LEONARDO DiCAPRIO KATE WINSLET BILLY ZANE KATHY BATES FRANCES FISHER BERNARD HILL JONATHAN HYDE DANNY Nucci GLORIA STUART DAVID WARNER VICTOR GARBER AND BILL Paxton MUSIC BY JAMES HORNER COSTUME DESIGNER DEBORAH L. SCOTT MUSIC SUPERVISOR RANDY GERSTON CO-PRODUCERS AL GIDDINGS GRANT HILL SHARON MANN FILM EDITORS CONRAD BLUFF, A.C.E. JAMES CAMERON RICHARD A. HARRIS PRODUCTION DESIGNER PETER LAMONT DIRECTOR OF PHOTOGRAPHY RUSSELL CARPENTER, A.S.C. SPECIAL VISUAL EFFECTS BY DIGITAL DOMAIN EXECUTIVE PRODUCER RAE SANCHIN PRODUCED BY JAMES CAMERON AND JON LANDAU WRITTEN AND DIRECTED BY JAMES CAMERON

WWW.TITANICMOVIE.COM

produced by association with SONY CLASSICS

© 1997 Twentieth Century Fox Film Corporation

SORTIE MONDIALE EN **DVD** VIDEO LE 2 SEPTEMBRE 1999

© 1997 Twentieth Century Fox Film Corporation



Les biches dominantes ont davantage de faons mâles que de femelles pendant les hivers rigoureux.

S. KRASEMANN/JACANA

Un mâle en hiver

Le sexe d'un mammifère serait lié à la position sociale de sa mère. Confirmation d'une vieille prédition de la théorie de l'évolution.

Un animal a-t-il intérêt à avoir une descendance mâle ou femelle ? Un troupeau de cerfs (*Cervus elaphus*) de l'île de Rhum (Ecosse), étudié pendant plus de vingt-cinq ans par des chercheurs de l'université d'Edimbourg, apporte enfin une solide réponse statistique à cette question.

Lorsque la nourriture est rare ou l'hiver rigoureux, conclut l'étude publiée dans la revue *Nature* (vol. 399), les biches dominantes engendrent plutôt des faons mâles (jusqu'à 65 % des cas). L'équilibre entre faons mâles et femelles est rétabli lorsque les conditions de vie redeviennent plus favorables.

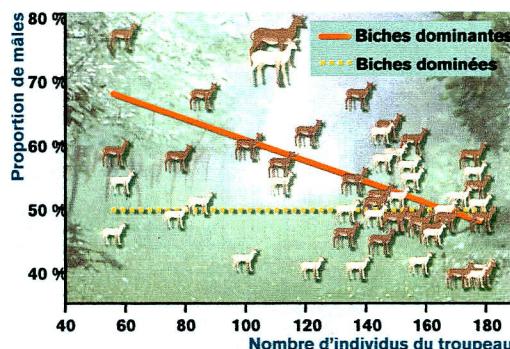
La faculté des biches de "programmer" le sexe de leur progéniture

ture est une conséquence logique de la théorie de l'évolution, prédite dès 1972 par Robert Trivers et Dan Willard, deux biologistes anglais. Pour les mammifères polygames, engendrer un mâle est un pari. Perdu si le jeune cerf est dominé, donc sans progéniture, mais gagné s'il se révèle dominant, répandant les gènes de sa mère à travers une vaste descendance. Une descendance femelle, en revanche, est un placement sûr mais à faible

rendement : un seul faon par an.

Un mâle réclamant davantage de nourriture qu'une femelle, ce pari est plus risqué quand les temps sont durs. Seules les biches dominantes, dont l'accès à la nourriture est privilégié, ont les moyens d'élever convenablement un mâle – moins exposé à la concurrence qu'en temps normal.

H. P.



La proportion de faons mâles décroît chez les biches dominantes quand la densité de population augmente (signe que les conditions de vie sont favorables), mais elle reste constante chez les dominées.

D. GALAND



GÉNIE GÉNÉTIQUE

Du miel contre les maux

Soigner avec du miel... Un rêve de gourmet malade, réalisé par une équipe de botanistes dirigée par Tineke Creemers, à Wageningen (Allemagne). Les chercheurs ont mis au point une manipulation génétique qui oblige un pétunia à produire un médicament dans son nectar. Le gène codant pour une molécule thérapeutique est inséré dans le patrimoine génétique de la plante. Récolté par les abeilles butineuses, le nectar bienfaisant se retrouve dans le miel qu'elles produisent. H. P.

COSMÉTIQUES

Fin des tests sur l'animal

L'année 1999 marque l'interdiction, en Grande-Bretagne, des tests sur l'animal des produits cosmétiques et de leurs composants. En 1997, 1267 animaux avaient été utilisés pour de tels tests dans les laboratoires.

M.-S. G.

POLLUTION

PAUVRES, POLLUÉS ET À PIED...

■ Mieux vaut être riche et motorisé que pauvre et piéton ! C'est ce qu'il ressort d'une étude anglaise sur les rapports entre la pauvreté et la pollution automobile. Simon Stevenson, chercheur à l'école d'hygiène et de médecine tropicale de Londres, s'est penché sur le Sud-Est de l'Angleterre pour y analyser la répartition géographique de la pollution, de la pauvreté, des propriétaires de voitures, des routes, et des maladies respiratoires. De très fortes corrélations montrent que la population des zones très polluées, où le taux de maladies respiratoires est élevé, est pauvre et peu motorisée. A l'inverse, la

A. MOORE/EDITING DIFF.



Au Sud-Est de l'Angleterre, les plus démunis sont aussi ceux qui souffrent le plus de la pollution.

population riche et fortement motorisée (au moins deux voitures par ménage) se rencontre dans les zones de faible pollution, où les problèmes respiratoires sont rares. Conclusion de l'étude : « Il y a un déséquilibre injuste entre les pollueurs et les pollués. »

H. P.

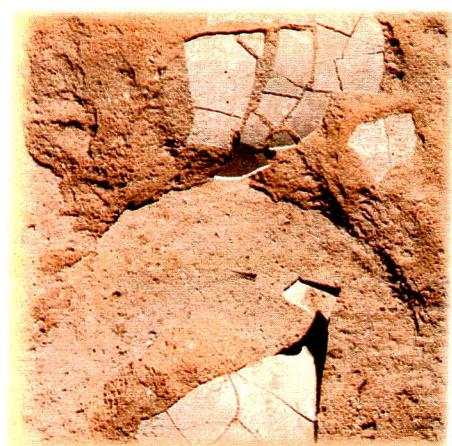
PALÉONTOLOGIE

Antiques extinctions

Selon le géochronologiste Gifford Miller, de l'université du Colorado, à Boulder, les premiers hommes à avoir peuplé l'Australie, il y a 55 000 ans, y auraient provoqué l'extinction de 85 % de la mégafaune. Parmi les disparus, le scientifique cite un oiseau de la taille d'une autruche, d'énormes reptiles aussi hauts qu'une voiture, et pas moins de dix-neuf marsupiaux géants. La chasse intensive serait

la cause des extinctions massives. Et, selon le chercheur, la liste de ces "trophées" de chasse ne devrait cesser de s'allonger au fil des découvertes paléontologiques.

M.-S. G.



SCIENCE/GIFFORD MILLER

Coquille d'œuf fossile de *Genyornis newtoni*, un oiseau géant décimé par les premiers Australiens.

ENVIRONNEMENT



Le caméléon est capable de voir en relief d'un seul œil.

RÉINTRODUCTION

Deux gypaètes de plus dans les Alpes

Douze ans après les premiers lâchers, la réintroduction du gypaète barbu en Haute-Savoie connaît un nouvel épisode. En 1997, un couple d'oiseaux implanté dans la vallée du Reposoir s'était reproduit en liberté pour la première fois. Mais il défend si bien son territoire qu'il a fallu choisir, cette année, un nouveau site de réintroduction. Deux jeunes gypaètes viennent donc d'être déposés dans la combe de Dorian, près de Sallanches (Haute-Savoie), à 2000 m d'altitude.

L'Agence pour l'étude et la gestion de l'environnement dirige ce programme de réintroduction en partenariat avec Alp Action et le World Wildlife Fund.

I. B.



Un nouveau couple d'oiseaux a été lâché en Haute-Savoie.

EVOLUTION

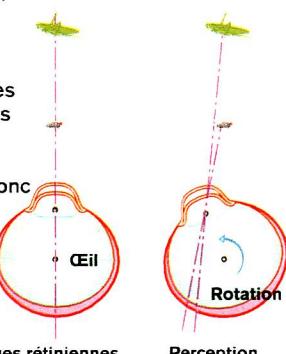
L'œil, et le bon!

Comment voir en relief d'un seul œil? Grâce à une rotation régulière de l'œil, qui permet d'évaluer les dis-

tances relatives de différents objets, répond

John Pettigrew, de l'université de Queensland (Australie), qui a étudié le système visuel du caméléon – une merveille de l'évolution. Ses yeux, qui couvrent chacun la moitié du champ visuel, fonctionnent alternativement et indépendamment. Le caméléon perçoit ainsi en relief la totalité de son environnement sans bouger la tête – donc sans éveiller l'attention de sa proie. Qui dit mieux?

H. P.



D. GALLAND

EXPOSITION

MERVEILLES DU LITTORAL



CONSERVATOIRE DU LITTORAL

■ Le Conservatoire du littoral et le Muséum national d'histoire naturelle présentent une exposition au titre explicite – Rivages, trésors et merveilles du littoral –, qui se tiendra du 22 septembre au 28 novembre à l'Espace Electra, 6 rue Réményi, 75007 Paris. Tél. 01 53 63 23 45.

G. HENSON



Nouvelle chaudière murale Vitopend 100 Viessmann

Elle a
l'énergie
d'une
grande...

Vitopend 100, nouvelle chaudière murale gaz de Viessmann : un système compact, économique et performant pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

La conception de la nouvelle chaudière murale gaz Vitopend 100 apporte une réponse innovante aux attentes du marché. Elle intègre avec succès les tendances d'aujourd'hui : encombrement réduit, discrétion, économie... Facile à vivre, elle se montre petite par ses exigences mais grande par ses performances.

Choisir Viessmann, c'est la garantie d'une qualité sans compromis et l'assurance de solutions adaptées à tous les besoins.

Demandez-nous gratuitement le "Guide des solutions de chauffage" ainsi que les coordonnées de nos distributeurs les plus proches directement au Numéro Vert : 0 800 221 221 (appel gratuit).

VIESSMANN

Bien plus
que la chaleur

Viessmann S.A.
Z.I. - B.P. 59
57380 Faulquemont
Tel. : 03 87 29 17 00
Fax : 03 87 29 18 53
Minitel : 3614 Viessmann
Web : <http://www.viessmann.fr>

La croisière s'amuse

Une équipe de scientifiques et de... surfeurs vient de s'embarquer pour une longue croisière destinée à établir un bilan de santé du corail.

Pour profiter des vagues l'âme en paix, les surfeurs se mettent au service des océans et de la science. La marque de sport Quiksilver a en effet dépensé 2 millions de francs pour affrêter l'*Indies Trader*, un bateau qui va sillonna les mers chaudes de part et d'autre de l'équateur pendant quinze mois. A son bord : une poignée de gais lurons accompagnés d'un scientifique. But de la mission : surfer, mais aussi dresser un bilan de l'état de santé des récifs coralliens.

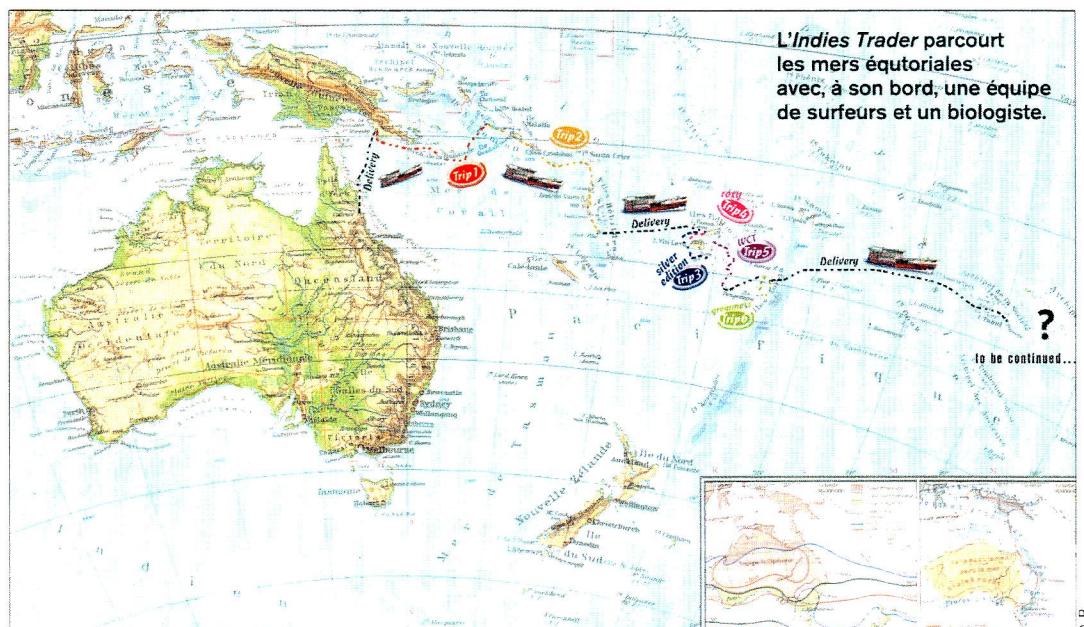
Cinq biologistes embarqueront tout à tour sur l'*Indies Trader* sous

la direction de Richard Grigg, un ancien champion de surf aujourd'hui professeur d'océanographie à l'université d'Hawaii. Selon ce spécialiste du corail, « il est capital de protéger les récifs coralliens pour trois raisons : la valeur économique qu'ils représentent pour les populations locales qui vivent de la pêche; leur biodiversité – avec les forêts tropicales, ce sont les milieux les plus variés de la planète –; et la sauvegarde des îles elles-mêmes, protégées de l'érosion par les récifs. »

Aussi, depuis le 20 mars dernier, des champions du monde de surf plongent pour aider les biologistes à observer les fonds marins (déter-

mation des espèces présentes sur le récif, nombre d'individus par espèce, état du corail, température de l'eau...). Puis, comme 129 autres groupes d'études, l'équipe envoie ses résultats à Gregor Hodson, qui dirige le programme d'étude des coraux des Nations Unies, à l'université des sciences et techniques de Hongkong.

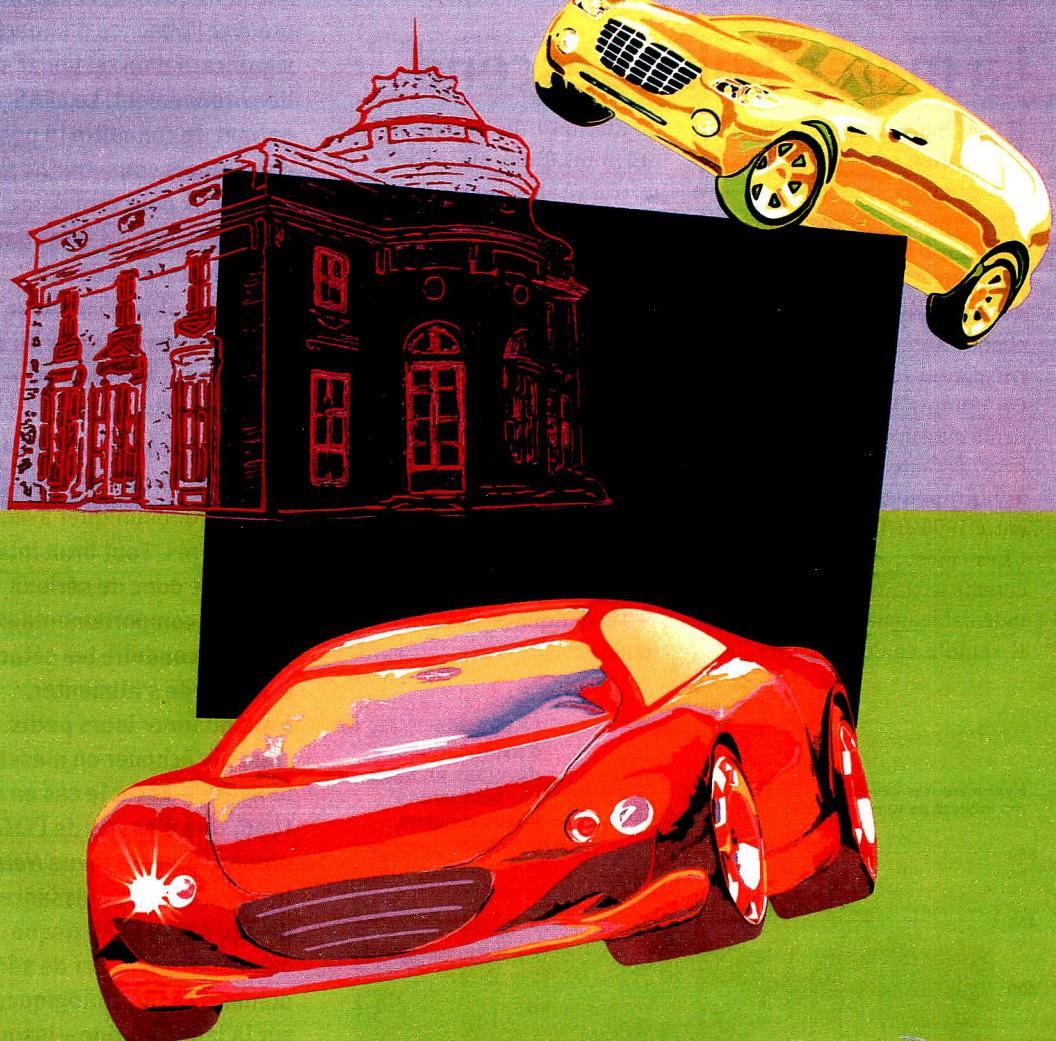
Les premières observations sont plutôt encourageantes. Aux îles Salomon, Hébrides, Fiji, Tonga ou Tahiti, le corail va mieux. En 1998 – l'année la plus chaude depuis plus d'un siècle –, les biologistes marins avaient vu mourir par décoloration nombre de coraux dans la plupart les mers du globe (voir *Science & Vie* n° 979, p. 26). Ces taches de blanchissement semblent aujourd'hui avoir disparu. Les récifs guériraient-ils de leur terrible maladie ? À suivre. G. M.



P A R C D E B A G A T E L L E

CONCOURS
AUTOMOBILES
CLASSIQUES

ET
LOUIS VUITTON



Razzia

© LOUIS VUITTON

4 E T 5 S E P T E M B R E 1 9 9 9



Un oiseau de mer victime de la marée noire de l'Amoco Cadiz, en 1978.

SIPA PRESS

POLLUTION

La marée noire descend

Les marées noires, grandes et petites, sont 60 % moins fréquentes aujourd'hui que dans les années 70, estime l'Institut français de l'environnement (IFEN) : 320 000 tonnes d'hydrocarbures se retrouvaient chaque année dans le milieu marin, contre 130 000 t aujourd'hui. On comptait vingt-quatre accidents majeurs par an dans les années 70. Cette moyenne est tombé à huit pollutions importantes entre 1990 et 1997.

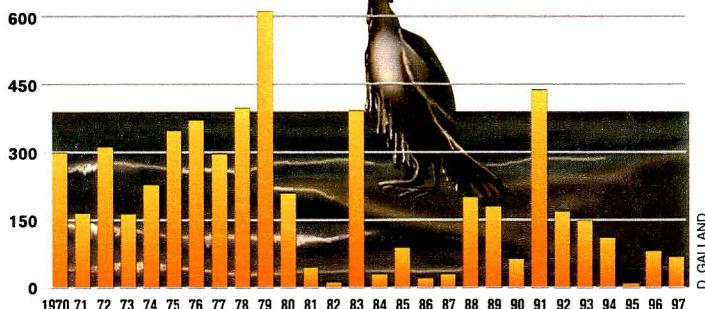
Les mesures internationales comme la convention Marpol ont indéniablement porté leurs fruits. Il semble également que l'aug-

mentation du montant des indemnisations ait incité les armateurs à améliorer la sécurité de leurs navires. Les 220 000 t de pétrole déversées sur les côtes bretonnes par l'*Amoco Cadiz*, en 1978, ont coûté à son propriétaire 600 dollars (plus de 3 600 F) la tonne. Les indemnités versées après le naufrage de l'*Exxon Valdez* en Alaska (1989) s'élevaient à 20 000 dollars (120 000 F) la tonne. Quant aux indemnisations après la pollution provoquée par le *Kuangoon* en Corée (1993), elles battent le record : 110 000 dollars (660 000 F) la tonne.

L. C.

La quantité d'hydrocarbures déversés en mer par les marées noires diminue.

Hydrocarbures déversés (en milliers de tonnes)



POLLUTION SONORE

Le sonar tueur de l'US Navy

L'armée américaine a publié le 30 juillet les résultats d'études menées dans le cadre de son projet Low Frequency Active Sonar (LFAS, sonar actif à basse fréquence) et destinées à prouver l'absence d'impact significatif d'un tel sonar sur l'environnement. Le LFAS permet de connaître la position d'éventuels sous-marins trop silencieux pour être détectés "passivement". Il émet dans l'eau un son à très forte puissance; l'écho renvoyé par les obstacles est recueilli et analysé. Or, baleines et dauphins utilisent aussi des signaux sonores pour détecter obstacles, proies et prédateurs et pour communiquer avec leurs congénères. Tout bruit intense provoque donc de sérieux troubles comportementaux pouvant conduire les cétacés à arrêter de s'alimenter, à abandonner leurs petits, voire à s'échouer en masse sur le rivage – ce fut le cas en mai 1996, lors d'essais de l'OTAN rapportés par la revue *Nature* (n° 6671). D'une puissance de 240 dB, le LFAS risque même de provoquer de sérieux dommages physiologiques sur la faune marine – jusqu'à la mort des animaux les plus proches de la source sonore.

M. C.

OÙ SONT PASSÉS LES ICEBERGS?



M. LOYE/COSMOS

■ Créée au lendemain du naufrage du *Titanic*, en 1912, l'International Ice Patrol (IIP) tient à jour un bulletin d'alerte qui indique aux navigateurs tous les icebergs dérivant au sud du 48° parallèle nord – soit 480 par an en

moyenne. Or, pour la première fois, pas un iceberg n'a été repéré cet hiver. Bien qu'aucune hypothèse ne soit encore à exclure, le réchauffement planétaire pourrait bien être le premier responsable de cette absence.

M. C.

DÉFORESTATION

Pas de fumée sans feu

Une étude américano-brésilienne parue dans la revue scientifique *Nature* (vol. 398) assure que «chaque année, plus de la moitié des aires forestières mises en danger par la déforestation ne sont pas prises en compte dans les estimations».

La comparaison entre l'état réel du terrain et les estimations du satellite *Landsat*, censé dresser la carte de la déforestation, montre en effet que beaucoup de petites zones d'abattage passent inaperçues, de même que les incendies de faible ampleur. Les conséquences de ces derniers sont pourtant loin d'être négligeables : selon une autre étude américaine,

parue dans *Science* (vol. 284), «le feu augmente la vulnérabilité de la forêt à de futurs incendies. Il peut, à terme, transformer de larges aires de forêt tropicale en broussailles et en savanes.»

Une meilleure connaissance du feu est nécessaire pour mettre au point des outils d'analyse plus précis. Le VI^e Congrès international sur la science liée à la sécurité du feu a justement eu lieu cet été à Poitiers. Près de 300 experts, universitaires et industriels, venus d'une vingtaine de pays, ont fait le point sur l'état des recherches concernant la connaissance et la maîtrise des incendies.

H. P.

Deforestation par le feu dans une forêt du Guatemala.
G. HOLT/COSMOS

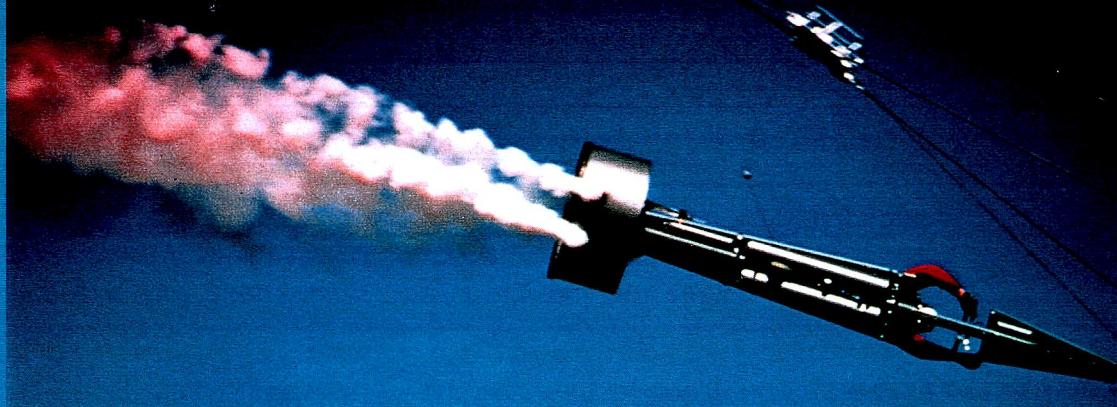
Même aspect, même saveur.

CONCHYLOGIE

Des huîtres souterraines

L'**Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)** teste à Bouin, en Vendée, un procédé d'affinage des huîtres creuses à l'eau salée pompée dans une nappe souterraine. Cette eau à 14 °C, particulièrement riche en sels nutritifs, est exempte de germes microbiens et de métaux lourds. Selon l'**Ifremer** et l'**Ecole nationale d'ingénieurs des techniques et des industries agricoles alimentaires**, il n'y pas de différence de goût ni d'arôme par rapport aux huîtres affinées en pleine eau. M.-S.G.

Ont collaboré à cette rubrique : Isabelle Bourdial, Loïc Chauveau, Matthieu Crocq, Marie-Sophie Germain, Hervé Poirier.



L'avion au bout du fil

Un "avion jouet" suspendu à un câble permet à son pilote toutes les acrobaties, sans risque d'accident.

Mis au point par l'inventeur néo-zélandais Neil Harrup, un avion jouet permet à son pilote de s'offrir toutes les sensations d'un vol acrobatique sans risquer de s'écraser au sol.

L'avion dépourvu d'ailes est suspendu à un câble lui-même accroché à des haubans à une centaine de mètres de hauteur. Le câble limite les évolutions de l'avion, qui, par exemple, ne peut s'approcher à moins de 3 m du sol. Les évolutions se limitent à du rase-mottes. Le *Fly by Wire* (1), c'est le nom donné par Neil Harrup à son appareil, est propulsé par un moteur de 60 chevaux. Il peut voler à une vitesse maximale de 170 km/h,

monter

ou descendre sous des angles de 45° sur l'horizon, effectuer des virages serrés ou certaines figures acrobatiques, telles qu'une glissade sur la queue, qu'on appelle une "cloche". Le facteur de charge maximale (accélération que subit le pilote lors d'évolutions particulières) peut atteindre 3 g – trois fois l'accélération de la pesanteur –, nettement supérieur à celui qu'un petit avion de tourisme peut supporter sans risquer de se briser. La séance offerte aux ama-



REX/SIPA PRESS

teurs de sensations fortes dure huit minutes, en fonction de la capacité du réservoir de carburant. Le pilote dispose des commandes de vol habituelles et d'une manette des gaz, et contrôle toutes les manœuvres.

.....

(1) Le terme *Fly by Wire* désigne habituellement les commandes de vol électriques, lorsque les ordres du pilote sont transmis aux gouvernes par des impulsions électriques et non par le mouvement de câbles ou de bielles.



DÉTECTION

Plus d'obstructions...

La société britannique Deben Group Industries commercialise depuis peu un système de détection, le Pinpointer, qui permet de localiser des objets obstruant des conduites souterraines, notamment celles, non métalliques, qui sont enfouies jusqu'à 5 m de profondeur. Il suffit d'introduire un émetteur dans la canalisation au moyen d'une tige et de suivre sa progression depuis la surface grâce à un récepteur qu'on "promène" sur le sol en recherchant le signal sonore maximal transmis à la verticale de l'émetteur. Quand un objet arrête sa progression, on détermine la profondeur de la conduite en ajustant le bouton de sensibilité du récepteur, jusqu'à l'extinction totale du signal. On en déduit alors la distance correspondante sur le bouton de contrôle et la position de l'objet qui bouche la conduite.

EQUIPEMENT

Pansements pour tuyaux

■ La société britannique Vortex Industrial Products commercialise une bande résistante et malléable, à base de fibres aramides tissées, conçue pour réparer d'urgence toutes sortes de canalisations, d'eau, de vapeur, de combustibles liquides ou de la plupart des gaz et des solvants.

Selon le fabricant, la bande Quick-Wrap permet aussi de colmater fuites, fissures, cassures, gondolages sur des tuyaux en plastique, en métal ou en béton. Elle peut être étirée et modelée selon la forme des tuyauteries.

Une fois en place, elle durcit et devient efficace au bout d'une dizaine de minutes. Toujours d'après la société britannique, Quick-Wrap a d'excellentes propriétés de résistance thermique et chimique.



DR

SAUVENTAGE

La torche transperce la fumée

Dans une pièce remplie de fumée, le pompier ou le sauveteur équipé d'une torche classique ne peut s'éclairer : le faisceau provoque un halo qui a tendance à l'éblouir. Afin de pallier ce défaut, un pompier britannique a inventé une torche munie de diodes émettant une lumière rouge, qui permet de voir jusqu'à une dizaine de mètres, même à travers les fumées les plus épaisse.

L'inventeur, Paul Murley, a complété son invention en lui adjoignant un détecteur infrarouge pour re-

pérer les feux invisibles à l'œil nu et un télémètre à ultrasons pour localiser dans la fumée les objets ou les obstacles. Les indications apparaissent sur un petit écran à cristaux liquides placé sur le boîtier de la torche.

Celle-ci peut également être dotée d'une alarme : si un sauveteur ne bouge pas durant vingt secondes, la torche émet une lumière en flash pour alerter ses coéquipiers.

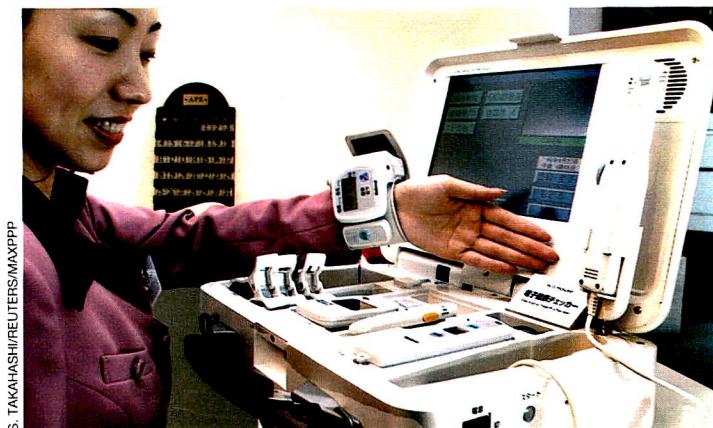


La super torche est composée de douze diodes qui émettent une lumière rouge.

TECHNOLOGIE

MÉDECINE

Diagnostic à la maison



S. TAKAHASHI/REUTERS/MAXPPP

La firme japonaise Matsushita Electric Industrial a installé le premier appareil de diagnostic médical personnel dans ce qui est censé préfigurer la maison du futur. Celle-ci est implantée dans le centre multimédia de la société, à Tokyo, afin de

montrer au public toutes les possibilités de l'électronique en matière d'habitation. L'appareil mesure la pression artérielle, le pouls, la température et transmet les résultats à un cabinet médical ou à un hôpital. L'utilisateur reçoit ensuite l'avis du médecin consulté.

DÉPOLLUTION

LES BACTÉRIES MANGENT LES MÉTAUX

■ Le centre de Cadarache (Bouches-du-Rhône) du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) a fait breveter un procédé qui permet de débarrasser les sols du fer et du manganèse qu'ils contiennent.

Le procédé mis au point par les chercheurs de Cadarache consiste à amplifier l'action naturelle de certaines bactéries qui dissolvent les oxydes de fer ou de manganèse, en leur fournissant une solution nutritive adaptée, dont on arrose le sol. On recueille ensuite par

drainage en continu, durant un an en moyenne, le produit de cette action de lessivage (biolixivation), qui contient les oxydes métalliques nocifs. On rencontre ces métaux dans les sols des friches industrielles ou à la suite d'une pollution accidentelle. Ils sont très toxiques, pour les plantes comme pour les hommes, et leur teneur maximale admissible est fixée par une réglementation officielle.

L'action naturelle des bactéries ferriréductrices est amplifiée pour dissoudre les oxydes nocifs.



DR

NAVIGATION

Carte radar à bord

Le pilote d'un bateau qui navigue sur un fleuve disposera bientôt d'une vue synthétique de la portion de fleuve qu'il a devant lui, ainsi que des emplacements des bateaux. Ce projet de recherche européen – Inland Navigation Demonstrator for River Information Services (INDRIS) – a déjà fait l'objet d'essais sur le Rhin, la Seine et le Danube. Sur un écran, figure une carte digitale en couleurs du fleuve, sur laquelle se superposent les échos des bateaux détectés par le radar de bord. Pour mener à bien le projet INDRIS, les pays européens doivent d'abord standardiser les données qui concernent leurs fleuves, afin de pouvoir les échanger.

AMÉNAGEMENT

Armoires escamotables

La société française ESCAP propose des armoires de distribution d'énergie (eau, électricité, téléphone) pour le domaine public qui peuvent s'escamoter dans le sol. Au lieu de demeurer en surface, elles disparaissent, grâce à des vérins. Un couvercle métallique, capable de supporter une charge de 25 tonnes, recouvre le trou où elles sont dissimulées.

PEINTURE

Sans solvant sur le bois

La société française LCS International, spécialiste des peintures en poudre, c'est-à-dire sans solvants, étend l'utilisation de ses produits à de nouveaux supports. Les peintures en poudre sont déposées en une seule couche (au lieu de trois à cinq pour les peintures liquides). Elles prennent place sur un substrat conducteur. Les particules sont chargées négativement tandis que le substrat est chargé positivement.

On connaît et on utilise depuis longtemps le procédé sur des supports métalliques, bons conducteurs de l'électricité. Mais LCS l'applique aujourd'hui à des sup-



N. HAUTEMANIÈRE

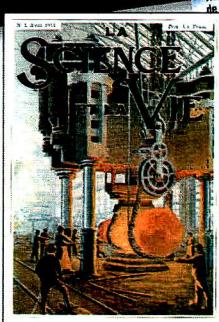
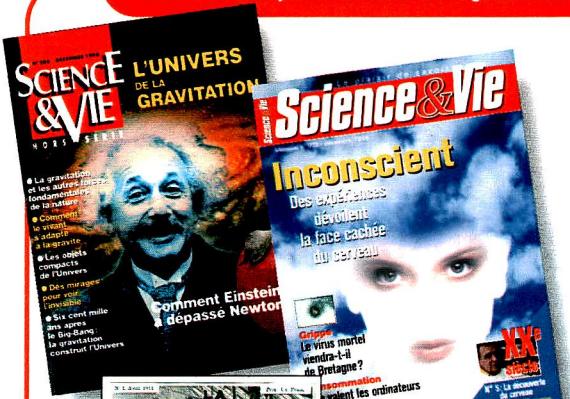
Bois massifs ou panneaux (aggloméré, multiplis...) peuvent être peints avec de la peinture en poudre.

ports diélectriques ou faiblement conducteurs, comme le bois. Une quarantaine d'essences sont susceptibles d'être traitées de la sorte. Le procédé de LCS consiste à créer un champ électrostatique entre une électrode au contact de la pièce à peindre et le vecteur de

projection de la peinture. Il permet le transfert de la poudre dans les angles de la pièce à peindre, les moulures, les cavités, les rainures, de façon uniforme et sans aucun rejet. Une cuisson à haute ou à basse température forme un film résistant et durable.

Bulletin d'abonnement à SCIENCE & VIE

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



12 mensuels
+ 4 hors série
trimestriels de
SCIENCE & VIE
+ en cadeau
le N°1 de
LA SCIENCE ET LA VIE

**296 francs
seulement**

Oui

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

je règle la somme de **296 francs*** seulement et je recevrai en cadeau de bienvenue le N°1 de LA SCIENCE ET LA VIE** paru en 1913.

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____

Ville _____

Je choisis de régler par :

- chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE
 carte bancaire

N° _____

expire à fin _____ mois _____ année _____

Date et signature obligatoires

*Prix normal de vente
des magazines chez
votre marchand de journaux

** Date de réception de 3 à 4 semaines, à partir du règlement de votre abonnement.

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 1999 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE METROPOLITAINE.

Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 17

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

TECHNOLOGIE

CARTOGRAPHIE

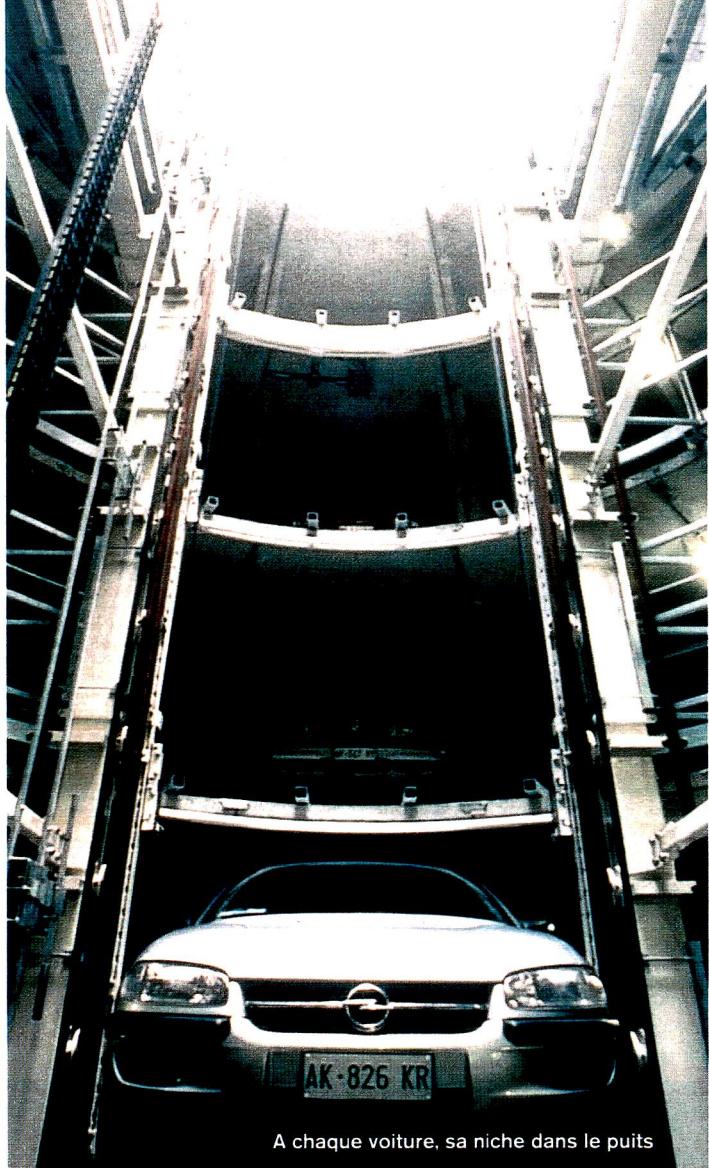
Les camps de réfugiés au microscope

Le Haut Commissariat aux réfugiés (HCR) et l'Institut de recherche pour le développement (IRD) ont mis au point une méthode qui permet d'obtenir des images précises des camps



IRD

de réfugiés et d'en étudier les structures, pour adapter l'aide. La méthode a été expérimentée au Kenya en 1998. Les coordonnées géographiques du camp sont relevées par GPS (Global Positioning System). Un avion équipé d'une caméra vidéo numérique filme la zone. Un logiciel élaboré par l'IRD assemble les images, sans distortion ni variation d'échelle, à une résolution de l'ordre du mètre. On obtient ainsi les distances, les superficies, le nombre d'abris, ce qui permet de calculer les densités de population, la répartition des réfugiés par classes d'âge ou par ethnies.



A chaque voiture, sa niche dans le puits

REX FEATURES/SIPA

AUTOMOBILE

Parking automatique

Les Italiens innovent en matière de stationnement automobile, avec des parcs automatiques situés dans des silos souterrains gérés par informatique. Imaginés par la société Trevipark, ces parcs se composent d'emplacements disposés sur plusieurs étages dans une tour métallique rotative.

L'automobiliste se contente de laisser sa voiture sur une plate-forme en surface et le véhicule

est conduit jusqu'à une place en sous-sol.

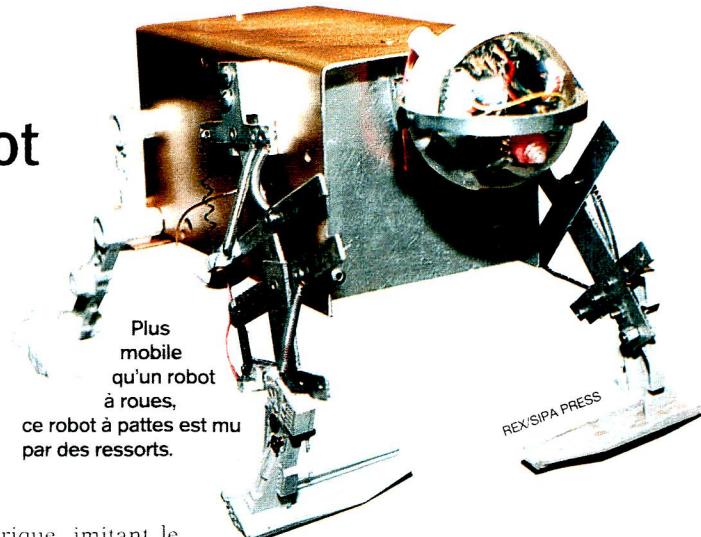
L'emprise au sol étant minimale, on peut installer de tels parcs de stationnement dans des cours ou même dans des jardins.

Le paiement s'effectue par carte électronique.

Après Rome, Milan, Pise et Florence, c'est au tour de Londres de s'équiper de parcs en silos. Le premier vient d'être implanté dans la capitale britannique.

Mars et le robot marcheur

Des chercheurs américains du département ingénierie mécanique et aérospatiale de l'université de l'Arizona ont imaginé un petit robot capable de marcher sur le sol des planètes. Le robot est en effet doté de pattes articulées, au lieu de roues. Celles-ci ont tendance à s'enfoncer et à patiner dans la poussière, immobilisant ainsi l'engin. Alors que des pattes sont capables de continuer à avancer. Les pattes sont mues par des ressorts mécaniques, qui se contractent et se distendent sous l'impulsion d'un courant électrique, imitant le comportement d'un muscle et la marche d'un quadrupède. Une conception beaucoup plus simple et plus sûre que celle de vérins, d'engrenages et autres parties mécaniques mobiles.



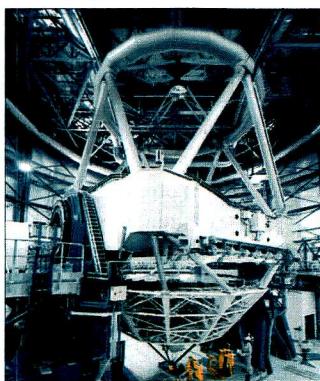
ASTRONOMIE

UN TÉLÉSCOPE "CANONS"

■ Exemple réussi de diversification pour un industriel français de l'armement. GIAT Industries, spécialisé dans la fabrication d'armements terrestres (canons, blindés, etc.), vient de livrer le quatrième et dernier exemplaire du dispositif de support et de positionnement des miroirs primaires et tertiaires du plus grand télescope optique du monde (VLT-Very Large Telescope). Le VLT est destiné à l'Observatoire européen austral du mont Cerro Paranal, au Chili. La structure fabriquée par GIAT Industries pèse 11 tonnes, dont 10 tonnes d'équipements, parmi lesquels 450 vérins électriques et hydrauliques. Elle est capable de supporter et de positionner avec une précision de l'ordre du micron un miroir de plus de 8 m de diamètre, pesant

23 tonnes. Les quatre structures fabriquées par GIAT Industries ont été livrées entre le mois d'août 1997 et le mois de juillet 1999. Le VLT devrait permettre d'analyser la naissance des galaxies jusqu'à une distance de douze milliards d'années-lumière dans le système solaire.

Cette structure de 11 t permet des réglages de l'ordre du micron.

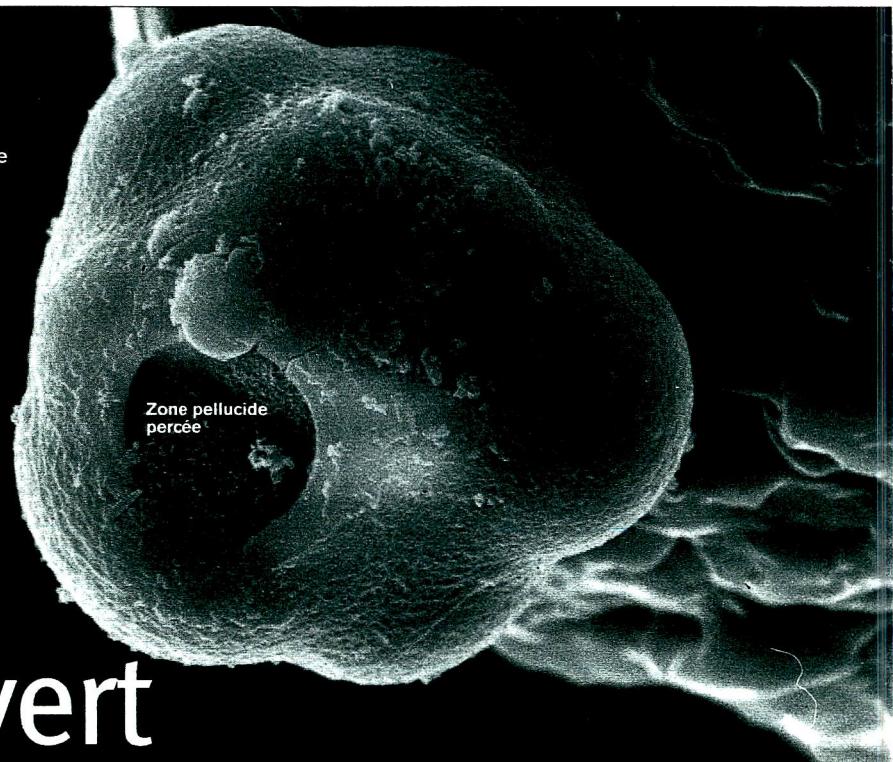


TRANSPORTS FERROVIAIRES

TGV lance-pierres

A 300 km/h, le déplacement d'air provoqué par les TGV a tendance à soulever et à projeter les pierres qui composent le ballast des voies ferrées. La voie se dégrade alors. De plus, ces pierres peuvent frapper les parties inférieures des motrices et des wagons, entraînant des détériorations. Pour pallier de tels inconvénients, la SNCF expérimente des moyens de "collage superficiel" du ballast, notamment sur la ligne ouest du TGV, entre Paris-Montparnasse et Rennes. Au kilomètre 118,5 (depuis Paris) une pulvérisation de résine époxy et au kilomètre 119,7, une émulsion bitumineuse sont testées. Le choix entre les deux techniques sera décidé en fonction des résultats.

Biopsie d'un embryon (ici, de souris) de huit cellules. La zone pellucide qui entoure l'embryon a été percée pour prélever une cellule à des fins de diagnostic préimplantatoire.



S. VIVILLE/GBCN

Feu vert au diagnostic sur l'embryon

**Attendu par les uns, redouté par les autres,
le diagnostic préimplantatoire
peut désormais être réalisé en France.**

En cas de maladie héréditaire très grave dans leurs familles, les futurs parents pourront recourir à la fécondation *in vitro* (FIV) pour sélectionner les embryons. En effet, des adultes sains peuvent transmettre des anomalies génétiques qui ne s'exprimeront que chez certains de leurs descendants.

Le diagnostic préimplantatoire

(DPI) consiste à analyser l'ADN d'une ou deux cellules prélevées sur l'embryon précoce, afin de déterminer si la mutation délétère – elle seule doit être recherchée – s'exprimera ou non chez l'enfant. On ne transfère dans l'utérus qu'un embryon *a priori* indemne, tandis que, après fécondation naturelle, le diagnostic prénatal risque, lui, de déboucher sur une "interruption médicale de grossesse".

Jusqu'ici, en France, le DPI était légal à titre exceptionnel mais impraticable tant que les responsables habilités n'étaient pas nommés. En désignant quatre biologistes et généticiens, l'arrêté du 28 juillet 1999 autorise l'analyse génétique à l'hôpital Necker (Paris) pour les prélèvements faits à l'hôpital Antoine-Béclère, à Clamart (Hauts-de-Seine), et à la faculté de médecine de Strasbourg pour ceux effectués au Centre médical chirurgical et obstétrical de Schiltigheim (Bas-Rhin).

Les couples qui risquent de transmettre une maladie grave comme la mucoviscidose, les myopathies, l'amyotrophie spinale, voire l'hémophilie, n'auront plus besoin d'aller chercher le DPI en Belgique, en Angleterre ou en Espagne.

Le DPI a des indications médicales très contrôlées. Ses dérives possibles soulèvent cependant des questions éthiques.

M.-L. M.

IMAGERIE MÉDICALE

L'angiographie en progrès

PHILIPS MEDICAL SYSTEMS



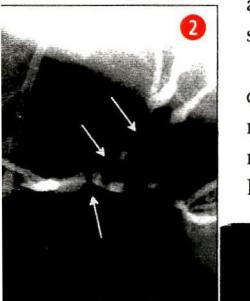
Plus sûre, plus rapide et moins traumatisante que l'angiographie classique, la MRA ① fournit des images très précises des artères coronaires ② et ③.

Un nouvel appareil permettant de diagnostiquer en trente minutes une maladie coronaire – première cause d'infarctus – vient d'être mis au point au centre médical Beth Israel Deaconess de Boston (Massachusetts, Etats-Unis).

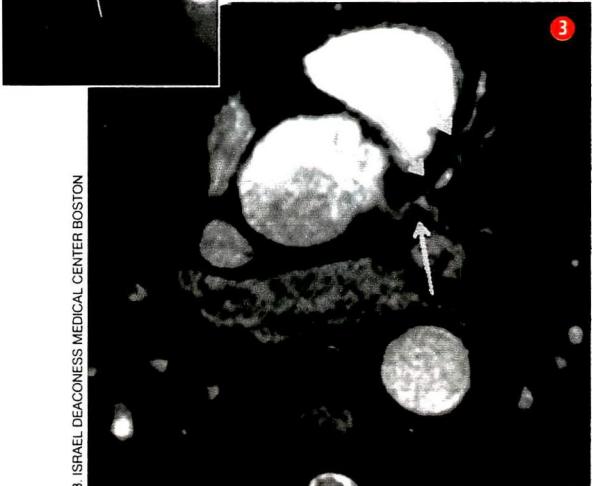
Plus sûre, plus pratique et, surtout, moins traumatisante que la classique angiographie aux rayons X, cette nouvelle technique, baptisée Magnetic Resonance Angiography (MRA), fournit des images des artères coronaires en trois dimensions et d'une grande précision.

La MRA permet aussi d'éviter les quelques jours d'hospitalisation que nécessite l'angiographie. Cette technique pourrait être disponible en France dans les mois à venir. P.R.

②



③



B ISRAEL DEACONESS MEDICAL CENTER BOSTON

FICHE-CONSEIL LUTSINE n° 2



Aujourd'hui, en effet, mieux vaut utiliser les soins Lutsine, le spécialiste des peaux jeunes à problèmes, notamment pour apporter à votre peau l'hygiène quotidienne et complémentaire qu'elle réclame.



✓ Nettoyez correctement votre peau avec Bactopur, un gel moussant à rincer, antibactérien et régulateur de sébum. Votre peau, nette et douce, est alors prête pour les soins.



✓ Désincrustez avec la Crème Gommante qui, appliquée 1 à 2 fois par semaine, débarrassera votre peau de ses cellules mortes.



✓ Purifiez avec le Masque à l'argile, 2 à 3 fois par semaine, pour permettre ainsi à votre peau de respirer. À utiliser en alternance avec la Crème Gommante pour un meilleur résultat.

LES CONSEILS DU DERMATOLOGUE LUTSINE :
Les résultats demandent régularité et patience. Surtout, n'oubliez pas de nettoyer soigneusement votre peau, matin et soir. L'hygiène est la base de la réussite.

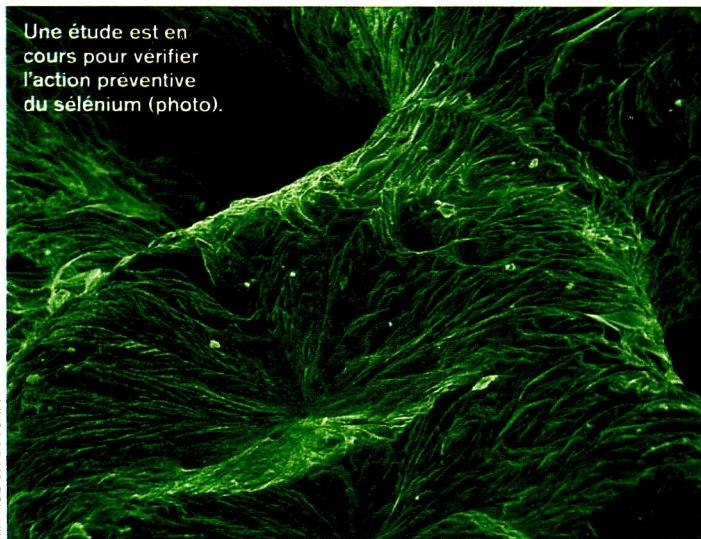
**LUTSINE
ados**

LUTSINE, UNE COMPÉTENCE DERMATOLOGIQUE

MÉDECINE

Une étude est en cours pour vérifier l'action préventive du sélénium (photo).

M. KAGEOKA/CACNFI



ONCOLOGIE

Le sélénium prévient-il le cancer?

D'ici à cinq ans, on saura si, oui ou non, le sélénium peut prévenir certains cancers. Ces dernières années, une étude réalisée par Larry Clark (université de l'Arizona, Etats-Unis) sur 1 312 patients atteints d'un cancer de la peau avait montré que la prise de 200 µg de sélénium par jour pendant dix ans semblait stabiliser le cancer de la peau et qu'elle réduit considérablement l'incidence du cancer de la prostate, du poumon et du côlon.

Afin de vérifier cette étude, un

programme à plus grande échelle et sur des sujets sains vient d'être initié par le même Larry Clark. Dans un premier temps, 42 000 volontaires européens et américains prendront chaque jour, pendant cinq ans, du sélénium ou un placebo. « Si les résultats de ce programme, baptisé PRECISE, confirment ceux de l'étude précédente, nous aurons accompli l'un des progrès les plus significatifs de ces cent dernières années dans la lutte contre le cancer », estime Clark.

P. R.

ANESTHÉSIE

LES HOMMES ONT LE RÉVEIL DIFFICILE

Alors que les femmes mettent en moyenne sept minutes pour se réveiller d'une anesthésie, à dose égale, les hommes en mettent onze.

Cette observation, réalisée par plusieurs équipes américaines, n'a toujours

pas trouvé d'explication, mais elle conduit les anesthésistes à penser que les femmes métabolisent plus vite les anesthésiques ou bien y sont moins sensibles. Il est possible qu'il existe un "effet sexe" pour d'autres médicaments. Ph. C.

PHARMACOLOGIE

Les super-aspirines arrivent

Les super-aspirines dont parlait *Science & Vie* en août dernier (n° 971, p. 45) arrivent sur le marché – au moins aux Etats-Unis et en Suisse. Ces molécules agissent de façon beaucoup plus spécifique que l'aspirine sur les mécanismes de l'inflammation, ce qui permet d'éviter les effets secondaires, même à forte dose. Six mois après sa commercialisation outre-Atlantique, le Cerebrex, la super-aspirine des laboratoires Searle, a battu tous les records de vente. En France, son autorisation de mise sur le marché pourrait être bientôt accordée. Ph.C.



Ont collaboré à cette rubrique : Marie-Laure Moinet, Pierre Rossion.



vous proposent

"OBJECTIF SCIENCE"

Science & Vie et Science & Vie Junior organisent, sous le haut patronage du Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche, le concours "OBJECTIF SCIENCE", destiné à sélectionner les représentants de la France au Concours Européen pour les Jeunes Scientifiques qui aura lieu en septembre 2000 à Amsterdam, et au concours international des jeunes chercheurs en environnement organisé par la Jugend Forscht.

**UN GRAND CONCOURS
POUR VOUS,
PASSIONNÉ(E) DE SCIENCE**

LES SÉLECTIONNÉS FRANÇAIS EN 98

Hervé TRINQUET, Nicolas POUSSIELGUE et Pierre MELIA, pour "les effets de la lumière sur les plantes"
Benoit PEGHAIRE et Laurent LEGROSDIDIER pour "inversion du champs magnétique".

UN CONCOURS PASSIONNANT

- Vous présentez une recherche scientifique originale, théorique ou appliquée, dans le domaine de votre choix.
- Vous pouvez concourir seul(e) ou par équipe de 3 personnes maximum.

LES PRIX À GAGNER

5000, 3000 et 1500 euros, des stages en laboratoire, des séjours en camps de recherche et la possibilité de rencontrer des savants de renommée internationale et des jeunes chercheurs de toute l'Europe.

MODALITÉS D'INSCRIPTION

- Clôture des inscriptions : le 1^{er} janvier 2000.
- Date limite de remise des projets : le 30 mars 2000.
- Concours réservé aux 15-21 ans, en 1^{re} année d'enseignement supérieur maximum.

ORGANISMES PARTENAIRES

L'ANSTI, l'APBG (association des professeurs de Biologie et de Géologie), l'APMEP (association des professeurs de Mathématiques de l'enseignement public), le CNES, le CNRS, l'IFREMER, l'INRA, l'INSERM, les Olympiades de physique, l'Union des Physiciens et sous le patronage du MINISTÈRE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE.

VOUS ÊTES INTÉRESSÉ(E) ?

Demandez rapidement un dossier de candidature avec le règlement du concours.

DEMANDE DU DOSSIER DE CANDIDATURE ET DU RÈGLEMENT

À retourner sous enveloppe affranchie avant le 3 / 01 / 2000 minuit à OBJECTIF SCIENCE - 1, rue du Colonel-Pierre-Avia 75 503 PARIS Cedex 15

Nom..... Prénom.....

Adresse

Code Postal..... Ville.....

Date de naissance Niveau d'études

Conformément à la loi informatique et Libertés du 06/01/78, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amenés à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant votre nom, prénom, adresse, et si possible, votre référence client.

Lemystère des

Les mathématiques sont-elles une pure invention intellectuelle issue du cerveau humain ou l'essence même de la nature qui nous entoure ? Les hommes, qui ont construit, depuis des millénaires, ce monumental édifice théorique, n'avaient jamais pu répondre à cette simple question.

Aujourd'hui, les progrès de l'imagerie cérébrale permettent aux scientifiques de lever pour la première fois un coin du voile.

- Invention de l'esprit ou réalité de l'Univers**
- La biologie des maths**
- Le miroir intérieur de la réalité**

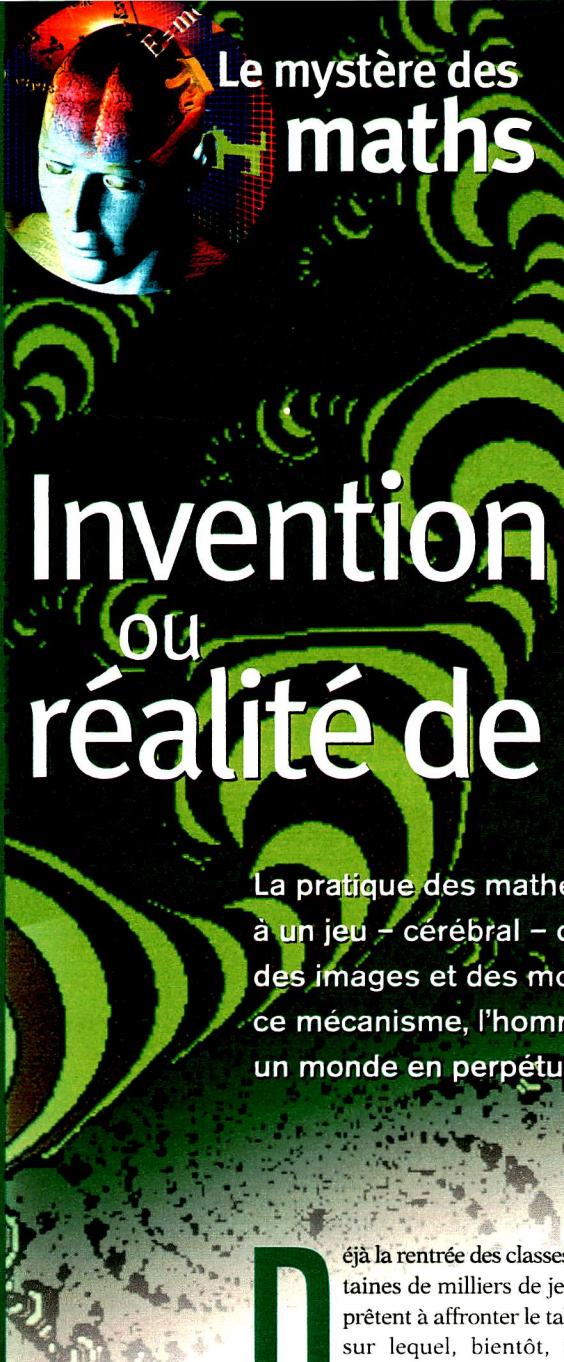
p. 44

p. 46

p. 52

maths





Le mystère des maths

Invention de l'esprit ou réalité de l'Univers

La pratique des mathématiques ressemble à un jeu – cérébral – où s'échangent des images et des mots. À travers ce mécanisme, l'homme peut “saisir” un monde en perpétuel changement.

Déjà la rentrée des classes. Des centaines de milliers de jeunes s'apprêtent à affronter le tableau noir sur lequel, bientôt, trôneront – pour le meilleur et pour le pire – les tables de multiplication, les fractions et autres identités remarquables... Quel est le point commun entre ces écoliers, des scientifiques qui viennent de publier les résultats de leur recherche sur le cerveau dans la revue *Science* (7 mai 1999) et les philosophes? Les premiers se demandent : « Pourquoi le prof' nous impose-t-il de faire des maths? », les seconds montrent que, bien avant le maître, c'est le cerveau lui-même qui nous force à de telles

G. SANSISI/PLUCOSMOS

contorsions intellectuelles (voir p. 46) et les troisièmes expliquent l'intérêt que l'homme trouve à cette étrange pratique (voir p. 52). Les mathématiques, qui jusque-là semblaient être le produit d'un arbitraire culturel établi pour sélectionner – injustement, certes – les meilleurs éléments d'une classe, se révèlent aujourd'hui être la conséquence d'un processus cérébral inné, inhérent à la condition humaine.

Les dernières découvertes sur le cerveau (voir p. 46) rangent désormais les mathématiques au même niveau que la vision et le langage. Mieux encore! L'activité mathématique surgirait de la collaboration étroite entre ces deux aptitudes, la vision jouant



E. LESSING/MAGNUM

le rôle de moteur de l'intuition mathématique et le langage celui de traducteur de l'intuition en formules symboliques. Plus concrètement, le cerveau abriterait, selon les chercheurs, un double système cognitif dédié aux calculs : l'un – visuel – agit comme une règle qui, dans une addition, compare les nombres entre eux et permet de "voir" le résultat approché ; l'autre – linguistique – se charge de formuler le résultat exact du calcul.

C'est dans ce "jeu" cérébral d'aller-retour constant entre les images et les mots que se niche l'éénigme des mathématiques (voir p. 48). Elles n'existeraient pas en dehors de nous mais – c'est là leur lien avec le

monde extérieur – auraient en charge de préparer l'homme à comprendre une réalité en éternel devenir et à se familiariser avec elle. L'activité mathématique aurait l'utilité d'arracher à ce flux incessant de couleurs et de formes éphémères quelque chose d'invariant, de constant à quoi nous raccrocher. Autrement dit, c'est parce que notre esprit peut inclure dans le seul terme "arbre" l'ensemble des "objets" de la nature qui possèdent un tronc et des feuilles que nous faisons des mathématiques...

Bref, à la question : « Pourquoi faisons-nous des mathématiques ? », les scientifiques et les philosophes répondent aujourd'hui : pour vivre et perdurer.

Double universalité

De tout temps et en tout lieu
(ci-dessus, tablettes de calculs d'aires des Mésopotamiens, second millénaire avant notre ère et, en fond, simulations informatiques de fractales)

l'homme a fait des maths... Pourquoi ? Les scientifiques répondent : parce que c'est nécessaire à la survie de l'espèce.



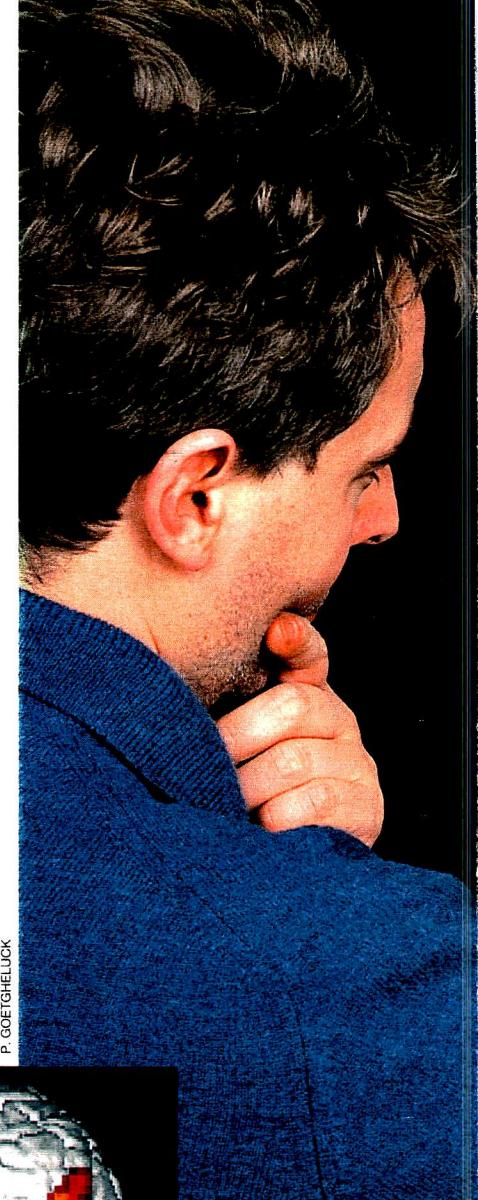
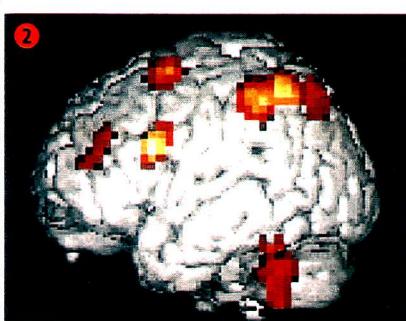
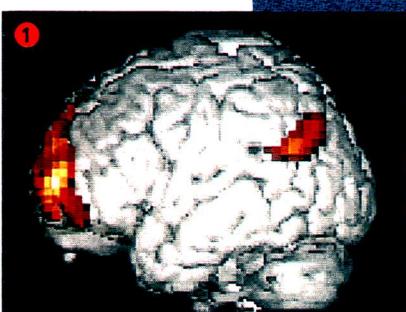
Le mystère des maths

La biologie des maths

La production de calculs mettrait en jeu, selon qu'ils sont exacts ou approchés, deux systèmes cognitifs complémentaires correspondant à deux zones cérébrales distinctes, dûment localisées. Démonstration.

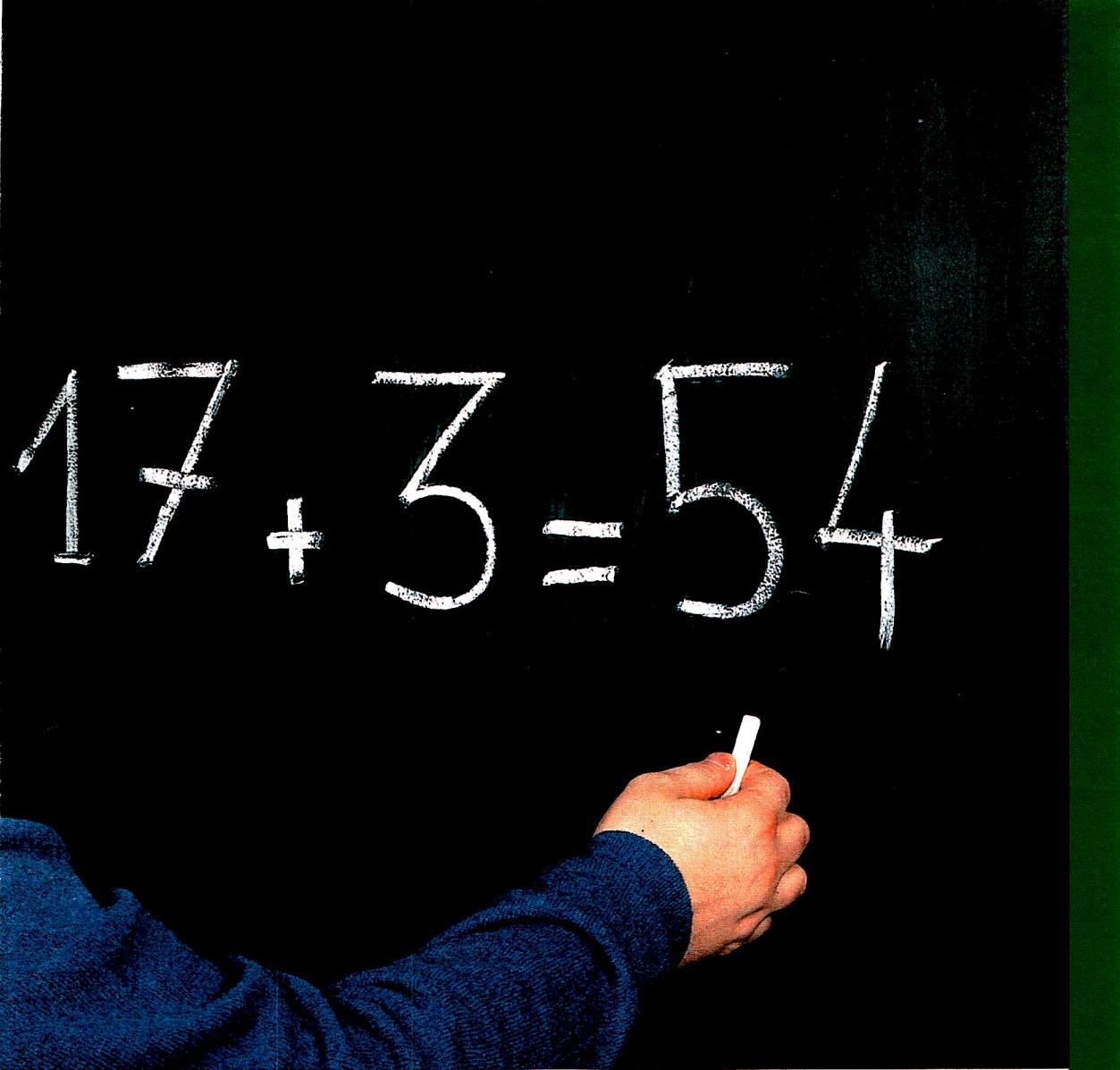
C'était donc ça... Quand on pense qu'il a fallu quarante-quatre ans de recherches sur le cerveau (précieusement conservé) d'Einstein pour découvrir que son intelligence tenait peut-être dans un petit bout de lobe pariétal supplémentaire! Les fans du vieux monsieur ont dû se réjouir à l'annonce, dans *The Lancet* (19 juin 1999), des résultats d'une équipe de neurologues canadiens : la partie inférieure des deux lobes pariétaux du grand homme était de 15 % plus volumineuse que la moyenne. Cette "excroissance" cérébrale serait liée à la capacité d'Albert à résoudre des équations. De plus, quand on interrogeait le vénérable savant sur ses intuitions, il disait qu'il existait dans son esprit « un jeu associatif d'images plus ou moins claires [d'un] type visuel ». Einstein pensait donc avec des images. Or il se trouve que la zone surdéveloppée de

S. DEHANE/INSEMM U. 334/CEA SERVICE HOSPITALIER FRÉDÉRIC JOLIOT



Deux "cerveaux"...

Dans le calcul exact ①, le système associé au langage (le lobe frontal inférieur gauche) s'active. Dans le calcul approché ②, les aires associées à la vision (deux lobes pariétaux inférieurs et la scissure intrapariétale) sont sollicitées.



son cerveau est justement celle qui gère les données visuo-spatiales...

La recherche sur la manière dont le cerveau traite les mathématiques déborde de dynamisme en cette fin de millénaire. Parallèlement à la découverte concernant le cerveau d'Einstein, une autre équipe de chercheurs, franco-américaine celle-ci, en annonçait une bien plus importante : deux zones cérébrales responsables des aptitudes mathématiques humaines auraient été localisées (voir photos, à gauche). La première, associée au langage, se trouverait dans le lobe frontal inférieur gauche; la seconde, associée à la vision, nicheraient dans les deux lobes pariétaux inférieurs et la scissu-

re intrapariétale. Mais les expériences réalisées par l'équipe franco-américaine apportent bien plus qu'une simple connaissance sur la localisation cérébrale des fonctions mathématiques. Grâce à leurs résultats, la science commence, pour la première fois, à percer à jour ce que l'on pourrait appeler les bases biologiques des mathématiques. Quelles sont-elles?

Selon les chercheurs, deux systèmes cognitifs complémentaires seraient en jeu lorsqu'on fait des calculs. Le premier – lié au langage – traiterait les calculs exacts et stockerait les tables d'addition et de multiplication qui nous ont tant fait souffrir. Le second – lié à la vision – traiterait les cal-

... qui coopèrent

Les deux systèmes fonctionnent en simultané : le système associé au langage traite les mathématiques comme un langage, le système associé à la vision compare les nombres entre eux et procède à une approximation intuitive pour éviter les erreurs grossières.



Le mystère des maths

cuels approchés à la manière d'une règle qui mesure et compare des quantités. Les résultats, qui viennent s'ajouter à d'autres déjà obtenus, permettent, enfin, d'établir un modèle cohérent. Mais avant d'expliquer comment les calculs "se font" dans notre cerveau, abordons les expériences qui ont mené à ces découvertes.

BILINGUISME À L'ÉPREUVE

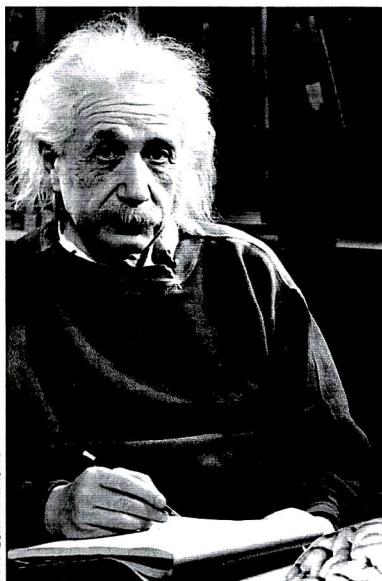
Les chercheurs se sont servis de deux méthodologies distinctes. La partie américaine de l'équipe, dirigée par Elizabeth Spelke, psychologue au Département du cerveau et des sciences cognitives du Massachusetts Institute of Technology (le célèbre MIT), a procédé à des tests psychologiques. La partie française, dirigée par Stanislas Dehaene, chercheur à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), s'est servie, elle, des nouveaux outils de l'imagerie cérébrale.

Les scientifiques américains de l'équipe binationale ont soumis des sujets à des questions portant sur des calculs simples – exacts et approchés – auxquelles ils devaient répondre le plus rapidement possible. En effet, le temps de réponse fournit aux chercheurs de précieuses indications. Ils ont notamment choisi de tester des étudiants bilingues anglais-russe. Leur bilinguisme, nous le verrons, a permis d'étudier expérimentalement le rôle du langage dans le calcul. Voici, détaillées, deux des expériences de l'équipe américaine.

Le premier test concerne le calcul exact. Un groupe d'étudiants bilingues anglais-russe est d'abord entraîné en russe à effectuer des additions (mentales) de nombres de deux chiffres. Puis on procède au test. On pose à chacun une question du type :

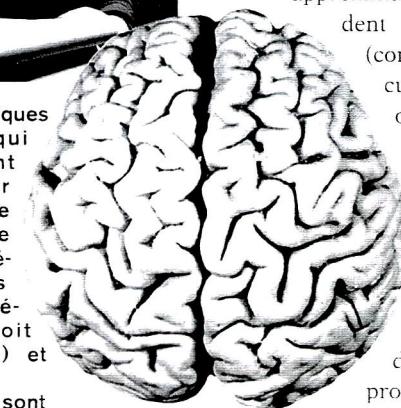
Einstein et son cerveau

Le cerveau (conservé dans du formol) du grand savant vient de dévoiler des



P. HALSMAN/MAGNUM

caractéristiques uniques qui pourraient expliquer une partie du génie de son propriétaire. Ses lobes pariétaux droit (photo ①) et gauche (photo ②) sont plus bombés car ils contiennent 15 % de matière en plus que chez les sujets "normaux" alors que les scissures intrapariétales (flèches) sont plus creuses et moins longues.



« Quarante-huit plus douze, c'est égal à soixante ou à cinquante-neuf? », soit en russe, soit en anglais. Par ailleurs, les additions qu'on leur demandera d'effectuer seront soit les mêmes que celles qui ont servi à l'entraînement, soit de nouvelles. Le jeu consiste à faire varier tous ces paramètres (question en russe ou en anglais, anciennes ou nouvelles additions) et à mesurer le temps que le sujet met à répondre.

Que déduira-t-on de ces mesures? Si le calcul met en jeu des mécanismes liés au langage, alors le sujet devrait mettre moins de temps à faire les additions dans la langue avec laquelle il s'est entraîné qu'avec l'autre. En effet, quand la langue utilisée est l'anglais – langue dans laquelle il ne s'est pas entraîné – le cerveau du sujet doit effectuer une traduction vers le russe, ce qui requiert du temps. S'il répond en russe, il n'aura pas besoin de traduire et répondra donc plus vite. Or, c'est bien ce que les scientifiques ont observé, ce qui signifie qu'un calcul exact fait appel à une représentation verbale des nombres.

Une seconde expérience a été montée pour savoir si les calculs approximatifs dépendent du langage (comme les calculs exacts) ou pas. On pose alors au sujet des questions du type « vingt-cinq plus douze, c'est proche de quarante ou de quatre-

vingt dix? ». Ici aussi la langue utilisée est soit l'anglais, soit le russe, et les calculs sont ou bien les mêmes que ceux effectués lors de l'entraînement ou bien de nouveaux... Résultats : pour les approximations, il n'y a aucune différence dans le temps de réponse quand on fait varier à tour de rôle les quatre paramètres (en rus-

se, en anglais, anciennes ou nouvelles additions). Ainsi, dans les calculs approchés, il n'y a visiblement pas de travail de traduction d'une langue à l'autre comme dans le cas des calculs exacts : le calcul approché n'emprunte apparemment pas le même circuit cognitif que le calcul exact.

PATHOLOGIES MATHÉMATIQUES

Que dévoilent d'autre ces résultats ? Pour pouvoir répondre, il faut revenir à des études antérieures sur des cas de pathologies liées au calcul, réalisées par Stanislas Dehaene et ses collaborateurs. Car c'est en observant des patients qui présentent des lésions cérébrales perturbant leurs aptitudes mathématiques que les chercheurs peuvent comprendre comment se font les maths dans les cerveaux sains. C'est exactement de cette manière qu'ils ont pu ébaucher le modèle de deux systèmes cognitifs indépendants – pour les calculs exacts et pour les calculs approchés – participant à la production de mathématiques (voir *Science & Vie* n°936, p. 58). Les cas de Monsieur B. et de Monsieur NAU sont, de ce point de vue, instructifs.

Monsieur B. avait perdu la capacité de formaliser les procédures mathématiques à cause d'un déficit de son système verbal. Sa mémoire à long terme était intacte. Aussi, il se souvenait parfaitement de ses tables de multiplication, qu'il avait apprises enfant. A la question : « Combien font 142×5 ? », il calculait : $2 \times 5 = 10$, $4 \times 5 = 20$ et $1 \times 5 = 5$ et mettait les résultats côte à côté : 5 20 10. D'où le résultat aberrant $142 \times 5 = 52\,010$.

WITELSON/KIGAR/HARVEY THE LANCE/SIPA

SIPA PRESS

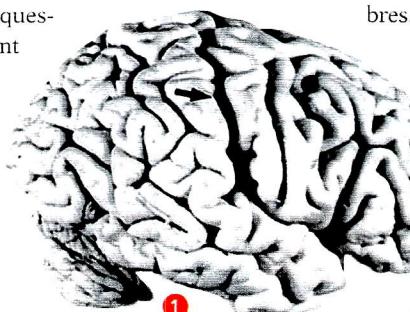


Le cas de Monsieur NAU est, lui aussi, remarquable : une lésion cérébrale avait entraîné chez lui une aphasicité sévère (pertes de facultés liées au langage) et une acalculie (perte de la faculté de reconnaître et utiliser les nombres). Bref, le pauvre homme n'avait plus aucune connaissance exacte des nombres : il n'était pas capable de répondre à la question : « Combien font $2 + 2$? »... En revanche, Monsieur NAU gardait une connaissance approximative des nombres. Aussi, il voyait parfaitement que $2+2$ n'est pas égal à 9 car il savait que 9 est bien supérieur au résultat de l'addition. Ces deux cas, et bien d'autres, ont donné aux chercheurs l'idée des deux systèmes cognitifs.

Leur hypothèse est la suivante. Quand il fait des approximations, le cerveau se sert d'un système dit "analogique", une sorte de règle mentale – les chercheurs l'appellent "*mental number line*" ou ligne mentale de nombres – qui mesure ou compare deux longueurs : les deux quantités numériques. Pourquoi "analogique" ? Parce que chaque nombre est représenté sur la règle

Intuition visuelle

La découverte faite sur le cerveau d'Einstein par l'équipe de chercheurs canadiens dirigée par le Dr Sandra Witelson (ci-dessus) vient confirmer l'hypothèse de l'existence d'aires cérébrales dédiées aux calculs. Le surdéveloppement de ses lobes pariétaux serait peut-être en rapport avec l'extraordinaire intuition (notamment "visuelle") dont a fait preuve le fondateur de la théorie de la relativité (entre autres).





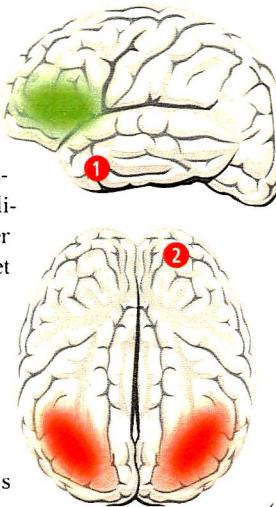
Le mystère des maths

par une ligne de longueur analogue à la grandeur du nombre. Ainsi, la ligne représentant le nombre trois est, approximativement, deux fois moins longue que celle représentant le six. Lorsqu'on demande à un sujet de faire l'addition – approchée – de deux nombres, le cerveau dispose bout à bout les deux lignes et en déduit le résultat.

IMAGERIE CÉRÉBRALE

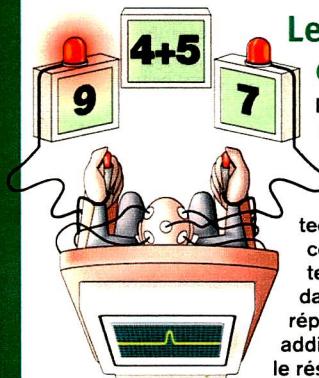
Le calcul exact, en revanche, se sert du langage. Les nombres sont appréhendés sous forme symbolique : le nombre 9, par exemple, est stocké sous la forme du symbole "9" ou du mot "neuf". Le système est dit symbolique (ou formel) car, contrairement au cas du système analogique, l'objet "mental" associé au nombre n'est pas analogue au nombre lui-même. Le langage tout entier fonctionne de cette manière : le mot "table" ne ressemble en rien à une table !

Revenons aux expériences. L'équipe américaine a donc confirmé l'existence des deux systèmes cognitifs qui entrent en jeu dans les calculs. Il restait à les localiser dans le cerveau. C'est ce qu'a fait l'équipe française. Pour cela, elle a eu recours à l'imagerie cérébrale. En l'occurrence, c'est de l'imagerie par résonance magnétique



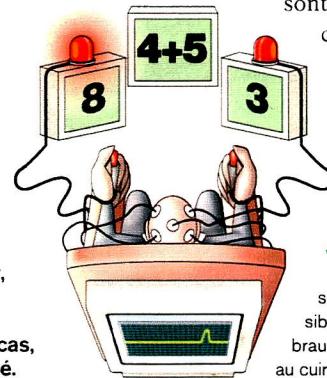
Langage et vision

Le système (lié au langage) qui formalise les calculs est situé sur le lobe frontal inférieur gauche (1).
Le système (lié à la vision) qui se charge des approximations se trouve dans la zone des deux lobes pariétaux inférieurs 2.



Les expériences

Pour localiser les zones qui participent aux calculs, les chercheurs se sont servis des techniques d'imagerie cérébrale. Les sujets testés devaient choisir, dans le premier cas, la réponse exacte d'une addition, dans le second cas, le résultat le plus approché.



EXPLOITS

LES IDIOTS SAVANTS

■ La littérature médicale (et les tabloïds) est remplie de cas d'idiots savants, et plus précisément d'idiots "matheux". Dans son célèbre livre *L'homme qui prenait sa femme pour un chapeau* (Seuil, 1988), le neurologue anglais Oliver Sacks décrit le cas de deux jumeaux, John et Michaël, qui, malgré un retard mental avéré (ils ne dépassaient pas 60 dans les tests de Q.I.), accomplissaient des exploits mathématiques grâce à un sorte de "vision" des nombres. Ils vivaient littéralement dans un monde de chiffres, si bien qu'un jour, ayant renversé par maladresse une boîte d'allumettes sur le sol, le neurologue fut témoin d'un

(IRM) qui a été utilisée : elle met en évidence le débit sanguin dans les différentes aires cérébrales grâce à la mesure du taux de consommation d'oxygène (plus élevé dans les zones actives) (1).

L'équipe de Dehaene a ainsi mesuré l'activité du cerveau sur des sujets en train d'accomplir des calculs approchés et des calculs exacts. Les résultats sont sans appel (voir photos p. 46). Lors des calculs exacts, le lobe frontal inférieur gauche, zone très liée à la parole, voit son activité augmenter fortement (ce qui confirme l'hypothèse). Lorsque le sujet accomplit un calcul approché, ce sont les deux lobes pariétaux inférieurs et la scissure intrapariétale qui s'activent. Ces zones

sont spécialisées dans les processus visio-spatiaux (vision et orientation spatiale).

Voilà donc ce que l'on sait aujourd'hui sur le traitement cérébral des mathématiques élémentaires (calculs et logique) : elles

(1) L'équipe française a aussi utilisé une technique d'imagerie sensible aux potentiels électriques cérébraux par le biais d'électrodes collées au cuir chevelu.

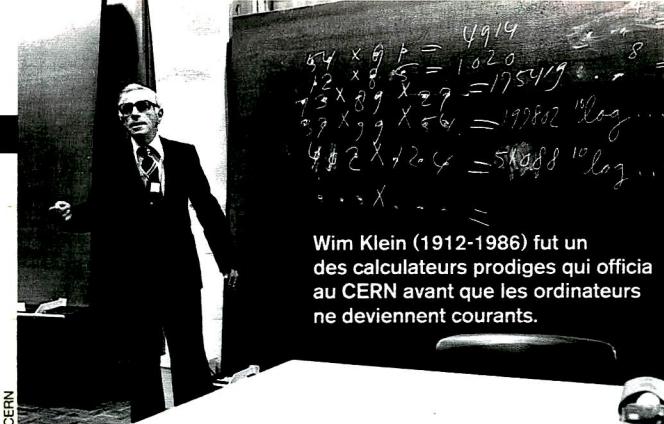
bien étrange événement : les deux jumeaux s'écrièrent simultanément « cent onze ». Ensuite John murmura « trente sept », ce qui fut repris par Michaël, puis par John. Quand le docteur compta le nombre d'allumettes, il en trouva effectivement cent onze... La triple répétition des mots « trente sept » signifiait l'opération $37+37+37 = 111$. D'un simple coup d'œil les jumeaux avaient « vu » les cent onze allumettes, suivant cette même capacité qui nous fait percevoir instantanément qu'il y a quatre objets sur une table sans qu'on ait à les compter. Mieux encore : ils avaient décomposé cent onze en une somme de nombres premiers (1)... genre d'exercice qu'on adore en Maths Sup' mais qu'on ne s'attend pas

se font suivant deux modes complémentaires qui peuvent fonctionner simultanément. Le premier mode, celui du calcul exact, est symbolique (zone du langage) et sert à la formalisation des idées mathématiques. De ce point de vue, les maths sont assimilables à un langage.

ANALOGIQUE ET SYMBOLIQUE

Le second mode, celui des approximations, est plutôt visuel (2) et fonctionne sur un mode "analogique". Il expliquerait que les mathématiciens et les physiciens peuvent, intuitivement, avoir des "visions" mathématiques. Sur un sujet normal (sans lésions cérébrales), les deux systèmes fonctionneraient de manière complémentaire : le système analogique viendrait assister le système symbolique et lui éviterait de commettre des erreurs grossières.

(2) Il est aussi « moteur » car les lobes pariétaux et en particulier la scissure pariétale font partie du réseau neuronal qui contrôle les mouvements de la main et des doigts, ce qui expliquerait pourquoi les doigts sont si fréquemment utilisés dans l'apprentissage de l'arithmétique.

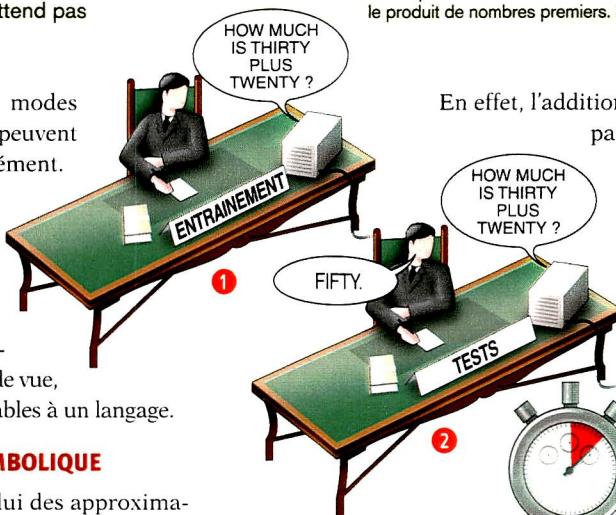


Wim Klein (1912-1986) fut un des calculateurs prodiges qui officia au CERN avant que les ordinateurs ne deviennent courants.

à voir exécuter – correctement – par deux autistes.

Par la suite, le pauvre neurologue fut témoin d'autres exploits arithmétiques fait par John et Michaël, de plus en plus délirants, comme l'énonciation de nombres premiers à vingt chiffres après à peine cinq minutes de réflexion...

.....
(1) Un nombre premier est un entier qui ne peut être divisé que par 1 et par lui-même. 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17... sont les plus petits nombres premiers. Un théorème dit que tout nombre entier est le produit de nombres premiers. Par exemple $111 = 3 \times 37$.



Le test des bilingues

Lors de tests pour mettre en évidence le rôle du langage dans les calculs exacts, des sujets bilingues anglais-russe se sont d'abord entraînés en anglais ①. Puis ils ont dû répondre aux questions en anglais ② et en russe ③. Dans un calcul exact ils répondent plus vite dans la langue d'entraînement, dans un calcul approché, le temps de réponse ne varie pas entre les deux langues.

En effet, l'addition $25 + 68 = 12$ nous apparaît, immédiatement, fausse (grâce au système analogique). Pour trouver le résultat exact il est nécessaire d'y passer un peu plus de temps...

Avons-nous percé tout le mystère des mathématiques ? Non, bien entendu. Les découvertes de l'équipe franco-américaine, bien que très intéressantes, ne répondent pas à toutes les questions. Que sont les mathématiques ? Les découvrons-nous ou les inventons-nous ? Sont-elles nécessaires à notre survie ?...





Le mystère des
maths

Le miroir intérieur de la réalité

Quel est le lien entre les mathématiques et le monde ? Selon les philosophes, c'est dans la réponse à cette question que se niche l'éénigme des mathématiques : ces dernières sont l'expression – abstraite – de notre capacité à reconnaître le réel.

Ce fut certainement l'une des plus troublantes affaires scientifiques de tous les temps... A la fin du siècle dernier la communauté scientifique en émoi découvrit un monstre polycéphale nommé "géométrie non euclidienne", véritable bizarrie mathématique, destinée – pensait-on – à illustrer le don des mathéma-



ticiens à engendrer par l'imagination des "objets" aussi improbables qu'inutiles. Le choc fut rude lorsque, quelques décennies plus tard, au début du xx^e siècle, l'in-désirable "bête de foire" trouva une application éclatante dans la théorie de la relativité générale d'Einstein, car elle décrivait parfaitement la structure intime de l'espace-temps...

A l'origine de l'affaire, l'acharnement des mathématiciens (dont Gauss, Lobatchevski et Riemann) à démontrer le postulat dit "des parallèles" d'Euclide. Le savant grec (IV^e-III^e siècle avant J.-C.) avait fondé la géométrie en énonçant ses cinq postulats dans son œuvre *Éléments*. Si les quatre premiers postulats étaient considérés comme ontologiquement

La nature des maths

Cette simulation informatique (et mathématique) de la nature nous suggère qu'il y a des mathématiques dans la réalité.



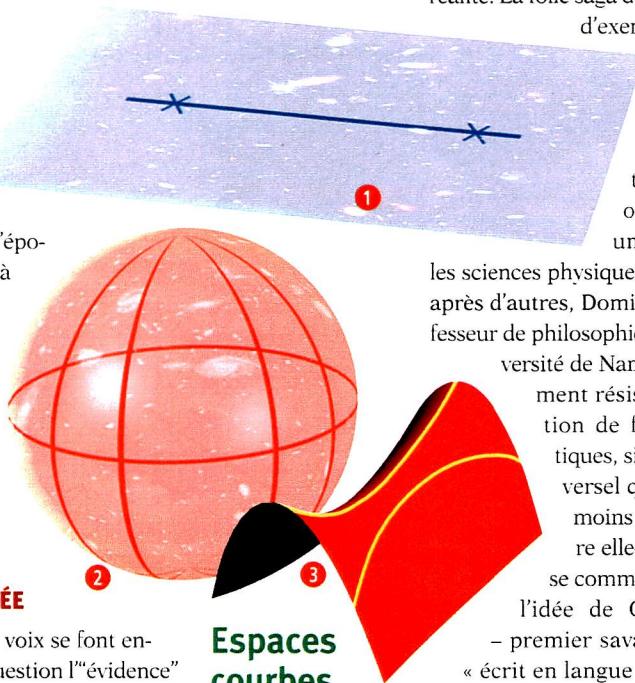
Le mystère des maths

vrais car suffisamment intuitifs – se passant donc de démonstration –, le cinquième devait, selon les mathématiciens de l'époque, être démontré à l'aide des quatre premiers. Quel est ce postulat par qui le "scandale" est arrivé ? Il dit, *grosso modo*, que par un point extérieur à une droite D ne passe qu'une seule droite D' parallèle à D.

“ÉVIDENCE” CONTESTÉE

Dès le XVIII^e siècle, des voix se font entendre qui mettent en question l’“évidence” du postulat des parallèles : on doit pouvoir le prouver. La démonstration “par l’absurde” (1) semblait être la méthode la plus simple. La négation du cinquième postulat dit alors que par un point extérieur à la droite D, il passe soit une infinité de droites parallèles à D, soit aucune. Cela a beau sembler intuitivement absurde, il est impossible de le démontrer. D’ailleurs, on sait aujourd’hui qu’un tel postulat engendre les géométries non euclidiennes (voir dessins). Toujours est-il qu'à l'époque la déception des mathématiciens fut à la mesure de leur stupéfaction lorsque, ayant ainsi modifié le postulat d'Euclide, ils créèrent de nouveaux systèmes mathématiques parfaitement cohérents qui ne menaient à aucune contradiction... Auraient-ils jamais imaginé que leurs “monstres” allaient servir de cadre mathématique pour décrire la structure de l’Univers (voir figure p. 55) ?

(1) La démonstration par l’absurde d’un théorème consiste à considérer la négation du théorème et démontrer qu'il mène vers une contradiction. Ce qui implique que le théorème est vrai.



Espaces courbes

Alors que depuis Euclide la géométrie se faisait sur un espace plan ①, des mathématiciens fondèrent au XIX^e siècle d’autres formes de géométrie, dites “non euclidiennes”. On commença alors à explorer la géométrie sur des espaces sphériques ② et des espaces en “selle de cheval” ③ qui ne respectent pas les théorèmes d’Euclide. *A priori*, toute application de ces géométries à des phénomènes physiques semblait exclue...

Cette incroyable affaire n'étonne plus personne aujourd'hui, tant on est habitué à subir sans broncher l'étrange pouvoir des mathématiques, qui jaillissent de notre seul esprit pour percer les arcanes de la réalité. La folle saga des sciences est truffée

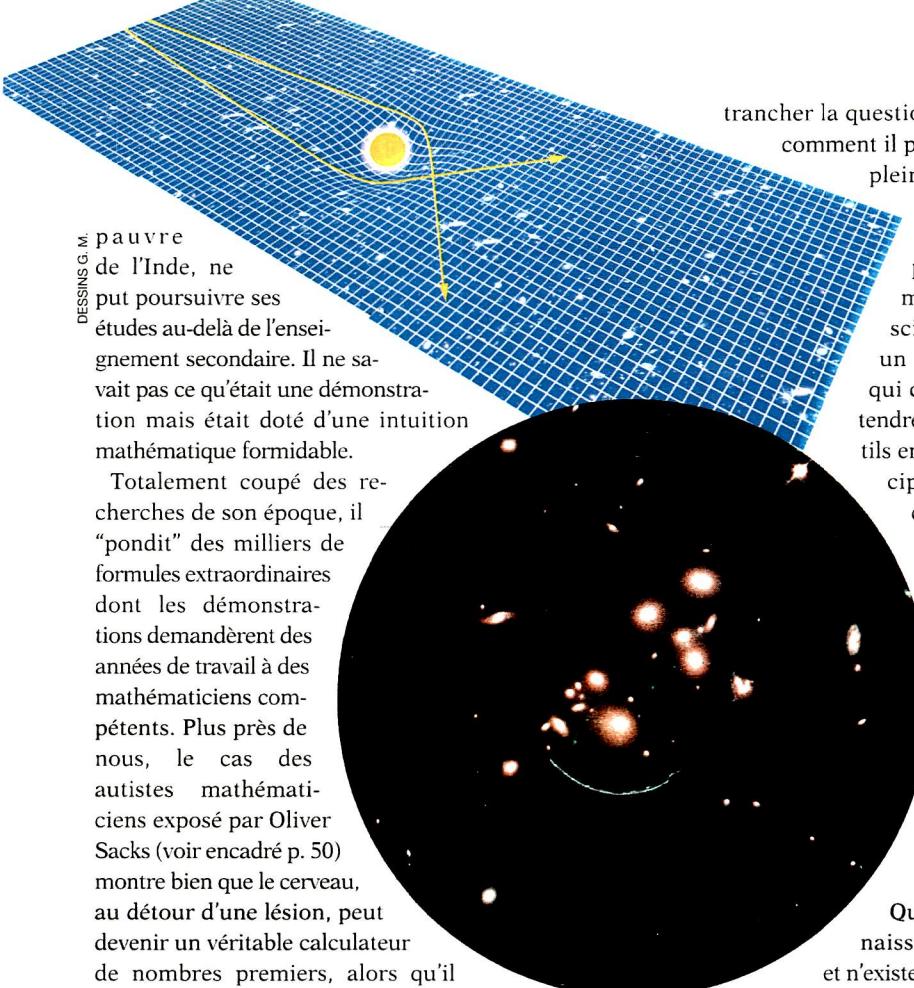
d'exemples de ce genre de “coïncidences”.

« L'histoire nous montre que la plupart des mathématiques finissent, tôt ou tard, par trouver une application dans les sciences physiques » (2) nous rappelle, après d'autres, Dominique Lambert, professeur de philosophie des sciences à l'université de Namur (Belgique). Comment résister alors à la tentation de faire des mathématiques, sinon un principe universel qui nous dépasse, du moins le moteur de la nature elle-même ? Tout se passe comme si l’Univers, suivant l'idée de Galilée (1564-1642)

– premier savant moderne – était « écrit en langue mathématique », et qu'il nous était donné, à nous les hommes, l'honneur de découvrir cette langue grâce à la seule puissance de notre pensée. Peut-être... mais personne ne l'a jamais vraiment démontré.

Et si les mathématiques n'étaient qu'une invention de l'esprit ? Cette autre hypothèse, *a priori* totalement impossible, a connu et connaît toujours des adeptes, qui n'ont cependant jamais pu prouver leur point de vue. Pourtant le lien entre les maths et l'esprit est on ne peut plus évident. On connaît, en effet, de nombreux cas où des mathématiciens ont développé ou réinventé tout un pan des mathématiques dans le plus total isolement par la seule force de leur esprit. Un des exemples les plus célèbres est celui du mathématicien indien prodige Srinivasa Ramanujan (1887-1920). Ce dernier, issu d'une famille

(2) D. Lambert se réfère aux mathématiques « significatives », c'est-à-dire celles qui, selon l'expression du mathématicien Jean Dieudonné, génèrent de nouvelles idées (en math ou en physique) et font le lien entre plusieurs sous-chapitres des maths.



DESSINS G.M.
paupré de l'Inde, ne put poursuivre ses études au-delà de l'enseignement secondaire. Il ne savait pas ce qu'était une démonstration mais était doté d'une intuition mathématique formidable.

Totalement coupé des recherches de son époque, il "pondit" des milliers de formules extraordinaires dont les démonstrations demandèrent des années de travail à des mathématiciens compétents. Plus près de nous, le cas des autistes mathématiciens exposé par Oliver Sacks (voir encadré p. 50) montre bien que le cerveau, au détour d'une lésion, peut devenir un véritable calculateur de nombres premiers, alors qu'il n'existe aucune formule générale qui puisse (jusqu'ici) les produire... Bref, la reine des sciences exactes pose un problème philosophique de taille qu'on peut résumer dans la question suivante : les mathématiques existent-elles en dehors de nous – auquel cas on les découvre – ou sont-elles en nous – auquel cas on les invente ?

UNE HYPOTHÈSE CHASSE L'AUTRE

La première hypothèse – les maths existent en dehors de nous – serait, *a priori*, la plus satisfaisante car elle rend compte de leur universalité. Malheureusement, elle renvoie à un problème autrement plus difficile : si les mathématiques sont une réalité, comme la pierre, où est cette réalité ? La seconde hypothèse – les mathématiques sont une invention mentale – nous libère des questions précédentes mais elle nous plonge dans une autre énigme : si elles sont inventées par l'homme, pourquoi les phénomènes physiques suivent ses lois ? Le scientifique se doit de

trancher la question. Sinon on ne voit pas comment il pourrait continuer à faire pleinement confiance à une science, réputée comme la plus parfaite et la plus pure d'entre toutes, qui manque de fondements scientifiques ! Par chance, un courant philosophique qui commence à se faire entendre – armé de nouveaux outils empruntés à certaines disciplines (notamment le cognitivisme et la neurologie) – est arrivé à une maturité suffisante pour esquisser une réponse à l'énigme des mathématiques, qui devrait, non pas clore le débat, mais l'engager sur la voie de la synthèse.

THÉORIE MODERNE

Que nous apprend-il ?

Que les mathématiques naissent dans notre cerveau et n'existent pas en dehors de nous, qu'elles expriment, de manière abstraite, notre capacité à voir, sentir et reconnaître le réel et qu'elles constituent, *in fine*, un véritable réservoir de concepts pour affronter la tâche, difficile entre toutes, de survivre et de continuer à se développer... Découvrions donc les fondements biologiques et humains des mathématiques.

Un Univers courbe

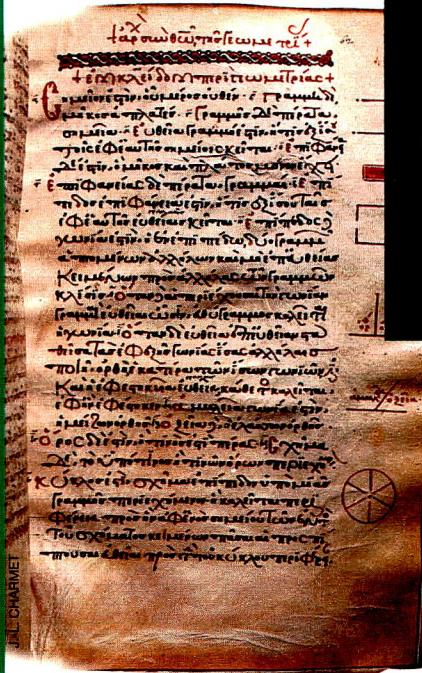
Au début du xx^e siècle, Einstein se servit de la géométrie non euclidienne pour décrire la structure de l'Univers.

D'après la théorie de la relativité, toute masse "creuse" l'espace, qui devient courbe : les rayons lumineux changent de direction tout en se déplaçant en ligne droite.

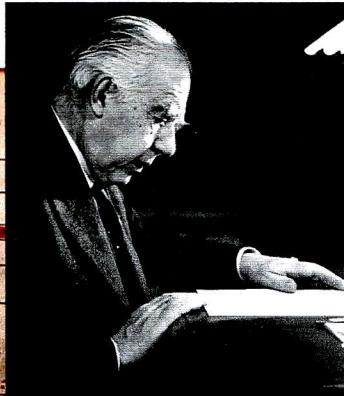
Les effets de lentille gravitationnelle (photo de galaxies, ci-dessus) confirment brillament cette théorie.



Le mystère des maths



JULI CHARMET



KARSH/MAGNUM

Euclide corrigé

Depuis les Grecs, qui ont fondé des branches importantes des mathématiques (ci-contre, page des *Éléments* d'Euclide), on pensait que l'Univers était structuré par les mathématiques. Tel était le credo de Galilée (photo bas), premier scientifique moderne. Toutefois,



J. BURGESESS/P.L./COSMOS

certaines penseurs (comme Bohr, ci-dessus) esquissèrent une autre idée : c'est dans notre perception de la réalité que résident les mathématiques.

43 km/h va plus vite qu'une autre qui se déplace à 37 km/h, qu'un édifice haut de 43 mètres est plus élevé qu'un édifice de 37 mètres, etc. Notre esprit est capable, à partir de ces différentes situations (on peut en énoncer une infinité), d'extraire le concept «43 est supérieur à 37» qui n'est que la formalisation d'une relation (entre objets ou entre idées).

LIEN ENTRE ESPRIT ET RÉALITÉ

Malgré le côté abstrait des mathématiques complexes, Bohr pensait qu'elles traduisaient toutes des relations matérielles ou conceptuelles existantes ou possibles. Bref, de par sa nature, l'esprit de l'homme extrait de ce qu'il perçoit et conçoit intellectuellement une sorte de "quintessence" structurelle décrite dans un langage formalisé. Et, comme le prouve l'exemple de la géométrie non euclidienne, parfois cette quintessence vient à l'esprit avant que la réalité ne lui ait donné la matière nécessaire, comme si notre cer-

veau était une machine à imaginer les relations qu'il pourrait, mais pas nécessairement, percevoir dans la nature.

Cette nouvelle conception, si elle a l'intérêt d'expliquer comment les mathématiques sont reliées à l'esprit et à la réalité, ne dit pas pourquoi, au cours du développement de l'homme, une telle capacité est apparue. En d'autres termes, on ne sait pas pourquoi l'évolution, qui ne retient que ce qui est utile pour la survie de l'espèce, les a gardées. Bref, si les mathématiques existent dans notre esprit, c'est parce qu'elles jouent sans doute un rôle dans notre adaptation à la réalité... mais lequel ? Nous touchons au cœur du mystère.

Une question préliminaire : qu'est-ce que la réalité ? La première remarque, c'est que ce que nous appelons la réalité n'est que notre perception de ce qui est en dehors de nous – c'est-à-dire une image mentale que nous estimons proche de ce qui nous entoure réellement – car nous n'avons accès au monde qu'à travers nos sens. Cette réalité, la nôtre, est – au même titre que les mathématiques – une invention mentale. Qu'est-ce qui nous permet alors de distinguer la réalité (telle que nos sens la reproduisent dans notre esprit) de l'illusion ou de l'hallucination ?

«Principalement, la cohérence de nos perceptions, et leur permanence», répond le neurologue Jean-Pierre Changeux dans le livre *Matière à pensée* co-écrit avec le mathématicien Alain Connes.

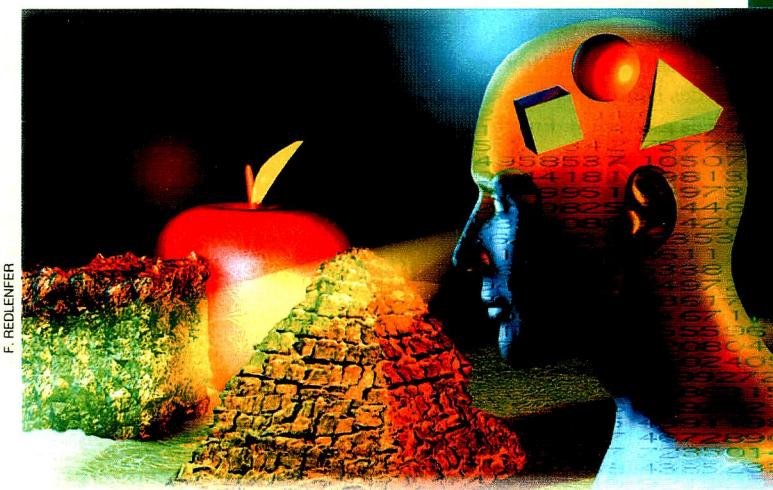
Le cerveau reconnaît le réel grâce à la permanence des perceptions. Ainsi, quand l'homme (et sans doute les animaux) regarde un arbre dans un paysage, ce qui lui indiquerait que ce qu'il voit est bien un objet réel c'est la permanence de l'objet, même lorsque le point de vue, l'éclairage, etc. changent. L'acte mental inconscient qui consiste à isoler ce qui ne varie pas de l'avalanche de couleurs, formes, textures et sons en éternelle évolution que nos sens perçoivent est un des mécanismes de reconnaissance du réel. Les chercheurs en intelli-

PETITE HISTOIRE D'UNE GRANDE IDÉE

■ L'étrangeté du statut des mathématiques – réalité et invention – a intrigué les savants depuis la nuit des temps. Pythagore (VI^e siècle avant J.-C.) déjà avait une position assez claire : l'essence même du monde réel, sa structure, son architecture, sont mathématiques. Cette conception a l'avantage d'expliquer parfaitement l'efficacité des mathématiques sans que cela pose apparemment le moindre problème. Aussi, celui qui véritablement lança le débat sur la nature des mathématiques fut le philosophe grec Platon (428-347 avant J.-C.). Il existe d'après lui un monde fait d'idées pures et d'idéaux (la Beauté, la Vérité, etc.) dont on ne voit, dans le monde sensible, que de pâles copies dégradées. Les mathématiques, bien entendu, font partie du monde des Idées. On y trouve les idées des cercles et des triangles parfaits, des droites, etc. Dans le monde sensible, en revanche, cercles, triangles et autres droites sont, par définition, imparfaits. Mais l'homme a le moyen d'accéder au monde des Idées par le seul biais de sa pensée. C'est pourquoi il peut faire des

mathématiques (voir dessin). Dans un discours plus moderne, mais toujours fondé sur la conception du grand philosophe, le courant platonicien exerce encore aujourd'hui une forte emprise, notamment chez les mathématiciens eux-mêmes. Comme l'a brillamment exposé le mathématicien Alain Connes, lauréat de la médaille Field, dans le livre *Matière à pensée* (voir : Pour en savoir plus) les matheux, en faisant des mathématiques, ont souvent l'impression, presque physique, d'explorer une réalité indépendante de leur pensée. Malheureusement, personne ne peut aujourd'hui dire de quoi est faite cette prétendue "réalité" du monde mathématique ni où elle se trouve...

Une thèse opposée, le conceptualisme (ancêtre du constructivisme et de l'intuitionnisme), propose une théorie alternative : on ne découvre pas les maths, on les construit avec notre esprit. Comme le précise le philosophe Jean-Jacques Szczeciniarz, professeur à l'université de Bordeaux-III : « Pour le conceptualisme n'existent que les objets dont on peut avoir l'expérience intuitive ou qu'on peut construire (intellectuellement) suivant des règles intuitives. Ce sont des "objets mentaux". Le mathématicien Poincaré, qui faisait parti de ce courant, disait que « le seul objet naturel de la pensée mathématique, c'est le nombre entier ». On peut rajouter à la liste : les ensembles, l'espace, etc.



gence artificielle se servent de cette hypothèse dans leurs travaux sur la vision (voir illustration p. 59). Il semblerait donc que l'homme construise des objets mentaux dans lesquels sont "capturées" les caractéristiques invariantes des objets qu'il perçoit...

Or, la recherche d'invariants est précisément ce qui caractérise l'activité mathématique ! Sans entrer dans le détail du monde extraordinaire des nombres, des fonctions et des espaces, on peut dire que

les mathématiciens recherchent souvent à extraire des "objets mentaux" qu'ils manipulent quelque chose d'invariant – c'est-à-dire un nombre, une structure, une relation – qui ne varie pas lorsqu'on opère sur lui des transformations. Prenons comme exemple la structure de groupe. En mathématiques, un groupe est un ensemble d'éléments munis d'une loi interne, par



Le mystère des maths

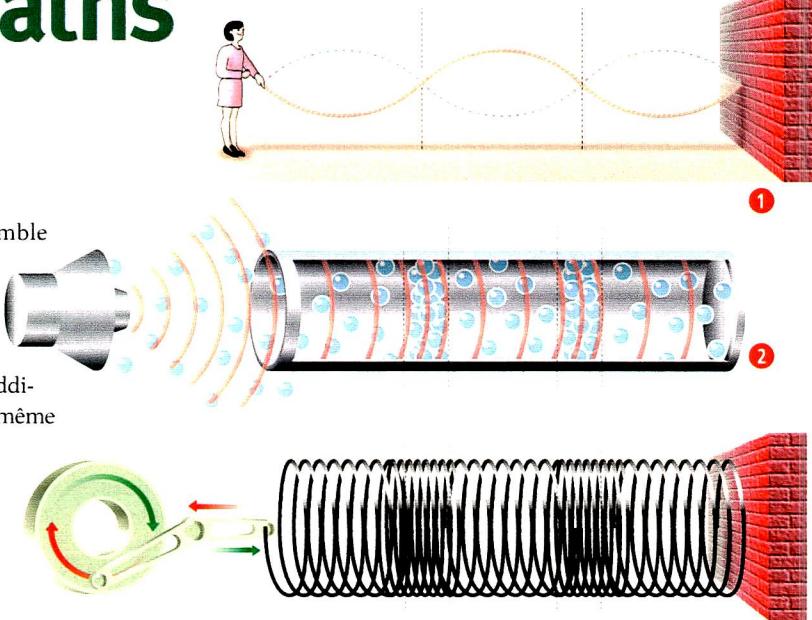
exemple l'addition (+). L'ensemble constitue un groupe s'il répond à trois conditions. Premièrement, il doit posséder un élément neutre – nommé : (e) – tel que tout élément (a) du groupe additionné à (e) est égal à l'élément lui-même ($a + e = a$).

Deuxièmement, tout élément (a) du groupe possède un inverse (b) dans le groupe : l'addition de a et b est égale à l'élément neutre ($a + b = e$).

Enfin, l'addition doit être associative : $a + (b + c) = (a + b) + c$ où a, b et c sont des éléments quelconques du groupe. Ces éléments peuvent être des nombres, des fonctions, des opérations (la loi n'est pas nécessairement l'addition). Considérons l'ensemble des heures d'une montre [0h, 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 7h, 8h, 9h, 10h, 11h]. Muni de la loi d'addition des heures, cet ensemble a une structure de groupe (3). En effet, il possède un élément neutre qui est 0h : si on additionne 0 heure à 3 heures, on obtient 3 heures.

De plus tout élément possède un inverse :

PHOTOS : NASA



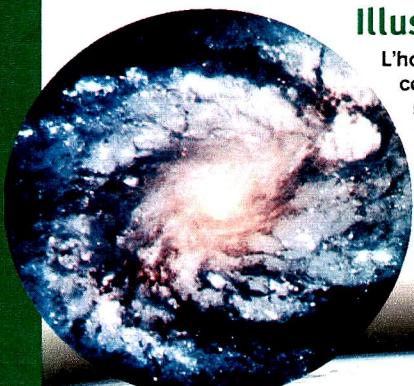
Mathématiquement identiques

Une des caractéristiques de la relation entre les mathématiques et les phénomènes physiques est qu'une seule formule (ou nombre ou structure) décrit plusieurs phénomènes qui n'ont, *a priori*, pas de points communs. Qu'est-ce qui relie une corde qui vibre attachée à un mur ①, un haut parleur qui envoie du son dans un tube fermé à une extrémité ② et un ressort relié à un moteur qui l'étreint et le relâche ③ ? Une même équation mathématique : celle décrivant les ondes stationnaires.

s'il est 4 heures, et on rajoute 8 heures, on retombe sur 0 heure. Enfin, $1 \text{ h} + (3 \text{ h} + 6 \text{ h}) = (1 \text{ h} + 3 \text{ h}) + 6 \text{ h}$.

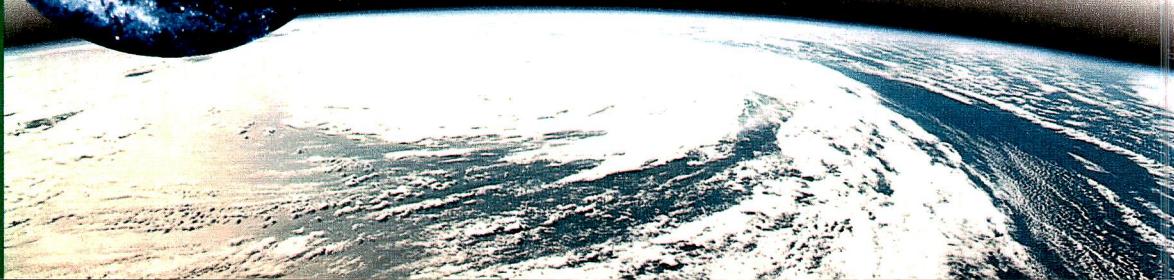
En géométrie, on peut aussi définir un groupe de symétries, par exemple, d'un triangle équilatéral ABC. Les éléments du groupe, cette fois-ci, sont, non pas le triangle, mais les transformations géométriques qui laissent invariante la forme du triangle. Il y aura la rotation d'un tiers de tour, celle de deux tiers, le tour entier, la symétrie par rapport aux médiatrices du triangle, etc. Ici aussi, il existe un

(3) Il est en réalité un groupe cyclique.



Illusion ou réalité ?

L'homme trouve un point commun entre une galaxie spirale et un cyclone terrestre : ce sont des hélices. Selon certains philosophes, c'est la recherche de structures invariantes entre plusieurs phénomènes physiques distincts qui nous permet de faire des mathématiques.



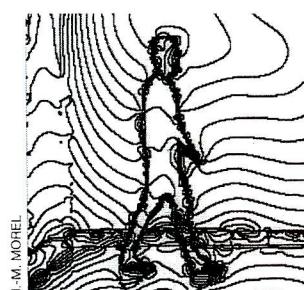
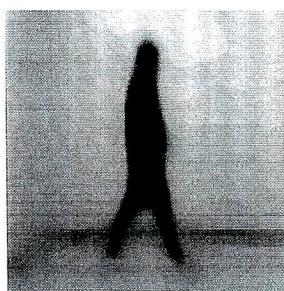
élément neutre (la rotation nulle). Chaque élément possède un inverse (un tiers de tour plus deux tiers de tour remet le triangle dans sa position initiale), etc.

Dans les mathématiques, on trouve très souvent des structures de groupe, quelques soient les éléments qui le composent (les heures, les symétries du triangle, etc.). La structure de groupe est un invariant qui fait ressortir des propriétés communes – celles liées aux groupes – de "situations" qui n'ont pas, *a priori*, de points communs. Comme le précise le philosophe Dominique Lambert, qui a approfondi la question dans la lignée de Bohr : « Certes, on ne peut pas réduire les mathématiques à la seule recherche d'invariants, mais ce qui frappe c'est que les mathématiques fécondes sont liées de près ou de loin à des ensembles riches en invariants ».

INVARIANTS CONCEPTUELS

Ainsi, l'activité mathématique, qui se caractérise, notamment, par la recherche d'invariants (conceptuels), serait l'"extension" d'une activité cognitive essentielle pour l'adaptation à la réalité et donc pour la survie. « On admettra facilement qu'il n'existe pas de réalité [pour l'homme] sans que subsiste, au moins de manière partielle, une persistance de quelque chose dans le flux temporel [...] Un premier critère de réalité est donc l'existence d'invariants... », poursuit D. Lambert. Donc, de sa capacité à appréhender le réel par la découverte d'invariants visuels (ou même tactiles), l'homme a créé une activité intellectuelle, la recherche d'invariants conceptuels, fortement aidé par ses dons linguistiques, qui lui ont permis de formaliser cette quête. Bref, l'esprit invente des "objets" mentaux (qui sont bien souvent intuitifs et pas nécessairement mathématiques) dont il découvre, grâce à l'écriture et à la formalisation mathématique, les propriétés invariantes.

Quelle est la place de l'intuition dans cette théorie ? « Toutes les mathématiques ne



Vision et maths

Notre capacité à faire des mathématiques découlerait des caractéristiques de notre vision : du flux incessant de couleurs et de formes chaotiques qui arrive à notre œil, le cerveau isole les objets réels en ce qu'ils ont d'invariant.

viennent pas de la réalité empirique, déclare D. Lambert, mais toutes sont de près ou de loin liées à notre intuition de ce qu'est le réel, à notre représentation anticipée de ce qu'il doit être. » Les mathématiques découleraient de la capacité du cerveau à distinguer des objets visuels, capacité qui aurait suivi un mouvement d'abstraction grâce au langage. La nature visuelle et linguistique des mathématiques est confirmée par les expériences de Dehaene.

Suivant l'analyse de D. Lambert, les mathématiques constituent une "réserve" conceptuelle de structures invariantes dans laquelle les sciences physiques puisent. Lorsqu'un phénomène physique nouveau se présente et que nous cherchons à caractériser ses invariants – c'est ainsi que notre esprit "comprend" la réalité du phénomène – ces derniers ont (parfois) déjà été étudiés mathématiquement. Comme la capacité à distinguer visuellement des invariants serait présente chez certains animaux, est-ce dans le travail linguistique opéré sur ces intuitions visuelles pour en faire un ensemble formel cohérent que l'homme se démarquerait des autres espèces ?

L'idée que l'activité mathématique s'identifie à la recherche conceptuelle d'invariants et est liée à notre manière de reconnaître la réalité est encore peu répandue dans le monde scientifique (4). Mais par son côté cohérent et en accord avec les résultats des expériences cognitives, elle indique une nouvelle voie de recherche qui devrait se révéler fertile et riche d'enseignements. ■

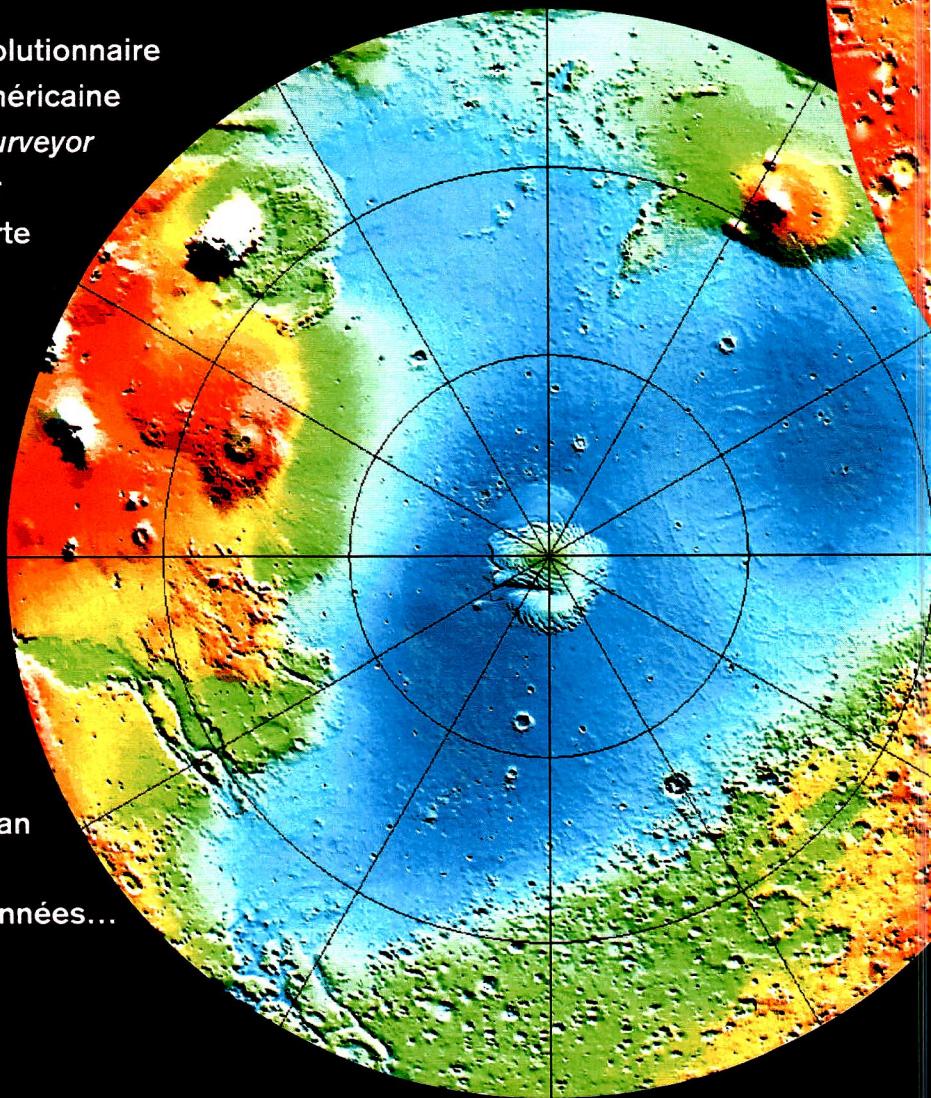
(4) Même si elle a déjà été annoncée par le philosophe Luc Brisson et l'astrophysicien Walter Meyerstein dans *Inventer l'Univers*, Les Belles lettres, 1991...

POUR EN SAVOIR PLUS :

- S. Dehaene, *la Bosse des maths*, O. Jacob, 1997
- J.-P. Changeux et Alain Connes, *Matière à pensée*, O. Jacob, 1992.
- D. Lambert, *l'Incroable efficacité des mathématiques*, in *La Recherche*, janvier 1999.

Sur les sommets de Mars

L'altimètre révolutionnaire de la sonde américaine *Mars Global Surveyor* vient d'achever la première carte des altitudes de la planète rouge à 13 m près! La carte a livré une foule d'autres révélations, à commencer par l'existence de fleuves et d'un vaste océan il y a plus de 3 milliards d'années...



Des hauts et des bas

La carte altimétrique de Mars obtenue par la sonde américaine *Mars Global Surveyor* est la plus précise jamais réalisée. Elle confirme que l'altitude moyenne de l'hémisphère nord est bien plus basse que celle de l'hémisphère sud. La carte de gauche, centrée sur le pôle nord, montre des basses plaines lisses, probablement occupées jadis par un océan. Celle de droite, centrée sur le pôle sud, met en évidence des hautes terres très anciennes parsemées de cratères.

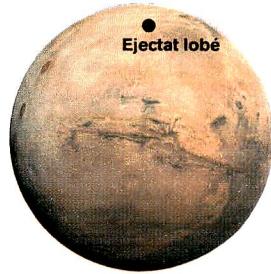
Jusqu'aux premières années du xx^e siècle, les astronomes voyaient en Mars la planète jumelle de la Terre. Vue au télescope, elle semble en effet couverte de continents et d'océans. On distingue nettement ses calottes polaires, et l'on constate que la durée du jour y est sensiblement la même que sur Terre, puisqu'elle tourne sur elle-même en un peu plus de vingt-quatre

heures. Enfin, l'inclinaison de son axe de rotation provoque des saisons, soulignées par des changements de teinte de certaines zones que des astronomes attribuaient, autour de 1900, aux transformations de la végétation au cours de l'année...

En réalité, si Mars ressemble à la Terre, c'est moins par son aspect actuel que par celui qu'elle avait il y a plus de 3 milliards d'années... C'est en tout cas ce que

semble confirmer la sonde américaine *Mars Global Surveyor*, qui vient d'achever la première carte altimétrique de la planète rouge.

Cette donnée essentielle manquait aux planétologues pour tenter de reconstituer l'histoire des



formations géologiques qu'ils observent. En effet, si les sondes *Viking 1* et *2* avaient, en 1976, dressé une carte photographique globale de Mars, la précision des altitudes faisait cruellement défaut. « Les incertitudes sur les altitudes étaient en moyenne de 1500 m », rappelle François Costard, du Laboratoire de géologie dynamique de la Terre et des planètes, à Orsay. Dans ce domaine, le travail effectué au cours des derniers mois par l'altimètre MOLA (Mars Observer Laser Altimeter) embarqué sur *Mars Global Surveyor* est révolutionnaire. L'ensemble de la planète a été découpé en carrés de 60 km de côté, pour lesquels les doutes sur la précision verticale n'excèdent pas 13 m. A titre de comparaison, sur la Terre, il existe encore des régions dont les altitudes ne sont pas connues à moins de 100 m près!

RIVIÈRES DES ORIGINES

L'exploitation scientifique de la nouvelle carte ne fait que commencer. Pourtant, elle livre déjà son lot de révélations. La première est l'existence probable d'un vaste océan boréal à une époque où les conditions étaient plus clémentes sur la planète rouge. Car Mars n'a pas toujours été le monde aride qu'on observe depuis 1965, lorsque la sonde américaine *Mars-96 IV* a fourni les premières vues rapprochées de sa surface.

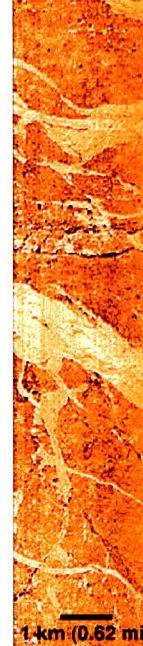
Entre les cratères d'impacts météoritiques – qui la font ressembler davantage à la Lune qu'à la Terre – serpentent de gigantesques fleuves asséchés qui témoignent d'une époque où les conditions étaient

bien moins hostiles qu'aujourd'hui. Car, pour que de l'eau ait ruisselé en abondance au fond de larges vallées, il faut qu'il y ait eu une atmosphère suffisamment chaude et dense, sans doute similaire à celle qui a toujours présidé sur la Terre.

Les astronomes estiment que ces fleuves coulaient voilà 3,8 milliards d'années. Cette datation est établie par le comptage des cratères sur les diverses régions de la planète. Grâce aux échantillons lunaires collectés lors des missions Apollo, on a pu établir un lien entre la quantité de cratères d'un terrain et son âge : plus ils sont nombreux, plus le terrain est ancien, tout simplement parce que plus on remonte dans le temps, plus le bombardement de météorites subi par les planètes était intense.

Par analogie avec la Lune – qui sert de référence pour les datations de terrains dans tout le système solaire –, les rivières martiennes ont donc coulé pendant les 700 premiers millions d'années qui ont suivi la formation de la planète, c'est-à-dire entre -4,5 et -3,8 milliards d'années. Mars était alors vraiment la soeur jumelle de la Terre. Episodiquement, de gros nuages éclataient en averses de pluie et de neige, gorgant le sol en eau qui rejoignait en sources, donnant naissance à des rivières. Ces cours d'eau suivaient les pentes naturelles et se déversaient vraisemblablement dans des lacs et des mers. « Depuis quelques années, après avoir étudié attentivement les clichés de la surface pris par les sondes *Viking*, plusieurs chercheurs pensaient avoir trouvé les traces du rivage d'un grand océan situé dans l'hémisphère nord, qui aurait existé il y a plus de 3,5 milliards d'années », dit François Costard.

Or, il était impossible de vérifier



Les marbres de Mars

Dans la région d'Elysium, les caméras de *Mars Global Surveyor* ont révélé cet étonnant "marbrage" de sols clairs et sombres, qui témoigne vraisemblablement d'un épisode volcanique au cours duquel des morceaux de lave solidifiée auraient dérivé sur un océan temporaire de magma.

si les lignes blanches observées correspondaient bien à une même altitude. « L'un des enseignements importants de l'instrument MOLA, poursuit François Costard, c'est que ces lignes discontinues correspondent exactement à la même altitude, soit environ 4000 m au-dessous du niveau zéro. De plus, on constate une légère différence altimétrique à l'endroit même où elles se trouvent, comme s'il s'agissait d'un rivage. Ces concordances

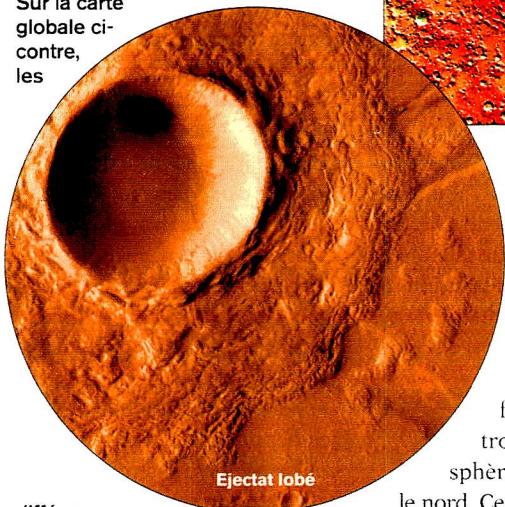
Dunes d'antan

Mars a conservé la trace de l'époque où une atmosphère dense l'entourait. Les vents ont alors formé ces dunes. Elles sont peut-être encore actives aujourd'hui, mais à un rythme infiniment lent, à cause de la pression très faible de l'atmosphère actuelle.

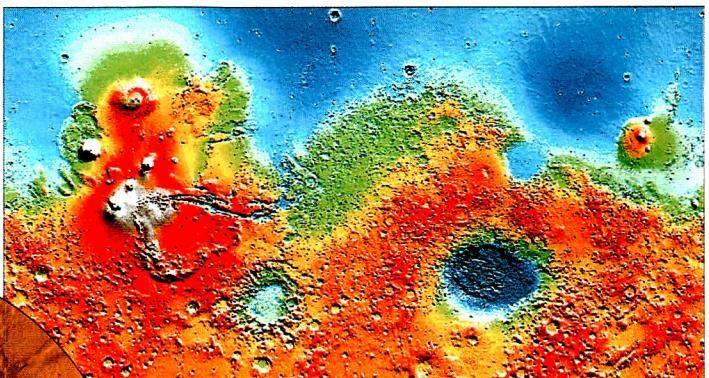
Un hémisphère sous l'océan ?

Plusieurs indices plaident en faveur de l'existence sur Mars, à une certaine époque, d'un immense océan dans l'hémisphère nord.

Sur la carte globale ci-contre, les



différences d'altitude (en bleu, les altitudes les plus basses, en rouge, les plus élevées) dessinent ce qui ressemble à la trace d'un rivage. Par ailleurs, dans les basses plaines du nord, des cratères aux éjectats "lobés" (ci-dessus), semblables à ceux laissés par un caillou qui tombe dans la boue, pourraient être d'autres vestiges de cet océan boréal.



renforcent l'idée selon laquelle la plus grande partie de l'hémisphère nord était recouverte d'un océan.»

De fait, l'immense majorité des anciens fleuves de la planète se trouvent dans l'hémisphère sud et coulent vers

le nord. Cette étonnante caractéristique est due au fait que Mars a littéralement deux visages : aux hauts plateaux "cratérisés" du sud s'opposent les basses plaines lisses du nord. Cette dichotomie était connue depuis les explorations menées par *Viking 1* et *2*. Mais les astronomes voyaient la transition entre les deux hémisphères plus brutale que ne le révèle l'altimètre de *Mars Global Surveyor*. Et, surtout, ils ignoraient jusque-là sa valeur exacte. Or, il apparaît qu'il y a en moyenne 6 000 m d'altitude de

et volatilisé la croûte nord, créant l'équivalent d'une mer lunaire, soit il s'agit du résultat d'une activité tectonique avortée. « Non seulement la différence d'altitude moyenne se fait assez progressivement, mais, de plus, l'altimètre de *Mars Global Surveyor* n'a pas mis en évidence de grande structure circulaire pouvant faire penser que la dépression boréale est le fruit d'un impact de météorite », précise François Costard. Cependant, il reste à expliquer quels phénomènes propres à la planète ont abouti à cette dichotomie. Sur ce point, aucun indice ne permet encore de trancher.

Si l'altimétrie précise obtenue par MOLA promet les beaux jours des géologues, elle fera également le bonheur des spécialistes du climat. « La pression atmosphérique est liée à une altitude », dit François Forget, du Laboratoire de météodynamique, à Paris. « Plus on mon-

Pendant 700 millions d'années, Mars fut la sœur jumelle de la Terre

différence entre le nord et le sud.

Compte tenu des densités de cratères observées, la moitié australe de Mars, très chaotique, est aussi très ancienne, tandis que la moitié boréale, relativement plate, a été façonnée plus récemment. Deux hypothèses se font concurrence pour expliquer cette opposition. Soit un gros bolide a percuté Mars

te, plus la pression est faible. Or, jusqu'ici, nos mesures étaient faussées par le fait que nous connaissions très mal les altitudes auxquelles s'étaient posés les deux modules *Viking*. Grâce à la nouvelle carte, nous savons que *Viking 1* se trouve 1 000 m plus haut que *Viking 2*, alors que les estimations précédentes indiquaient l'inverse.»





Il en résulte qu'on va désormais être en mesure de calculer précisément la pression atmosphérique en fonction de l'altitude. Ce qui revêt une importance capitale pour l'avenir des futures missions d'exploration, spécialement en 2005, puisqu'une sonde française doit se satelliser autour de Mars par un freinage dans son atmosphère. Il sera donc essentiel de savoir prédire la pression atmosphérique à l'altitude à laquelle doit passer le vaisseau, sans quoi, il pourrait manquer sa satellisation et poursuivre sa route dans l'espace ou, au contraire, s'écraser sur la planète.

Mais l'apport de la carte altimétrique de *Mars Global Surveyor* a surtout des implications en climatolo-

gie. «La circulation atmosphérique sur Mars est fortement contrôlée par le relief, souligne François Forget. Les vents sont accélérés sur les pentes des régions élevées. Il est donc capital de connaître précisément la topographie.» En effet, les vents de ce type, très rapides au ras du sol, sont responsables de tempêtes de poussière qui recouvrent parfois toute la planète.

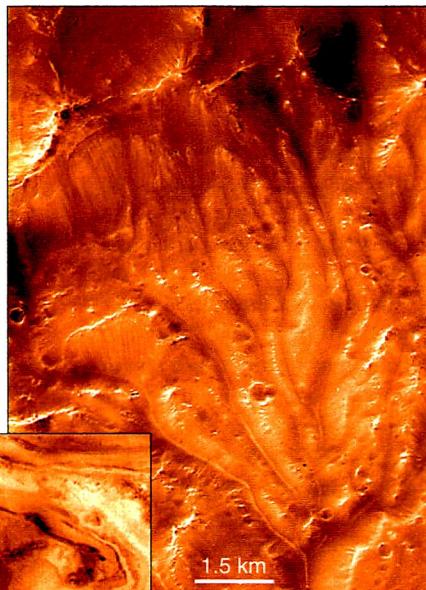
La mission de *Mars Global Surveyor* ne se limite pas à l'altimétrie. Elle consiste aussi à redessiner une carte photographique globale de la planète d'une résolution de 20 m, avec, ponctuellement, des clichés encore plus précis mon-

trant des détails de l'ordre de 4 m. Mais, pour accomplir cette tâche, il fallait que la sonde soit placée sur son orbite définitive. Or, à cause d'un panneau solaire mal déployé, les manœuvres de changements successifs d'orbite par freinage dans les hautes couches de l'atmosphère martienne ont pris plus d'un an de retard. La NASA a mis à profit cette période d'attente pour réaliser une carte magnétique sommaire de Mars, qui, contrairement à la Terre, n'a pas actuellement de champ magnétique.

Pourtant, les instruments de *Mars Global Surveyor* ont mis en évidence les vestiges d'une activité magnétique importante. «La présence d'anomalies magnétiques fossiles dans les terrains cratérisés de l'hémisphère sud montre qu'il a existé autrefois un champ magnétique analogue à celui de la Terre», indique Philippe Masson, du Laboratoire de géologie dynamique de la Terre et des planètes, à Orsay. «C'est la confirmation que la planète a connu une activité interne produisant un effet dynamo, ce qui conforte les scénarios selon lesquels Mars a eu un début similaire à celui de la Terre.»

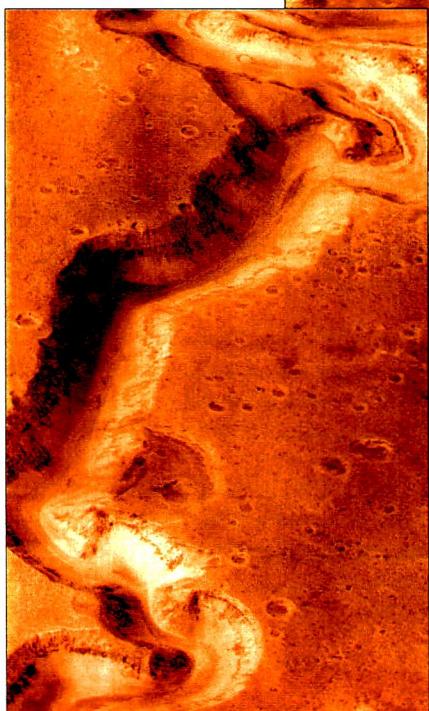
UNE TECTONIQUE DES PLAQUES?

Mais le plus étonnant dans les données recueillies par la sonde américaine, ce sont certaines structures magnétiques fossiles identiques à celles que produit sur la Terre la tectonique des plaques. «La disposition de ces structures fait penser à un mouvement de convection, poursuit Philippe Masson. Mais, si tel était le cas, il devrait se trouver en surface une faille transformante comme celle qui court au fond de l'océan Atlantique. Or, on n'a rien vu de tel.» Mars a-t-elle connu un début de tectonique des plaques, rapidement avortée par la diminution de l'activité interne?



Les grandes eaux

L'eau coulait sur Mars il y a plus de 3,8 milliards d'années. Des fleuves y ont laissé leur empreinte (ci-contre), dont le fort encaissement reste à expliquer. *Mars Global Surveyor* a également découvert dans certains cratères (ci-dessus) des traces laissées par le ruissellement des eaux de pluie ou encore par les résurgences de nappes souterraines.



IMAGES NASA



Vallées tourmentées

Ces stries récemment découvertes au fond de vallées martiennes intriguent les planétologues : ce type de formation géologique n'a jamais été observé sur Terre ni sur aucune autre planète ! Pour interpréter ces "vallées tourmentées", il faudra attendre la carte minéralogique que doit réaliser la future sonde européenne *Mars Express* en 2003.

Il peut s'agir de ruissellements dus à des pluies ou bien de l'émergence de nappes phréatiques, c'est-à-dire de sources.»

Sous l'œil de *Mars Global Surveyor*, la planète rouge n'en finit pas de déployer ses mystères. Pour tenter de les comprendre, les astronomes doivent maintenant établir une carte spectrale infrarouge à haute résolution de sa surface, afin de connaître la composition minéralogique des terrains qu'ils observent. Ce sera l'une des tâches dévolues à la sonde européenne *Mars Express* (définitivement approuvée au début de juin 1999), qui prendra la route de Mars en 2003. Sur ce point, une autre énigme attend d'être résolue : où sont passés les carbonates censés s'être formés par combinaison de l'atmosphère de CO₂ avec le calcium et le potassium du sol ? Bien que les premières ex-

Cette question sans réponse n'est pas la seule que pose *Mars Global Surveyor*. Les quelques images à très haute résolution qui ont été prises (et qui, *in fine*, couvriront à peine 1 % de la surface) montrent, par exemple, des vallées fluviales avec des stries rectilignes au sol, baptisées par les Américains "vallées tourmentées", qui ne correspondent à rien de connu sur la Terre. De même, d'étranges formations volcaniques ont été découvertes dans la région d'Elysium. Les images révèlent ce qui pourrait être des plaques de lave solidifiée ayant dérivé comme des icebergs sur un océan de magma.

Quant aux photos rapprochées des flancs de Valles marineris, le plus grand canyon de tout le système solaire (large de plus de 100 km et profond de 9 km), elles montrent des couches de terrain bien plus nombreuses que ne le croyaient les planétologues. « La stratification est beaucoup plus fine que nous ne l'avions imaginé, reconnaît Philippe Masson. Cela trahit une histoire géologique plus complexe que

prévu, avec de multiples empilements de couches volcaniques.»

A l'examen des images à haute résolution, les scientifiques s'attachent aussi à comprendre la formation des grands fleuves martiens. « Les lits de rivière sont très encaissés, remarque François Costard. A ce jour, rien n'explique de tels encaissements.» D'autant que ces fleuves ont coulé pendant des périodes bien plus courtes que

Valles marineris, le plus grand canyon de tout le système solaire

les cours d'eau terrestres, ce qui leur a donné moins de temps pour creuser leur lit.

Enfin, des clichés montrent sur les flancs intérieurs de certains cratères d'impact les traces d'un ruissellement hiérarchisé – des cours d'eau qui se rejoignent pour former des rivières de plus en plus grosses. « Nous ignorons comment de tels phénomènes ont pu se produire, dit François Costard.

plorations spectroscopiques effectuées par les sondes précédentes n'ont pas été d'une très haute résolution, des terrains calcaires auraient déjà pu apparaître...»

La compréhension détaillée de l'histoire de Mars a commencé. Pour l'heure, les découvertes accumulées posent plus de questions qu'elles n'apportent de réponses. D'où l'intérêt de poursuivre l'exploration.

Les Franciliens vont être invités, à partir de la mi-septembre et pendant deux mois, à aller consulter dans les préfectures et les mairies le Plan régional de qualité de l'air (PRQA). Imposé par la loi sur l'air de 1996, il ambitionne de donner une première idée de ce que les habitants de cette région respirent tout au long

de l'année. Les concepteurs ne se sont pas cantonnés à étudier les situations de crise où les normes en vigueur sont dépassées. Ils ont mesuré les polluants en continu, grâce au réseau de surveillance Airparif (1). On connaît donc mieux la "soupe" que respirent onze millions de Français, et qui affecte durablement leur santé.

La qualité de l'air est bien plus

Le fond de l'air de n'est pas très frais

On s'en doutait,
le Plan régional
de qualité de

l'air (PRQA) le confirme : l'atmosphère que respirent les Franciliens n'est guère reluisante... Inventaire, polluant par polluant, des ingrédients de la "soupe" qu'ingurgitent quotidiennement onze millions de Français.

Une chape sur Paris

Les transports sont les principaux responsables de la mauvaise qualité de l'air à Paris. Ici, la capitale pendant un pic de pollution, en octobre 1995.

difficile à mesurer que, par exemple, celle de l'eau. La chimie atmosphérique est complexe, particulièrement entre les polluants primaires, directement produits par l'activité humaine, et les polluants secondaires (comme l'ozone), issus des interactions entre rayons solaires et polluants primaires. Les taux de pollution dépendent également

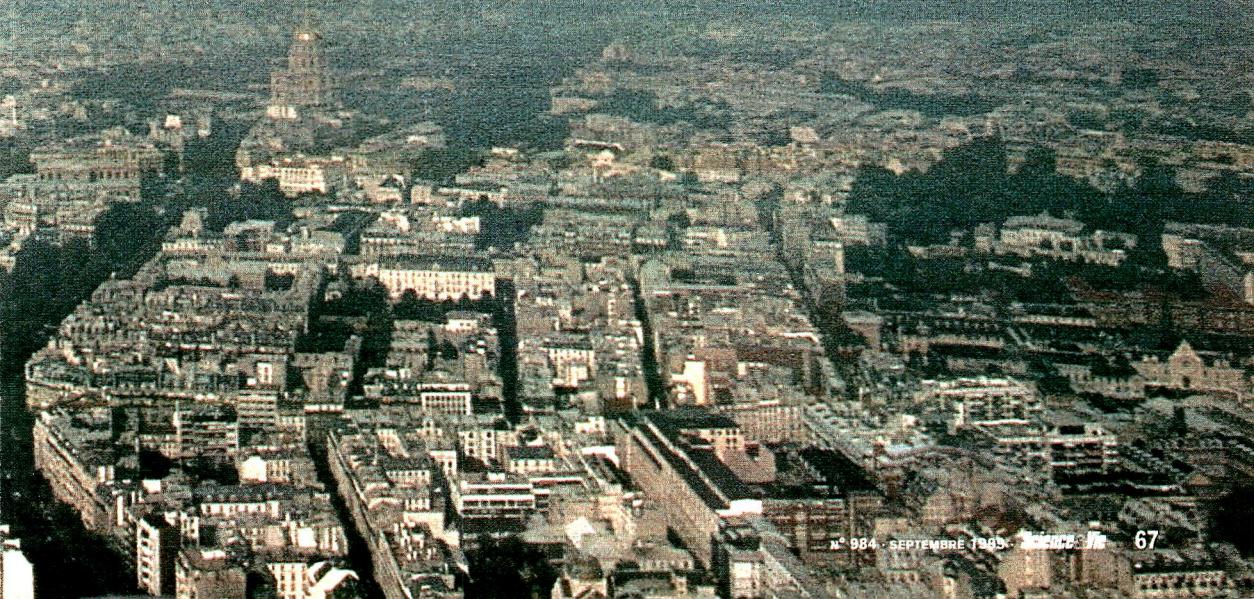
de la géographie. Les villes sont plus ou moins sensibles selon leur emplacement (altitude, situation en cuvette, proximité d'une mer) et leur densité.

«Pour Paris, nous ne pouvions pas mener l'étude sans prendre en compte la banlieue», explique Bruno Fargette, directeur-adjoint de la Direction régionale de l'industrie et de la recherche (DRIRE). «Mais l'aire urbanisée n'est pas homogène, du fait de l'isolement de villes nouvelles comme Cergy-Pontoise.» Les chercheurs ont donc adopté une autre délimitation, matérialisée par l'autoroute A86. Ils ont baptisé la zone ainsi délimitée "le cœur dense": «Un ensemble cohérent, qui représente cinq millions d'habitants, concentrés sur un cinquième de la superficie de la région.»

Le bilan polluant par polluant dénonce les transports comme les principaux responsables de la mauvaise qualité de l'air. Les niveaux de dioxyde de soufre, polluant phare de l'activité industrielle, sont en baisse constante. Le plus fort taux enregistré par un capteur de proximité industrielle est une moyenne annuelle de 24 microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), à comparer à l'objectif de qualité de 40 à 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ réclamé par la directive européenne de 1996.

(1) Le réseau Airparif compte 38 stations "de fond", éloignées de l'influence directe des sources de pollutions automobile et industrielle; 11 stations "de proximité", dont 8 sont situées près de grands axes de circulation et 3 près d'industries, et 12 stations "d'études" situées dans des endroits particuliers comme la tour Eiffel ou les aéroports.

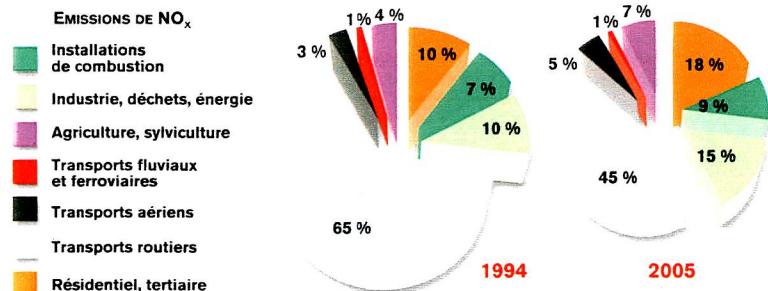
V. LELLOUP/SYGMA



En revanche, les taux de dioxyde d'azote et d'ozone, polluants essentiellement engendrés par la circulation automobile, crèvent tous les plafonds. Et, évidemment, c'est aux abords des voies de circulation que les normes sont régulièrement dépassées. Il est de plus en plus malsain d'habiter près d'une voie très fréquentée.

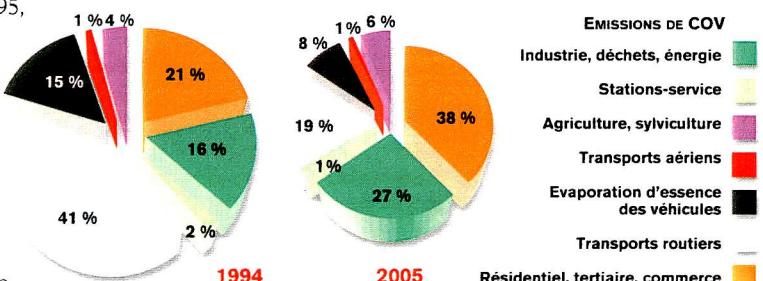
La situation pour les oxydes d'azote (NO_x) montre bien l'intérêt de ne pas se focaliser sur les situations de crise. Entre 1991 et 1998, le niveau d'alerte – de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – n'a été dépassé qu'à quatre reprises, le 31 juillet 1992, les 10 octobre et 8 novembre 1995, et le 30 septembre 1997, veille de l'entrée en vigueur de la circulation alternée à Paris. Cependant, au jour le jour, la situation est loin d'être bonne. Pour obéir aux objectifs de qualité, les niveaux de NO_x doivent être inférieurs à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au moins la moitié de l'année. Dans les stations de fond éloignées des voies de circulation, la moyenne annuelle s'étale entre 35 et $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, c'est-à-dire que la qualité de l'air flirte avec les normes. 40 % des stations de fond enregistrent des niveaux qui dépassent les normes de 25 % en permanence. Et tous les capteurs de proximité de la circulation automobile dépassent les normes, parfois de 100 %.

Pour l'ozone, bien que moins alarmante, la situation n'est pas vraiment bonne. Le seuil d'alerte n'a



Des progrès insuffisants

D'ici à 2005, les directives sur la qualité de l'essence, alliées aux plans de déplacement urbains et aux politiques d'isolation des bâtiments, devraient faire baisser d'un tiers les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de 40 % celles des composés organiques volatils (COV) en Ile-de-France. Cependant, les objectifs de qualité de l'air ne devraient pas être atteints. Si la part du trafic routier diminue, en revanche, il semble impossible de réduire encore les émissions industrielles. Et la part du résidentiel devrait augmenter sensiblement.

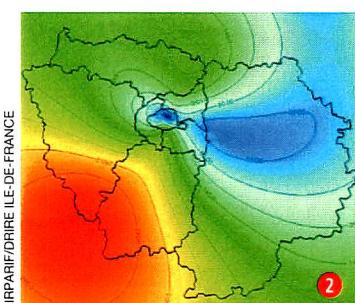
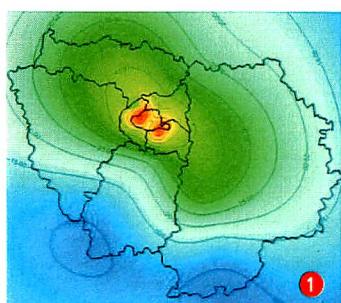


jamais été atteint en région parisienne, et le plafond au-delà duquel l'information du public est rendue obligatoire ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire) a été dépassé 21 jours au cours des huit dernières années. Cependant, le seuil de protection de la santé, fixé à $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur huit heures, est dépassé de 20 à 40 jours par an. Quant au seuil de protection de la végétation ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière), en 1998, il a été dépassé 94 jours en forêt de Rambouillet.

La situation est bien meilleure pour les taux de plomb (qui ont énormément régressé depuis l'abandon du carburant plombé) et ceux de monoxyde de carbone, pour lequel l'objectif de qualité, de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur huit heures, est respecté plus de 99 % du temps sur les sites de proximité.

En revanche, les taux de benzène, une molécule extrêmement cancérogène, sont très préoccupants. Un décret du 6 mai 1998 définit un objectif de qualité de

GRAPHIQUES S. FLORAND



ARPAF/DRIRE ILE-DE-FRANCE

Les deux plaies de la capitale

Les taux de dioxyde d'azote ① sont particulièrement élevés aux portes de Paris les plus fréquentées (embranchements des autoroutes de l'Ouest et de l'Est). La pollution par l'ozone ② se fait surtout sentir au sud de la capitale : sous l'influence anticyclonique et en l'absence de vent d'ouest, la pollution se déplace lentement vers le sud.



P. VAUTHÉY/SYGMA

La pollution sous surveillance rapprochée

Pour obtenir des résultats fiables, certains capteurs d'air mesurent la pollution au plus près des voies de circulation automobile.

2 µg/m³ en moyenne annuelle. Or, de 1994 à 1997, les concentrations moyennes annuelles relevées en Ile-de-France étaient de l'ordre de 5 µg/m³ sur les sites de fond; et elles atteignaient 30 µg/m³ sur les sites de proximité des voies de circulation.

Plus on s'approche du centre de Paris, plus on respire une "soupe" épaisse. Tous les Franciliens sont plus ou moins exposés à cette pollution ambiante. Reste qu'il est impossible de déterminer la concentration exacte de polluants que respire un individu à un endroit donné. Il faudrait pour cela connaître l'activité de celui-ci (plus on bouge, plus les poumons brassent d'air) et la durée d'exposition.

Il faut donc en passer par une évaluation globale des effets sanitaires au niveau d'une population. Le

PRQA nous apprend ainsi que plus d'une personne sur deux résidant dans le "cœur dense" de l'agglomération parisienne, soit 2,7 millions d'habitants, est exposée à des niveaux de NO_x qui excèdent l'objectif de qualité de 50 µg/m³.

L'augmentation des taux de benzène devrait influer sur le nombre de cancers

Depuis l'étude Erpurs, menée en région parisienne en 1994, les conséquences des pics de pollution sur la santé commencent à être connues : plus grande morbidité, augmentation flagrante du nombre de crises d'asthme, surtout chez les jeunes enfants, plus grande occurrence des maladies cardio-vasculaires, altération

de la fonction pulmonaire...

Ces signes trahissent un fond de l'air pas très frais. Mais le plus grave reste peut-être à venir. On ne sait rien, en effet, de l'impact sanitaire à long terme d'un air vicié. L'augmentation des émanations de benzène devrait avoir une influence sur le nombre de cancers. Et, si le benzène est à 51 % émis par le tabagisme, il est issu à 37 % des gaz d'échappement des véhicules automobiles.

OBJECTIFS CONTRADICTOIRES

Les Franciliens qui prendront connaissance de ce premier PRQA devront se poser des questions sur leur mode de vie. L'utilisation de la voiture devra, dans les années qui viennent, être plus raisonnée. Le plan de déplacement urbain (PDU) de l'agglomération parisienne, actuellement en cours de réalisation, devrait confirmer un objectif de réduction de la circulation automobile d'au moins 3 % d'ici à 2005. Il entre donc en contradiction avec le schéma directeur de la région Ile-de-France, qui prévoit une augmentation de 65 % de la circulation automobile d'ici à 2010.

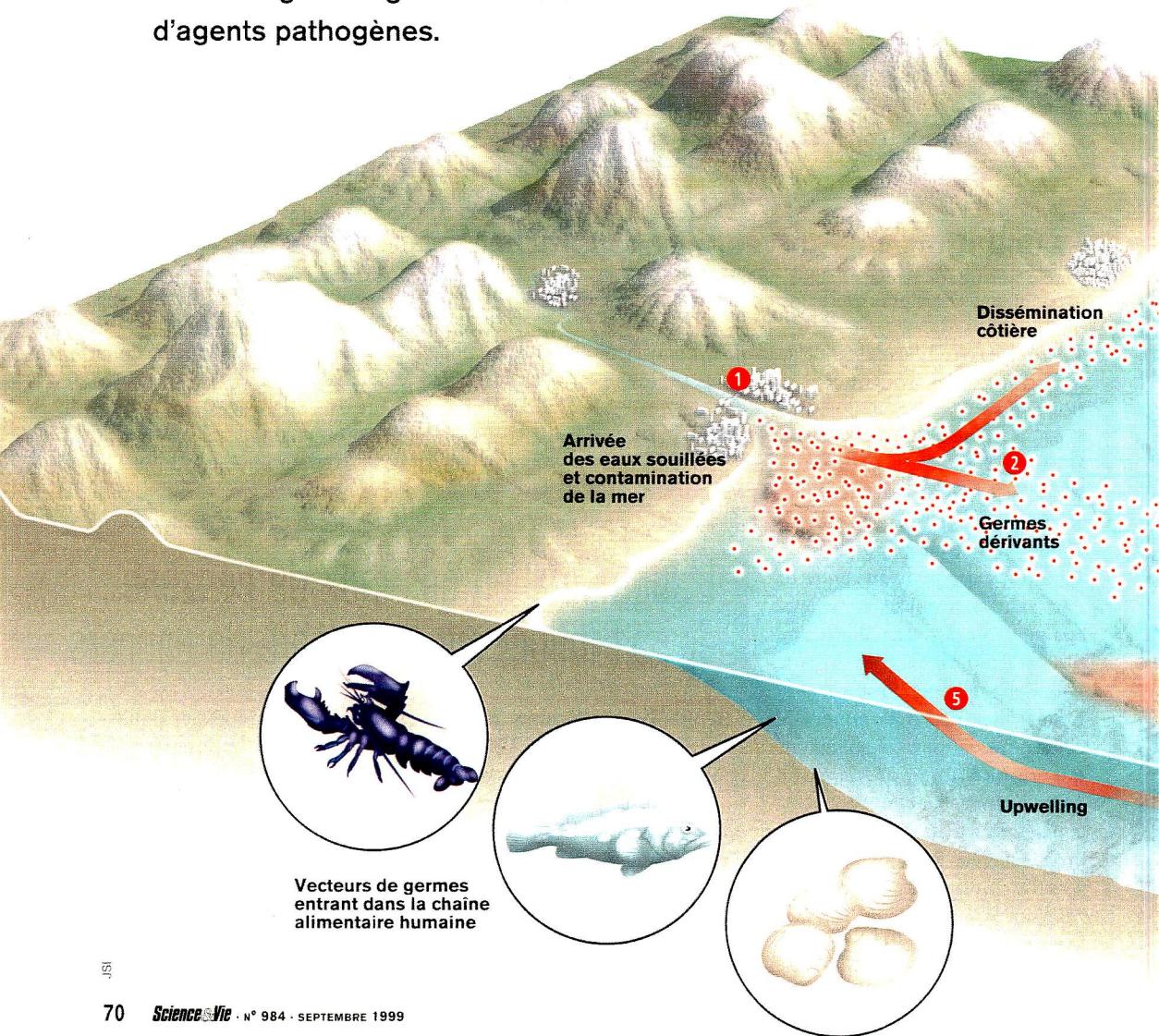
Autre terrain d'action possible : le renforcement des normes. Les véhicules automobiles du siècle prochain consommeront moins d'essence, qu'ils brûleront mieux.

Une directive européenne publiée en mars dernier impose de nouvelles normes pour les émissions de solvants utilisés par les particuliers. Les bâtiments devront renforcer leur isolation. Pour protéger l'air, il faudra calfeutrer, économiser, contraindre, renforcer... Le PRQA, c'est la prise de conscience que l'air n'est pas une poubelle. ■

L'océan, un bouil

Les océans facilitent-ils la propagation de certaines maladies comme le choléra ? Plusieurs études américaines le laissent entendre. Les *upwellings*, ces eaux froides qui surgissent des profondeurs, pourraient favoriser l'essaimage d'un grand nombre d'agents pathogènes.

'intéresser à l'immensément petit dans l'immensément grand, tel est le paradoxe des biologistes qui étudient la vie microscopique en milieu marin. Toute la difficulté de cette tâche consiste à isoler les micro-organismes présents dans l'eau de mer, ce qui devient chaque jour



lon de culture

un peu moins difficile grâce à de nouvelles techniques d'observation issues de la physique ou de la biologie moléculaire. A mesure que progresse la connaissance de cette micropopulation marine, s'accroît la conscience des risques potentiels de l'océan sur la santé humaine. Car c'est tout un bestiaire (1) fort discret qui peut affecter l'état sanitaire des populations côtières : virus et bactéries, parasites protozoaires et métazoaires, vers ronds et vers

plats, algues toxiques... Les virus constituent les plus petits et les plus abondants de ces germes : ils mesurent de 50 à 200 nanomètres (millionièmes de millimètres). Un millilitre d'eau de mer peut en contenir jusqu'à 10 millions.

LES MAUX DE L'EAU

L'eau et les aliments issus de la mer constituent deux sources traditionnelles de contamination clairement identifiées. Dans une région où sévit une épidémie d'origine virale ou bactérienne, les eaux

souillées se déversent dans les rivières qui se jettent dans l'océan et contaminent les eaux côtières. Ensuite, ces eaux peuvent rendre malades à leur tour les gens qui s'y baignent (par ingestion d'eau de mer, par contact avec la peau et les muqueuses et par inhalation des embruns) ou qui consomment des produits de la mer, essentiellement les crustacés et les mollusques péchés en zones insalubres. Certains virus peuvent alors être en grande partie responsables de troubles occasionnés par l'ingestion de fruits de mer. Les virus entériques (entérovirus, calicivi-

④

② Vents
et tempêtes

Courants
d'eaux profondes

Germes
en dormance
en grande profondeur

La lente marche des germes

On distingue plusieurs modes de dissémination des agents pathogènes. Après avoir gagné la mer par des rivières ①, courants et tempêtes ② contaminent l'eau et la faune. Ceux qui ont gagné le large survivent à grandes profondeurs ③ probablement en colonisant poissons et crustacés ou en entrant en état de dormance. Ceux qui restent en surface comme les vibrions peuvent coloniser le plancton ④. Leurs effectifs pourraient être "boostés" par des remontées d'eau froide riches en nutriments ⑤ qui provoquent un bloom planctonique.

rus...), en particulier, provoquent diarrhée, méningite, conjonctivite, myocardite (inflammation du myocarde), hépatite...

Les algues toxiques constituent également un risque pour la santé humaine en contaminant les fruits de mer, mais aussi pour certaines espèces par simple contact avec l'eau et les embruns. Des études en laboratoire menées par J. M. Burkholder, de l'université de Caroline du Nord, permettent de dresser la liste des troubles chroniques engendrés par des toxines algales telles que des défaillances du système immunitaire, des troubles respiratoires, des dysfonctionnements du système nerveux central accompagnés de pertes de mémoire, de dysfonctionnements du système nerveux périphérique, et une contribution au développement de tumeurs malignes. Le potentiel oncogène de certaines de ces toxines n'a toutefois été mis en évidence que chez l'animal.

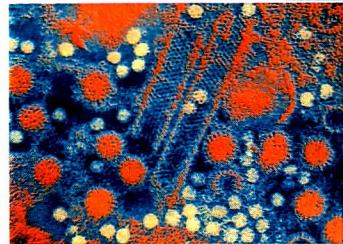
Si la toxicité de ces germes est connue de longue date, l'importance de leur population est longtemps restée sous-estimée. Une des raisons tient au fait que certaines espèces de bactéries entrent en dormance pour survivre dans un environnement hostile. Elles de-

ainsi contribué à développer une nouvelle approche pour détecter et décrire en particulier les agents pathogènes. C'est également le cas de la cytométrie en flux, une autre technique d'observation qui consiste à envoyer sur un échantillon d'eau de mer un fin rayon laser qui excite certains pigments présents dans les micro-organismes, pour les rendre fluorescents. Ces techniques ont révélé la présence de micro-organismes invisibles aux méthodologies traditionnelles. Peu à peu, elles permettent de cerner leur niche écologique, de connaître leur comportement dans le milieu marin. Ce nouveau champ de recherche particulièrement exploré aux États-Unis a permis aux biologistes de ce pays de découvrir des modes de dissémination insoupçonnés.

LES VIRUS ONT LA BOUGEOTTE

Première découverte : virus et bactéries ne sont pas statiques. Joan Rose, du département des Sciences marines, de l'université de Floride du Sud, a estimé la progression des virus présents dans les eaux côtières de la baie de Maramala à Hawaï et dans le golfe du Mexique : ces micro-organismes migraient, en suivant les courants,

C.R. MADELEY/S.P.L./COSMOS



juin que le biologiste marin Jay Grimmes, de l'université du Mississippi du Sud, a identifié dans des échantillons d'eau de mer collectés à plus de 1000 m de profondeur toute une gamme de virus pathogènes pour l'homme, en particulier des poliovirus et des rotavirus. En 1994, des travaux publiés dans *Marine Environmental Research* relataient la présence de bactéries d'origine anthropique (elles présentaient une résistance à plusieurs antibiotiques) dans les boues d'égouts immergées en eaux profondes au large de la ville de New York de 1988 à 1992. Les souches bactériennes avaient donc survécu trente mois après la fermeture de cette décharge sous-marine.

On sait que pour survivre, les bactéries marines développent plusieurs stratégies. Elles peuvent infester un hôte ou "hiberner". Rita Colwell de l'université du Maryland, a montré que des bactéries présentes dans les tissus des amphipodes (groupe de crustacés qui comprend les puces de mer) et des holothuries (échinodermes dont les représentants les plus connus sont les concombres de mer) vivant en zones abyssales et en eaux profondes sont capables de proliférer si la quantité de nutriments présents dans leur milieu augmente, malgré des pressions oscillant entre 430 et 520 atmosphères et des températures de 3 à 5 °C. A des profondeurs élevées,

Les fonds des océans sont de véritables bouillons de culture

meurent alors invisibles par des moyens d'observation habituels, car elles ne se cultivent pas. En utilisant des techniques récentes telles que la PCR (*Polymerase Chain Reaction*), on parvient tout de même à mettre en évidence leur présence en amplifiant l'ADN (Acide désoxyribonucléique) bactérien, c'est-à-dire en dupliquant suffisamment leur ADN pour le rendre détectable. La biologie moléculaire a

à une vitesse de 24 m/h, avec des pointes atteignant 35 m/h. Au cours du dernier phénomène climatique *El Niño*, on a constaté qu'une colonie de virus pathogènes s'était déplacée d'un kilomètre et demi le long des côtes de Floride, et avait contaminé des zones de pêche.

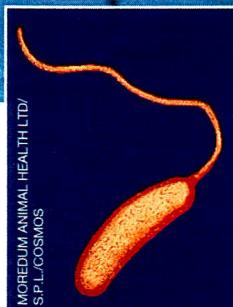
Autre surprise : les fonds marins constituent un véritable réservoir de germes. La revue *Scientific American* rapporte dans son édition de



CLAUDE GARRE/JACANA

Attention : vibrions !

Selon des chercheurs américains, certains phénomènes océaniques comme les *upwellings* favoriseraient l'apparition d'épidémies de choléra par l'émergence de ses vibrions (ci-contre), qui colonisent les copépodes, des crustacés du zooplancton (ci-dessus). D'autres germes pathogènes seraient également concernés : les rotavirus et les antérovirus (en haut à gauche) qui provoquent diarrhées et vomissements.



l'activité de ces bactéries est relativement limitée pour les populations autonomes, mais elle semble intense chez celles qui colonisent la macro-faune.

ASCENSEUR POUR BACTÉRIES

Que se passe-t-il pour les germes d'origine anthropique dont l'océan n'est pas le milieu naturel de préférence ? Après immersion, virus et bactéries sont entraînés au fond des océans. Les virus deviennent des particules inertes qui se mélangent aux sédiments. Les bactéries entrent en dormance quand les conditions environnementales ne leur sont pas favorables. C'est le cas en particulier du vibron du choléra qui peut ainsi survivre à des changements brutaux de salinité, de température, et à une baisse

des nutriments disponibles dans l'eau de mer. Cette bactérie peut aussi infester les chairs des crustacés et des poissons, mais elle a un hôte de prédilection : le copépode. Il s'agit d'un petit crustacé qui appartient au zooplancton. Un seul copépode peut héberger plus de 10^4 vibrions.

Deux scénarios ont été proposés pour lier la dynamique des océans aux populations marines d'agents pathogènes. Le premier part du principe que toute expansion du plancton, copépodes compris, profite logiquement au vibron. Or, un apport de phosphates et de nitrates engendré par une remontée d'eau profonde ou *upwelling* stimule la croissance du plancton. Ces *upwellings* apparaissent pour combler le vide laissé par le départ

des eaux côtières superficielles entraînées vers le large par le vent. Paul Epstein de l'université d'Harvard avance ainsi l'hypothèse que ces blooms planctoniques augmenteraient les risques d'épidémie de choléra.

Le second suppose que ces remontées d'eau froide remettent en circulation des germes inertes présents sur les fonds. Mais les biologistes américains reconnaissent qu'ils manquent encore de données pour pouvoir établir un lien entre épidémies et *upwellings*. Qu'il y ait ou non corrélation, ces travaux devraient éclaircir le rôle de l'océan dans le cycle des agents pathogènes et limiter à long terme son impact sur la santé humaine. ■

(1) Bestiaire est un terme impropre, les bactéries constituant un règne à elles seules. Les virus posent un problème de classification car, en matière de reproduction, ils ne possèdent pas toutes les caractéristiques permettant de les rattacher au monde du vivant.

Quand le sel tue

Les Français consomment trop de sel.

Cet excès serait responsable chaque année de 75 000 accidents cardio-vasculaires, dont 25 000 décès. Mais les enjeux financiers sont énormes pour l'industrie agroalimentaire. Et les pouvoirs publics ne sont pas pressés de se saisir du dossier...

Les Français consomment en moyenne 10 grammes de sel par jour, soit deux fois trop. Or, 85 % du chlorure de sodium que nous ingérons est pré-incorporé aux aliments par l'industrie agroalimentaire, pour des raisons purement commerciales. En effet, le sel, par sa capacité à retenir l'eau, augmente artificiellement le poids des produits, donc leur prix de vente. Autre avantage, l'addition de chlorure de sodium crée une accoutumance : plus on consomme de sel, plus on a faim de produits salés. Enfin, le chlorure de sodium possède un pouvoir assoufflant qui satisfait les géants de l'agroalimentaire largement présents sur le marché des boissons. Une étude récente portant sur 876 personnes, réalisée par le Pr MacGregor, spécialiste de médecine cardio-vasculaire à l'université du London St George's Hospital Medical School, a ainsi montré que le fait de diminuer de 10 à 6 grammes la consom-

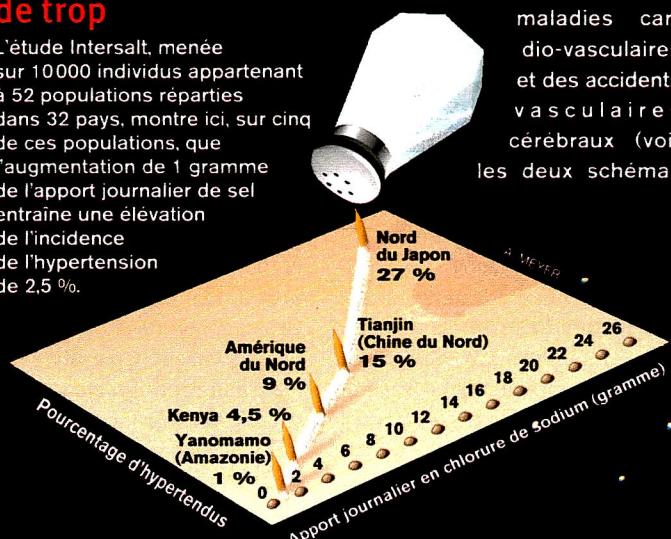
mation quotidienne de sel entraînait une baisse de la quantité de boissons consommées de 300 millilitres par personne et par jour. « L'impact sur la santé publique est catastrophique : l'excès de chlorure de sodium est responsable chaque année en France d'au moins 75 000 accidents cardio-vasculaires, dont 25 000

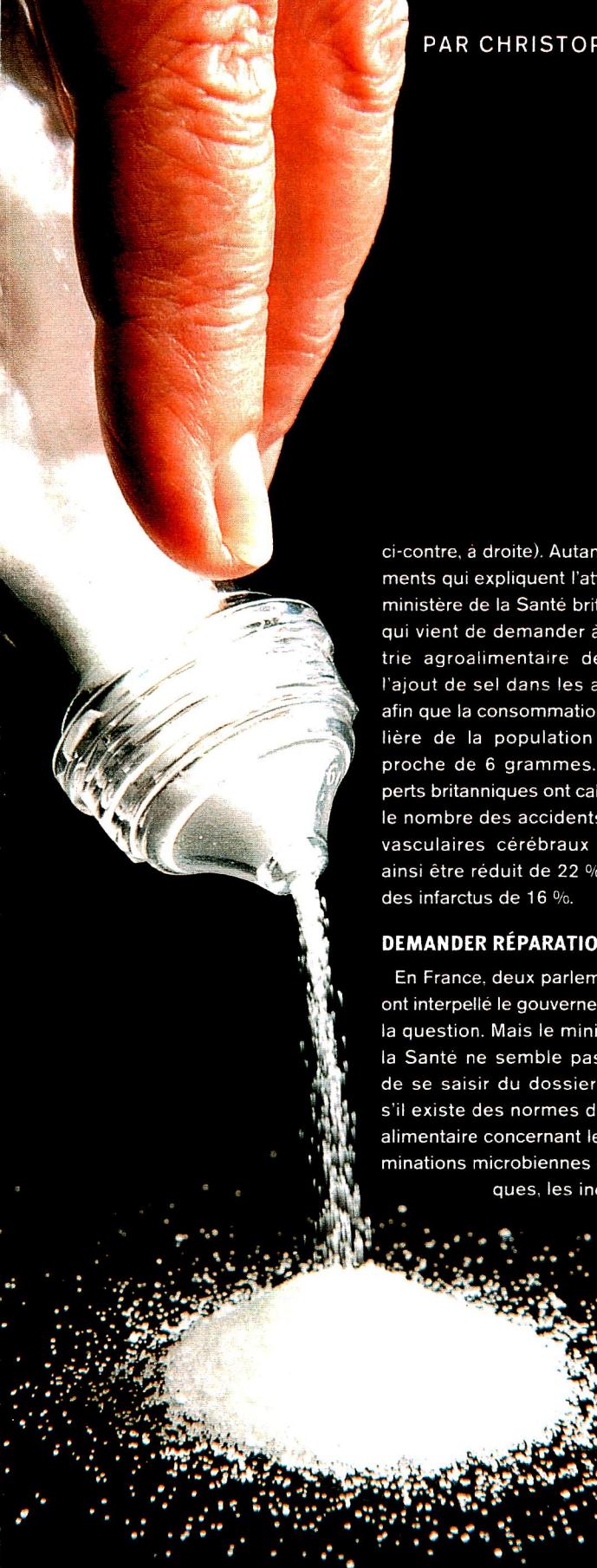
Pour un gramme de trop

L'étude Intersalt, menée sur 10 000 individus appartenant à 52 populations réparties dans 32 pays, montre ici, sur cinq de ces populations, que l'augmentation de 1 gramme de l'apport journalier de sel entraîne une élévation de l'incidence de l'hypertension de 2,5 %.

décès », dénonce Pierre Ménetton, chercheur au laboratoire de physiologie et pathologie expérimentale vasculaire de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). « 95 % des études scientifiques menées à ce jour [dont Intersalt, l'étude épidémiologique la plus complète sur le sujet, voir schéma ci-dessous] montrent en effet qu'il existe un lien entre le niveau de consommation de chlorure de sodium et le niveau d'hypertension artérielle chez les personnes sensibles au sel, soit en moyenne 40 % de la population. »

Or, plus la pression artérielle est forte, plus le risque est élevé de développer des maladies cardio-vasculaires et des accidents vasculaires cérébraux (voir les deux schémas

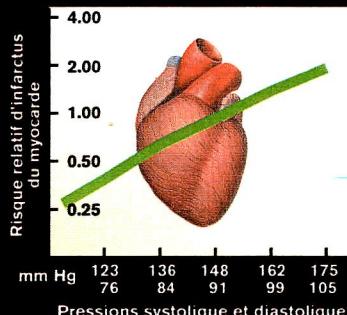
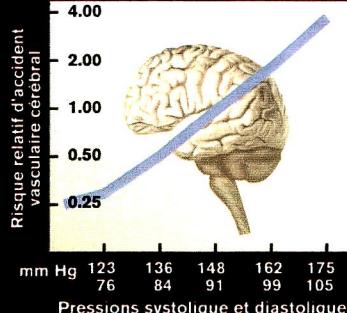




(ci-contre, à droite). Autant d'arguments qui expliquent l'attitude du ministère de la Santé britannique, qui vient de demander à l'industrie agroalimentaire de limiter l'ajout de sel dans les aliments, afin que la consommation journalière de la population se rapproche de 6 grammes. Les experts britanniques ont calculé que le nombre des accidents cardiovasculaires cérébraux pourrait ainsi être réduit de 22 % et celui des infarctus de 16 %.

DEMANDER RÉPARATION ?

En France, deux parlementaires ont interpellé le gouvernement sur la question. Mais le ministère de la Santé ne semble pas pressé de se saisir du dossier. En fait, s'il existe des normes d'hygiène alimentaire concernant les contaminations microbiennes et chimiques, les industriels n'ont



La pression monte

Le risque d'accidents vasculaires cérébraux et d'infarctus du myocarde varie en fonction des niveaux de pression artérielle. Ces courbes ont été établies en suivant, pendant dix ans, neuf populations industrielles, soit 418 343 personnes au total.

aucune obligation en termes de qualité nutritionnelle, même si celle-ci peut avoir des conséquences autrement dramatiques. Il est vrai que les enjeux financiers sont énormes. « Si la France imitait les Britanniques, le manque à gagner pour l'agroalimentaire serait d'environ 40 milliards de francs, »

Sauf qu'à ne rien changer l'addition risque d'être aussi salée pour les firmes agroalimentaires, si, un jour, à l'instar de ce qui se passe pour l'industrie du tabac, des personnes victimes d'un infarctus demandent réparation pour avoir été "forcées" de manger trop salé... ■

Décollage

sous

« X »



Concurrencés par les Européens dans le domaine des lanceurs de satellites avec la fusée Ariane, les Américains veulent reprendre l'avantage avec des lanceurs dits "réutilisables", donc plus rentables. Avec les avions-fusées X33 et X34, ils reprennent à fond un programme démarré dans les années 50 et que l'on croyait oublié.



Les lanceurs du XXI^e siècle

Choisi par la NASA en 1996 pour étudier les futurs lanceurs réutilisables, le *Venture Star* ou *X-33* a subi plusieurs modifications après les essais en soufflerie. La surface des gouvernes a été agrandie, son poids à vide est passé de 28,5 tonnes à 33,9, limitant sa vitesse à Mach 13,8 au lieu de 15. Les lancements s'effectueront à partir de la base d'Edwards en Californie

Avion par sa forme extérieure, fusée par son mode de propulsion, le *X-15* (X pour experimental) américain vola pour la première fois le 24 juillet 1959, voici donc tout juste quarante ans. Il fut construit à trois exemplaires. Destiné à explorer les très grandes vitesses, au-delà de l'atmosphère terrestre, le *X-15* atteignit ainsi l'altitude phénoménale de 354 200 pieds, plus de 100 km, et la vitesse record de Mach 6,7, près de sept fois la vitesse du son, lors des quelque deux cents vols que les trois appareils effectuèrent jusqu'à la fin du programme en 1967. Avion par sa forme, le *X-15* ne décollait pas par ses propres moyens, cependant. Il était largué à haute altitude, soit 45 000 pieds, depuis un bombar-

dier *B-52*, avant d'allumer son moteur-fusée à hydrogène et ammoniaque. Les données engrangées par les pilotes des *X-15* furent largement utilisées, ensuite, lorsque la NASA (National Aeronautics and Space Administration), l'agence spatiale américaine, décida de réaliser la navette spatiale qui vole aujourd'hui.

LES VRAIS ENJEUX D'UNE SUPRÉMATIE DANS L'ESPACE

Entre temps, dès 1961, la firme North American, qui conçut et fabriqua le *X-15*, avait proposé le super *X-15*, lancé par fusée, pour répondre au défi de la conquête spatiale lancé par les Soviétiques. Les responsables américains lui préférèrent la formule de la capsule orbitale, *Mercury*, *Gemini*, puis *Apollo* qui permit le premier alunissage, au mois de juillet 1969. Question de mode, peut-être, les Soviétiques utilisant eux-mêmes des capsules. Ou de méfiance de-

vant une technologie par trop révolutionnaire.

De nos jours, par un singulier retour de l'Histoire, c'est la formule de l'avion spatial qui revient à l'honneur, à travers différents projets américains de lanceurs. Tous visent à mettre au point des engins

d'avoir à abandonner en cours de vol des étages de fusée, des réservoirs vides, des cases à équipements, dont les coûts sont exorbitants. Cela suppose que les lanceurs seraient monoétages, et réutilisables tels quels, après une remise en état sommaire. Comme

place dans le domaine des lanceurs spatiaux, place ravie par l'Europe avec ses fusées *Ariane*. Diviser par dix, voire davantage, un prix de lancement qui s'échelonne entre 10 000 et 20 000 dollars par kilo de charge utile satellisée, tel est le but avoué. Un nouveau défi, assez semblable à celui du président Kennedy affirmant que les États-Unis prenaient le pari d'emmenager un homme sur la Lune, et de le ramener vivant sur Terre. Mais cette fois, le défi ne se situe plus sur le plan politique depuis la disparition de la Guerre froide mais sur le terrain économique.

Pour le relever, et le gagner, les Américains ont lancé toute une série de programmes expérimentaux. Ils ont décidé de ratisser large. D'explorer tous les secteurs, toutes les solutions possibles, sur

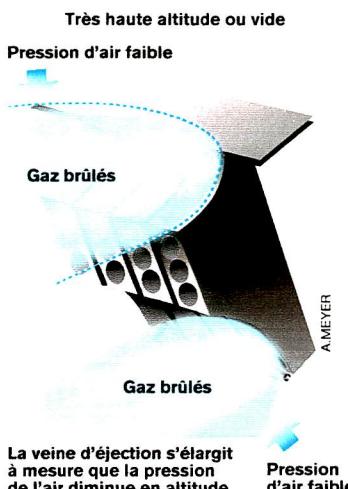
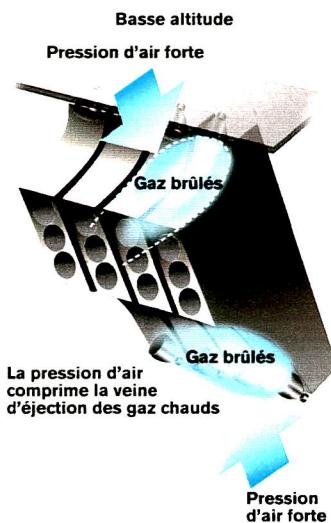
Le coût exorbitant des vols spatiaux a prévalu dans la relance des avions "X"

capables de décoller par leurs propres moyens, de larguer en orbite le matériel embarqué, de revenir sur Terre en complète autonomie, avant de repartir quelques jours après. Cette solution évite

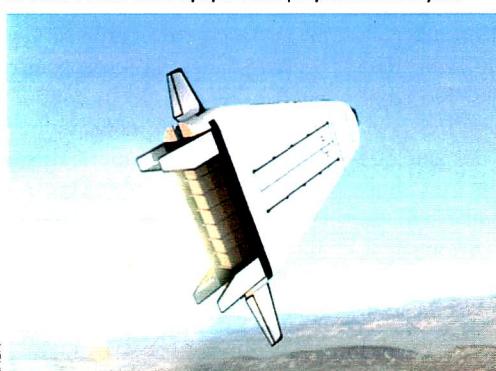
des camions de l'espace. Ou des avions commerciaux.

Dans cette affaire, c'est le souci économique qui prévaut, car c'est la clé qui peut permettre aux Américains de reconquérir la première

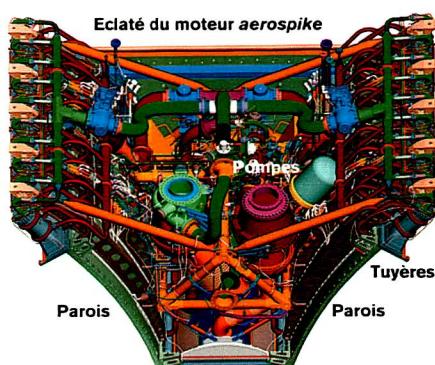
Système aerospike



Le VentureStar sera équipé d'une propulsion aerospike

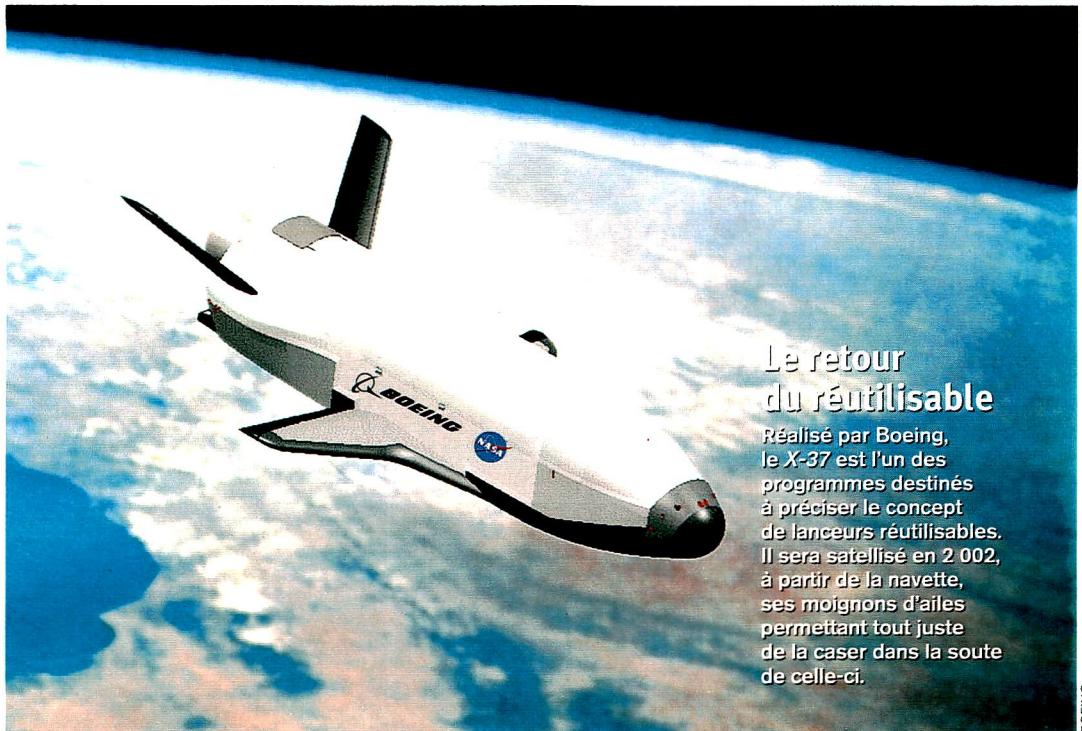


NASA



La tuyère prend l'air

La vitesse d'éjection des gaz chauds, dans un moteur-fusée, est un paramètre essentiel du rendement. Elle est une fonction directe du rapport entre la section de sortie du divergent de la tuyère et la section du col, en haut de la tuyère. Lorsque la pression extérieure diminue avec l'altitude, il est préférable d'augmenter la section de sortie afin d'améliorer le rapport de détente. Avec la formule "aerospike", cela s'obtient naturellement, la paroi extérieure étant constituée par l'air ambiant. La pression de l'air diminuant, la section de sortie s'accroît naturellement. Le rendement du moteur aussi.



Le retour du réutilisable

Réalisé par Boeing, le X-37 est l'un des programmes destinés à préciser le concept de lanceurs réutilisables. Il sera satellisé en 2 002, à partir de la navette, ses moignons d'ailes permettant tout juste de la caser dans la soute de celle-ci.

BOEING

le mode de propulsion des engins, les matériaux utilisés, que ce soit pour les réservoirs d'ergols ou pour la structure elle-même, etc. Avant de retenir celle qui leur paraîtra la meilleure. Il s'agit avant tout de réduire le rapport entre la masse à vide de l'engin et celle des ergols qu'il emporte pour gagner son orbite. Plus la structure sera légère, mieux cela vaudra. Ainsi est-on passé du X-15 de 1969 aux X-33 et X-34 de l'an 2000. Ou aux X-37 et X-40, ces deux derniers étant destinés à défricher à plus long terme la voie des "Future-X", systèmes de transports spatiaux réutilisables, avec un domaine d'applications plus large que celui des seuls satellites à mettre en orbite. Par exemple, le transport de fret ou de personnel. Ou au X-43, pour des missions militaires. Tous ces appareils expérimentaux sont automatiques, sans pilote. La technique a fait de tels progrès qu'il est inutile aujourd'hui de risquer la vie d'un homme pour les

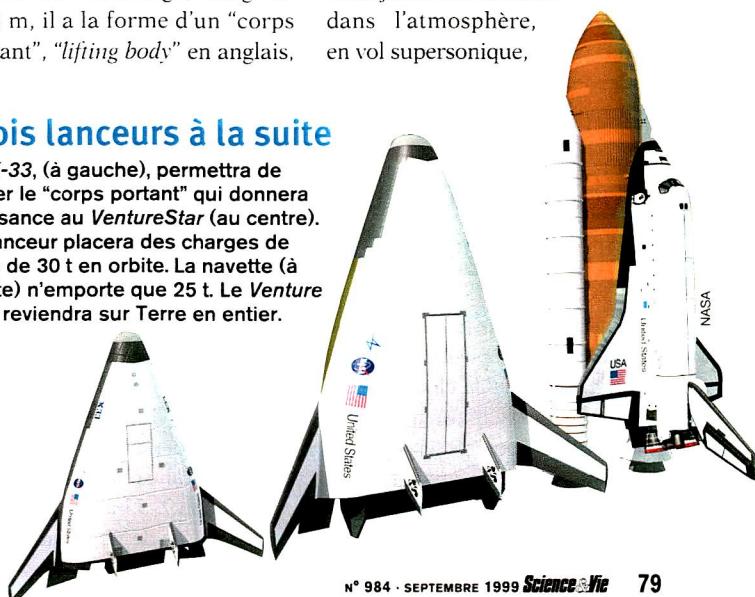
essayer comme ce fut le cas dans l'aviation expérimentale des années 40 ou 50.

Le X-33, du groupe Lockheed Martin, préfiguration du lanceur opérationnel VentureStar, est un engin qui décollera à la verticale et atterrira à l'horizontale, comme un avion. D'une masse de 123 tonnes au décollage, long de 20,3 m, il a la forme d'un "corps portant", "lifting body" en anglais,

déjà largement étudié par les Américains à travers plusieurs programmes précédents, comme le X-23 A et le X-24 A, ou encore le HL-10, dans les années soixante (voir encadré X-38). Le concept a servi entre autres à la mise au point de la navette spatiale, pour la dernière phase de sa trajectoire de rentrée dans l'atmosphère, en vol supersonique,

Trois lanceurs à la suite

Le X-33, (à gauche), permettra de tester le "corps portant" qui donnera naissance au VentureStar (au centre). Le lanceur placera des charges de près de 30 t en orbite. La navette (à droite) n'emporte que 25 t. Le Venture Star reviendra sur Terre en entier.





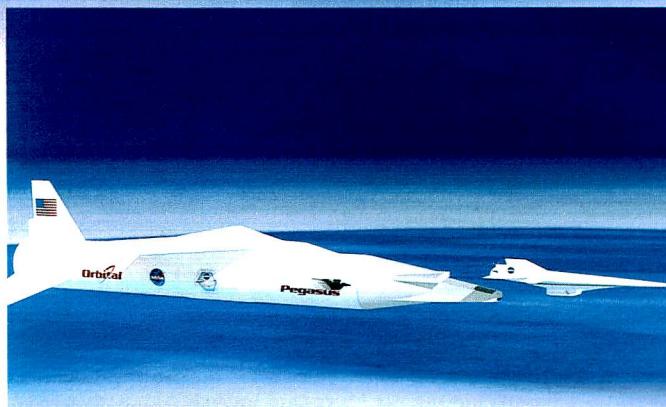
PHOTOS NASA

Mach 10 avec de l'air

Le X-43, lancé depuis une fusée Pégase à haute altitude servira à tester le superstatoréacteur, un moteur dont la combustion s'effectue avec de l'air circulant à vitesse supersonique.

transsonique, puis subsonique.

Le fuselage du X-33, muni de gouvernes aérodynamiques, et profilé comme une aile très épaisse, fournit une portance lorsqu'il évolue dans l'atmosphère. Il est donc capable de manœuvrer horizontalement, lorsqu'il se rapproche de la Terre, pour rejoindre sa piste d'atterrissage. Très large de l'arrière, il peut accueillir un moteur, ou une batterie de moteurs, d'un type particulier, totalement intégrés dans la structure même du véhicule. Il s'agit du moteur cryotechnique (oxygène et hydrogène liquides) "aerospike", de la firme Rocketdyne.



tiendrait un meilleur rendement si la section de sortie était plus large. C'est ce que permet la solution *aerospike*. Pour cela, la tuyère est faite d'une paroi plate d'un côté, l'air ambiant jouant le rôle de paroi de

mais de 121 tonnes dans le vide.

Autre élément clef de l'avion spatial, la protection thermique qui recouvre notamment le nez et le ventre de l'appareil. Elle devra résister à l'échauffement provoqué par le frottement de l'engin sur les couches de plus en plus denses de l'atmosphère, lors de son retour vers la Terre. Cette protection d'essais que lui a fixée la NASA, est en effet conçue pour explorer un domaine de vol qui va jusqu'à Mach 15 (15 fois la vitesse du son) et une altitude de 50 miles, soit 80 km environ, donc dans le vide. Sur les navettes spatiales, la protection thermique est assurée par des tuiles à base de silice collées les unes à côté des autres. Ce dis-

Ces avions autonomes franchissent les contraintes des vitesses supersoniques

Dans un moteur-fusée classique, les gaz chauds sont éjectés par une tuyère en forme de cloche, de divergent, dont le diamètre de sortie est calculé pour obtenir un rendement optimum dans les basses couches de l'atmosphère. A haute altitude, ou dans le vide, on ob-

l'autre côté (voir schéma). Lorsque l'engin s'élève, la pression extérieure diminue ou même devient nulle, dans le vide. La section de sortie des gaz chauds s'agrandit ainsi naturellement. Le moteur du X-33 aura de la sorte une poussée de 93 tonnes au sol,

positif est efficace mais assez fragile, et il réclame de longs travaux de remise en état après chaque vol. Le X-33, lui, sera doté de panneaux métalliques, notamment en Inconel, ou en alliages de chrome ou de titane, placés sur une couche isolante. Ceci afin de faciliter la maintenance de ces parties-là de l'avion spatial. En revanche, le nez lui-même, l'endroit soumis au plus fort échauffement (plus de 2000 °F, 1250 °C), sera doté d'une protection en carbone, que réalisera le groupe français Aerospatiale Matra. Aérospatiale ayant acquis en ce domaine une compétence universellement reconnue.

LES SUPPORTS DE NOUVELLES TECHNOLOGIES

Comme souvent en pareil cas, avec un projet aussi révolutionnaire, les objectifs de départ ont dû être revus à la baisse. La masse à vide est beaucoup plus importante que prévue. Les performances en vitesse seront moindres. Le premier vol, initialement programmé pour les premiers mois de 1999, a été reporté à l'été de l'an prochain. Faut-il s'en étonner? Non, bien sûr, puisqu'il s'agit précisément d'un avion expérimental, destiné à mettre au point de nouvelles

LE X-38, UNE CHALOUE DE SECOURS POUR LA STATION

■ C'est un véhicule de type "lifting body" qui servira de "chaloupe de secours" pour la Station spatiale internationale (ISS, International Space Station), à partir de 2004. Il fait l'objet du programme expérimental X-38. Son but: permettre l'évacuation des astronautes de l'ISS en cas de problème. Après sa rentrée dans l'atmosphère, le CRW (Crew Rescue Vehicle), déployera un "parafoil", une aile volante, qui

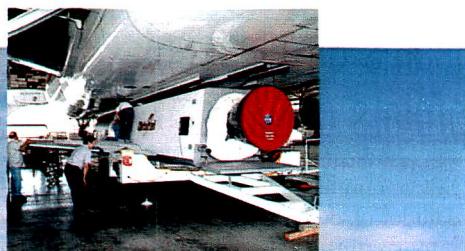
assurera sa descente vers le sol. Les essais des trois modèles initiaux du X-38 ont débuté par des vols captifs sous un bombardier B-52. Ceux-ci ont été suivis par deux vols libres, avec déploiement du "parafoil" après largage, en mars 1998 et février 1999. De tels vols doivent se poursuivre jusqu'en 2001. Ils laisseront place ensuite aux essais d'un engin plus sophistiqué, à l'élaboration duquel ont participé la société Dassault et la DASA allemande. L'ESA (Agence spatiale européenne), mais pas la France, est en effet partie prenante dans ce programme. Des industriels européens réaliseront certaines parties de la structure du futur Crew Rescue Vehicle.



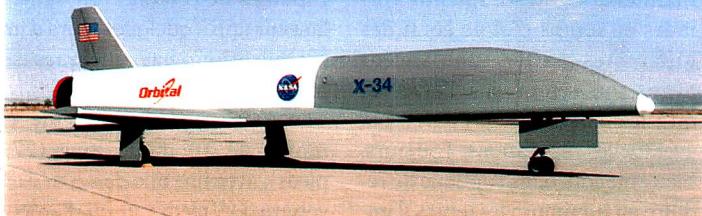
technologies. Avec les aléas que cela comporte.

Second projet, pour l'exploration des formules de lancement "bon marché", le X-34, fabriqué par la firme Orbital Sciences Corporation. Domaine à explorer : jusqu'à des vitesses de Mach 8. (huit fois

la vitesse du son), jusqu'à 50 miles d'altitude, comme pour le X-33. Beaucoup plus petit et léger que le X-33, le X-34 pèse un peu plus de 20 tonnes. Il s'agit d'un avion monoétage, muni d'ailes, capable de se poser sur une piste d'atterrissement classique, mais qui, pour son lancement, devra être emporté puis largué à haute altitude par un tri-réacteur Lockheed Tristar. Son moteur à oxygène liquide et kéro-sène sera alors mis en route pour lui permettre d'atteindre altitude et vitesse requises. Le premier vol du X-34 sous son avion-porteur a eu lieu le 29 juin dernier. Ce fut un



PHOTOS NASA



Mach 8 seulement!

Pour étudier le vol supersonique jusqu'à huit fois la vitesse du son et le retour sur Terre, la NASA utilisera la X-34, avion doté d'ailes trapézoïdales. Il sera largué à haute altitude par un triréacteur Tristar.

vol captif, l'avion demeurant accroché sous le ventre de son porteur. Sept essais de ce type sont prévus, avant que le X-34 effectue des vols en plané, moteur éteint. Les vols propulsés devraient débuter au début de l'année prochaine.

Le X-33, comme le X-34, ne constituent cependant que des étapes. L'un et l'autre se "contenteront" d'effectuer des vols surorbitaux, sans satellisation autour de la Terre. La NASA prévoit d'aller bien au delà avec la série des "Future-X", dont notamment le X-37 et le X-40.

AUSSI FACILE D'ENTRETIEN QU'UN VOL COMMERCIAL

Le X-37 sera réalisé par le groupe Boeing, les coûts de développement étant partagés à parts égales avec la NASA, avec une participation des militaires. Entièrement automatique, doté d'un système propulsif nouveau, avec tout de même un moteur à hydrogène et oxygène liquides, il devra être capable de rester en orbite autour de la Terre durant vingt-et-un jours d'affilée. Il vise à expérimenter en vol quarante-et-une technologies nécessaires à la mise au point des lanceurs réutilisables du XXI^e siècle. Parmi ces technologies, outre le système propulsif, les

ET L'EUROPE?

■ Lors de leur réunion, le 12 mai dernier, les ministres européens concernés par la politique spatiale ont décidé de lancer un programme technologique lié aux lanceurs futurs, le Future Launcher Technologies Programme. Les industriels français semblent particulièrement bien placés pour en constituer l'épine dorsale. Aéospatiale Matra possède l'expérience de la rentrée atmosphérique, acquise entre autres dans le cadre des programmes de la force française de dissuasion et de l'ARD (Atmospheric Reentry Demonstrator), programme européen d'un démonstrateur. Dassault, quant à lui, s'est intéressé aux retours d'orbite, depuis le projet

d'avion spatial européen Hermès. Véhicule de rentrée depuis le haut hypersonique (Mach 25), véhicule de fin de rentrée, avec approche et atterrissage, pourraient constituer deux programmes d'appareils expérimentaux. Celui de Dassault a déjà reçu son nom, Vehra, véhicule expérimental hypersonique réutilisable aéroporté. D'une masse inférieure à 30 tonnes, il serait emmené à 10 000 m d'altitude sur le dos d'un Airbus, avant allumage du moteur russe NK 11 de 41 tonnes de poussée, pour le propulser à 40 km. Sur sa lancée, Vehra continuerait jusqu'à 80 km d'altitude, avant d'entamer sa rentrée dans l'atmosphère...

mules aérodynamiques qui pourront répondre aux impératifs du programme : vol en orbite à Mach 25, mais aussi à des vitesses d'atterrissage acceptables sur des pistes courantes, etc.

Sans oublier encore des travaux sur les systèmes de surveillance du véhicule lui-même en cours d'opé-

mobilisation avant un nouveau départ. Il s'agit ici de la retranscription à l'identique de ce qui se passe aujourd'hui avec les avions commerciaux. Les techniciens des différentes compagnies utilisatrices sont informés en direct des pannes ou anomalies qui se produisent en vol, afin de les résoudre dès que l'avion a regagné son point de stationnement. « Notre objectif, indique d'ailleurs Paul Klevatt, directeur du programme "Future-X" chez Boeing, en parlant du concept du lanceur spatial réutilisable, est de parvenir à la même souplesse d'utilisation que les compagnies aériennes. D'être capables de remettre en ligne le lanceur après quelques jours d'im-mobilisation, pas quelques semaines, ni quelques mois. »

Le X-37 sera un véhicule de moins de 10 m de long (27,5 pieds), avec une aile de 4,5 m d'envergure (15 pieds), et un diamètre

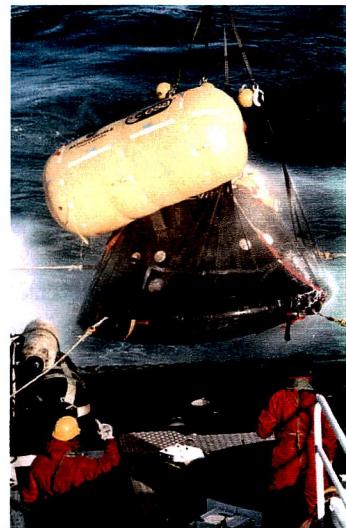
Les militaires américains développent en secret certains projets d'avions "X"

protections thermiques pour la rentrée dans l'atmosphère, bien sûr; mais aussi des ergols non polluants, puisque l'on envisage d'effectuer des vols fréquents, un par semaine et par lanceur, rythme qui entraînerait des problèmes de pollution de la basse, de la haute atmosphère, et du vide spatial, avec les ergols actuels. Autre domaine de recherche, celui de for-

ration, durant le lancement, pendant le vol, ou lors de la phase de retour, afin que les équipes de maintenance au sol soient informées en temps réel de l'état des différentes parties du lanceur avant son retour sur Terre. Et qu'elles puissent se préparer aux éventuelles réparations. Toujours, bien entendu, dans l'optique de réduire au minimum les temps d'im-



AEROSPATIALE MATERIAUX



ESA/ECPA/DELUC/AEROSPATIALE MATERIAUX

d'un peu plus de 1 m (4 pieds). Il est une extrapolation, avec des dimensions plus grandes de un cinquième, du X-40 A (*Space maneuver vehicle*), avion spatial manœuvrant, capable d'effectuer des variations de trajectoires, un programme de recherche de l'US Air Force, l'armée de l'Air des États-Unis. Le X-40 a effectué un vol en plané après largage depuis un hélicoptère au mois d'août 1998. Le X-37 servira d'ailleurs à tester *in situ* certaines technologies plus spécifiquement destinées aux militaires, sans que l'on sache lesquelles.

Il devrait être mis en orbite depuis une navette spatiale. Ou grâce à un autre lanceur, indiquent les Américains. Ce qui laisse supposer que le X-37 pourrait faire

Une légère ressemblance

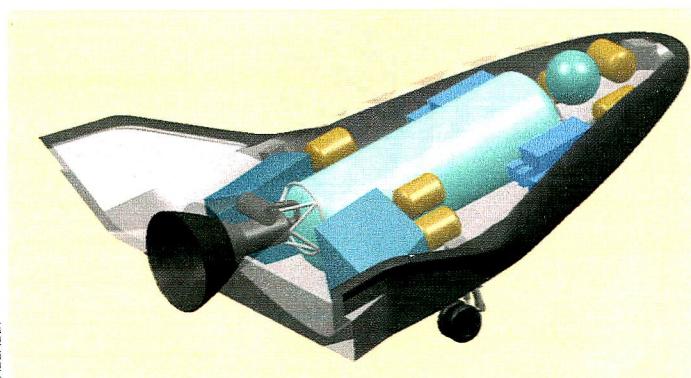
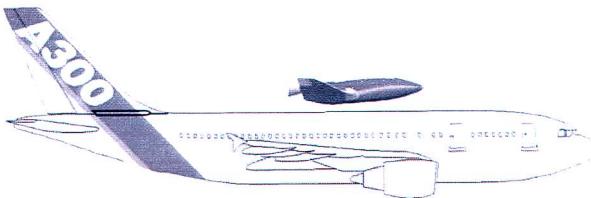
Afin d'étudier les problèmes de rentrée dans l'atmosphère (guidage, protection thermique, récupération par parachutes), l'Europe a testé l'ARD (*Atmospheric Reentry Demonstrator*), dont la forme rappelle celle des capsules Apollo. Conçu et réalisé par l'Aérospatiale, l'ARD est un programme de l'Agence spatiale européenne, testé avec succès en 1998.

partie aussi d'un programme plus secret du Pentagone, le ministère américain de la Défense. Programme de lanceur à deux étages, cette fois, le X-37 n'étant apparemment pas capable de quitter le sol par ses propres moyens. Un certain flou, voulu à coup sûr, entoure en tout cas ce projet.

Le programme d'essais prévoit qu'il volera d'abord en captif, sans largage, sous un bombardier B-52. Le premier vol libre en plané, après séparation d'avec l'avion-porteur, mais sans mise à feu du moteur cryotechnique, est pro-

grammé pour la fin de l'année 2001. Deux vols orbitaux sont prévus au cours de l'année suivante. Pour la suite, on attend.

La suite concerne notamment de nouveaux modes de propulsion, à commencer par ce que l'on appelle le superstatoréacteur. Sur un turboréacteur classique, tel que l'on en voit sur les avions civils et militaires actuels, la compression de l'air avant mélange avec le kérosène et combustion dans la chambre de combustion, est assurée par un compresseur tournant, entraîné par la turbine du moteur.

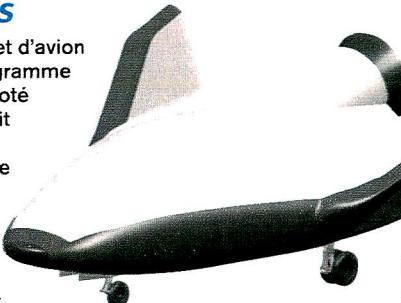


DASSAULT

Sur le dos d'un Airbus

Dassault travaille aussi sur un projet d'avion expérimental dans le cadre du programme européen de lanceur réutilisable. Doté d'un moteur russe, le véhicule serait amené à 10 000 m sur le dos d'un Airbus pour effectuer une trajectoire suborbitale et revenir se poser automatiquement.

Mais cette technique trouve sa limite à partir d'une certaine vitesse d'avancement de l'avion, disons Mach 2 ou Mach 3. Au delà, il est possible de faire appel au statoréacteur, dans lequel la compression de l'air est fournie par la vitesse d'avancement de l'avion, justement. Sans partie tournante. Cependant, pour assurer une bon-



teindre Mach 5 ou 6. Pour aller au delà, il faut recourir au superstatoréacteur, où la combustion se fait avec de l'air à vitesse supersonique.

Plusieurs pays travaillent à la mise au point d'un superstatoréac-

Avant 2 010, des avions "X" voleront à Mach 10 en vitesse de croisière

ne combustion, l'écoulement de l'air dans le canal d'entrée du moteur doit être ralenti, la vitesse de l'air réduite en dessous de la vitesse du son, avant la chambre de combustion. Avec ce type de moteur, on peut tout de même at-

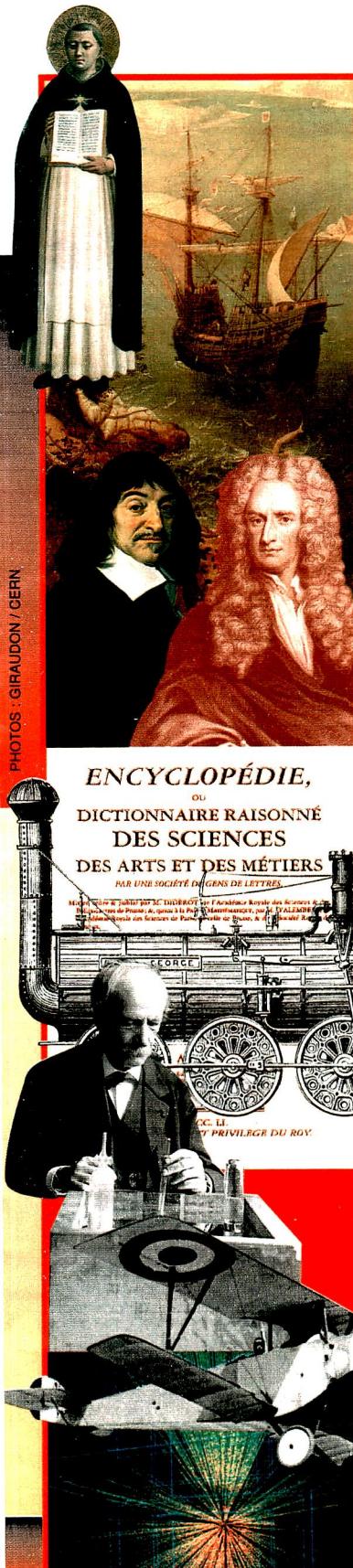
teur, dont la France, la Russie, et les États-Unis. Ceux-ci pensent être capables de faire voler un tel moteur sur un appareil expérimental, le X-43, dès l'année prochaine. Trois véhicules de ce type sont en cours de construction.

Pour son vol, le X-43 serait placé en bout d'un véhicule lanceur *Pégase*, une fusée, elle-même montée sous le ventre d'un bombardier B-52. Largué à haute altitude par l'avion, l'attelage *Pégase-X-43* accélérerait, avant largage du X-43 et allumage du superstatoréacteur. La NASA prévoit d'atteindre Mach 7 au cours du premier vol de l'année prochaine, et Mach 10 en 2001. Prélude à la construction d'un véhicule capable de voler en croisière à cette vitesse-là. C'est-à-dire, pour les militaires, par exemple, d'un véhicule capable d'intervenir en deux heures, depuis les États-Unis, n'importe où dans le monde.

TROIS MOTEURS EN UN POUR VOLER PLUS VITE ENCORE

Au delà, de nouveaux progrès sont nécessaires dans le domaine de la propulsion, avec la mise au point du moteur à cycle combiné, *Rocket-Based Combined-Cycle*. Un moteur qui inclurait les trois technologies décrites précédemment, turboréacteur, statoréacteur, superstatoréacteur, auxquelles s'ajouteraient le moteur-fusée. Lequel se distingue des trois premiers par la nécessité de lui fournir l'oxygène dont il a besoin pour la combustion, à la différence des trois autres, dits moteurs "aérobies".

Le moteur combiné serait capable de propulser des engins qui décolleraient comme des avions sur des pistes de béton, gagneraient leur orbite de travail, puis, celui-ci effectué, regagneraient la Terre par leurs propres moyens et atterriraient sur une bonne vieille piste de bitume. Mais il reste encore un long chemin à parcourir avant d'y parvenir. Un chemin balisé de nombreux programmes X, au cours des prochaines décennies... ■



LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE

*Collectionnez 1000 ans
de science pour
célébrer l'an 2000.*

UNE ENCYCLOPÉDIE EN 12 NUMÉROS

Les Cahiers de Science & Vie célèbrent l'an 2000 et lancent la première vraie encyclopédie retracant 1000 ans de science. Cette collection de 12 numéros constituera une véritable référence scientifique.

10^e tableau :

**XX^e siècle
CHANGEMENTS D'ÉCHELLE**

Au cours des trois premières décennies du XX^e siècle, une extraordinaire conjonction de découvertes aboutit à étendre le domaine d'étude de la physique.

Alors que la théorie quantique donne accès à des phénomènes qui se produisent à l'échelle subatomique, l'observation astronomique conduit à découvrir l'existence de galaxies lointaines et à construire la représentation d'un Univers aux dimensions infiniment plus grandes qu'on ne l'avait cru jusque-là...

Deux changements d'échelle, deux histoires parallèles racontées à travers tous ceux qui en furent les acteurs.

A découvrir dans le prochain numéro des
CAHIERS DE SCIENCE ET VIE.

En vente chez votre marchand de journaux

éthologie

Moins stu



STOCK IMAGE

pides qu'elles n'en ont l'air

**Qui a dit que
la poule était
un volatile stupide ?**

**Un éthologue belge vole dans les plumes des idées reçues.
Ses travaux prouvent que ces gallinacés sont capables
de reconnaissance individuelle, et même d'abstraction !**

Les poules se reconnaissent-elles l'une l'autre comme nous reconnaissions nos voisins ? Et, dans l'affirmative, quelle représentation mentale se forgent-elles d'une congénère particulière ? Les réponses à ces questions ont été apportées récem-

ment par des expériences menées à l'université de Louvain (Ucl), en Belgique. Il en ressort que notre vision des gallinacés, volatiles stupides selon l'idée communément admise, est totalement erronée.

Que recouvre le concept de reconnaissance individuelle en éthologie et en psychologie

animale ? Au sens large, il s'agit d'un processus perceptif de discrimination qui permet à un animal de distinguer, au sein de son espèce, les individus qui lui sont familiers de ceux qui lui sont étrangers. Au sens strict, il s'agit d'une opération de perception qui autorise l'identification de

G. THOUVENIN/JACANA

Paire d'amies

Les rapports entre poules pondeuses ne sont pas le simple résultat de la perception d'attributs morphologiques de dominantes ou de dominées (comme l'importance de la crête), mais elles font appel à la reconnaissance individuelle.

chaque congénère à partir de ses propriétés morphologiques et comportementales propres.

Pour prouver la réalité de la reconnaissance individuelle au sens strict, il convient d'abord d'établir qu'un animal est capable d'agir ou de réagir de manière différenciée devant un congénère familier. En effet, une poule X pourrait adopter un comportement identique à l'égard d'une poule Y, membre de sa colonie, et d'une poule Y', étrangère au groupe, mais absolument équivalente à la poule familiale sur le plan de ses attributs morphologiques et, partant, de sa position dans l'échelle des dominants et des dominés. Si tel devait être le cas, l'existence de la reconnaissance individuelle serait sujette à caution, puisqu'il serait dé-

montré que l'animal détecte en fait le statut hiérarchique d'une congénère familiale ou étrangère.

On sait, par exemple, que l'importance de la crête est un excellent indicateur du taux de testosté-

n'en est rien, mais encore fallait-il en faire la preuve.

Une manière de procéder est de former un échantillon composé de paires de poules A/B tel que tous les individus de type A soient équi-

Une petite crête blanchâtre rend sujet aux attaques

rone, une hormone qui influe sur l'agressivité et, par là même, sur les chances de victoire lors des combats. Or, on a mis en évidence que si l'on greffe une volumineuse crête rouge à un gallinacé dominé étranger, ses congénères manifestent des réticences à l'attaquer. De même, la greffe d'une petite crête blanchâtre à un domin-

inant inconnu le rend sujet aux attaques. Dans ces conditions, on pourrait suspecter que les rapports entre gallinacés ne soient que la résultante de la perception d'attributs de dominants ou de dominés, à l'exclusion de tout processus de reconnaissance individuelle. Il

valents entre eux, ainsi que tous les individus de type B. Poids, taille, nombre de victoires et de défaites, aspect de la crête... rien ne doit être laissé au hasard.

Dominantes familiaires

« Si A1 et B1 sont des familiers, de même que A2 et B2, en revanche, A1 et B2 sont étrangers, ainsi que A2 et B1 », explique René Zavan, professeur d'éthologie et de psychologie animale à l'université de Louvain. « La question est donc de savoir si A1 va réagir différemment suivant qu'il est placé en présence de B1, poule familiale, ou de B2, poule équivalente inconnue. Mon collaborateur Dominique Domken et moi avons montré que c'est le cas; par exemple, l'ensemble des poules dominées B1 menacent ou attaquent les poules dominantes étrangères A2, alors que les mêmes poules B1 ne contestent jamais leurs dominantes familières A1. Chez les gallinacés, la reconnaissance de la familiarité d'un congénère ne fait donc plus de doute. »

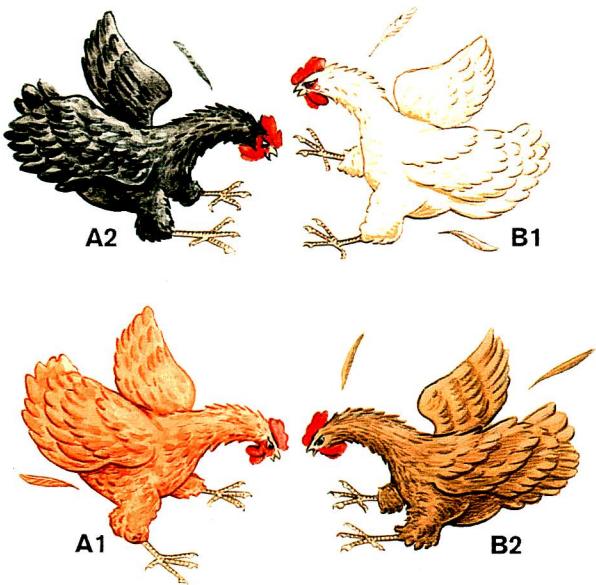
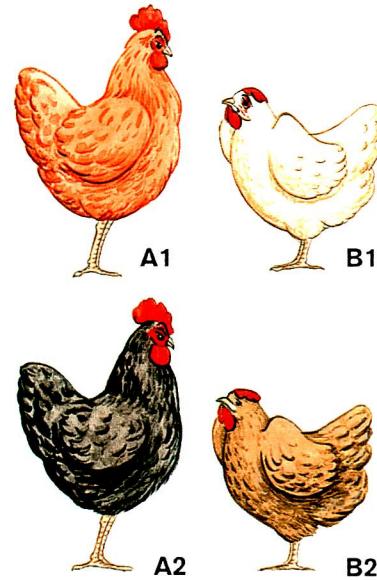
La première étape franchie, une deuxième



L'aile ou la cuisse

Afin d'étudier la faculté des poules à se forger une image mentale d'une congénère donnée, ces photos (de 1 à 4) d'un même individu (appelé A) ont été présentées, parmi les photos d'autres sujets, à des poules placées dans des "boîtes de conditionnement" (5). Une fenêtre (6) permettait de voir l'écran où défilaient les diapositives et servait également de clef de réponse : les coups de bec sur la vitre étaient enregistrés. Un entonnoir délivrait des graines à chaque fois que l'oiseau reconnaissait la poule A. Résultat : les poules cobayes se sont montrées capables de reconnaître A à la vue de ses seules pattes!





W. FRASCHINI

phase est nécessaire pour apporter la preuve de la reconnaissance individuelle au sens strict. Ici, nous côtoyons le paradoxe méthodologique, dans la mesure où le processus expérimental se révèle plus simple que dans la phase initiale, bien que les conditions à remplir soient beaucoup plus sévères. Le terrain a été défriché, il est vrai, et il suffit de prouver l'existence d'un processus opéatoire de discrimination perceptive permettant à un animal d'identifier les propriétés de congénères qui lui sont socialement familiers. Démonstration qui est notamment apportée par la mise en exergue d'affinités spécifiques au sein de triades de poules.

REPRÉSENTATIONS MENTALES

La réalité d'une reconnaissance individuelle au sens strict étant acquise, René Zayan pouvait s'attaquer à une autre question, en aval. Celle des représentations mentales que les gallinacés se forgent d'un congénère particulier. Approche utilisée : la psychologie animale expérimentale.

Les recherches de l'éthologue de l'Ucl s'appuient principalement sur les techniques d'apprentissage "par conditionnement opérant". Di-

Inconnues au poulailler

Les chercheurs ont formé des paires de poules A/B comprenant des poules dominantes A, toutes équivalentes entre elles (poids, taille, etc.), et des poules dominées B, elles aussi équivalentes. Les poules A1 et B1 étaient des congénères familiaires, de même que A2 et B2. En revanche, A1 et B2 étaient socialement étrangères, ainsi que A2 et B1. Les chercheurs ont observé que les dominées B1 attaquent les dominantes étrangères A2, alors qu'elles ne contestent jamais leurs dominantes familiaires A1. La reconnaissance de la familiarité d'un congénère ne fait donc aucun doute.

verses diapositives du corps ou de parties du corps de deux poules A et B sont projetées à une poule C.

Cette dernière dispose d'un petit levier dont la sollicitation – un coup de bec – entraîne la délivrance de nourriture. Lors d'une phase d'entraînement, C a toutefois appris que des graines ne lui seront octroyées que si et seulement si c'est A qui apparaît à l'écran.

Vient alors le test proprement dit, qui repose sur l'interrogation suivante : C est-elle capable de généraliser l'information qui lui a été présentée ? Pour répondre à cette question, René Zayan et son équipe lui soumettent des images de A et de B à la fois inédites et bien distinctes des diapositives de la phase d'entraînement. Résultat : malgré la difficulté de l'épreuve – parfois, seule une patte est montrée, alors que des vues plus globales avaient été proposées au cours de l'entraînement –, C fait la distinction entre A et B !

« Au départ, nous avons travaillé sur des animaux socialement étrangers », précise René Zayan. Dès lors, il était légitime de considérer *a priori* que la poule se construit une représentation abstraite de chaque congénère. Nonobstant, encore fallait-il prouver que ce que l'animal reconnaît est bien l'image d'une autre poule et non celle d'une configuration complexe et artificielle. »

Comment trancher ? En démontrant que la reconnaissance est significativement meilleure quand C est placée en face de diapositives d'animaux socialement familiers. L'hypothèse des chercheurs était cependant que l'effet de familiarité sociale ne se révélerait vraiment que lors de la présentation de "diapos difficiles", c'est-à-dire où n'apparaîtrait qu'une ou des parties du corps de la congénère photographiée. Ce fut le cas.

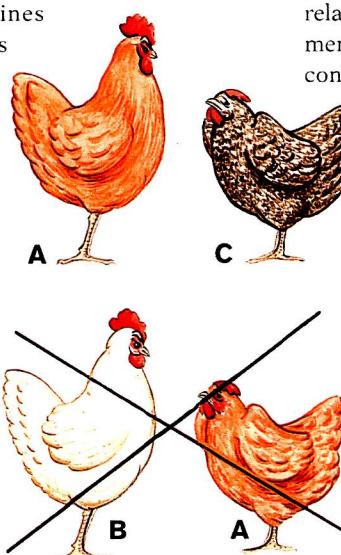
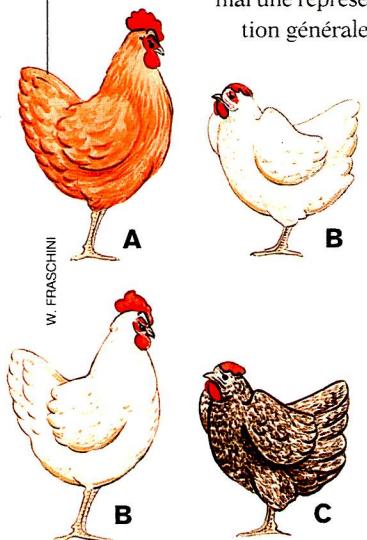
« Désormais, on peut affirmer que la poule élabore une représen-

tation mentale unitaire et intégrée de la morphologie d'une congénère, dit René Zayan. Si celle-ci lui est socialement familière, son image est vraisemblablement le fruit d'un rappel en mémoire. Si elle lui est étrangère, le jeu est plus subtil et nous projette dans l'abstraction pure : il doit se former chez la poule observatrice le concept d'une congénère fictive particulière. Ce concept, même s'il est d'origine perceptive, atteint l'abstraction dans la mesure où il fournit à l'animal une représentation générale, un

pas compromise. « Il y a donc reconnaissance d'un invariant morphologique, surtout chez les congénères familières », insiste René Zayan.

A l'université d'Exeter, en Grande-Bretagne, C. Ryan et S. Lea ont mis en exergue les facultés des poules à opérer la discrimination entre des diapositives de deux poussins A et B socialement inconnus, âgés de 2 jours. Mais ils ont surtout confirmé les capacités de généralisation des gallinacés.

Certaines poules



Volaille triade

Les groupes de poules pondeuses sont soumis à une structure sociale naturelle appelée "hiérarchie linéaire" : un ensemble de relations de dominance et de soumission, dont les propriétés sont la transitivité et l'asymétrie. Si A domine B et B domine C, A domine C (transitivité). Si A domine B, B ne peut dominer A (symétrie). Ces relations se vérifient pour toutes les triades de poules du groupe considéré.

prototype, de toutes les apparences possibles d'une congénère.»

Par ailleurs, la représentation mentale de la poule est véritablement invariante. Quand les chercheurs de l'Ucl soumettent à une poule des diapositives prises plusieurs mois auparavant, alors que la congénère photographiée a changé d'aspect en raison de la mue, la démonstration d'une reconnaissance individuelle n'est

parvenaient à distinguer directement A de B sur des photos inédites où les poussins, qui leur avaient été présentés initialement à l'âge de 2 jours, avaient 33 jours. Le test s'avéra également positif dans l'autre sens, si bien qu'il semble fondé d'affirmer que les poules peuvent accéder mentalement à l'abstraction et conserver cette représentation malgré les transformations que le développement fait subir à

la morphologie de l'animal regardé. Et, comme les photographies représentent des congénères socialement étrangères, on peut dire que l'image formée est celle d'une congénère virtuelle, platonique, au sens d'une idée indépendante de toute réalité sociale. La poule parvient à imaginer l'identité d'une inconnue, ce qui est impressionnant.

LA RECONNAISSANCE DU PIGEON

« Pour l'heure, la démonstration d'une reconnaissance individuelle relative à des congénères socialement étrangers ne s'est avérée concluante que chez les gallinacés et les pigeons, indique le professeur Zayan. Comment expliquer leurs performances ? Peut-être procèdent-elles du fait que l'opération perceptive est fondamentale dans l'adaptation de ces animaux à leur structure sociale naturelle

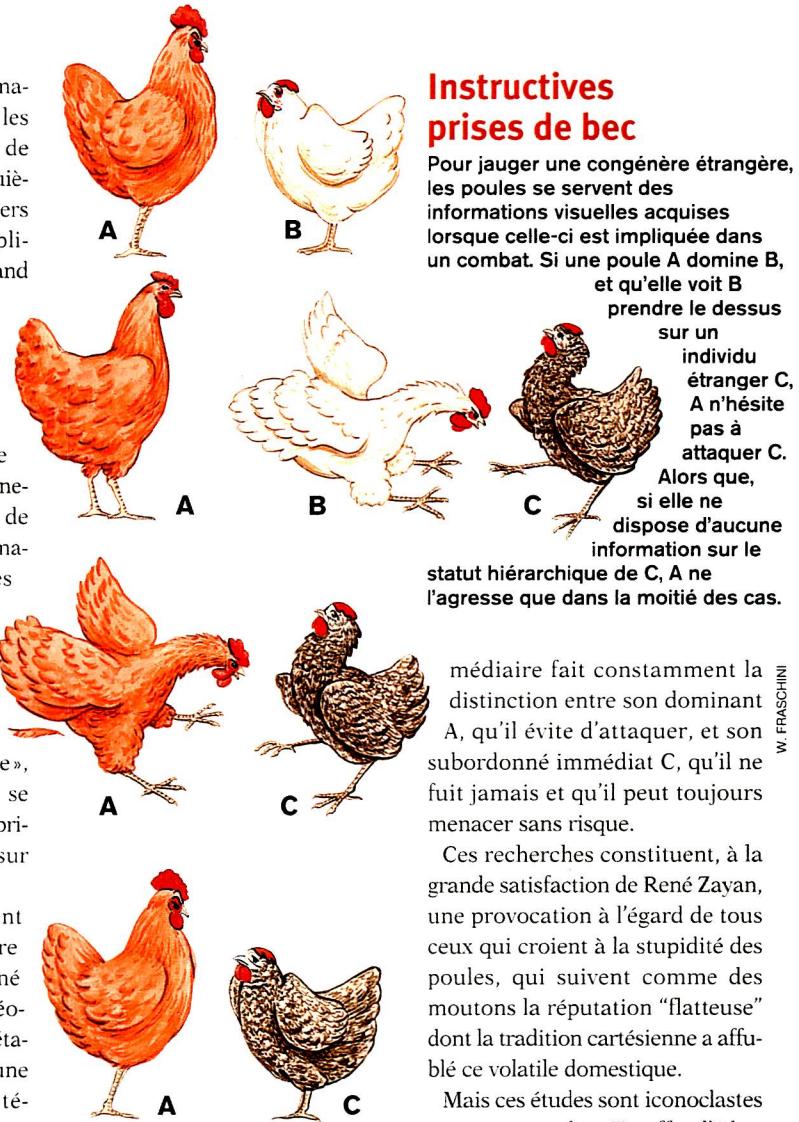
dans les petits groupes : la hiérarchie linéaire.»

Au sens strict, une telle hiérarchie est un ensemble de relations de dominance et de soumission dont les propriétés sont la transitivité et l'asymétrie. Transitivité : si A domine B et B domine C, A domine C. Asymétrie : si A domine B, B ne peut dominer A. De surcroît, la relation doit être complète au sens mathématique du terme, c'est-à-dire se vérifier pour toutes les paires de poules du groupe considéré. Pour n poules, on recensera donc $n(n - 1)/2$ états de dominance/soumission.

Les études entreprises sur les gallinacés par le chercheur de l'Ucl comportent un deuxième volet important, qui s'inscrit dans la sphère de ce que les spécialistes appellent la cognition animale sociale. Très récemment, J. Beaugrand, de l'université du Québec, à Montréal, et l'équipe du Pr Zayan ont démontré

en parallèle que, lors de la formation des hiérarchies linéaires, les poules et les coqs font usage de l'information visuelle qu'ils acquièrent sur des congénères étrangers lorsque ces derniers sont impliqués dans un combat. Ainsi, quand A domine B et qu'ensuite A voit, lors d'un affrontement, B prendre le dessus sur C, un individu étranger, il attaquera immédiatement celui-ci et produira du même coup une hiérarchie transitive où A dominerait C. Or, dans des conditions de contrôle, c'est-à-dire sans information sur le rapport des forces entre ses deux congénères, A ne se ruera sur C qu'une fois sur deux. Il y a donc un opportunisme hiérarchique («un processus d'inférence perceptive du rang hiérarchique», dit René Zayan) qui ne peut se manifester si les animaux sont privés d'informations visuelles sur leurs congénères.

«Ce mode de fonctionnement garantit une hiérarchie linéaire dans 100 % des cas, insiste René Zayan.» Or, la probabilité théorique qu'une telle hiérarchie s'établisse n'est que de 75 % dans une triade et de 37,5 % dans une tétrade, par exemple. Les relations



Elles diffèrent un mois plus tard des poussins vus en photo à 2 jours

hiérarchiques en vigueur dans les petits groupes de poules font songer à un automate strictement déterministe, dont le caractère inéluctable tiendrait à l'acquisition d'informations que les membres de la colonie recueillent en observant leurs congénères. Il est clair que la reconnaissance individuelle constitue un mécanisme qui facilite la linéarité jusqu'à la rendre systématique.

En outre, une des hypothèses avancées pour expliquer que la hiérarchie linéaire commence à se briser lorsqu'un groupe de gallinacés dépasse sept ou huit membres est que, plus la population est vaste, plus l'identification perceptive de chaque individu devient floue.

La reconnaissance individuelle intervient pour stabiliser les hiérarchies linéaires, parce que chaque individu B de rang inter-

médiaire fait constamment la distinction entre son dominant A, qu'il évite d'attaquer, et son subordonné immédiat C, qu'il ne fuit jamais et qu'il peut toujours menacer sans risque.

Ces recherches constituent, à la grande satisfaction de René Zayan, une provocation à l'égard de tous ceux qui croient à la stupidité des poules, qui suivent comme des moutons la réputation «flatteuse» dont la tradition cartésienne a affublé ce volatile domestique.

Mais ces études sont iconoclastes sur un autre plan. En effet, l'éthologie qui étudie le bien-être des animaux domestiques a confirmé le postulat d'Arthur Schopenhauer que la souffrance mentale d'une espèce animale est d'autant plus intense que ses représentations mentales sont complexes, abstraites : sensibilité et intelligence (ou, comme on dit aujourd'hui, émotion et cognition) vont de pair. «Dans une société où l'on juge que les animaux doivent être d'autant mieux protégés qu'ils sont intelligents, les résultats de nos travaux plaident en faveur de la défense du bien-être des poules pondeuses dans les élevages industriels», conclut René Zayan.

Le parler des banlieues

Mélange de français, de verlan et de mots étrangers, le parler des banlieues est devenu la langue de référence des jeunes des cités. Mais loin de les libérer, elle oblitère toute possibilité d'ouverture sur l'extérieur.

Une nouvelle langue est-elle sur le point d'éclore sous nos yeux ? Ni argot, ni français populaire, le parler des jeunes des cités défavorisées des banlieues ne cesse d'intriguer, par sa singularité, les spécialistes. Aussi, le linguiste en est-il à se demander s'il relève de la création pure ou s'il n'est qu'un français remodelé ? Le sociologue, lui, se pose la question de savoir si ce parler est condamné à évoluer dans des milieux restreints ou, au contraire, susceptible de supplanter le français, comme, en d'autres temps et d'autres lieux, le turc remplaça le grec, en Asie mineure au XI^e siècle.

La formation de toute langue suit des règles. C'est ainsi que le français est le résultat d'un long processus ayant débuté dès le I^e siècle lorsque les habitants de la Gaule furent latinisés par les Romains. Cependant, comme cette latinisation n'était pas uniforme dans toutes les couches de la société, ni dans toutes les régions, plusieurs dialectes se formèrent. Au XVI^e siècle, l'un d'eux, celui parlé par le roi et par les habitants de l'Île-de-France, le français, domina bientôt les autres et s'imposa comme langue officielle du royaume. Il ne restait plus aux grammairiens qu'à stabiliser le vocabulaire, à normaliser la syntaxe et à fixer les règles grammaticales.

Le parler des banlieues, quant à lui, fait partie d'un mouvement culturel, appelé hip-hop, qui a pris racine à New York, dans le quartier du Bronx, au cours des années soixante-dix, et qui a généré, en musique, le rap, et en peinture, le tag et le graffiti. Après s'être répandu aux États-Unis, le mouvement a essaimé à travers le monde où il fut adopté par les jeunes des banlieues des grandes villes, comme signe de reconnaissance.

Des gestes pour grammaire

Quand les mots font défaut, la gestuelle hip-hop s'avère tout autant chargée de sens qu'une phrase entière. Mais seuls les initiés peuvent la comprendre.



Du point de vue linguistique, le parler des jeunes n'a pas subi la longue maturation du français. Il s'est formé en l'espace de quelques années avec la fixation de communautés étrangères dans les banlieues. Puis il a fait tache d'huile sur les populations locales de même niveau social.

LA PROSODIE À L'ÉTUDE

Depuis que ce parler a fait l'objet de colloques, de livres, de thèses, de mémoires, d'exégèses et même d'une encyclopédie intitulée *Comment tu t'atches ! Dictionnaire du français contemporain des cités*, par Jean-Pierre Goudaillier, il n'est plus considéré comme une bête curieuse. Cependant, ces études ont surtout traité du côté lexical, c'est-à-dire du vocabulaire, alors que l'aspect prosodique, c'est-à-dire le rythme et la mélodie des phrases, était laissé de côté. Il vient d'être abordé par deux phonéticiennes du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Danielle Duez et son assistante Marie-Hélène Casanova (laboratoire Parole et Langage, université de Provence, Aix-en-Provence).

Pour se familiariser avec cette langue, Marie-Hélène Casanova a fait appel à un corpus basé sur des cassettes de films, entre autres *La Haine* de Mathieu Kassovitz, *Rai* de Thomas Gilou, et sur des émissions télévisées réalisées dans les banlieues chaudes et dans les pri-

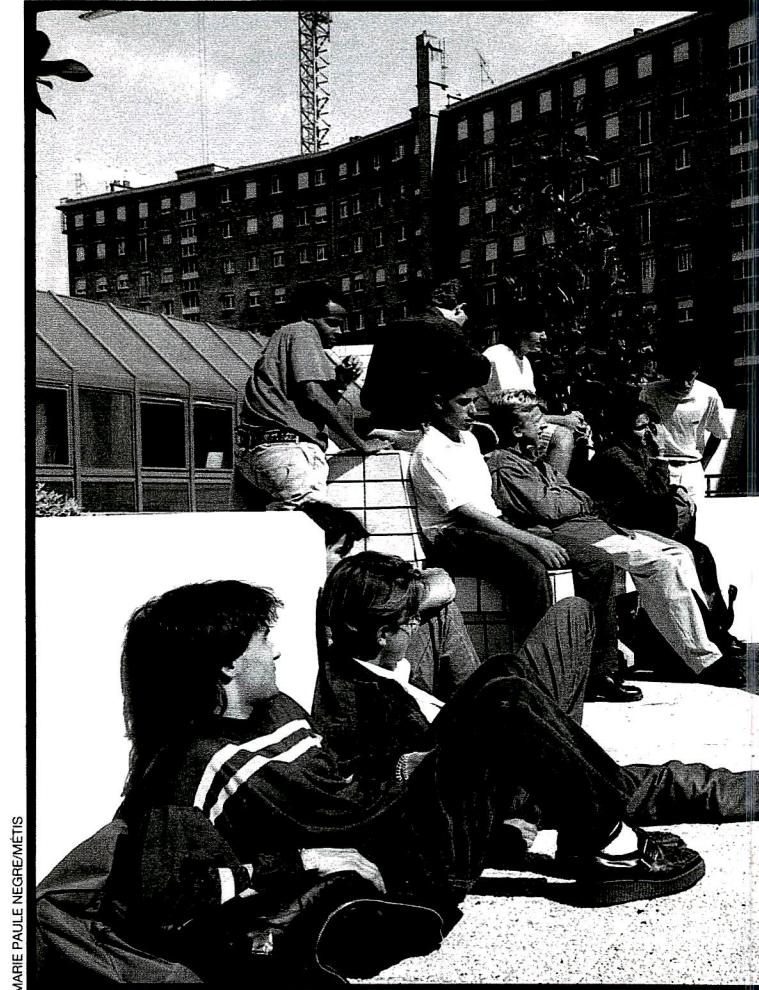
sons. Puis, elle a enregistré sur des fichiers informatiques sonores les morceaux les plus typiques de ces documents. Enfin, à l'instar des philologues d'Alexandrie qui discutaient de l'interprétation à don-

c'est une succession de phrases indépendantes, qui abordent les grands thèmes de discussion des jeunes : le sexe, l'argent, la drogue, la police.

Le vocabulaire, quant à lui, est

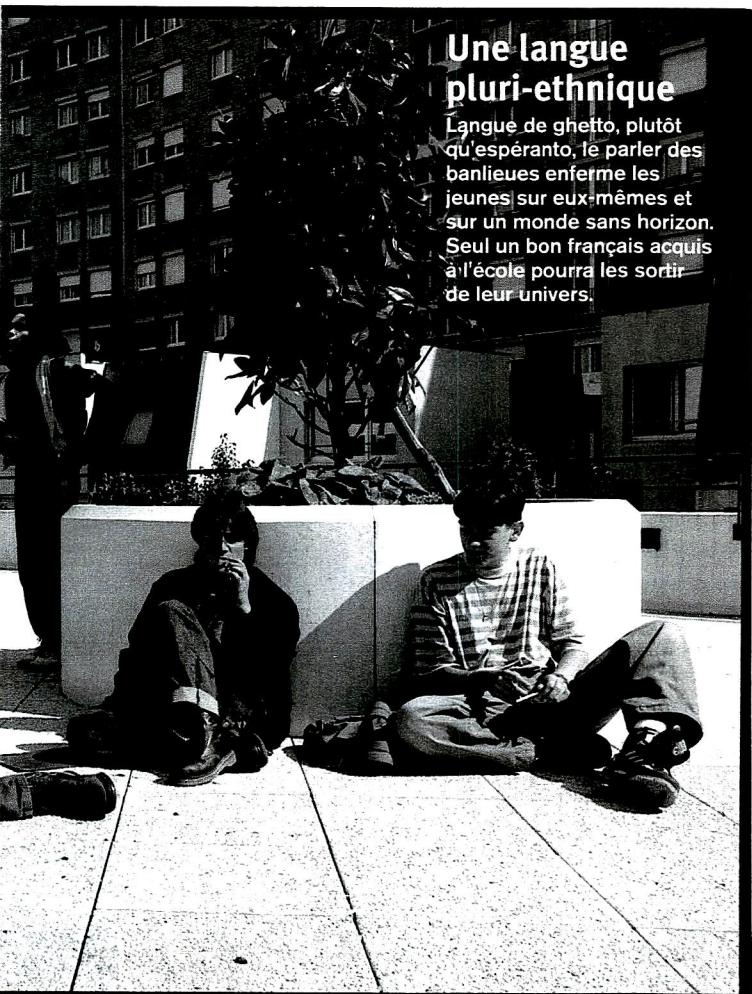
constitué à 80% de mots français, à 10% de mots verlan, c'est-à-dire de mots français inversés, par exemple "zarbi" pour bizarre, "ripou" pour pourri et à 10% de vocables empruntés à des langues étrangères. Par exemple, être ai-way provient de l'anglais *highway* et signifie être bien; *kiffer* (plaire) est d'origine maghrébine; *crillave* (manger) est tiré du gitan; *faya* (fatigué) serait d'origine africaine.

Une deuxième constatation : le verlan respecte la structure syllabique de base du français. La majorité des mots de notre langue est, en effet, constituée de syllabes comprenant une consonne suivie d'une voyelle comme dans



MARIE PAULE NEGRE/METIS

Une langue fondée sur le détournement de mots existant déjà



Une langue pluri-ethnique

Langue de ghetto, plutôt qu'espéranto, le parler des banlieues enferme les jeunes sur eux-mêmes et sur un monde sans horizon. Seul un bon français acquis à l'école pourra les sortir de leur univers.

pétard, "tarpé"; bordel, "delbor". En revanche, s'il est polysyllabique et terminé par un e muet, celui-ci est supprimé et l'ordre des syllabes est inversé : musique donne "zikmu", baraque, "rakba". S'il n'est pas terminé par un e muet, les syllabes sont réorganisées et inversées. Ainsi tabouret donne "rebuta"; cigarette, "garetsi"; karaté, "tekara".

ORGANISATION LINGUISTIQUE

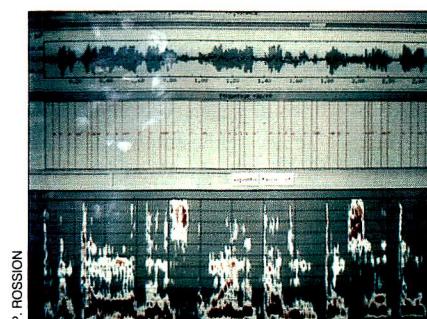
En ce qui concerne le rythme de la parole, les chercheurs s'accordent à reconnaître qu'il est caractérisé, d'une manière générale, par la répétition à intervalles réguliers de structures plus ou moins complexes. « Chaque langue a sa propre organisation rythmique. Ainsi l'anglais et le français appartiennent-ils à deux types rythmiques différents », précise Danielle Duez. Par exemple, l'anglais est une langue "à accent de mot variable" (le sens du mot change avec la localisation de l'accent dans le mot). Quand, dans le mot import, l'accent est placé sur port, il signifie importation; quand il est placé sur im, il veut dire importer. La perception du rythme de l'anglais est donc fondée, entre autres, sur la répétition de ces accents, à intervalles plus ou moins réguliers.

Le français, en revanche, n'a pas d'accent lexical, c'est-à-dire portant sur les mots, mais un accent de syntagme, c'est-à-dire portant

parole ou défilé. Alors que dans l'anglais et l'allemand, on trouve surtout la structure consonne-voyelle-consonne comme dans *window* et *fenster*, qui signifient fenêtre en anglais et en allemand. Le verlan inverse et redistribue les consonnes et les voyelles afin de garder la même structure consonne-voyelle.

Le verlan n'est pas une création mais plutôt du français recombiné. Si le mot est monosyllabique et terminé par un e muet, comme mère, les syllabes inversées donnent reume. En revanche, s'il est terminé par une consonne, on ajoute un e muet à la fin du mot et on inverse. Ainsi flic donne ke-

fli. Et s'il est terminé par une voyelle autre que le e muet, les constituants de la syllabe sont inversés : fou donne "ouf". Si le mot est bisyllabique, il est recomposé en inversant les syllabes. Par exemple, basket donne "sketba",



P. ROSSION

Voir ce qu'on écoute

La langue des banlieues se distingue du français par une vitesse d'élocution rapide (en moyenne, 7 syllabes à la seconde contre 5), avec accélérations et ralentissements brusques du débit, d'où son aspect haché.

sur les différents éléments de la phrase. Par définition, un syntagme est un groupe de mots ayant une fonction prépositionnelle, nominale, verbale ou adjetivale. Par exemple, dans la phrase : "Tous les jours, le petit garçon va à l'école", il y a trois syntagmes. Le premier, "tous les jours" est le syntagme prépositionnel; le deuxième, "le petit garçon", est le syntagme nominal; le dernier, "va à l'école", est le syntagme verbal.

Dans la conversation, on accentue généralement la dernière syllabe de chaque syntagme. C'est pourquoi on appelle cette syllabe proéminente finale. Par exemple, dans la phrase : "le Président de la République est arrivé", on a deux proéminentes finales. La première est la syllabe "que" de république, la seconde est la syllabe "vé" de arrivé. A la proéminence finale peut s'ajouter une proéminence dite initiale, située sur la première syllabe d'un mot du syntagme. Ainsi "pré" de président est une proéminente initiale. Elle a

mique, puisque borné à gauche par la proéminente initiale "pré" et à droite par la proéminente finale "que". Le plus souvent un groupe rythmique correspond à un syntagme. Dans le français parlé courant, chaque groupe rythmique a, en moyenne, six syllabes et la vitesse d'élocution est de cinq syllabes par seconde.

Troisième constat : comme le français standard, le rythme du parler des banlieues est dû à la présence de groupes rythmiques bornés par des syllabes proéminentes. Il diffère de notre langue par une vitesse d'élocution plus rapide (7 syllabes, en moyenne, par seconde, contre 5 pour le français courant) et par le nombre irrégulier de syllabes composant les groupes rythmiques successifs. Les groupes rythmiques très longs sont obtenus par désaccentuation des syllabes finales.

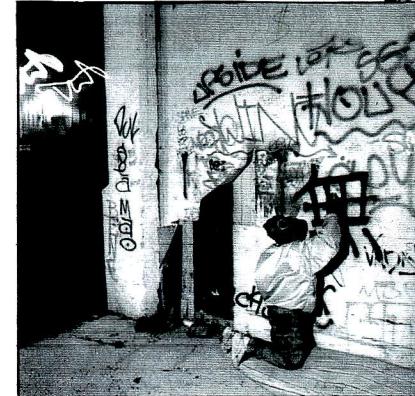
Les groupes rythmiques qui pos-

sent le plus de syllabes (12 ou plus) sont ceux qui sont débités le plus rapidement. Ainsi dans la phrase : "même qu'à un moment donné ce con-là il a perdu une pompe sur l'autoroute", le premier groupe rythmique qui va jusqu'à une pompe comprend 15 syllabes, prononcées en une seconde. Alors que le second, qui va jusqu'à "autoroute", n'en comprend que 4, articulées plus lentement, en un peu moins d'une seconde.

Les accélérations et les ralentissements brusques de l'élocution donnent au parler des banlieues son aspect haché. Cette discontinuité du débit présente une certaine ressemblance avec le rap, qui est la musique de référence des jeunes.

Le parler des banlieues peut-il caractériser de manière uniforme une communauté sociale ? Non, car il s'agit d'un parler qui varie d'une banlieue à l'autre. Par exemple pour la phrase : "C'est dur de s'en sortir, on s'ennuie, alors on cherche des histoires aux garçons, on vole pour avoir de l'argent, puis on finit en prison". Jean-Pierre Goudaillier a relevé plusieurs versions. Dans les quartiers nord de

SAID BELLOUMI/SYCAMORE



XAVIER LAMBOURS/METIS

Le parler des banlieues est devenu un signe d'appartenance à une "tribu"

une fonction démarcatrice, c'est-à-dire qu'elle permet de séparer les mots. On la trouve fréquemment dans la parole des présentateurs de journaux télévisés. Les autres syllabes sont donc non proéminentes.

PRONONCIATION PRÉCIPITÉE

Les syllabes non proéminentes bornées à droite par la syllabe proéminente finale et éventuellement à gauche par la syllabe proéminente initiale constituent un groupe rythmique, unité de base du rythme du français. Pour reprendre notre exemple "Président de la République" est un groupe ryth-

séquent le plus de syllabes (12 ou plus) sont ceux qui sont débités le plus rapidement. Ainsi dans la phrase : "même qu'à un moment donné ce con-là il a perdu une pompe sur l'autoroute", le premier groupe rythmique qui va jusqu'à une pompe comprend 15 syllabes, prononcées en une seconde. Alors que le second, qui va jusqu'à "autoroute", n'en comprend que 4, articulées plus lentement, en un peu moins d'une seconde.

Autre exemple : "Tu te rappelles le jour où on est venu avec ces deux meufs et que tu as dit, hé ! Youness (1), c'est des toxicos ces deux-là". Cette phrase comprend

.....

1 - Youness est un prénom



La gamme d'expressions

Le gamin (à gauche) et la toupie (ci-dessus) sont les deux langues artistiques les plus significatives. Le premier s'expose au public dans les classes de danse.

Marseille, cela donne : "C'est la guinguette, on rama, alors on embrouille les gadjots, on estanque pour avoir des mapes puis on finit à la heps". A Vaulx-en-Velin, dans la banlieue lyonnaise, on aura : "C'est le hes, on rouille, alors on balnave les pelos, on chourave pour avoir du bail, puis on finit à la rate". A Créteil, dans la banlieue parisienne : "C'est le delbor, on ga-

lère, alors on rotca les keums, on peta pour avoir du genar et on finit au zon".

Le parler des banlieues a essentiellement une fonction identitaire et emblématique. Il a pour but de marquer une appartenance à un groupe social. Et il ne fait qu'enfermer davantage les jeunes dans ces espaces marginalisés que sont devenues les banlieues des grandes

villes. D'ailleurs, dès que les mots perdent leur caractère hermétique, ils sont à nouveau transformés afin d'être incompris à l'extérieur de la cité. Dans la banlieue parisienne flic se dit maintenant "keuf" après s'être prononcé "keff"; mec est devenu "keum" après être passé par "kemé"; femme se dit "meuf" alors qu'avant on disait "mefa".

UNE LANGUE QUI EMPRISONNE

Doit-on encourager ce parler ou, au contraire, le limiter autant que faire se peut? Alain Bentolila, professeur de linguistique générale à l'université Paris V, a son avis sur la question. « Le français est une langue vivante et il est normal qu'il évolue. Cependant, je ne suis pas de ceux qui sont ébahis par le pittoresque du langage des jeunes, car derrière ce pittoresque se cache une extrême pauvreté. Il faut, en effet, bien comprendre qu'une langue est un instrument de pouvoir. Or, quand on dispose d'un vocabulaire réduit, d'une grammaire imprécise et d'une absence de concepts, on ne peut ni imposer sa pensée, ni communiquer avec les autres. Et le professeur d'ajouter : Le parler des banlieues n'est branché que pour ceux qui possèdent déjà une bonne maîtrise de la langue française. Elle leur permet de se pavanner, à peu de frais, dans les milieux snobs où ce langage est de mise. Mais dès qu'ils retrouvent une vie sociale normale, ils abandonnent ce parler, au profit du vrai français. Le jeune des banlieues, lui, n'a pas ce recours. Bref, on revient toujours à la même problématique : le riche s'enrichit aux dépens du pauvre, tandis que le pauvre reste pauvre ». Pour sortir de ce cercle vicieux, le rôle de l'école est donc fondamental. A condition que les professeurs ne se mettent pas, eux aussi, à parler le langage des jeunes dont ils ont la responsabilité. ■

La légion frappe en silence

Vingt-huit décès et deux cent quatorze personnes hospitalisées. Tel est le bilan de l'exposition florale qui s'est tenue en février dernier dans la banlieue d'Amsterdam (Pays-Bas). A l'origine de cette hécatombe, la vapeur d'eau qui s'échappait d'un stand de démonstration pour jacuzzi (bain chaud à remous). En déambulant dans les allées, les victimes ont inhalé l'air humide chargé en *Legionella*, un germe aquaphile

Sources de contamination non révélées, malades insuffisamment informés... Le mutisme des autorités sanitaires est à la hauteur du nombre de victimes :

inquiétant. En France, la "maladie du légionnaire" touche quelque 3000 personnes chaque année.



H. RAGET

PAR CHRISTOPHE LABBÉ ET OLIVIA RECASENS

ellose

Promenade à risque

L'été dernier, à Paris, la vapeur d'eau chargée en légionnelles qui s'échappait du système de refroidissement d'air d'un immeuble a contaminé une vingtaine de passants, boulevard des Italiens. Ci-dessous, bactérie *Legionella pneumophila*, la plus virulente, responsable de 90 % des cas d'infection.



Légionellose

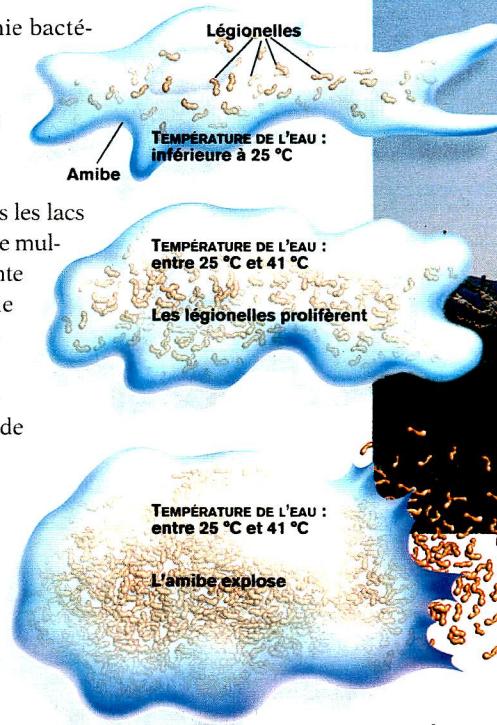
responsable d'une pneumonie bactérienne baptisée légionellose ou "maladie du légionnaire" en référence à la première épidémie, identifiée en 1976 (voir encadré page 107).

Naturellement présentes dans les lacs et les rivières, les légionnelles se multiplient dans une eau stagnante dont la température varie entre 25 et 41 °C. Celle destinée aux jacuzzi avait "mijoté" dans les canalisations jusqu'à atteindre un million de *Legionella* par litre !

À MULTIPLIER PAR CINQ

En France, la légionellose est, depuis 1987, une maladie à déclaration obligatoire qui fait partie des dix pathologies infectieuses les plus surveillées. L'année dernière, plus de quatre cents cas ont ainsi été déclarés. Un chiffre qu'il faut toutefois multiplier par cinq, de l'aveu même des autorités sanitaires. « Les cas isolés ont tendance à passer inaperçus, car cette maladie peut s'apparenter à une pneumonie classique. On estime d'ailleurs que 20 % des pneumopathies hospitalisées sont en fait des légionnelloses », indique, à l'Institut de veille sanitaire, Bénédicte Decladt, qui a mené l'enquête lors de l'épidémie survenue à Paris l'année dernière. Alors que la Coupe du Monde battait son plein, onze Français, sept touristes britanniques, un touriste danois et un suédois ont été contaminés tout simplement en marchant dans la rue. Les victimes ont passé en moyenne vingt-cinq jours en réanimation. Quatre d'entre elles sont mortes à l'hôpital.

« Le 30 juin, dès le deuxième cas déclaré, nous avons lancé une enquête en collabo-



Cheval de Troie

Pour se développer en toute discréption, la *Legionella* investit une amibe, une bactérie aquaphile unicellulaire qui lui sert de coque de protection. Lorsque la température du milieu varie entre 25° et 41 °C, les légionnelles prolifèrent jusqu'à faire exploser l'amibe. Elles se répandent alors dans l'eau, et le cycle recommence.

ration avec la direction des Affaires sanitaires et sociales de Paris, pour déterminer l'origine de

la contamination, indique Bénédicte Decladt. Nous avons interrogé les malades et leurs proches afin de repérer les lieux publics qu'ils avaient fréquentés dans les dix jours précédant les premiers symptômes. » Petit à petit, l'eau s'est resserré sur les 2^e et 9^e arrondissements de Paris, avec en ligne de mire les tours aéroréfrigérantes à ciel ouvert, sources potentielles de contamination. Posées sur les toits d'immeubles, ces tours, qui permettent, en produisant de l'eau froide, de rafraîchir l'air climatisé à l'intérieur des bâtiments, évacuent la chaleur vers l'extérieur sous forme d'un panache de vapeur. « Si l'eau du circuit de refroidissement est contaminée par des *Legionella*, la tour peut diffuser ces bactéries dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres », explique le Dr Fabien Squinazi, responsable du Laboratoire d'hygiène publique de la Ville de Paris. Lors de l'épidémie qui a frappé la capi-





De si jolis panaches
Certaines tours de refroidissement des centrales nucléaires relâchent dans l'atmosphère de la vapeur d'eau potentiellement contaminée. A ce jour, aucune étude épidémiologique n'a encore été réalisée sur les populations qui vivent à proximité.

J.-P. DAUDET/STATUS/COSMOS

CENTRALES NUCLÉAIRES

ALERTE AUX LÉGIONELLES

■ Jusqu'à 20 000 légionnelles par litre, c'est ce qui ressort d'analyses effectuées par EDF il y a quatre ans dans l'eau des tours de refroidissement des centrales nucléaires de Chinon (Indre-et-Loire), Dampierre (Loiret) et Saint-Laurent (Loir-et-Cher). Quant aux panaches

de vapeur eux-mêmes, une à dix *Legionella* par mètre cube y ont été détectées. « Ce sont les seuls résultats dont nous disposons pour le moment », indique le Dr Pierre-André Cabane, membre du service des études médicales à EDF. Et de préciser : « La hauteur et le tirage de nos tours

favorisent la dispersion atmosphérique ce qui limite fortement la probabilité d'inhaler une *Legionella*. » Si l'entreprise n'a jamais relevé de cas de légionellose parmi son personnel, aucune étude épidémiologique n'a été réalisée sur les populations exposées au panache des centrales nucléaires. Quoi qu'il en soit, EDF, qui prend l'affaire au sérieux, planche en secret avec le CNRS sur une nouvelle méthode capable de détruire 90 % des légionnelles. Elle sera testée grandeur nature en septembre prochain dans un établissement hospitalier fortement pollué.

tale, c'est ce laboratoire qui a effectué des prélèvements dans l'eau de sept installations suspectes. Six se sont révélées contaminées. En comparant le profil génomique (en clair, la structure moléculaire) des souches isolées dans l'eau avec celui des souches prélevées chez six des victimes, le Centre national de référence des légionnelles de l'hôpital Edouard-Herriot, à Lyon, a identifié avec quasi-certitude la source de la contamination. En l'occurrence, les trois tours aéroréfrigérantes d'un grand immeuble du 2^e arrondissement de Paris. D'après nos informations, la concentration de *Legionella pneumophila* dans l'eau des trois tours atteignait alors près de 200 000 par litre. Un an après, les autorités françaises refusent toujours de dévoiler l'identité du propriétaire. Quant aux vingt victimes officiellement déclarées, rien ne permet de certifier qu'elles aient toutes été mises au courant de la cause exacte de leur contamination. Une attitude d'autant plus troublante que ce type d'accident n'est pas une fatalité : il est généralement consécutif à un défaut d'entretien. D'ailleurs, depuis avril 1997 une circulaire préconise des opérations régulières de désinfection, rendant ainsi quasi nulle la possibilité pour une tour aéroréfrigérante de diffuser un panache contaminé. *Science & Vie* a identifié le bâtiment incriminé : situé au 31, boulevard des Italiens, il était occupé à l'époque par une filiale de la société d'assurances Axa. Jointe par téléphone, la direction de la communication du groupe refuse de s'exprimer tant que le ministère de la Santé ne désigne pas officiellement le propriétaire de l'immeuble.

RECENSEMENT APRÈS ELECTROCHOC

Cette épidémie a toutefois eu l'effet d'un électrochoc dans certains services publics. Ainsi, à la RATP un "chef de projet légionellose" veille désormais sur la qualité bactériologique des trois tours aéroréfrigérantes à ciel ouvert que l'entreprise possède en banlieue parisienne, et aussi sur les systèmes à moindre risque comme les batteries à eau glacée qui refroidissent l'air du RER et des guichets. De son côté, la préfecture de Police de Paris s'est attelée au recensement dans la capitale et la petite

Légionellose



Pernicieux échanges

Située le plus souvent sur les toits d'immeubles, les tours aéroréfrigérantes produisent de l'eau froide en évacuant la chaleur vers l'extérieur sous forme de vapeur. Si l'eau chaude (environ 30 °C) qui circule dans le circuit de refroidissement n'est pas traitée régulièrement par chloration ou choc thermique, elle peut très vite devenir un foyer de légionnelles, qui vont ensuite se diffuser dans l'atmosphère, via le panache de vapeur.

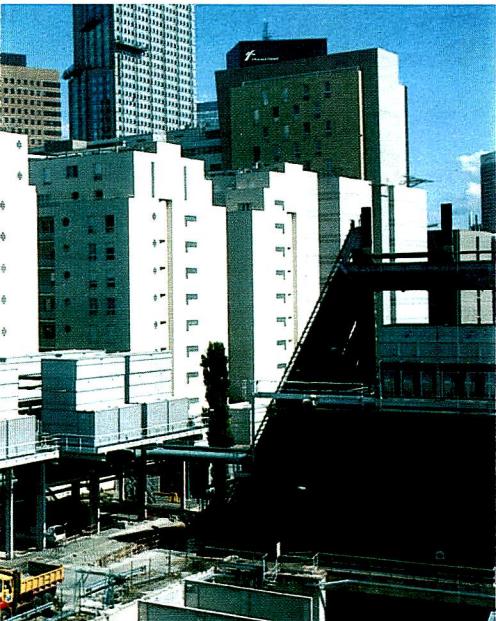


couronne (Seine-Saint-Denis, Hauts-de-Seine et Val-de-Marne) des tours aéroréfrigérantes dont l'évacuation de la chaleur vers l'extérieur se fait par pulvérisation d'eau. Avec en prime la publication d'un arrêté qui, depuis le 27 avril 1999, impose que l'eau de ces installations affiche moins de 1 000 *Legionella* par litre, concentration supposée présenter un risque de contamination relativement faible. L'exploitant est tenu de faire le nécessaire pour maintenir la charge bactérienne en dessous de ce seuil. Si la concentration atteint 100 000 légionnelles par litre, la tour doit être stoppée sur le champ. Une contrainte susceptible de poser problème pour les tours de refroidissement des centrales nucléaires (voir encadré page 103) si les dispositions de l'arrêté sont étendues à toute la France, comme il en est actuellement ques-

tion. En attendant, la préfecture de Police estime à environ cinq cents le nombre de tours aéroréfrigérantes concernées par l'arrêté. C'est le quartier de la Défense, du fait de sa densité en buildings, qui se taille la part du lion. Avec dix-sept tours de refroidissement serrées les unes contre les autres, la société Climadef qui refroidit l'air dans 2,5 millions de mètres carrés de bureaux, y détient le record de la plus grande concentration de tours aéroréfrigérantes d'Europe. De quoi susciter des inquiétudes.

L'HÔTELLERIE EN PREMIÈRE LIGNE

Depuis novembre 1997, cinq cas de légionellose ayant provoqué trois décès ont en effet été déclarés à la DDASS des Hauts-de-Seine, qui couvre le quartier de la Défense, sans que l'on puisse en déterminer précisément l'origine. « Pour prévenir toute contamination du panache, nous avons multiplié les précautions, rassure Christian Bertaux, directeur technique de Climadef. Chaque année nous procédons à deux chocs thermiques qui consistent à porter la température du circuit d'eau à 70 °C pendant deux heures afin de détruire les légionnelles. S'y ajoute un traitement de fond par injection massive de chlore. Actuellement, nous sommes en dessous de 50 légionnelles par litre. » Il n'en de-



En rang d'oignons

Dix-sept tours de refroidissement alignées côte à côté, dans le quartier d'affaires de la Défense, à Paris... Il s'agit de la plus grande concentration en Europe. Chaque jour, un panache de un million de litres d'eau est largué sous les fenêtres des habitations, avec tous les risques de contamination.

meure pas moins que ces installations larguent chaque jour un panache équivalent à un million de litres d'eau, directement sous les fenêtres des immeubles d'habitation alentour.

Mais les tours aéroréfrigérantes à ciel ouvert ne constituent pas l'unique source de contamination. « L'essentiel des légionnelles

responsables d'épidémie se cachent en fait dans les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire », explique le Dr Squinazi. A l'origine d'environ 20 % des cas déclarés de légionellose, l'hôtellerie est en première ligne. Il y a deux ans, seize Français ayant séjourné dans un hôtel d'Istanbul ont attrapé la légionellose. Quatre d'entre eux sont morts à leur retour. « Les *Legionella* se développent dans les canalisations des chambres qui restent inoccupées pendant plusieurs semaines », explique Didier Mallé, responsable du département Environnement et hygiène du Bureau d'étude Veritas. Un problème sanitaire à propos duquel l'industrie hôtelière française communique peu. Pourtant, lors du Mondial, des listes de chaînes d'hôtels français jugés dangereux pour cause de *Legionella* ont circulé sur internet, via un site américain. « Beaucoup d'hôteliers se donnent bonne conscience en achetant une pompe doseuse pour injecter de l'eau de Javel, un point c'est tout. Neuf fois sur dix, cela ne sert à rien, regrette Jacques Mayet, directeur technique chez BWT France, spécialiste de l'assainissement de l'eau. Il nous est déjà arrivé de refuser de vendre ce type de matériel, quitte à voir le client se tour-

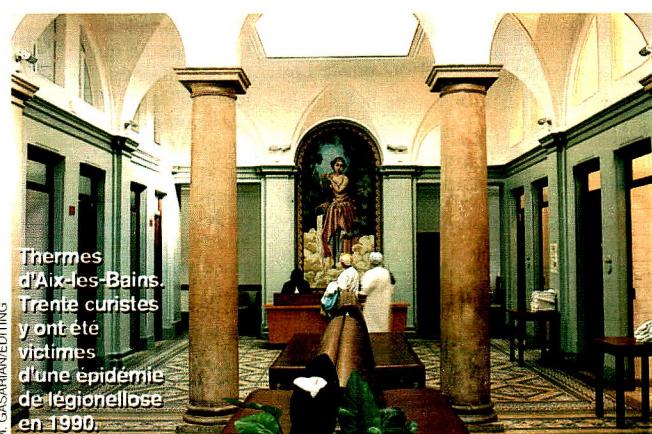
THERMES

L'EAU DES CURISTES CONTAMINÉE

■ En juillet dernier, les thermes de Léchères (Savoie) ont rouvert leurs portes, après plus d'un an de fermeture administrative motivée par la découverte de légionnelles dans l'eau d'un des forages. A l'époque, pour imposer la fermeture provisoire de l'établissement, la direction générale de la Santé avait dû croiser le fer avec les élus locaux, qui agitaient les 195 millions de francs de chiffre d'affaires liés à l'activité thermale et les 400 emplois en jeu. En fait, si la *Legionella* affectionne tant les établissements thermaux, c'est

que tout traitement au chlore y est proscrit. En 1990 déjà, trente curistes du plus grand

établissement thermal de France, celui d'Aix-les-Bains (Savoie), avaient contracté la légionellose.



Thermes d'Aix-les-Bains. Trente curistes y ont été victimes d'une épidémie de légionellose en 1990.

Légionellose

ner vers des confrères moins scrupuleux. » Les professionnels de la désinfection de l'eau réfléchissent d'ailleurs à la mise en place d'une certification. Rien de tel n'existe actuellement. Une situation d'autant plus regrettable que, comme l'indique le Dr Squinazi, « si l'on n'y prend pas garde, c'est toute l'eau domestique qui peut être potentiellement contaminée ». En clair, la bactérie menace les salles de sport, les centres de loisirs aquatiques, les bateaux de croisière... et aussi, dans une moindre mesure, les fontaines publiques, l'été, lorsque l'eau chauffée par le soleil stagne suffisamment longtemps pour faire le plein de *Legionella*.

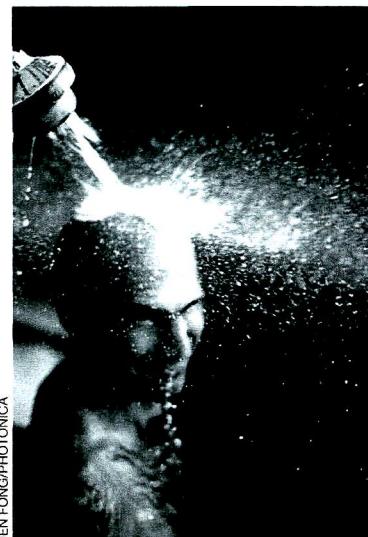
Autre motif d'inquiétude : les ballons d'eau chaude collectifs destinés à l'alimentation des douches dans les appartements. Rien n'interdit de penser qu'on puisse y trouver des *Legionella*.

HÔPITAUX SOUS SURVEILLANCE

Des analyses publiées en 1992 par le Laboratoire d'hygiène publique de la Ville de Paris (1) sur les réseaux d'eau chaude d'immeubles de bureaux ont montré que 74 % d'entre eux étaient contaminés par des légionnelles. Pour en avoir le cœur net, EDF a décidé de lancer une campagne de prélèvements chez deux cents particuliers. Résultats dans deux ans...

Mais la légionellose sévit aussi dans les

(1) "Protozoaires et prolifération des *Legionella* dans les réseaux privés de distribution d'eau", *Journal français d'hydrologie*, tome 3, fascicule 2, pages 251 à 259, 1992.



JEN FONG/PHOTONICA

Douche amère

Les trois quarts des réseaux d'eau chaude sanitaire seraient contaminés par des légionnelles. Il en découle que la majorité des légionelloses sont contractées sous la douche : à l'hôtel comme dans les hôpitaux ou les salles de sports, mais aussi chez soi...

hôpitaux. Selon une étude (2) de la Direction générale de la Santé portant sur la moitié des deux cent six légionelloses recensées en France en 1997, les hôpitaux ont totalisé plus de 18 % des cas. Un chiffre probablement sous-estimé, dans la mesure où le recours au test urinaire capable d'identifier rapidement et sans coup férir une légionellose n'est pas encore entré dans les mœurs. « La maladie du légionnaire a une prédisposition pour les personnes fragilisées du fait de leur âge mais aussi pour les immunodéficients ou les insuffisants respiratoires chroniques », précise le Pr Jérôme Etienne, responsable du Centre national de référence des légionnelles. La plupart du temps les patients se contaminent via les aérosols des douches. Parfois de manière plus insolite. L'année dernière au centre hospitalier intercommunal de Tarbes (Hautes-Pyrénées) deux malades placés sous oxygène sont morts de la légionellose : l'eau chaude du robinet utilisée pour humidifier leurs voies respiratoires

(2) *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, n°6, 1999.



Jeux dangereux

Autres terrains d'action pour la bactérie, les fontaines et jets d'eau publics. Ils génèrent, en été, des aérosols susceptibles d'être chargés en légionnelles, si l'eau a préalablement stagné et chauffé dans les canalisations.

P. LAFAY/EDITION

LES PREMIERS CAS

UNE MALADIE LONGTEMPS MYSTÉRIEUSE

■ En août 1976, dans un hôtel climatisé de Philadelphie (Pennsylvanie), 221 congressistes de l'American Legion Association tombaient subitement malades et 34 d'entre eux décédaient. Les médecins enquêtant sur cette mystérieuse épidémie identifièrent une bactérie qu'ils baptisèrent "Legionella". Après avoir proliférée dans l'eau d'une tour aéroréfrigérante, elle s'était propagée dans l'hôtel via le système de climatisation. Il existe quarante-deux espèces de *Legionella* dont la moitié

sont pathogènes. La plus virulente est la *Legionella pneumophila*, responsable de 90 % des légionneloses. La légionelle peut aussi provoquer une sorte de grippe appelée "fièvre de Pontiac". A peine 1 % des personnes ayant inhalé la bactérie développent la forme grave : une pneumonie aiguë. Toutefois, 60 % des victimes ont déjà une santé précaire et, fait inexpliqué, les hommes sont deux fois plus touchés. Faute d'un traitement rapide à base d'antibiotiques (macrolides, fluoroquinolones), l'issue est fatale dans 15 % des cas.

était semble-t-il contaminée par des légionnelles. La justice est chargée de faire la lumière sur cette affaire, puisqu'une plainte a été déposée par la famille d'une des victimes. La direction du centre hospitalier précise avoir pris depuis l'accident toutes les précautions pour empêcher qu'une telle contamination se reproduise. « Les installations des hôpitaux sont anciennes et mal entretenues, ce qui favorise la prolifération des légionnelles », explique Didier Mallé. Les établissements hospitaliers étant tenus depuis cette année de contrôler au moins une fois par an leur réseau d'eau chaude sanitaire, on ne compte plus les

Victime

Suite au décès de son père à l'hôpital de Tarbes (Hautes-Pyrénées), le Dr Marie-Josée Payot (à dr.) milite pour une meilleure prévention de la légionellose en milieu hospitalier.



H. DUBARRY/NOUVELLE PRESSE

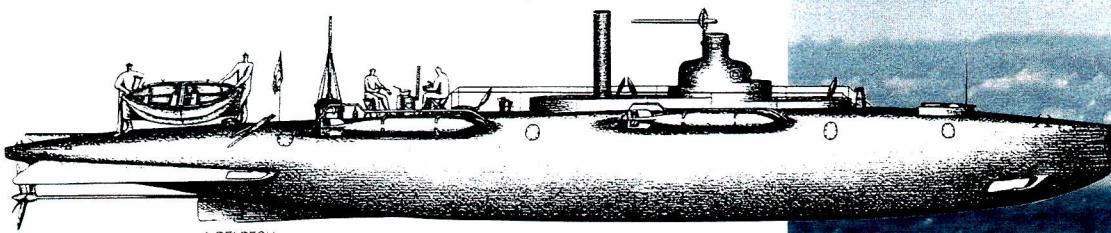
opérations de désinfection commandées en catastrophe. « Nous sommes intervenus dans un hôpital du sud de la France où la contamination dépassait le million de *Legionella* par litre, raconte Jacques Mayet. Pour être efficace il faut dresser au préalable une cartographie du réseau des canalisations afin de s'assurer qu'aucun bras mort n'échappera au traitement. »

Reste ensuite à empêcher le retour des légionnelles. Les solutions existent. Selon une récente étude américaine publiée dans *The Lancet* (3) 90 % des légionneloses en milieu hospitalier pourraient être évitées par l'injection, à titre préventif, dans les circuits d'eau chaude sanitaire d'un dérivé chloré, en l'occurrence de la monochloramine. Pour les Etats-Unis, cela épargnerait jusqu'à 2000 morts chaque année. ■

(3) "Effect of monochloramine disinfection of municipal drinking water on risk of nosocomial Legionnaires disease", *The Lancet*, n° 353, 1999.

Sous-marins Plongée dans la haute

Il y a un siècle, avec le *Narval*, il a été possible de plonger en toute sécurité sous la mer. Cent ans et quelques générations de submersibles plus tard, le *Triomphant*, concentré d'intelligence et de savoir-faire entre en service et assume seul la stratégie de dissuasion française.



Si l'aventure des hommes sous la mer a commencé depuis plusieurs siècles, sa matérialisation opérationnelle date du mois de septembre 1899 quand le *Narval*, le premier navire militaire submersible (voir encadré), a été lancé. Cent ans plus tard, en France, la doctrine de la dissuasion repose à 99% sur la présence permanente, à la mer, d'un sous-marin nucléaire lanceur d'engin (SNLE). Leur dernière génération, concrétisée par la mise en service il y a trois ans du *Triomphant* et bientôt

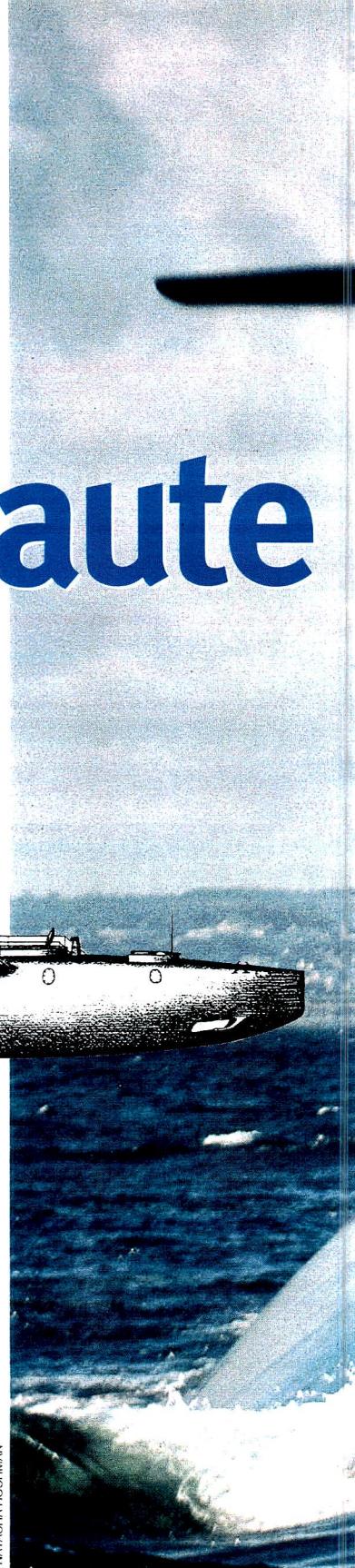
L'ancêtre précurseur

Le *Narval* de Laubeuf, grâce à son architecture et notamment à ses ballasts externes a permis aux hommes de partir à la conquête des fonds marins.

par celle du *Téméraire*, représente près de 14 500 tonnes de très haute technologie. Ils sont aujourd'hui les submersibles les plus silencieux jamais construits au monde. Silence d'or, la clé de la dissuasion et l'assurance, pour notre pays et ses voisins européens, d'être protégés contre des agressions mettant en jeu leur espace vital !

La création d'une stratégie de dis-

NATACHIA HOCHMAN



PAR FRANK JUBELIN

technologie



suation fondée sur ces outils fut évoquée dès 1954 lors d'un Conseil des ministres présidé par Pierre Mendès-France. Soit quatre années avant la mise en service du premier sous-marin nucléaire américain, le *Georges-Washington*.

ENJEU DE LA GUERRE FROIDE

Cependant, l'affaire du canal de Suez, en octobre 1956, apparaît comme un élément fondateur : la France s'était retrouvée politiquement coincée, subissant les menaces de frappes nucléaires soviétiques, menaces soulignées par la passivité complaisante des Américains. Il lui fallait se doter d'une force de dissuasion nucléaire crédible et indépendante, dont les contours seront précisés, en janvier 1964, par Charles de Gaulle : « A partir d'une certaine capacité nucléaire et pour ce qui concerne la défense de chacun, la proportion des moyens respectifs n'a pas de valeur absolue... »

Avec une force de dissuasion opérationnelle, la France et son président de la République disposaient en réalité d'un double moyen de pression. Le premier était de l'ordre de la dissuasion classique à l'encontre des Soviétiques. Le second, beaucoup plus subtil, s'adressait aux pays du Pacte atlantique, et aux États-Unis en premier lieu. En effet, les stratégies élaborées à cette époque montrent que face à une action soviétique conduite en Europe, le fameux "parapluie nucléaire" américain n'était guère plausible. Car, tant que la riposte nucléaire alliée ne dépendait que du bon vouloir d'outre-Atlantique, les risques d'une contre-attaque nucléaire du Pacte de Varsovie, engageant le territoire des USA, étaient immédiats. Une hypothèse intenable, un enjeu trop grave pour les Américains, donc une forte probabilité d'enlisement en cas de conflit, même majeur, en Europe. Une situation

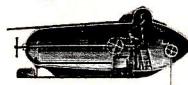
confirmée avec la pression mise pendant trente ans par l'Otan pour développer l'armement classique sur ce continent.

L'ARME ESSENTIELLE DE LA DISSUASION NUCLÉAIRE

En revanche, l'annonce forte et claire faite par la France, d'une riposte non graduée de nature nucléaire, représentait une sorte de coup de semonce virtuel. Après l'éclatement de l'empire soviétique dans les années 90, le péril est devenu diffus, sans doute amoindri. Côté dissuasion, le système s'est allégé, avec la disparition des missiles du plateau d'Albion ainsi que celle des moyens aéroportés. Désormais, le potentiel nucléaire français ne repose pratiquement plus que sur un seul sous-marin en mission doté des seize missiles M 45, munis de têtes thermonucléaires TN 75. S'il était détruit, la dissuasion française n'existerait plus. En revanche, les zones de patrouille, tenues secrètes, ont été élargies. Soixante-dix jours le long des côtes atlantiques, en Méditerranée ou dans l'océan Indien. Avec une portée supérieure à 6 000 kilomètres, plus aucun objectif potentiel n'est inaccessible. Paradoxalement, c'est au moment où la dissuasion semble le moins cruciale qu'elle est enfin devenue, sur le plan matériel, pleinement opérationnelle. Non sans mal, au prix d'efforts financiers considérables et de beaucoup d'ingéniosité technologique. Et cela trente ans après le lancement du premier SNLE, le *Redoutable*! Il

DEUX SIECLES DE SUBMERSIBLES

Type



1 800 Nautilus

Caractéristiques

Vitesse : 3 nœuds
Longueur : 8 m
Immersion : 10 m
Effectif : 3 hommes



1 899 Narval

Innovations

Le bateau-poisson propulsé par une hélice + les barres de plongée

Vitesse : 10 nœuds
Longueur : 34 m
Immersion : 30 m
Effectif : 12 hommes

Ballasts à l'extérieur de la coque + deux motorisations (surface - en plongée)

Vitesse : 16 nœuds
Longueur : 45 m
Immersion : 120 m
Effectif : 48 hommes

Diesel puissant et fiable permettant de recharger les accumulateurs pour la navigation en plongée

Vitesse : 18 nœuds
Longueur : 110 m
Immersion : 80 m
Effectif : 150 hommes

Le plus grand de son temps + un canon de 205 mm + un hydravion d'observation

Vitesse : + de 20 nœuds
Longueur : 128 m
Immersion : + de 300 m
Effectif : 145 hommes

Total autonomie grâce à l'énergie nucléaire doté de 16 missiles stratégiques M20

Vitesse : + de 30 nœuds
Longueur : 138 m
Immersion : + de 500 m
Effectif : 111 hommes

Discretion acoustique absolue, transmission 24h/24 sécurisée, 16 missiles MSBS 45



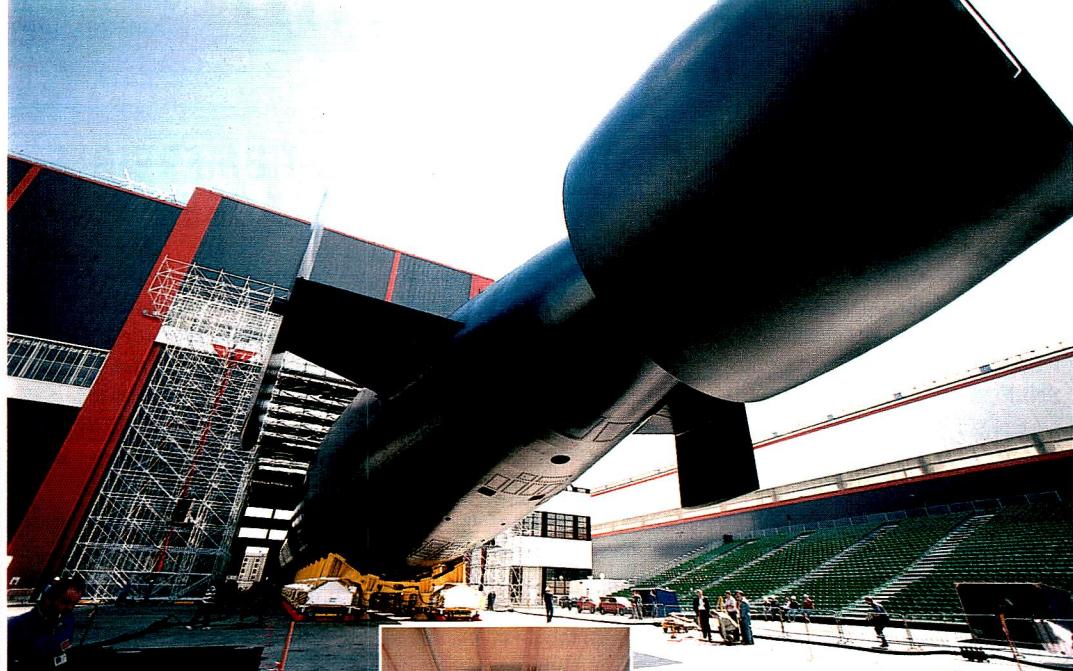
1 929 Surcouf



1 967 Redoutable



1 993 Triomphant



est toutefois amusant de constater qu'à un siècle de distance des solutions techniques similaires ont permis aux submersibles de construction française d'être en pointe. L'avancée décisive du *Narval* de Maxime Laubeuf fut d'entourer la coque épaisse d'un sous-marin d'une carlingue assurant la flottabilité au moyen de ballasts volumineux. L'évolution technologique majeure qui donne au *Triomphant* sa crédibilité (grâce à sa discréetion acoustique) a été de créer une sorte de sous-marin à double coque.

LE MONDE DU SILENCE

La coque centrale où vit l'équipage, où est produite l'énergie et qui assure la propulsion, autant de sources de bruits inévitables, est suspendue au moyen de liaisons souples amortissantes, à l'intérieur d'une autre coque dont la forme profilée permet un passage aussi silencieux que souhaitable dans la mer. Le bruit généré serait inférieur au bruit de fond des océans (bruit de fond créé par la vie animal et les mouvements de houle). « Pour écouter l'adversaire, on met des hydrophones partout le long de la coque (sauf à l'arrière, au niveau

de l'appareil de propulsion), précise le capitaine de vaisseau Georges-Henri Mouton, l'officier de programme SNNG (sous-marins nucléaires nouvelle génération) de la Marine nationale. Les hydrophones eux-mêmes n'évoluent guère. Ce qui change, c'est la puissance de calcul mise derrière... »

« Nous sommes dans le domaine du non-emploi. La clé de la dissuasion, c'est d'être le plus silencieux possible et d'entendre l'adversaire le premier, reprend le C.V. Mou-

Un secret bien gardé

Le mode de propulsion du *Triomphant* et notamment son hélice (ci-dessus) restent à l'abri des regards indiscrets. La nouvelle chaufferie nucléaire K-15 est du même modèle que celles du *Charles-de-Gaulle*.

mie que seule la propulsion nucléaire autorise. La première piste, défrichée au début des années 60, mettait en œuvre un réacteur à uranium naturel-eau lourde. La masse de ce réacteur était telle, que le volume total du sous-marin (baptisé Q-244) n'y aurait pas suffit! L'utilisation du même principe de chaudière que celles retenues par EDF pour les centrales électriques, une technologie fiable et éprouvée, permettra d'intégrer une chaudière dans un corps de sous-

14 500 tonnes de technologie au fond des océans grâce à une idée centenaire

ton. Un SNLE assure la frappe en second; s'il est repéré, la dissuasion ne fonctionne plus. » Pour assurer sa discréetion, un sous-marin lanceur d'engins doit rester en permanence tapis au fond des océans. Il lui faut posséder une large autonomie.

marin. Le premier SNLE (baptisé projet Q-252) mis en chantier en 1964, avaient un déplacement de 8 000 tonnes (9 000 en plongée) pour une longueur de 128 mètres. Le *Triomphant* est plus long de dix mètres mais son déplacement aug-

mente de 50% ! « La chaufferie nucléaire à loger détermine le maître couple du navire. Avec le *Triomphant*, nous sommes passés d'un tube de 10 à 14 mètres de diamètre, explique le C.V. Mouton. La discréption acoustique a été très gourmande en volume et en masse. » Les améliorations apportées aux SNLE/NG (nouvelle génération) portent sur divers points.

TOUJOURS PLUS PROFOND

Le premier, décisif, concerne la profondeur d'immersion qui est supérieure à 500 mètres (1), soit au moins 35% de plus que les SNLE de la génération de l'*Inflexible*, mis en service il y a seulement une quinzaine d'années. Côté discréption acoustique, l'effort a porté sur l'équilibrage des machines bruyantes, sur l'électromagnétisme (les efforts internes provoqués par les moteurs et génératrices électriques), et sur l'hydrodynamisme (les bruits générés par le propulseur, l'écoulement autour de la carène, ou les fluctuations de pressions dans les tuyauteries). « A bord du *Triomphant*, il y a 130 000 objets (au sens large) distincts; car il n'y a pas que les écoulements à l'origine des bruits, souligne le C.V. Mouton. Le vrai problème à bord, reste d'inscrire la discréption dans la durée; l'équipage doit acquérir cet état d'esprit. Par exemple, on ne ferme jamais les portes brutalement. » Cette discréption acoustique reste le point principal dans les quinze ans à venir. Le saut technologique réalisé a permis d'obtenir un sous-marin émettant 100 fois moins de bruit que ceux de la génération précédente. La détection non acoustique (magnétisme ou repérage du sillage par satellite), n'est pas encore d'actualité : cependant, la seule réponse

.....

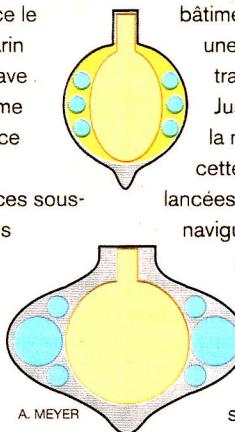
1. Cette profondeur d'immersion est considérée comme "confidentielle défense".

L'INVENTION DU SUBMERSIBLE PAR MAXIME LAUBEUF

■ Le premier bateau pouvant aller sous la mer fut imaginé par le Vénitien Roberto Valturio en 1472. Ce n'est qu'en 1624 que le Hollandais Cornelius Van Drebbel construisit une maquette grandeur réelle, propulsée par douze rameurs et munie d'un système de régénération de l'air. Nul ne sait si elle navigua réellement ! Plus médiatisé sera le *Nautilus* du mécanicien américain Robert Fulton, éconduit par Bonaparte en 1798. Suit près d'un siècle de tâtonnements, avec l'éclosion de dizaines de projets dans divers pays européens avant que ne soit construit en France le *Gymnote*, un sous-marin expérimental de Gustave Zédé et Dupuy de Lome (le promoteur en France des cuirassés et des coques en fer). Tous ces sous-marins présentaient les mêmes défauts : une aptitude à naviguer en surface réduite, un contrôle de l'immersion aléatoire, accompagné d'un comportement en plongée hasardeux ! Car ils étaient tous conçus selon le même principe de ballasts (réservoirs d'air pouvant être remplis d'eau rapidement pour plonger) occupant 3 à 8 % du seul volume intérieur du sous-marin. Une flottabilité insuffisante tandis que l'équipage ne disposait que d'un espace réduit et de faibles réserves d'air. C'est un ingénieur du Génie maritime de 32 ans, Maxime Laubeuf, qui conçut le premier submersible, d'où

dérivent tous les sous-marins actuels. Son prototype, le *Narval*, fut lancé à Cherbourg le 21 septembre 1899. Il avait imaginé le mariage d'une coque légère de torpilleur, permettant de naviguer efficacement en haute mer, avec la coque épaisse d'un sous-marin. Suprême astuce, entre les deux coques, des ballasts volumineux qui assurent une flottabilité de 42%, quand elle plafonnait à 10% lors des tentatives de sous-marins purs. Cette caractéristique conférait au *Narval* une remarquable tenue à la mer. Il pouvait, même de jour, attaquer à la torpille les bâtiments de ligne, devenant une menace pour tout le trafic maritime. Jusqu'alors, les torpilles, la nouvelle arme fatale de cette fin de siècle, étaient lancées à partir de torpilleurs naviguant uniquement de nuit car trop vulnérables. Avec les submersibles façon Laubeuf, la guerre en mer avait subitement changé de nature. Quinze années suffiront pour montrer, vers la fin de la Première Guerre mondiale, leur redoutable efficacité.

Notamment la flotte sous-marine allemande qui n'a pourtant pas participé à la difficile mise au point des submersibles. Profitant des recherches menées par d'autres pays, équipant ses modèles de moteurs Diesel fiables, l'Allemagne imagine la guerre sous-marine à outrance qui fit douter, au cours de l'année 1917, les états-majors alliés !



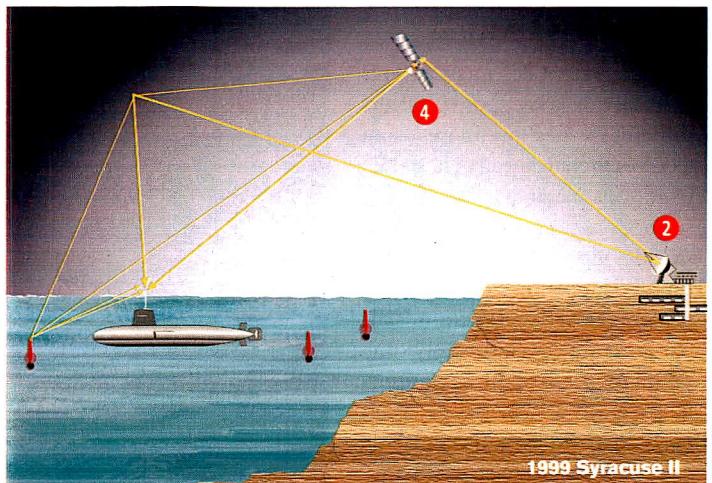
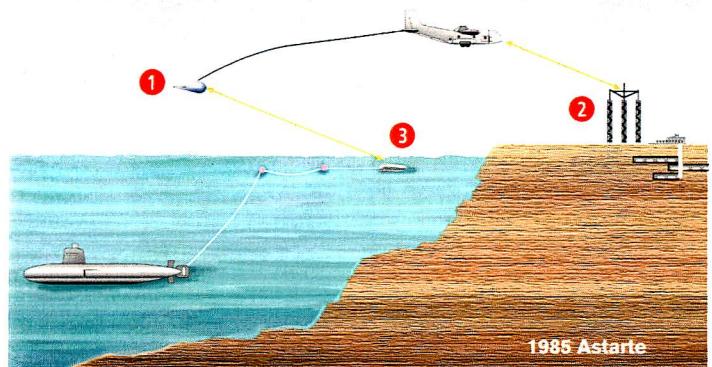
A. MEYER

appropriée sera de plonger encore plus profond.

Aujourd'hui, pour les SNLE/NG de la série *Triomphant*, le danger numéro un demeure la menace d'un autre sous-marin équipé de moyen de détection active à très basses fréquences. Il faut être aussi discret dans ses conversations que pour les bruits inhérents au fonctionnement du navire. Un renforcement des systèmes de liaison avec la terre (c'est notamment le système *Syracuse II*) va dans le sens d'une fiabilité accrue. Notamment grâce à la possibilité de transmettre même en plongée les paramètres d'éventuels objectifs.

LES OREILLES DE LA MER

Cette question de la transmission est rendue complexe à cause du manque de place sur un submersible : dans la "baignoire" (le kiosque), il y a déjà quatre mâts. L'antenne du système *Syracuse II* a donc été couplée au mât optronique SAGEM. Un mât optronique est une optique classique de télescope à laquelle est couplé un capteur électronique du type CCD, similaire aux caméscopes, mais de meilleure qualité, avec un nombre plus important de pixels et, surtout, une stabilisation parfaite de l'image. Ce qui compte dans la transmission, c'est le "bilan de liaison" : c'est-à-dire la somme de toutes les pertes durant les trajets, effectués en hyperfréquences. Au départ, on recherche le maximum de puissance pour les ondes émises



A. MEYER

Sécuriser les transmissions

La fiabilité des liaisons avec les sous-marins en immersion est capitale. En 1985 apparaît le système *Astarte* : un Transall ① en relation avec une station terrestre ② déroule un câble de 9 000 m et le submersible son antenne filaire ③ (longue de plusieurs kilomètres). Dix ans plus tard lui succède *Syracuse II* (liaisons satellites ④ à très hautes fréquences) rendant possible l'échange d'informations dans les deux sens.

en utilisant une antenne terrestre circulaire, de 18 mètres de diamètre, et en concentrant les points focaux au plus près du cornet. L'échange de données demande l'intervention d'un avion Transall-NG qui vole à 21 000 pieds d'altitude (environ 7 000 m). Le sous-marin en immersion profonde reçoit, à l'aide de l'antenne filaire, longue de plusieurs kilomètres, qu'il traîne derrière lui, un très bref signal de l'émission imminente d'un message opé-

rationnel. Il quitte alors les profondeurs et se rapproche de la surface, de manière à placer l'extrémité de l'antenne du système *Syracuse II* à quelques mètres de la surface, ou, si celle-ci est dégagée, il peut déployer son antenne en immersion périscopique. Une antenne qui fait quarante centimètres de diamètre sur les SNLE/NG. Elle est placée sous un radôme étanche profilé, très peu détectable grâce à son sillage limité. La transmission est "directe", par l'intermédiaire d'un satellite, à très hautes fréquences (inférieures à quelques centimètres!). L'échange des messages peut être fait dans les deux sens,

L'oreille absolue

Aucune machine ne parvient à remplacer l'ouïe pour repérer et identifier les signatures sonores d'autres sous-marins.

NATHACHA HOCHMAN

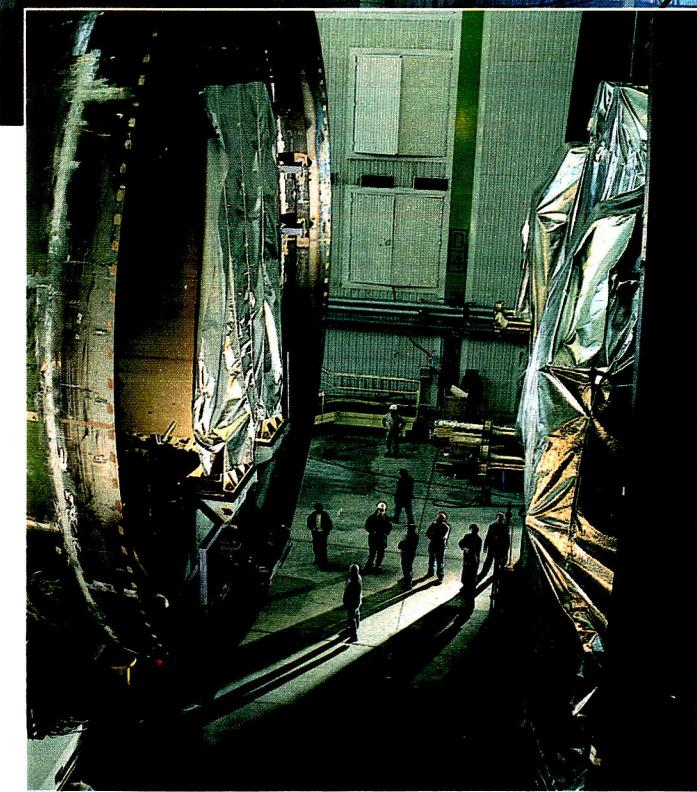
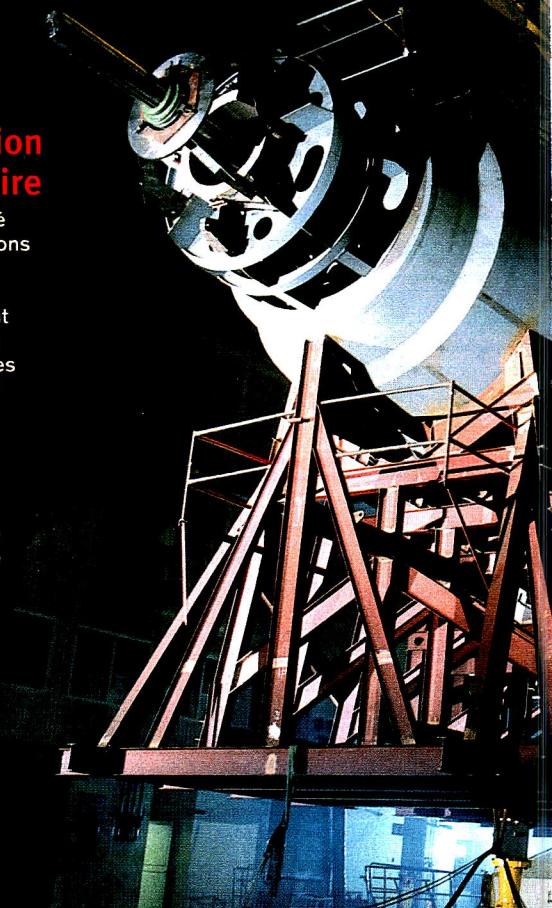
dans des conditions de hautes fiabilités : jusqu'en 1998, les SNLE ne pouvaient émettre sans risque d'être détectés. Une situation psychologiquement dure à gérer, notamment par les commandants de SNLE en patrouille, car seul un ordre de lancement pouvait être délivré dans des conditions de sécurité acceptables.

16 MISSILES VOLANT VERS LEURS CIBLES À MACH 20

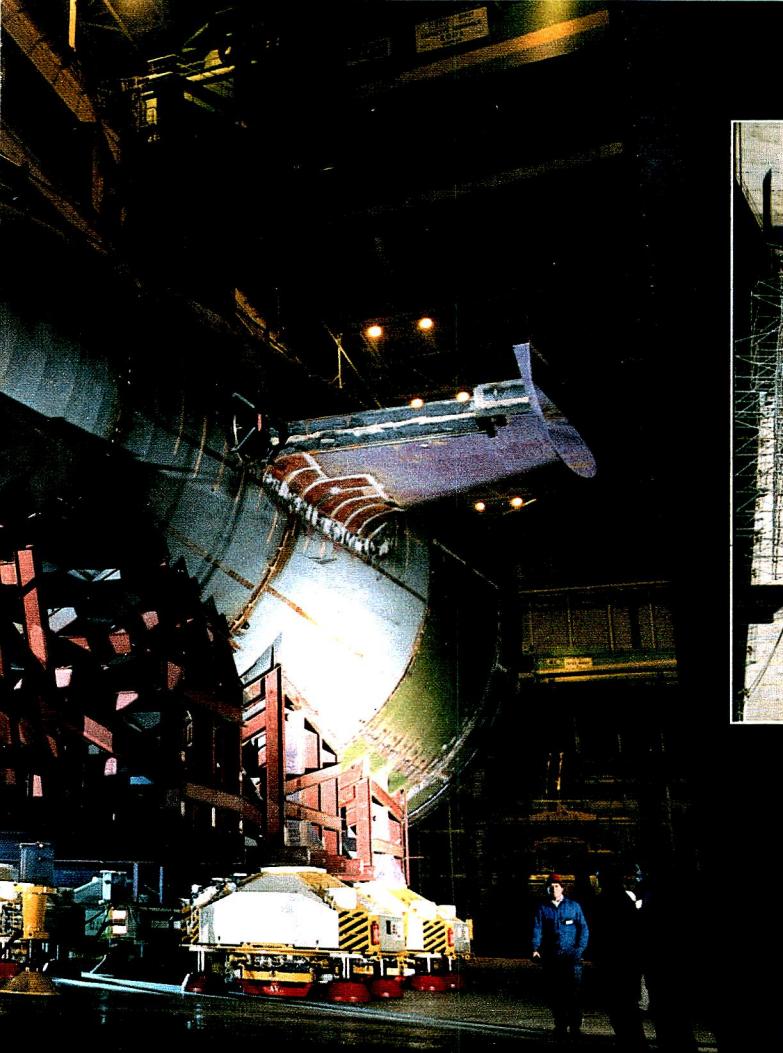
Le lancement des missiles sous la surface de la mer pose plusieurs difficultés. Les premières sont d'ordres architecturaux : la stabilité du sous-marin par rapport à la surface au moment du tir, le passage des jupes et empennages dans un tube lance-missiles (rond par principe) et la chasse du missile par air comprimé afin de l'expulser du tube. Les SNLE se positionnent à environ 15 mètres de la surface ; les tubes sont mis en équipression puis l'éjection du missile se fait à 27 mètres par seconde. Le problème du rééquilibrage est essentiel. Lorsqu'un sous-marin lance, ne serait-ce que quatre engins, il doit en quelques dixièmes de seconde équilibrer un déficit de poids de 150 tonnes ! Une membrane en caoutchouc épais assure, dès lors que la porte du silo est ouverte, l'étanchéité du tube avant lancement. Moment délicat car l'ouverture de la porte est généralement détectée par tous les systèmes en écoute, notamment par les SNA chasseurs de SNLE. Lorsque le missile est projeté par l'air comprimé, la membrane est arrachée au passage. Puis il faut régler les questions du passage dans l'eau et la percée en surface, suivie de l'allumage du premier étage. Aujourd'hui, cet allumage s'effectue sous l'eau pour les missiles M 4 ou M 5. Ces engins vont ensuite parcourir l'atmosphère à Mach 20. Il y a 16 missiles dotés d'une à six

Un mode de construction révolutionnaire

Les SNLE/NG ont été assemblés par tronçons de 1 200 tonnes. Ci-contre la section arrière du Triomphant avant soudure : cette méthode a permis des gains de productivité considérables. La charge de travail totale s'élève à onze millions d'heures. Ci-dessous et à droite, on discerne le principe de la double coque. Il s'agit d'un cylindre externe de 14 m de diamètre. A l'intérieur, sous les bâches qui les cachent, les installations sont "suspendues" pour atténuer les bruits provoqués par les hommes et la machine.



PHOTOS : NATACHA HOCHMANDAF



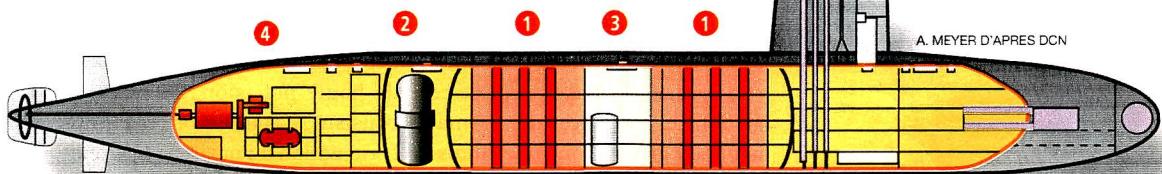
têtes nucléaires d'une puissance d'environ 110 kilotonnes, ayant reçu un "durcissement" qui leur permet d'éviter les contre-mesures (des leurre). La gestation de ces engins fut aussi longue et délicate que la mise en œuvre des chau-

dières nucléaires. Dans les années 70, lors de son premier tir, le missile prototype M 112 de 17 tonnes retomba à 50 mètres du pas de tir! Le M 45, qui équipe aujourd'hui le *Triomphant*, a une portée de plus de 6000 kilomètres. Les essais de

1995 à Mururoa permirent à la France de valider des armes atomiques de dernière génération : armes à capacité variable, avec une ultra-miniaturisation permettant, grâce au gain de poids, la mise en place de système de guidage final précis au mètre près. Ces missiles sont également équipés d'armes dites de « troisième génération », destinées à générer de puissantes impulsions électromagnétiques susceptibles de dérégler les systèmes de défense ennemis. Les têtes multiples sont l'aboutissement du perfectionnement des armes atomiques : un vecteur actuel de trois étages porte 6 charges autopropulsées, et peut placer précisément chacune d'elles dans un rectangle de dispersion de 30 kilomètres de largeur sur 210 kilomètres de longueur. Les prochains

Le schéma d'un secret-défense

L'aménagement d'un SNLE/NG se différencie des premiers par la séparation en deux groupes des missiles SMSB ①. Il est possible de panacher des têtes nucléaires à ogives multiples ou uniques. Pour plus de sécurité, la chaudière ② est séparée du turbo-réducteur qui transforme la vapeur en énergie mécanique. Il permet d'animer ensuite le système de propulsion ④ ultra silencieux du sous-marin.

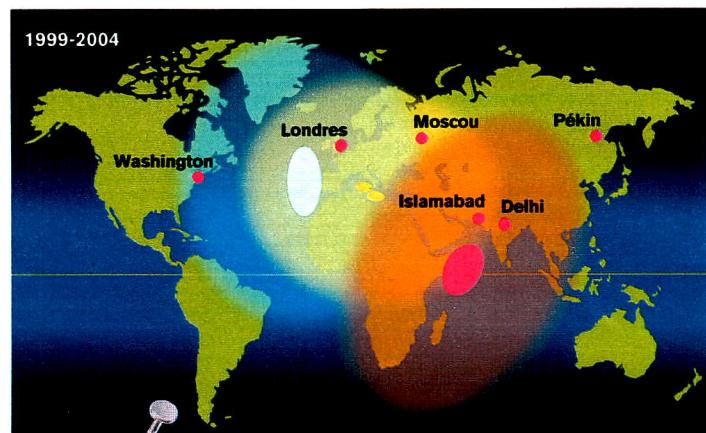


missiles M 51, qui équiperont les sous-marins de la Force océanique stratégique dans dix ans, ont été validés en mai 1999 au Centre d'achèvement et d'essais des propulseurs de Saint-Jean d'Illac (Gironde). Leur structure en fibre de carbone permet de supporter une poussée interne de 130 bars qui accompagne celle de la tuyère, quatre fois plus importante qu'un Airbus en pleine puissance. La portée de ce missile, gardée confidentielle, sera nettement supérieure aux 6 000 kilomètres de la génération actuelle. Un rayon d'action qui simplifiera la délimitation de zones de patrouille. Seule donnée inchangée, les besoins en précision lors du lancement de ces vecteurs.

FRAPPER L'OBJECTIF

À 10 M PRES

L'erreur au but est la somme des erreurs dues au missile et celles dues au bâtiment. La première difficulté réside dans la précision de la position au moment du lancement du missile : une erreur de cap d'un centième de degré au départ entraîne un écart d'un kilomètre à l'arrivée ! Ecart frustrant quand on s'applique par ailleurs à créer des têtes multiples précises à quelques dizaines de mètres. Cette précision au moment du lancement doit être rigoureuse à tout point de vue : il faut, par



A. MEYER

Zones sous surveillance

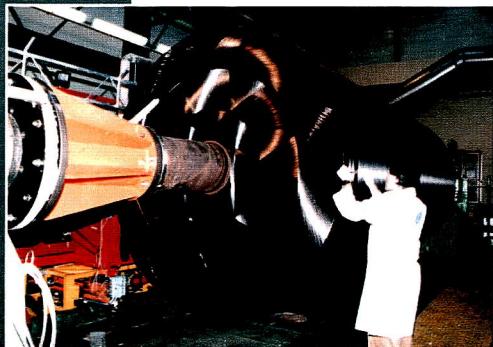
Le SNLE *Redoutable* fut opérationnel en mars 1972. Les missiles M 1 d'une portée de 2 500 km pouvaient à peine atteindre Moscou en patrouillant au large de la Norvège (zone jaune dessinée au haut). En 2004, trois zones de patrouille (bleu, jaune rouge) et des missiles M 52 dont le prix atteint le milliard de francs (portée plus de 6 000 km), permettront de couvrir l'ensemble des cibles potentielles.

exemple, intégrer le fait que sur le sous-marin la distance entre le premier des

16 missiles et le dernier est d'environ 50 mètres ! Cette distance compte au final. Aussi les systèmes de navigation sont essentiels. L'avènement du GPS (Global Positioning System) et de sa myriade de satellites (système *Navstar*), a considérablement modifié la pratique de très nombreuses activités humaines, notamment celle liées aux océans. Pour les sous-marins stratégiques, l'atout majeur de ce système est la couverture permanente du globe. Donc une "indiscrétion" contrôlable. Seul inconve-

nient : la clé de la précision est délivrée par le Département de la Défense américain ; notamment l'autorisation d'accès au PPS (Precision Positioning System), exact à 10 mètres près. Les GPS différentiels (c'est-à-dire disposant d'une balise-relais à terre qui permet de recaler en permanence le point) manquent également, dans l'absolu, de fiabilité "politique" et sont inopérants loin des côtes. Aussi faut-il disposer d'un système indépendant : la navigation inertielle de haute précision. Le principe consiste à garder en mémoire l'orientation du navire et l'entretenir grâce à une estime précise. Il

AÉROSPATIALE / MATRA LANCEURS BECHAMEC



AEROSPATIALE MATRA LANCEURS

Technologie spatiale

Ci-dessus, des enveloppes en fibres de carbone capables de subir de fortes contraintes pour un poids moindre. Ci-contre, un missile de 45 tonnes emportant 6 charges nucléaires (2 000 fois Hiroshima).

avions à propulsion nucléaire *Charles-de-Gaulle*, se perpétue une tradition navale faite d'audace, et de beaucoup d'expérience. « Le retour d'expérience ! La culture du nucléaire nous a beaucoup aidés pour conceptualiser cette manière de réfléchir, analyse Georges-Henri Mouton. Depuis 1960, nous n'avons jamais arrêté de construire des sous-marins nucléaires. Nous tirons le bénéfice d'un savoir-faire

s'agit de créer une plate-forme dite "cœur de centrale" stabilisée par des gyroscopes. L'orientation de l'ensemble est donc connue, et contrôlée à tout instant par un calculateur. Sur la plate-forme, sont installés des accéléromètres qui mesurent en permanence son déplacement. L'ordinateur peut calculer en continu la vitesse, puis déduire la distance parcourue.

Ce système de navigation intégrée fonctionne avec trois paramètres : la latitude, la longitude et la profondeur. La première génération de centrale utilisait des gyroscopes à billes, la seconde disposait de paliers à gaz. Enfin, pour les SNLE/NG du type *Triomphant*, la suspension est électrostatique. La Minicin, développée par Sagem, est une centrale de navigation qui emploie des billes de beryllium tournant sur elles-mêmes, dans un vide quasi parfait, à près de 1 000

tours par minute. Elles restent suspendues grâce à une champ magnétique. Ce système constitue un progrès majeur dans le domaine de la navigation sous-marine. A ter-

Un savoir-faire reconnu, acquis grâce à des décennies d'expérience

me, le système européen de positionnement par satellite, dont la programmation vient d'être décidée par les Quinze, un investissement de plusieurs milliards d'Euros, permettra de recaler à tout moment, dans la plus totale autonomie, les paramètres de ce système de navigation inertiel.

Avec la montée en régime des SNLE/NG du type *Triomphant*, qui représentent un programme industriel équivalent sur le plan des coûts à la construction du porte-

unique, d'une expérience humaine constante, sans rupture... » Un siècle d'aventure sous-marine qui s'achève de manière aussi excitante qu'il avait débuté!

.....

Les 25 et 26 octobre prochains, la DCN (Direction des Constructions navales) organise un colloque à l'IUT de Cherbourg à l'occasion des cent ans de la mise à l'eau du *Narval*. Inscriptions : DCN Cherbourg, Service Information et communication, BP 10, 50 115 Cherbourg Navale. Une exposition itinérante intitulée *100 ans de sous-marins* se tiendra dans les villes métropolitaines hébergeant des établissements de la DCN.

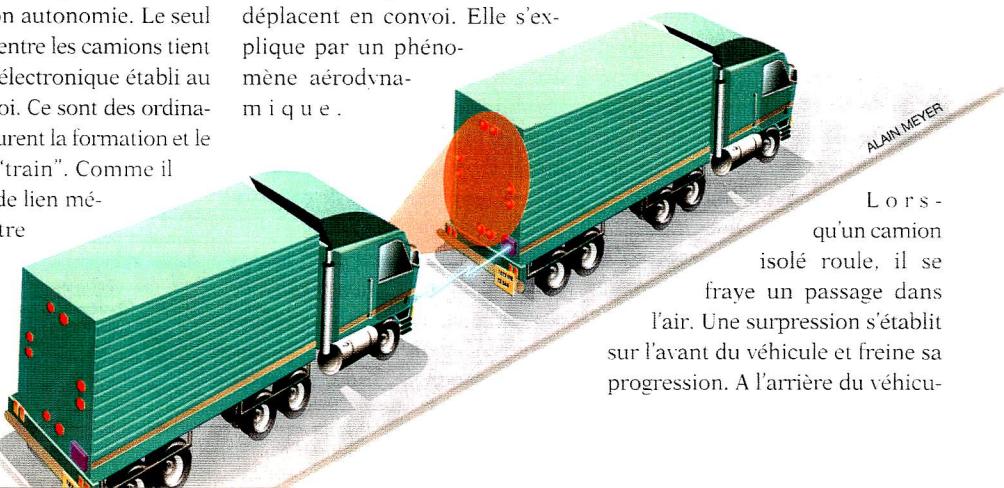
Des trains pas comme les autres

Former des trains de camions permettrait de réduire la pollution et d'améliorer la sécurité sur la route. Avec *Promote-Chauffeur*, associant ordinateurs, radios et cibles infrarouges, Daimler-Chrysler, a testé le concept avec succès. S'il est accepté par les pouvoirs publics, les trains de camions ne circuleront toutefois pas avant dix ans.

Défi d'ingénieurs ou réalité? Demain, des trains de camions pourraient envahir nos routes. Il ne s'agit pas de copier les célèbres "road trains" australiens où un véhicule cabine doté d'un énorme moteur diesel tracte directement des remorques attelées. Le projet *Promote-Chauffeur* sur lequel travaille Daimler-Chrysler permet à chaque camion de conserver son autonomie. Le seul lien existant entre les camions tient au dialogue électronique établi au sein du convoi. Ce sont des ordinateurs qui assurent la formation et le guidage du "train". Comme il n'existe pas de lien mécanique entre les véhicules, il n'est pas possible d'utiliser le ca-

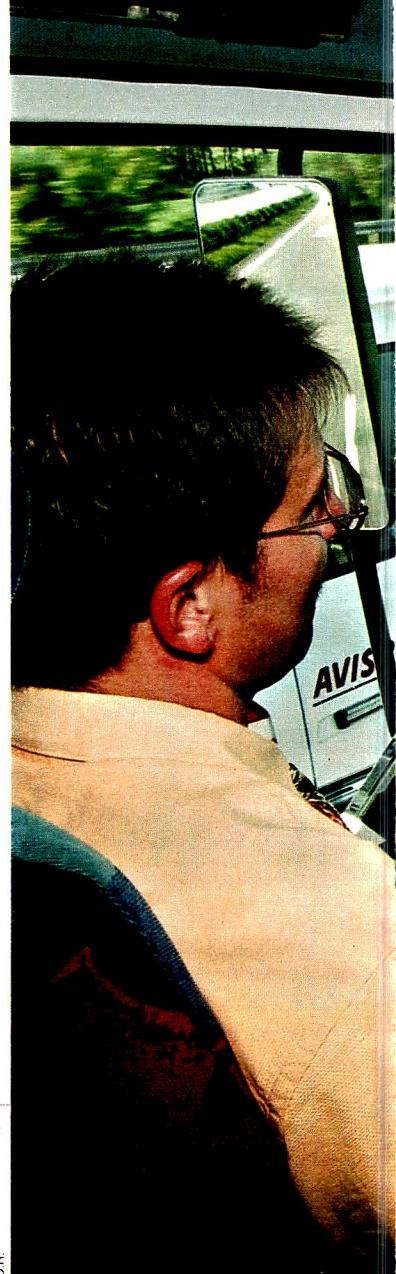
mion de tête en tant que "locomotive". Durant le parcours, le moteur de chaque camion reste donc en service. Une fois ces conditions de fonctionnement énoncées, la question et de son impact sur les économies d'énergie et sur la réduction de la pollution mérite d'être posée.

Pourtant une réduction de consommation non négligeable est constatée lorsque des camions se déplacent en convoi. Elle s'explique par un phénomène aérodynamique.



DR

Lorsqu'un camion isolé roule, il se fraye un passage dans l'air. Une surpression s'établit sur l'avant du véhicule et freine sa progression. A l'arrière du véhicu-





Conduite "mains libres"

Pour atteler électroniquement les véhicules, l'ordinateur localise le camion qui précède grâce à une caméra pointée sur une cible infrarouge. Capable d'agir directement sur les commandes, il "prend en main" la conduite.

le, un phénomène inverse apparaît. L'air forme, juste derrière le camion, une zone de dépression qui a tendance à le retenir, à le freiner. C'est ce que l'on appelle la traînée aérodynamique du poids lourd. Le moteur du camion doit en permanence vaincre ces forces contraires

pour conserver sa vitesse. Les éliminer ou à tout le moins les amoindrir, réduit d'autant l'énergie que doit dépenser le moteur pour propulser le poids lourd. D'où des économies de carburant et une réelle réduction de la pollution. En formant un convoi, les camions sui-

veurs bénéficient de l'aspiration du véhicule qui les précède tandis que le poids lourd de tête est libéré des turbulences arrière. Un problème se pose cependant. Pour que les camions profitent mutuellement des turbulences qu'ils engendrent et que l'aérodynamisme global du convoi s'en trouve amélioré, il faut que la distance qui les sépare reste constante et faible. Dans le projet *Promote-Chauffeur*, elle est de six à quinze mètres. « Dans de telles

conditions, déclare Hartmut Marwitz, directeur du secteur de développement des camions de Daimler-Chrysler, on constate une réduction de la consommation de 10% sur le véhicule de tête et de 15% sur les autres.»

S'ils représentent certains avantages en termes de coûts et de protection de l'environnement, l'apparition de ces convois ne risque-t-elle pas d'engendrer certaines modifications de comportement pour les automobilistes? Qu'en sera-t-il de la sécurité? Dépasser un train formé par ces camions ne sera-t-il pas problématique? Autant de questions sur lesquelles commence à se pencher l'ASFA (Association des sociétés françaises d'autoroutes).

SÉCURITÉ POUR LES CAMIONS ET TOUS LES USAGERS

Force est de constater que les poids lourds occupent déjà une proportion importante du trafic. Sur les seules sections d'autoroutes payantes où la présence des péages permet une identification et un comptage précis des véhicules, les poids lourds représentaient en 1998 à eux seuls 19,3% du trafic total, soit près d'un véhicule sur cinq! Des études menées depuis 1980 montrent que le transport de marchandise par voie routière ne cesse de croître. Depuis cette date, il a plus que doublé sur le territoire français. On estime qu'il pourrait encore doubler d'ici à 2015. Une telle intensification ne risque-t-elle pas de compromettre la sécurité de nos routes? Sur ce point Christine Vuaillet, du service communication de l'ASFA est extrêmement claire. «S'il est vrai, déclare-t-elle, que les accidents qui impliquent les poids lourds sont souvent dramatiques en raison de la masse même des engins, ils sont proportionnellement moins fréquents que ceux causés par des voitures particulières. Quant à savoir si l'association de



DR.

Une proximité inquiétante

Pour que le convoi (ci-dessus en test sur une autoroute allemande) présente un intérêt aérodynamique, les camions doivent se suivre à dix mètres maximum. La rapidité d'action de l'électronique garantit la sécurité.

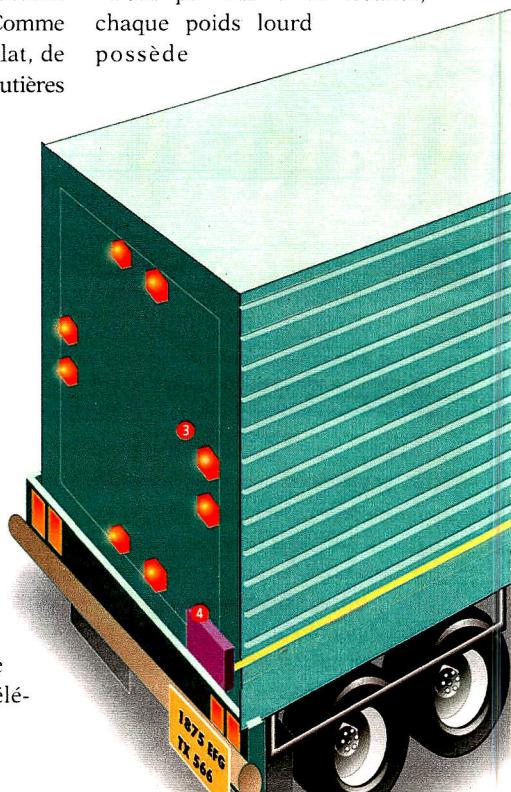
camions en trains améliorera la sécurité, la question reste posée car si certains points jouent en sa faveur, d'autres risquent de poser de réels problèmes.»

Il est certain qu'une formation en train a pour effet d'homogénéiser la vitesse des poids lourds. Les risques occasionnés par un dépassement entre deux véhicules du convoi sont éliminés. En revanche, la faible distance que réserve *Promote-Chauffeur* entre chaque camion ne risque-t-il pas de rendre hasardeux le dépassement du convoi? Comme le rappelle Christine Vuaillet, de nombreuses sections autoroutières françaises ne comptent encore que deux voies. Une situation qui contraint les usagers les moins rapides à se "rabattre" régulièrement. Or qui osera s'interposer entre deux poids lourds se suivant à moins de dix mètres? D'autant que le Code de la route impose que la distance minimale qui sépare deux véhicules, quels qu'ils soient, doit être suffisante pour qu'un autre véhicule puisse s'intercaler sans risque.

Enfin cette distance extrêmement réduite est-elle compatible avec la plus élé-

mentaire des sécurités? Ce ne serait certes pas le cas si la conduite des camions suiveurs était confiée à un chauffeur humain. Son temps de réaction, de l'ordre d'une seconde, ne lui permettrait pas de ralentir suffisamment son véhicule pour éviter qu'il percutte le camion qui le précède. Mais ceci n'est plus vrai lorsque c'est un système informatique au temps de réaction extrêmement bref qui est aux commandes.

Pour parvenir à ce résultat, chaque poids lourd possède



un ordinateur embarqué qui communique par radio avec celui qui le précède et celui qui le suit. D'autre part, l'arrière des camions porte une "cible" constituée de huit diffuseurs d'infrarouges. Dans la cabine du camion suiveur, deux caméras sensibles à l'infrarouge la visionnent en permanence.

L'ordinateur du camion de tête analyse les informations que lui fournissent des capteurs logés aux points stratégiques du véhicule. Par exemple, il "sait" si le chauffeur accélère, freine, enclenche les clignotants, allume les phares, tourne le volant, etc. Il reçoit également des informations sur les conditions de fonctionnement telles que le rapport engagé sur la boîte de vitesses, le régime moteur ou la vitesse du convoi. La liaison radio répercute l'ensemble de ces données à l'ordinateur du camion suiveur.

Sur ce dernier, l'ordinateur, outre les informations qu'il reçoit par radio, dispose également de données concernant son véhicu-

le, vitesse

entre autres, mais, et c'est là tout l'intérêt du système, il peut directement agir sur la conduite en commandant des moteurs électriques placés sur la direction, les freins et sur la boîte de vitesses à commande électronique. En contrôlant en permanence l'image que lui transmettent les caméras infrarouges de la cabine, il calcule automatiquement la distance qui sépare les éléments du convoi. De même, en analysant la position de la cible dans le champ des caméras, il

Pour cela un modèle mathématique (un logiciel approprié) prend en compte la vitesse, la distance qui sépare les camions ainsi que l'instant où les caméras "voient" la cible du camion de tête se décaler dans leur champ.

Enfin, un dialogue électronique qui a lieu au sein du convoi garantit son maintien. On peut supposer qu'à la suite d'une différence de chargement, l'un des camions ne puisse pas suivre le premier véhicule. Dans ce cas, l'ordinateur de tête

La présence d'un chauffeur dans la cabine restera toujours indispensable

est capable de déterminer si les camions se suivent correctement ou non. En ligne droite, l'ordinateur agit sur la direction pour recentrer ce repère et maintient ainsi l'alignement du convoi.

Lorsque le véhicule de tête s'engage dans un virage, l'ordinateur du camion suiveur est averti de la ma-

nœuvre par la liaison radio : elle l'informe que le chauffeur tourne le volant. Pour que les deux camions suivent exactement la même trajectoire, l'ordinateur attend quelques instants.

adapte sa vitesse et permet de reconstituer le train. Comme ce système garantit une autonomie du guidage de chaque camion, leur nombre n'est pas limité.

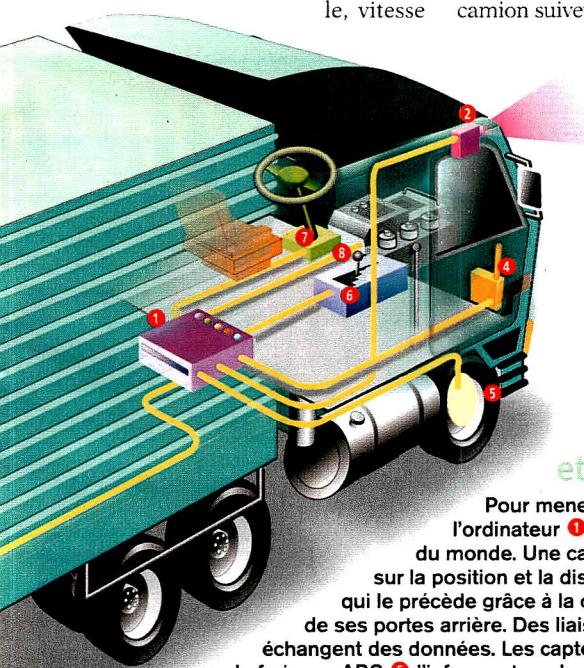
Dans l'état actuel du projet, la présence d'un chauffeur reste indispensable dans chaque cabine. Si seul celui du poids lourd de tête conduit réellement, les autres ont une fonction de surveillance du système. Un chauffeur unique ne convoie donc pas une quantité plus importante de fret. Mais Daimler-Chrysler rétorque que la surveillance de *Promote-Chauffeur* ne demande pas une attention aussi soutenue que la conduite. Il serait donc possible de réaliser des rotations régulières de pilote et de réduire les temps d'immobilisation du convoi tout en conservant une bonne sécurité de conduite.

Promote-Chauffeur n'est encore que l'embryon de ce que pourrait être le transport routier de demain. Un point dont Daimler-Chrysler est parfaitement conscient. Le constructeur considère cette expérience comme un prototype de faisabilité avant tout et ne prévoit pas son exploitation commerciale avant les années 2 005 à 2 010.

S'informer et agir

Pour mener à bien sa tâche, l'ordinateur 1 n'est pas coupé du monde. Une caméra 2 l'informe sur la position et la distance du camion qui le précède grâce à la cible infrarouge 3 de ses portes arrière. Des liaisons radio 4 échangent des données. Les capteurs du système de freinage ABS 5 l'informent sur la vitesse. Des détecteurs lui communiquent régime moteur et vitesse enclenchée 6. Enfin, il agit sur la direction 7, les freins, l'accélérateur 8 ou la boîte de vitesses et gère ainsi la conduite.

ALAIN MEYER



L'éclosion des

Expositions, musées, parcs à thème...

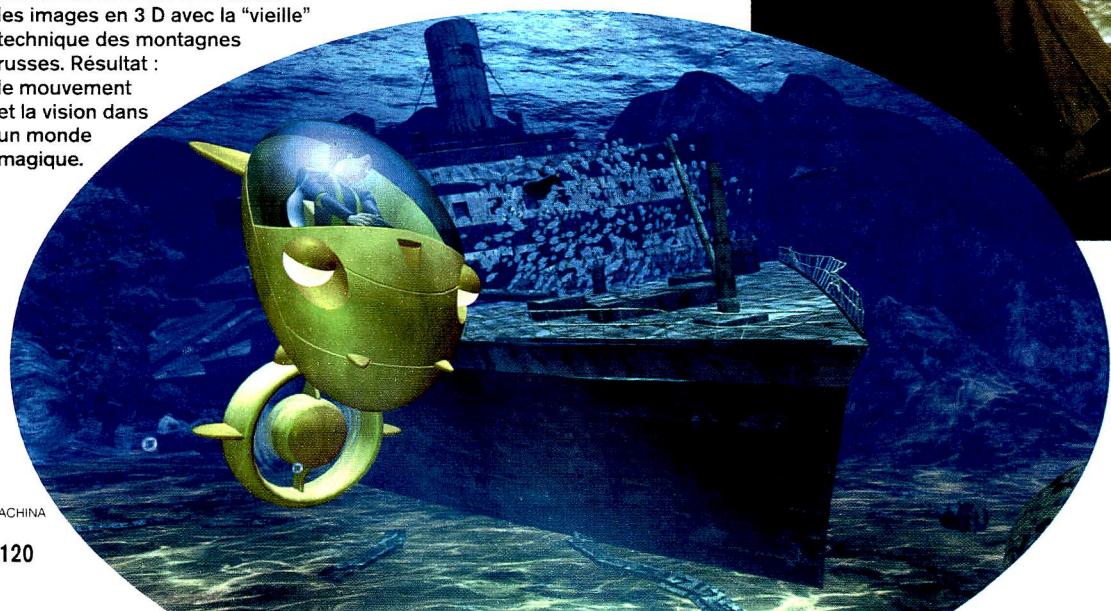
Le chantier des futures visites virtuelles s'attaque à tous les domaines. Un aquarium sans eau où nagent des poissons artificiels, des jeux en trois dimensions... Des projets fleurissent aux quatre coins du monde préfigurant de nouveaux loisirs de masse.

Les nouvelles technologies vont changer radicalement notre façon de visiter les musées ou les sites culturels. Depuis que l'informatique fait son apparition dans certains hauts lieux du loisir, que ce soit au Japon, en France ou aux États-Unis, le public se transforme en acteur des visites. L'aquarium de Gifu, au pays du Soleil levant, en est une parfaite illustration. Drôle d'aquarium,

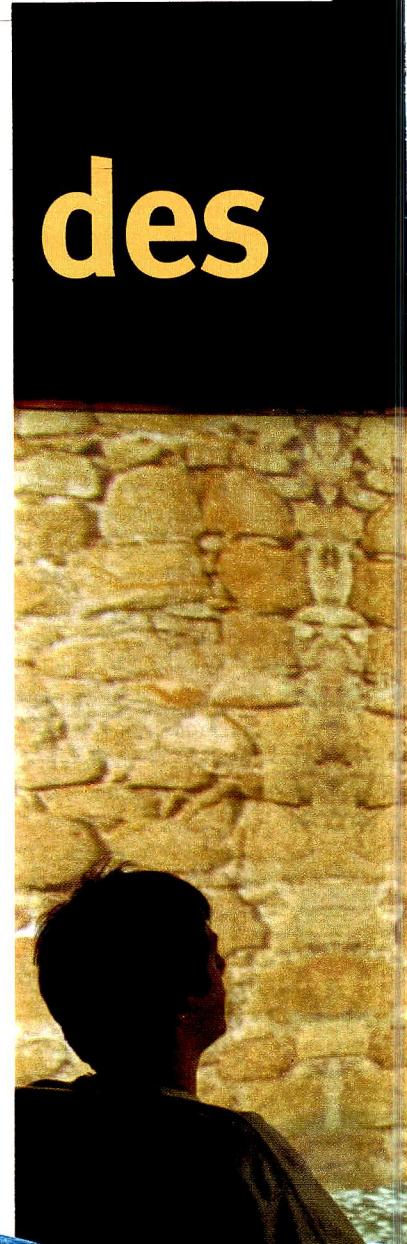
d'ailleurs! Les visiteurs, debout sous un dôme, sont environnés d'écrans. Fini, le nez collé aux vitres derrière lesquelles nagent les poissons. Il n'y pas la moindre trace d'eau. On assiste simplement en direct et en temps réel à la retransmission d'images sous-marines filmées en mer sur une barrière de corail. Mêlés aux images de cette vie distante, des biobots, sortes de robots-poissons virtuels créés sur ordinateurs et pilotés par des logiciels de vie artificielle, nagent. Les biobots savent éviter les collisions avec les poissons réels et identifier

Visiter le Titanic

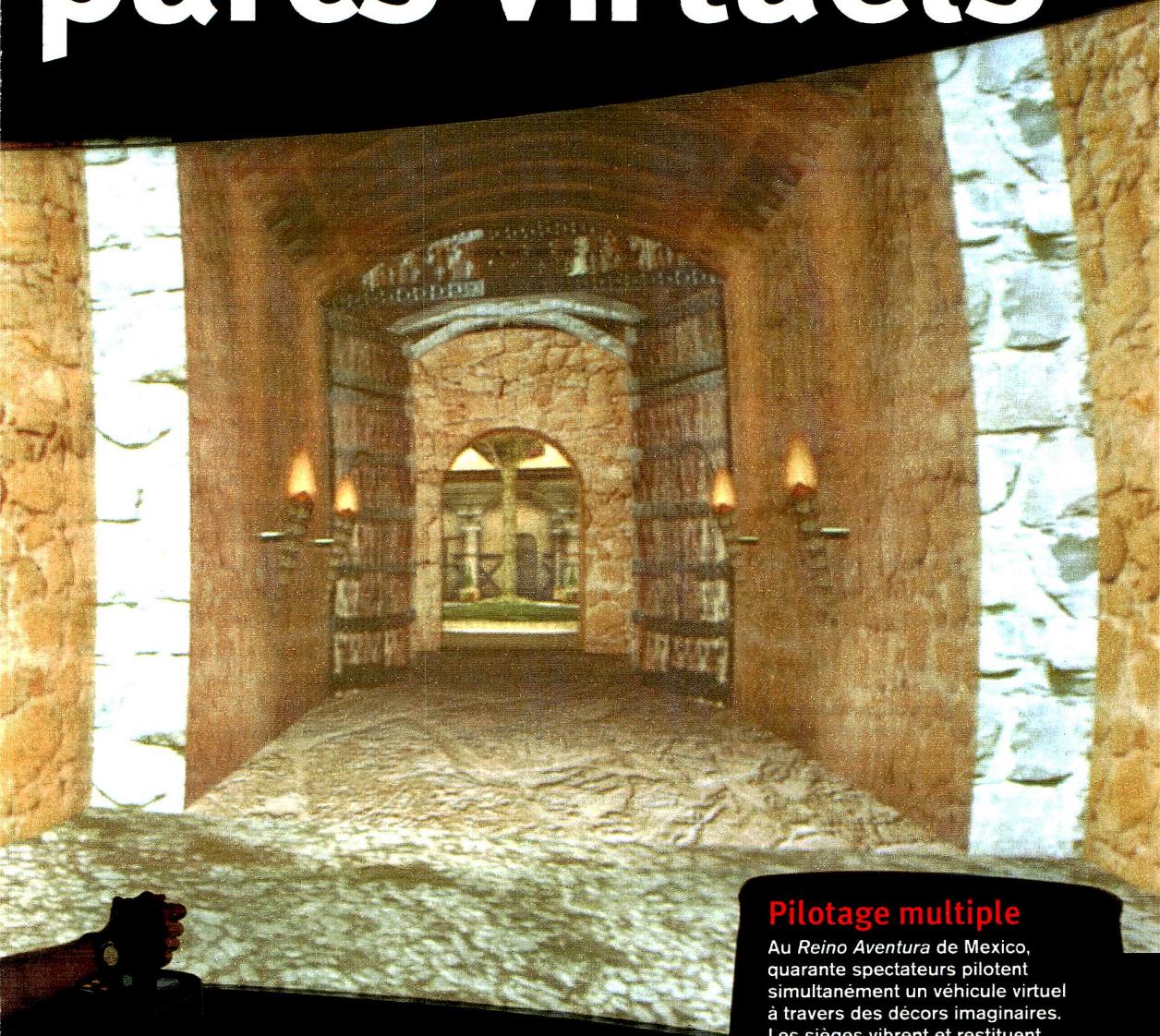
Le *Future World Experience* à Tokyo (ouvert fin avril 1999) combine les images en 3 D avec la "vieille" technique des montagnes russes. Résultat : le mouvement et la vision dans un monde magique.



EX MACHINA



parcs virtuels



Pilotage multiple

Au *Reino Aventura* de Mexico, quarante spectateurs pilotent simultanément un véhicule virtuel à travers des décors imaginaires. Les sièges vibreront et restitueront les aspérités du terrain.

DE PINXI

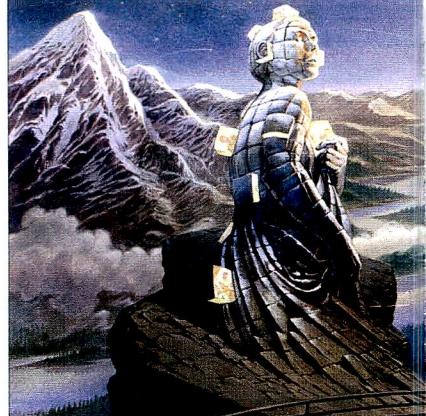
les animaux de même espèce qu'eux grâce à des programmes de reconnaissance de forme. Le public ne reste pas passif. Il dirige les biobots au moyen de gants qui font office de joystick. A ce moment, les programmes de vie artificielle autonome des biobots sont déconne-

tés. Mais ces poissons virtuels apprennent les réflexes de leurs manipulateurs. Si l'envie leur en prend, les visiteurs peuvent aussi créer des avatars de poissons... Ce n'est là que le début d'une attraction, dont la mise au point exige des compétences multiples (États-Unis, Gran-

de-Bretagne, France, Australie...) et qui ne devrait être opérationnel que dans trois à quatre ans, selon Scot Refsland, l'Américain qui coordonne les travaux à l'Université de Gifu. Le principal défi, pour la mise au point de ce site, réside dans le couplage de technologies

ou de connaissances qui existent déjà. Un exemple : les salles de réalité virtuelle appelées CAVE (Cave automatic virtual environment). Ces salles pavées et tapissées d'écrans immergent quatre à dix individus portant des lunettes stéréoscopiques (1) dans des images en relief. Comme dans un jeu vidéo, les visiteurs se déplacent dans des lieux virtuels et agissent sur leur environnement. Or pour la barrière de corail, il faudra intégrer à ce procédé de CAVE des images

question de respecter la réalité. A chaque créature générée par l'ordinateur correspondent des traits physiques et des caractéristiques mentales. Par exemple, un poisson affamé a une grande gueule (cette caricature permet d'appréhender facilement les lois qui régissent la vie dans l'aquarium). «La barrière de corail au contraire mêle vie artificielle et réalité biologique. Elle se veut fidèle aux connaissances scientifiques. La reproduction des animaux virtuels se conforme à des



de l'information électronique dans le monde physique.

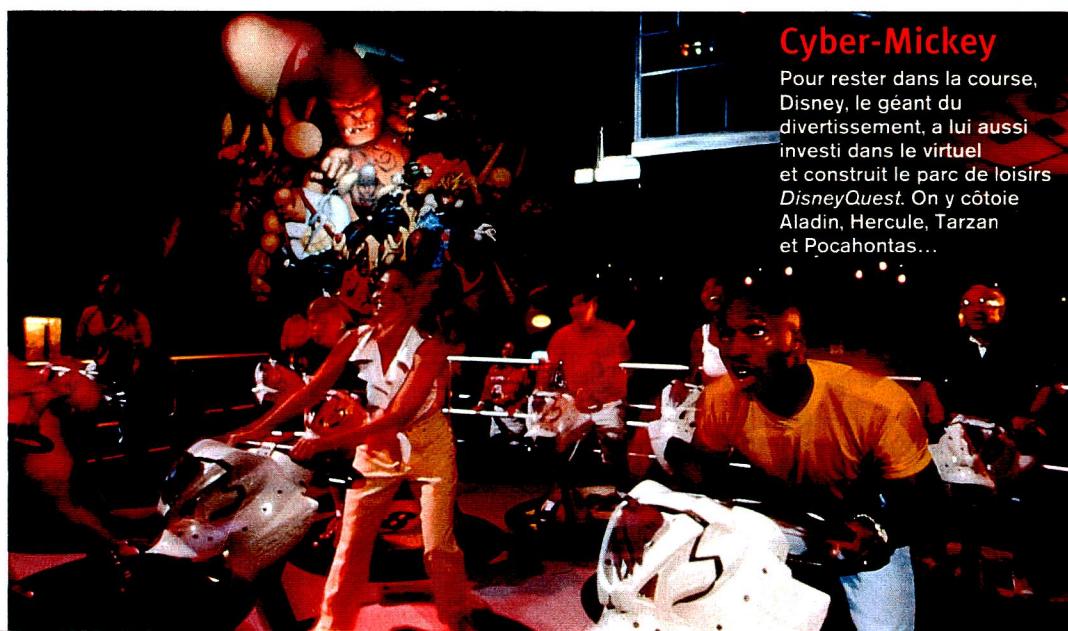
Les applications possibles sont nombreuses. Comme le rétinoscope, une future attraction du *Jardin virtuel* de Calais (62), dont l'ouverture est prévue d'ici deux ans. Le visiteur est doté d'une lunette d'observation d'un genre nouveau. Grâce à elle, il découvre une plante et peut lire en surimpression des informations complémentaires sur ce qu'il regarde dans le viseur. Autrement dit, il zoomé sur un cerisier et une animation en images de synthèse s'ajoute à l'image de l'arbre pour montrer son aspect aux différentes saisons. Le même type de procédé servira à l'Expo 2000 de Hanovre pour le pavillon *Planet of visions* (Planète de visions), conçu par l'artiste belge François Schuiten. Les visiteurs y

de synthèse et les coordonner aux images réelles. Autre illustration du mélange des genres : aux États-Unis, le *Computer Museum* de Boston propose au public de fabriquer des poissons virtuels dans une salle baptisée *Virtual FishTank*. Pas

(1) Le procédé utilisé est celui de la stéreoscopie active : un projecteur diffuse très rapidement vers l'écran des images adressées à l'œil gauche et à l'œil droit. Pour ce faire, les spectateurs sont équipés de lunettes à cristaux liquides dont les verres s'obturent alternativement grâce à un système électrique qui identifie l'image projetée.

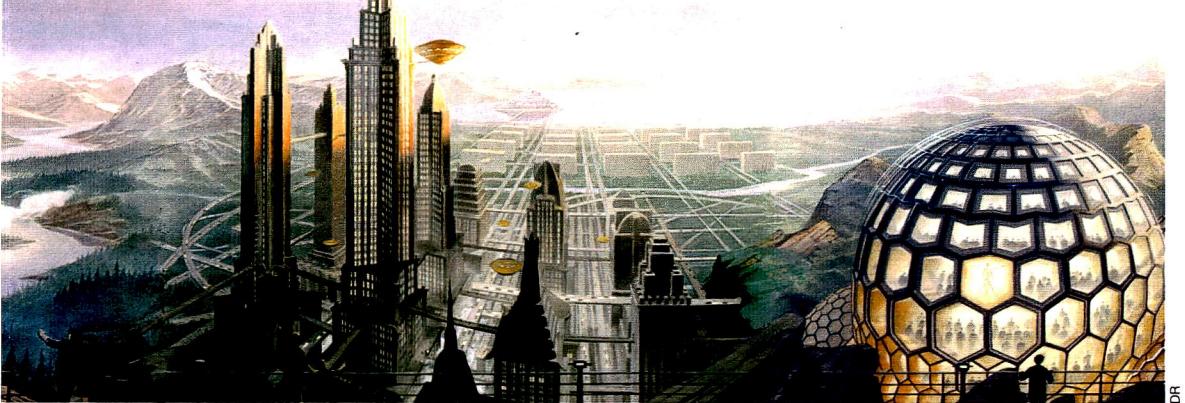
modèles dérivés des théories lamarcistes, darwinistes ou néo-darwinistes» (2); précise même Claude Lattaud, chercheur à l'Université de Paris V, qui travaille à l'intégration de systèmes de vie artificielle. Avec ses éléments réels enrichis par des éléments virtuels, la barrière de corail s'appuie sur le concept très en vogue de réalité augmentée qui consiste à intégrer

(2) Le néo-darwinisme rassemble la théorie de l'évolution de Darwin et la théorie de l'hérédité de Mendel.



Cyber-Mickey

Pour rester dans la course, Disney, le géant du divertissement, a lui aussi investi dans le virtuel et construit le parc de loisirs *DisneyQuest*. On y côtoie Aladin, Hercule, Tarzan et Pocahontas...



découvrent une esplanade qui domine un vaste décor. Là, des tables orientables fixées sur un axe permettent d'explorer le panorama. Mélange de longue vue et de bureau d'ordinateur, elles sont équipées d'une caméra qui peut zoomer sur n'importe quel point du paysage. L'élément visé est-il un bâtiment ? Le zoom permet de l'observer de près en vidéo tandis que, par exemple, un panoramique présente l'intérieur de l'immeuble. En fait, le système de vision est relié à une image 3 D dont la structure correspond à celle du panorama réel. Les compléments de la vidéo (comme le panoramique) "flottent" dans cette structure virtuelle à la place de chaque élément du paysage. Quand la caméra réelle zoomé sur le panoramique, une caméra virtuelle zoomé sur les compléments d'informations et les deux types d'images sont combinées. Reste que l'interaction est limitée à la personne qui oriente la table. Il est beaucoup plus malaisé d'interagir avec tout un groupe.

MÉLANGE DE JEUX VIRTUELS ET TRADITIONNELS

Or c'est le pari de la nouvelle attraction du plus grand parc d'Amérique latine, le *Reino Aventura* de Mexico. Quarante spectateurs sont assis devant un écran hémisphérique. Chacun manipule un joystick pour piloter un véhicule. L'engin virtuel obéit à la majorité du public. Interrogé tous les soixante-deux secondes, le système per-



met une action en continu. Les pilotes assis sur des sièges qui vibrent aux mouvements du véhicule portent des lunettes et voient en relief. Avantage des nouvelles attractions : on peut renouveler les programmes sans changer de machines. Ainsi dans les nouveaux parcs de loisirs *DisneyQuest*, le visiteur retrouve Aladdin, Hercule, etc. à travers des casques de réalité virtuelle ou des simulateurs... Les décors sont constitués d'images numériques. Du jour au lendemain, l'univers de Tarzan peut remplacer celui de Pocahontas. L'enjeu pour Disney, c'est de fidéliser une clientèle qui teste à chaque visite un nouveau jeu. Ces nouvelles technologies de l'image ne relèguent pourtant pas les manèges traditionnels aux oubliettes. Les montagnes russes du *Future World Experience*, ouvert

Hanovre post-moderne

A l'exposition universelle de l'an 2000 à Hanovre, des tables orientables (ci-contre) permettront aux visiteurs d'explorer un panorama futuriste (ci-dessus) comme s'ils y étaient. (pavillon *Planet of visions*)

fin avril 1999 à Tokyo, combinent la technique de l'image en relief et celle du manège. Elles offrent même un zeste d'interactivité. Les visiteurs montent dans des voitures de *Grand-Huit* et choisissent l'univers qu'ils veulent explorer sur deux écrans tactiles. Les passagers y sélectionnent les éléments : l'Air, l'Eau ou la Terre. Grâce à des lunettes stéréoscopiques, ils découvrent en relief le monde sélectionné à l'écran. Puis le film simule une panne de frein et le véhicule prend sa course sur des rails bien réels. Tout se termine par de fureuses embardées dans une obscurité entrecoupée d'images de synthèse.

FOISONNEMENT DE PROJETS

La société française ExMachina, qui a proposé ce concept, travaille déjà à un autre projet. Les sociétés de production spécialisées effets spéciaux trouvent un nouveau débouché dans les espaces de culture et de loisirs. Z-A Production travaille ainsi sur un projet d'animation des ruines de Coucy-le-Château dans l'Aisne, sur le *Jardin virtuel* de Calais et sur la création d'une école supérieure de scénographie destinée à promouvoir la célèbre *French Touch*... ■

Wanadoo double la mise

OFFRE SPÉCIALE

jusqu'au 30 sept.

2 + 2 =
4 mois d'abonnement offerts



Wanadoo
INTERNET AVEC FRANCE TELECOM

Pack Contact Wanadoo
comprenant

1 MODEM OLITEC 56K norme V90

290F

Le doublement des mois est valable
sur toute la gamme Wanadoo
jusqu'au 30 septembre.

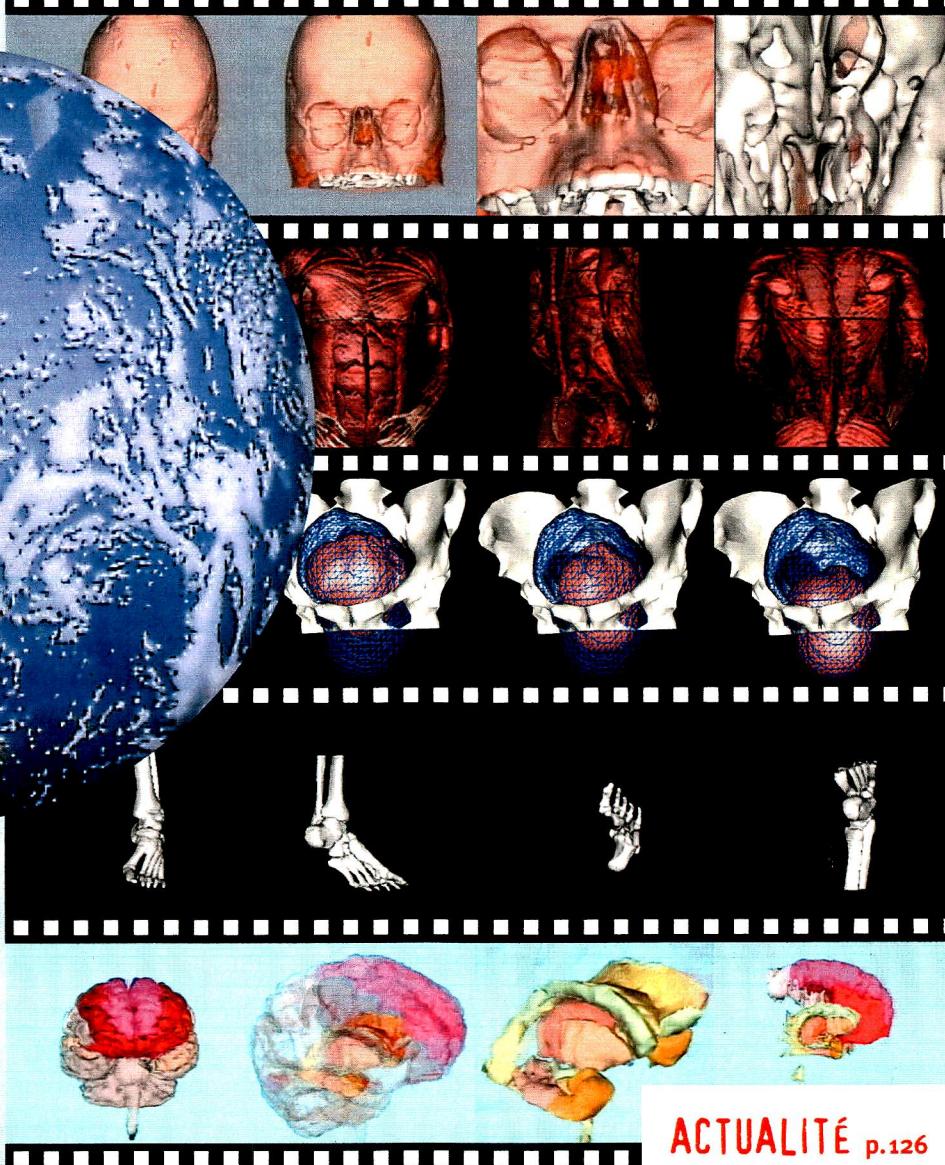
PRIX APPEL LOCAL
N°Azur 0 801 105 105

- Agences France Télécom
- Grandes surfaces ou magasins spécialisés
- www.wanadoo.fr



France Telecom

DIRIGÉ PAR ROMAN IKONICOFF



DR

Leçon d'anatomie



Se déplacer à l'intérieur d'un os, couper en tranches (virtuelles) un homme (réel) qui a légué son corps à la science (grâce au projet «visible human»), observer un cerveau sous toutes les coutures et en trois dimensions... Une des plus grandes

bibliothèques d'images et de films sur des sujets biologiques (corps humain, virus, cellules, bactéries, parasites, etc.) fournis par des laboratoires privés et publics et des universités, fera désormais les délices de tous les internautes à l'adresse : <http://www.nbif.org/bioimage.bioimage.html>

R.I.

ACTUALITÉ p.126

Les dernières nouvelles du multimédia

PASSEPORT POUR INTERNET p.130

Le Télé-Achat

INTERNET p.136

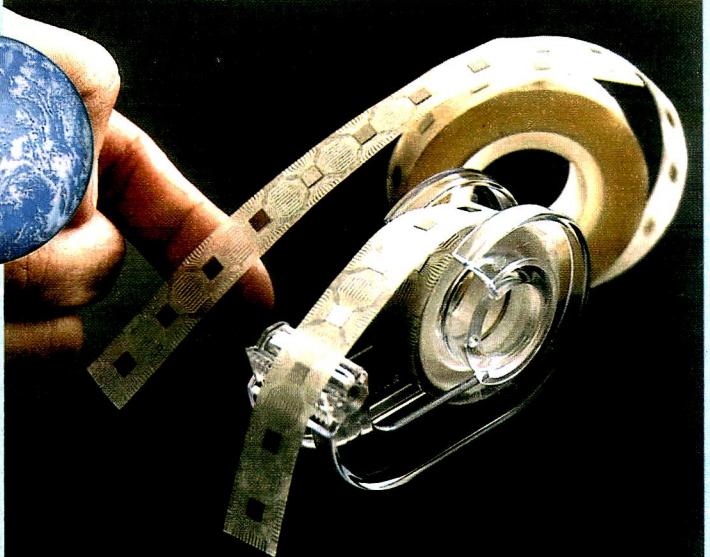
Les maths au net

Do you parlez Deutsch?



Pour ceux qui suivent de près les développements des Nouvelles Technologies de l'information et de la communication (NTIC), le 22 juillet 1999 est une date à marquer d'une pierre blanche : celle de la démonstration du premier logiciel de traduction simultanée en langue courante sur l'internet. Le logiciel a permis à des Américains, des Coréens, des Allemands et des Français de converser, chacun dans sa langue, via le réseau comme si chaque interlocuteur parlait dans la langue des autres. Le logiciel a été conçu par le consortium international C-Star, qui regroupe des laboratoires publics et privés asiatiques, américains et européens. En France, la démonstration s'est déroulée au laboratoire Clips de l'Institut de Mathématiques appliquées de Grenoble (IMAG), qui fait partie du consortium.

R.I.



T. AIZAWA/REUTERS/MAXPPP

Ruban à puces

@ Qu'on ne s'y trompe pas. Ceci n'est pas le dernier modèle orné de ruban adhésif... C'est le plus fin et le plus léger microprocesseur (à peine plus d'un millimètre d'épaisseur) jamais im-

primé et déposé sur un ruban. Il servirait, selon son concepteur, Toshiba Corporation, à doper en mémoire un système informatique sans occuper de place. Pourra-t-on aussi s'en servir pour coller des affiches au mur ?

R.I.

Cabines multimédias

@ British Telecom vient d'inaugurer dans la gare de Waterloo (Londres) ce qui demain sera, sans doute, d'usage courant dans toutes les villes de la planète : la cabine multimedia, nommée *multiphone*. La connexion, au prix d'une communication locale (ou gratuite pour certains services), s'obtient au moyen d'une carte téléphonique ou d'une carte bleue. L'opérateur anglais compte installer un millier de ces cabines d'ici mars prochain. Petit détail : le *multiphone* permet aussi de téléphoner.

R.I.

Une carte bleue ou une carte téléphonique... Et l'on peut surfer sur le Web en attendant son train.



27 millions

C'est le nombre d'internautes européens, d'après une étude diligentée par la Commission européenne. Leur nombre devrait toutefois s'accroître très rapidement. 4,2 % des Européens de plus de 15 ans (soit quand même 12 millions de personnes) pensent se connecter à la Toile dans les six mois à venir. L'étude note également une grande disparité entre l'Europe du Nord et celle du Sud en termes d'intérêt pour le Net.

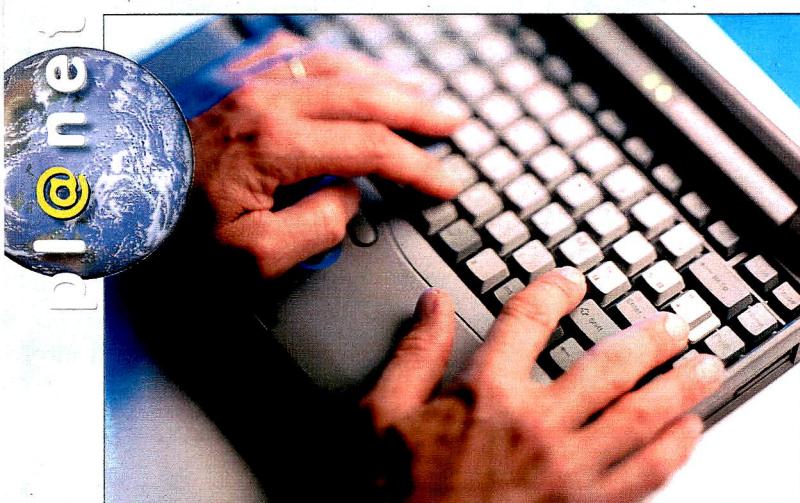
Avec GRAINES de GÉNIE c'est facile d'avoir des enfants épanouis !



Tout l'entraînement
scolaire du CE1 à la 3ème.

Parce qu'un enfant qui comprend est un enfant épanoui, GRAINES de GÉNIE permet d'apprendre et de réviser à son rythme. Chaque céderom propose une année complète d'entraînement et de révisions personnalisées, en français et en maths, en anglais et aussi en géographie. Graines de Génie, c'est :

- un contenu pédagogique conforme au Programme Officiel de l'Education Nationale.
- une méthode élaborée par des enseignants, en collaboration avec des parents et des enfants.
- une couverture complémentaire sur internet avec le service @près l'école : SOS maths, actualités, conseils...



L. HAUTECŒUR/FOTOGAM-STONE IMAGES

- 1/ Sciences et éducation
- 2/ Pornographie
- 3/ Pages gouvernementales
- 4/ Santé
- 5/ Pages personnelles
- 6/ Pages communautaires
- 7/ Religion
- 8/ Société

83% des serveurs ont un contenu commercial. 6% seulement ont un contenu scientifique ou éducatif.

Une "dynamo" dans le clavier



Des millions de doigts tapant chaque jour sur les claviers de millions d'ordinateurs portables... Une telle énergie se devait d'être recyclée. Un ingénieur de Compaq vient de breveter un système dans lequel un ou plusieurs petits aimants attachés à chaque touche se déplacent, lors de la

frappe, dans une bobine fixe. Le mouvement de l'aimant dans la bobine produit un faible courant électrique (phénomène d'induction magnétique) qui vient recharger la batterie, prolongeant d'autant l'autonomie de l'appareil. On ignore si le constructeur produira ce générateur "dactylographique". M. C

Ratés dans les moteurs

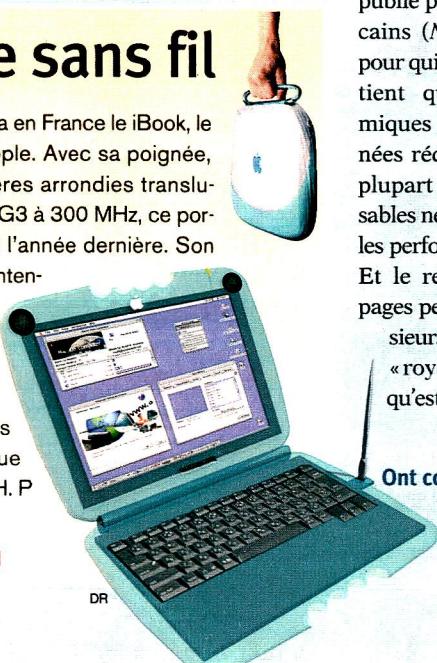


Outils indispensables à tout internaute, les moteurs de recherche (qui permettent de trouver un document en ligne à partir de mots-clés) ne répertorient dans leur ensemble que 42% des 800 millions de pages Web. Et utilisé seul, le plus puissant d'entre eux – *Northern Light* – n'indexe que 16% des documents. C'est l'inquiétant résultat publié par deux chercheurs américains (*Nature* du 8 juillet 1999) pour qui le déclin de l'indexation ne tient qu'à des raisons économiques : puisqu'une base de données réduite suffit à satisfaire la plupart des requêtes, les responsables ne cherchent plus à accroître les performances de leurs moteurs. Et le recensement de nouvelles pages peut désormais prendre plusieurs mois : un comble pour ce « royaume de l'instantané » qu'est l'internet... M. C.

Le iBook surfe sans fil



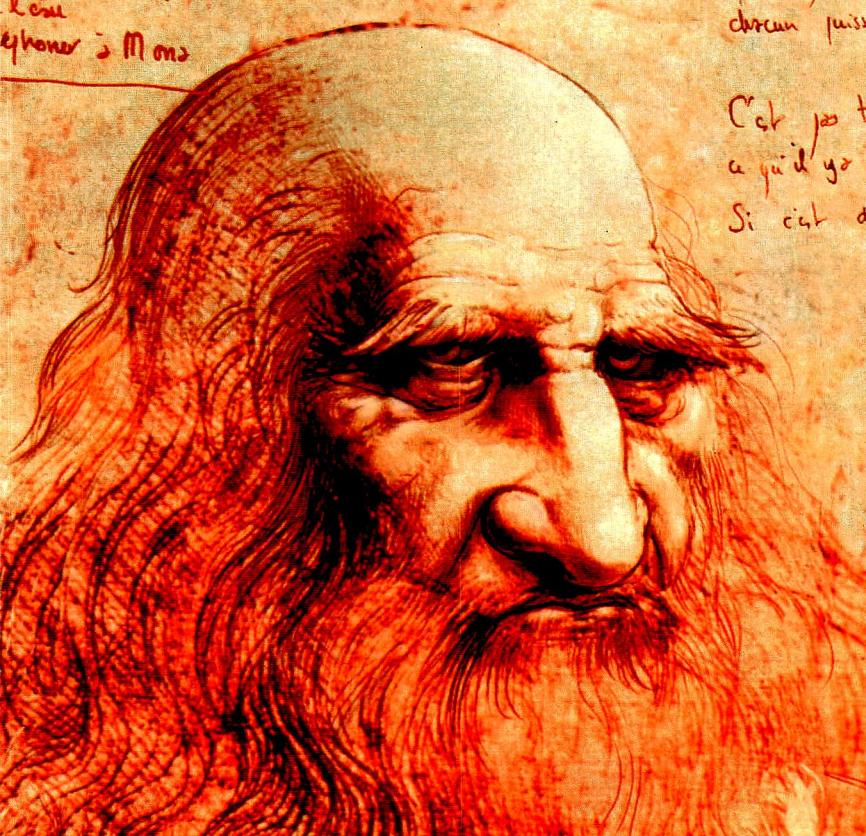
À la mi-septembre arrivera en France le iBook, le tout nouveau bébé d'Apple. Avec sa poignée, ses couleurs, ses matières arrondies translucides et son processeur G3 à 300 MHz, ce portable est le petit frère du iMac, sorti l'année dernière. Son principal atout est caché dans son antenne interne branchée sur le modem qui le connecte sans fil sur l'internet. Son handicap : il ressemble à une trousse de maquillage. Vendu l'équivalent de 10 000 francs aux États-Unis, son prix risque d'être plus élevé en France. H. P



Le iBook est capable de se connecter à l'internet sans fil

Ont collaboré à cette rubrique :
Hervé Poirier,
Mathieu Crocq

Pour découvrir tout ce que Léonard n'a pas découvert... abonnez-vous à SCIENCE & VIE.



Mon rêve serait que un jour quelqu'un relève
toutes ces idées et les met en pratique tellement
que nous pourrions puiser à l'essence
d'un peu de tout et en faire quelque chose de bon

C'est pas tout mais je ne demande
à qu'il ya
Si c'est au



226
francs
seulement

SCIENCE & VIE, le plaisir de savoir.

Bulletin d'abonnement à SCIENCE & VIE

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

Oui Je m'abonne à SCIENCE & VIE
pour 1 an soit 12 mensuels.

● Je règle la somme de **226 francs*** seulement.

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____

Ville _____

Je choisis de régler par :

- chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE
 carte bancaire

N° _____

expire à fin _____ mois _____ année _____

Date et signature obligatoires

* Au lieu de 276 francs prix normal de vente des magazines chez votre marchand de journaux

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 1999 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE METROPOLITAINE.

Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 17 17. Vous pouvez également vous abonner sur Internet : www.abomag.com, sur minitel en tapant 3615 ABON (1,23 F/min) et vous receverez en cadeau avec votre abonnement à 11 N° + 4 HS le numéro 1 de Science & Vie

RC PARIS B 572 134 773

SV 984

Conformément à la loi Interrégime et L'ordre du 05/01/1978, obligeant depuis d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Pour toute information, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

Passeport pour l'internet

6/Le télé-achat et les cybermarchands

D

C.FAVOT/DREAM INK



**Supermarché mondial,
l'internet offre des
produits en provenance
du monde entier.
Mais, si en France
les consommateurs
sont bien protégés,
ce n'est pas toujours
le cas hors de nos
frontières...**

Grâce à la couverture mondiale du Web, le télé-achat, appelé commerce électronique ou E-business, prend des allures de supermarché planétaire où le meilleur côtoie le pire. D'un clic de souris, le cyber-client peut passer des impressionnantes rayonnages d'un disquaire californien à une cave à vins bordelais en glanant au passage quelques gadgets à Taïwan ou le dernier I-Mac di-

rectement chez Apple aux Etats-Unis. Que trouve-t-on sur le Net, comment payer, comment être livré? Autant de questions que se pose tout nouveau client d'un hypermarché virtuel.

Bien que récent, le cyber-commerce se porte déjà bien et tout incline à penser que le marché touché par le commerce électronique est extrêmement ouvert (voir encadré). Comment savoir qui se cache derrière une page d'accueil



cherche (voir *Sciences & Vie* 981, p. 140).

Mais il ne suffit pas d'indiquer un type de produit pour résoudre le problème. Ainsi, sur *Altavista*, en restreignant la demande aux seuls serveurs francophones, si l'on tape "vente par correspondance", 5 249 réponses apparaissent. Chercher un grand cru relève du défi. Au

lui d'un autre moteur de recherche. Sur la page d'accueil, il sélectionne "Yahoo! Shopping". Dès le clic effectué, une fenêtre s'ouvre sur "Alimentation et restauration", puis le mot "Vin". La progression dans l'arborescence ouvre encore une fenêtre. Déjà une présélection restreinte de sites fait son apparition. Encore un clic pour sélectionner "Vin" et Yahoo délivre une liste de négociants classés par région.

Une autre solution consiste à utiliser l'opérateur booléen "+". Sur *Altavista* (<http://www.altavista.com>), par exemple, on formule la demande de la façon suivante : "vente + vin + bordeaux". Tous les serveurs qui traitent de la vente de vins de Bordeaux apparaissent alors. Une liste longue de 59 670 réponses! En affinant la recherche "vente + vin + château + bordeaux" 25 190 pages correspondent encore à la requête. Avec "+ france", ce nombre descend à 14 199. Le mieux reste cependant de connaître la dénomination précise du produit désiré. La commande se solde alors par l'expédition d'un produit "physique". Le commerce électronique reste proche de la vente par correspondance

Faut-il faire confiance à l'E-business? Si le serveur est situé en France, la réglementation sur la VPC protège le consommateur.

mot "vins", le moteur de recherche associe 126 146 sites. Trouver un voyage organisé est aussi un exploit avec 328 120 candidats et que

Trouver ce qu'on veut sur Internet demande méthode et patience

dire lorsque pour le mot "information", *Altavista* propose 1 278 627 réponses?!

Heureusement, tout moteur de recherche possède une arborescence capable d'aiguiller l'internaute avant qu'il formule sa question. Supposons, qu'un internaute veuille acheter une bouteille de Bordeaux. Il demande à *Yahoo* (<http://www.yahoo.fr>) de le guider dans sa recherche. Son cheminement sur *Yahoo* est identique à ce-

traditionnelle. Pour des logiciels ou des jeux, les cyber-vendeurs proposent souvent deux solutions d'achat. La première est la commande d'un CD-Rom, donc livré, la seconde est le téléchargement du logiciel. L'internet offre également une dimension nouvelle pour les ré-

DES PETITS TRUCS POUR MIEUX SÉLECTIONNER

L'expression "l'embarras du choix" prend tout son sens dans ce domaine. Comment débusquer alors les produit ou les services souhaités? Il est indispensable de passer par un moteur de re-



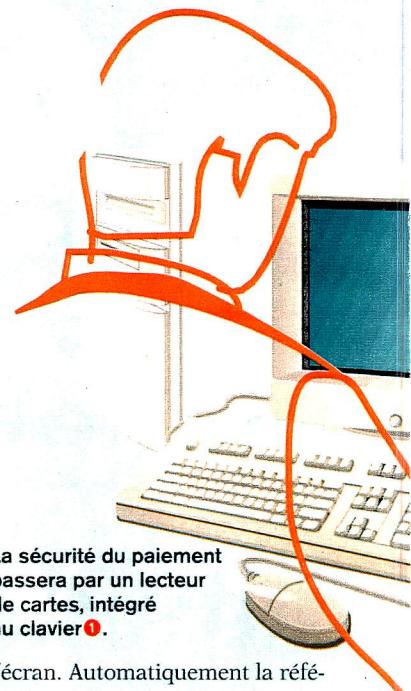
servations de voyages. Nombreuses sont les cyber-agences où des séquences vidéo interactives remplacent le catalogue. Ce procédé permet, en théorie, de se faire une idée précise du lieu du séjour, des services proposés, des qualités de l'hôtellerie...

SE SIMPLIFIER LA VIE EN SE LAISSANT GUIDER

Outre ces secteurs d'activité où téléchargement et interactivité donnent une souplesse indéniable au commerce électronique, des prestations plus traditionnelles sont offertes. Les grands noms de la vente par correspondance tels que la *Redoute* ou les *Trois-Suisses* disposent déjà d'un catalogue en ligne et de nombreuses galeries marchandes virtuelles proposent

des produits variés : livres, vins, musique, vêtements, jouets ou produits pharmaceutiques. L'un des cas les plus célèbres dans ce domaine fut l'impressionnante flambée commerciale du Viagra lors de sa mise sur le marché américain alors qu'il n'était pas encore disponible en France.

Une fois le serveur trouvé, et l'article choisi, l'acte du télé-achat est on ne peut plus simple. La plupart des centres commerciaux virtuels remplissent automatiquement un bon de commande électronique. Celui-ci s'appelle le plus souvent "Ma Commande" ou "Mon Cadidie". Pour sélectionner un article, il suffit de cliquer sa photo sur



La sécurité du paiement passera par un lecteur de cartes, intégré au clavier.

Rien n'est plus simple que le "shopping virtuel". Il suffit de cliquer l'article convoité. Ses références et son prix s'inscrivent sur le bon de commande. Ce dernier présente alors un récapitulatif de la sélection et calcule le montant de la facture.

l'écran. Automatiquement la référence du produit s'ajoute à la liste. A tout instant, l'internaute peut consulter sa commande pour préciser une quantité, une taille s'il s'agit d'un vêtement par exemple, ou supprimer un article commandé par erreur. Lors de l'ajout de chaque nouveau produit le prix s'affiche sur le bon de commande et son montant total apparaît au fur et à mesure de la sélection. Une fois la commande terminée, il ne reste plus qu'à la confirmer en cliquant une icône réservée à cet effet (le plus souvent "envoyer ma commande" ou "order"), à indiquer une adresse de livraison et... à choisir un mode de paiement.

DES ALGORITHMES AU SERVICE DU CLIENT

Tous les serveurs de commerce électronique proposent de laisser directement un numéro de carte bancaire. Si cette pratique est parfaitement admise par le

Lors de la transmission de la commande, la liaison est cryptée.

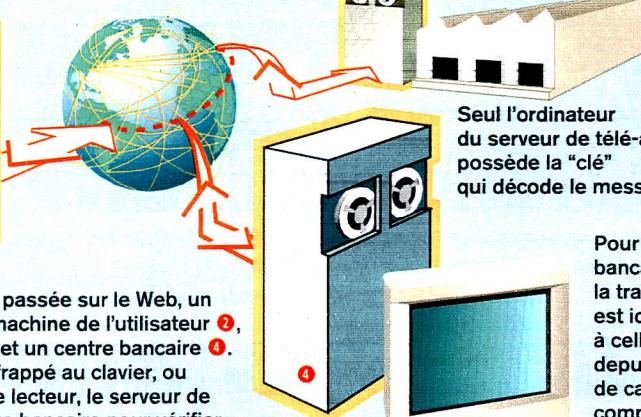


Lorsqu'une commande est passée sur le Web, un dialogue s'établit entre la machine de l'utilisateur (1), le serveur de télé-achat (2) et un centre bancaire (4). Dès le numéro de la carte frappé au clavier, ou directement transmis par le lecteur, le serveur de télé-achat contacte le centre bancaire pour vérifier que la carte n'est pas frappée d'opposition. La transaction est validée quand il obtient une réponse favorable. La marchandise est alors sortie des stocks et expédiée. Après un délai qui correspond à la durée moyenne de livraison, il entre de nouveau en contact avec le serveur bancaire pour débiter le montant de la facture du compte du client.

public américain, beaucoup d'Européens et surtout de Français hésitent encore. On parle régulièrement de piratages et de détournement de numéros de cartes bancaires sur l'internet. Si le phénomène existe, le risque de se faire pirater est toutefois relativement faible. En effet, lors de la transaction, la communication passe automatiquement en mode crypté. Pendant une transmission "en clair" chaque caractère, chaque chiffre frappé au clavier ou affiché sur l'écran correspond à la transmission d'un octet (groupe de huit bits) précis. Ce codage est fixé par un tableau de valeurs dénommé code ASCII. La lettre "A", par exemple, se caractérise par l'octet : "01000001". Pour sécuriser la transmission, l'ordinateur combine cette valeur avec celle d'un autre octet issu de la clé de cryptage.

Souvent, c'est le RC4-40 qui est retenu comme algorithme de chiffrement. Sa clé se compose d'une suite de chiffres choisis parmi une séquence pseudo-aléatoire préde-

Mais c'est lors de son transit sur le Web que les risques de piratage sont les plus élevés.



Seul l'ordinateur du serveur de télé-achat possède la "clé" qui décide le message.



Pour le centre bancaire, la transaction est identique à celle faite depuis le lecteur de carte d'un commerçant.



D.GALLAND

terminée. La "personnalisation" de la clé pour la connexion s'obtient par un choix ponctuel, connu des deux interlocuteurs, du point de départ dans la séquence pseudo-aléatoire. Ensuite, le premier octet de la clé est combiné avec ce-

seconde) devrait être réservé exclusivement au décodage du message pendant un an avant de pouvoir le déchiffrer. Pourtant, certains pirates de haut vol semblent réussir à intercepter des communications sans disposer

Un voyage, un livre ou du Viagra... Le Net "offre" presque tout

lui du premier chiffre à transmettre, le second avec celui du deuxième chiffre, etc. jusqu'à la fin du message. Pour chaque nouvelle transmission un point de départ est choisi. Ainsi même si une personne mal intentionnée a pu capter un message, son travail ne présentera aucun intérêt pour la transmission suivante. Les informaticiens ont calculé que pour décoder à coup sûr un message chiffré à l'aide de l'algorithme RC4-40 il faut en moyenne 64 ans MIPS. En d'autres termes, un ordinateur 64 MIPS (capable de gérer 64 millions d'instructions par

d'un matériel aussi puissant.

Mais la protection est aussi d'ordre statistique : des pirates scrutent l'internet pour se procurer des numéros de cartes bancaires. Ils "piochent" au hasard des transactions. Pour un utilisateur, la probabilité qu'il soit choisi reste ainsi faible mais elle existe. Pour remédier à ce risque plusieurs solutions sont à l'étude. La société française GemPlus propon-



se l'une des plus efficaces. Elle consiste à équiper le clavier de l'ordinateur d'un lecteur de carte bancaire. Ainsi, avant toute validation de la commande, le centre serveur peut établir un "dialogue électronique" avec la puce de la carte bancaire et authentifier la légalité de l'opération. Si la carte n'est pas présente dans le lecteur au moment de la transac-

tion, la commande est immédiatement rejetée. Mais ce procédé de contrôle n'est pas encore totalement opérationnel.

En attendant sa banalisation, le mode de paiement le plus sûr reste

le règlement par courrier. Dans ce cas, il faut demander l'impression du bon de commande. Les informations qu'il porte, références des produits, prix, quantité, adresse de livraisons... sont strictement identiques à celles affichées sur l'écran de l'ordinateur. Une zone est réservée pour indiquer le numéro de carte bancaire et sa date d'expiration. Une fois ce formulaire complété, il suffit de le poster pour que la commande soit validée.

protégés, il n'en est parfois pas de même à l'étranger. Il faut donc distinguer divers cas de figure dans la pratique du télé-achat. Tout dépend de la localisation du centre serveur. Si celui-ci est implanté sur le territoire français, la législation sur la vente par correspondance s'applique intégralement. En revanche, dès les frontières de l'Hexagone franchies, il n'en est pas de même. Actuellement aucune réelle protection des consommateurs n'existe. Un projet de loi est en cours pour ce qui concerne l'Europe, mais il est loin de satisfaire les organisations de défense des consommateurs. La loi française est l'une des plus strictes en matière de protection des consommateurs. Or ce projet de loi envisage que la réglementation en vigueur pour l'acheteur sera celle du pays d'hébergement du centre serveur. Les organisations européennes de consommateurs s'élèvent donc contre un tel projet et proposent que ce soit la loi du pays de l'acheteur qui soit prise en compte. Pire encore, pour les achats hors Europe, aucun texte n'existe si ce n'est les conventions sur le commerce international.

La plupart des associations de consommateurs ainsi que la FEVAD (Fédération des entreprises de vente à distance) mettent donc en garde les internautes français contre le quasi vide juridique qui existe en matière de commerce électronique dès que les commandes sont passées hors de nos frontières. Est-il réellement envisageable pour un particulier de se lancer dans une procédure juridique internationale pour la livraison d'un produit non confor-

L'E-business pose aussi le problème de la protection du consommateur

tion, la commande est immédiatement rejetée. Mais ce procédé de contrôle n'est pas encore totalement opérationnel.

En attendant sa banalisation, le mode de paiement le plus sûr reste

Reste que, si cette méthode garantit la sécurité du paiement, elle n'est pas pour autant gage de la qualité de la marchandise que recevra l'internaute. Or, si en France les consommateurs sont bien

CROISSANCE EXPONENTIELLE

■ Un récent rapport de la société Activmedia (société américaine d'études de marchés) montre que le commerce électronique dégagera, dès fin 1999 un chiffre d'affaires de 95 milliards de dollars. Un chiffre qui devrait s'envoler pour dépasser les 1 000 milliards de dollars en 2 003 ! Pour la France, Benchmark Group (société française d'études de marchés) a déjà répertorié plus de 900 sites dédiés à la vente en ligne. Ils reçoivent déjà 6 000 "visiteurs" chaque mois et réalisent, en moyenne, un chiffre d'affaires mensuel de 50 000 F. Pour les plus importants d'entre eux, celui-ci dépasse déjà le million de francs. Sur le seul territoire français, ce marché devrait représenter plus 2 milliards de francs dès l'an 2 000. On

comprendra que les sites de commerce électronique poussent comme des champignons lorsque l'on sait que le coût moyen de leur installation est d'environ 500 000 F. D'autre part, si le cyber-acheteur est un homme dans 83% des cas et qu'il se situe à 56 % dans une tranche d'âge comprise entre 26 et 40 ans, il provient de toutes les catégories sociales de la société.

En France, ce sont les produits concernant l'informatique qui, avec un chiffre d'affaires de 141,5 millions de francs, arrivent en tête du palmarès des ventes et représentent 35,5% de ce marché. Ceci est probablement dû au fait que tout internaute s'intéresse à l'informatique et souhaite donc soit faire évoluer son matériel soit l'équiper des derniers logiciels.

International Shipping/Billing Info

Précédente Suivante Arrêter Actualiser Démarrage Favoris Historique Rechercher Remplissage automatique Plus grande

My MP3 Music News Hardware Software Help MP3.com Search

Click Here to Buy This Shirt! who invited these guys?

Shipping Information:

First Name: Henri-Pierre
 Last Name: Penel
 Address Line 1: 1 rue du Cl Pierre Avia
 Address Line 2 (optional):
 City: Paris
 Province or Region:
 Postal Code: 75015
 Country: France

Billing Information: Use Shipping Address

Name: Penel
 Address Line 1: 1 rue du Cl Pierre Avia
 Address Line 2 (optional):
 City: Paris
 Province or Region:
 Postal Code: 75015
 Country: France

Continue

[MP3 for Beginners](#) | [Free Music](#) | [Artists/Labels](#) | [News](#) | [Software](#) | [Hardware](#)
[About MP3.com](#) | [Contact MP3.com](#) | [MP3.com Policies](#) | [Advertise](#) | [Jobs](#) | [Link to Us](#)
 Copyright © 1998-1999 MP3.com Inc. All rights reserved. [Disclaimer](#)

 La connexion à ecom99.mp3.com est sécurisée (RC4-40)

Le plaisir de savoir
SCIENCE&VIE

Établissement d'une connexion sécurisée.
Entrez votre mot de passe de certificat.

Mot de passe :

Annuler **OK**

Les douaniers sont d'ailleurs de plus en plus vigilants à cet égard et la TVA, entre autres, est exigible sur l'achat d'un disque commandé aux États-Unis, par exemple. Pourtant, dans ce domaine notamment, la "dématerrialisation du support" liée au téléchargement risque de soulever de graves problèmes de taxation. Il en est de même pour un logiciel, un jeu ou des images. Enfin, l'acheteur doit vérifier avant toute commande si le produit qu'il souhaite acquérir n'est pas frappé d'interdiction sur le territoire français. S'il l'est, la marchandise peut être saisie en douane et le destinataire inculpé d'importation frauduleuse de produits prohibés. On peut donc devenir "contrebandier sans le savoir" à la suite de quelques clics. Pour les particuliers qui commandent de bonne foi, le plus souvent la justice n'est pas trop sévère et la peine se limite au blocage en douane du produit. Il n'en est pas de même pour la contrebande organisée. Il n'est pas rare que les services douaniers bloquent des livraisons de grosses quantités de disques compacts ou de CD-Rom de jeux destinés aux filières de vente parallèles. Dans ce cas, les peines encourues par les acheteurs de tels lots sont tout à fait comparables à celles qui pèsent sur les réseaux de contrebande traditionnelle.

Shopping Cart

Produits Actualiser Supprimer Filtre Imprimer Imprimer détaillé Exporter à Microsoft Excel

MP3.com Search

Click Here to Buy This Shirt! who invited these guys?

Credit Card Information:

Credit Card Type: Visa
 Credit Card Number: 1234567890123456
 Expiration Date (MMYY): 06/01

Shipping Method Selection:

Shipping Method: Ground Service - \$ 0.75

Continue

A note on Shipping Methods:
 In most cases, your order will be shipped within 24 hours. Orders are processed and shipped within 24 hours Monday through Friday.
 "Ground" service typically takes 1-5 days for US customers, and 7-14 days for international customers.
 Shipment times are estimates and subject to change due to weather, strikes, and other factors.

Le passage en mode "sécurisé", donc crypté, est clairement signalé par le navigateur. Nom, adresse et numéro de carte bancaire du client ne sont, en théorie, accessibles qu'à la machine du vendeur à l'exclusion de toute autre. Pourtant certains pirates arrivent encore à détourner un numéro de carte et l'exploitent pour commander des marchandises sur l'internet.

me à sa demande mais dont le prix ne dépasse pas quelques centaines de francs ?

Il ne faudrait tout de même pas trop noircir le tableau du commerce électronique car on peut réaliser des "affaires" sur l'internet ou obtenir des produits non disponibles en France. Les entreprises qui se lancent dans cette nouvelle façon de commercer ont tout intérêt à satisfaire leur clientèle. De même, les serveurs américains

pratiquent la politique du "satisfait ou remboursé". Pour sa part la FE-VAD propose son "label" aux centres serveurs offrant une bonne

garantie aux consommateurs. Il est vivement conseillé de consacrer quelques instants à la consultation de son site (<http://www.fevad.com>) qui, outre le moteur de recherche qu'il contient pour aiguiller l'utilisateur vers le produit convoité, indique comment pratiquer le télé-achat sans prendre trop de risques.

DES ACHATS QUI NE SONT PAS ÉPARGNÉS PAR LES TAXES

Rappelons enfin que tout achat effectué à l'étranger est passible de droits de douanes. Cette réglementation concerne aussi le télé-achat fait hors de la Communauté européenne. Comme le précise la Direction générale des douanes et droits indirects (DGDDI), tout colis peut être intercepté et des droits réclamés à son destinataire.

Maths au Net



Derrière les équations mathématiques se cachent des siècles d'histoire. Les sites consacrés à cette science mettent en lumière les hommes qui l'ont nourrie au fil du temps.



Les mathématiques ne se résument pas à une série d'équations imperturbablement tracées sur le tableau noir par un professeur. Les fonctions et les courbes à la craie blanche cachent des siècles d'histoire. Hélas, le bagage culturel et historique "sécrété" par cette science est si énorme que l'enseignement ne peut qu'en donner une image déformée et simplifiée. C'est pourquoi ceux qui éprouvent un petit penchant pour cette drôle d'activité auront tout intérêt à s'attarder sur le site dédié à l'histoire des mathématiques : The MacTutor History of Mathematics archive à l'adresse www-groups.dcs.st-and.ac.uk:80/~history/. Conçu à l'université de Saint-Andrews, en Ecosse, le MacTutor est, à plus d'un titre, un exemple réussi de

Mathematicians born in India

Adresse : <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk:80/~history/BirthplaceMaps/Countries/India.html>

Mathematicians born in India

Instead of the map below, you can see a [map showing only coastlines, rivers, etc.](#)

Click on the name below to go to the biography.

[Aryabhata](#), [Bose](#), [De Morgan](#), [Harish-Chandra](#), [Rajagopal](#), [Ramanujan](#), [Sommerville](#), [Sripathi](#), [Henry Whitehead](#)

Click on a country below to see the mathematicians born there.

Lemniscate of Bernoulli

Lemniscate of Bernoulli

Cartesian equation: $(x - y^2)^2 + (y - x^2)^2 = 0$

Polar equation: $r^2 = 2a \cos(2\theta)$

[Click below to see one of the Associated curves.](#)

Ce site dédié à l'histoire des mathématiques propose des cartes géographiques (ci-dessus) avec les lieux de naissance des mathématiciens. On peut y voir aussi des courbes célèbres (ci-contre) avec leur équation.

site multimédia. On y trouve les biographies de mathématiciens (depuis la Grèce antique jusqu'à aujourd'hui) avec des photos et l'essentiel de leurs travaux, un résumé historique de l'épopée mathématique – où chaque nom de mathématicien renvoie à sa biographie –, des courbes célèbres (depuis l'Astroïde jusqu'à la Sorcière d'Agnésie, en passant par la Lemniscate de Bernoulli) avec leur équation et des animations en ligne, un moteur de recherche thématique et biographique, un éphéméride des mathématiciens nés ou morts à la date de la consultation et, enfin, des cartes géographiques avec les lieux de naissance des ma-



Kurt
Gödel



Andrew
Wiles



Pierre
de Fermat



Alexander
Grothendieck

The Largest Known Primes

26972593 - 1 is prime!

Contents:

- Home
- Largest
- Project
- How Many?
- Prime Curios!
- Search

Note: The correct URL for this page is <http://www.utm.edu/research/primes/largest.html>

Pédagogie et approche ludique pour ce site consacré aux nombres premiers.

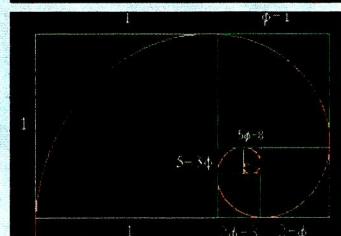
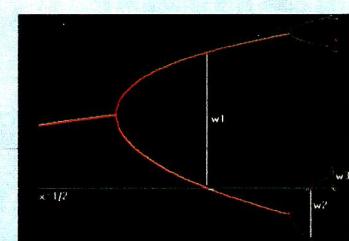
thématiciens. Pour amuser l'internaute, les concepteurs du site ont même fait la liste des rues qui portent le nom des mathématiciens dans leur pays d'origine...

Mais, puisque les mathématiques sont aussi un jeu, la Toile – réputée mondiale – se devait d'offrir les

délices du calcul ludique.

Le site The Largest Known Primes à l'adresse www.utm.edu/research/primes/largest.html répond à cette exigence. Dédié aux nombres premiers (nombres entiers qui ne sont divisibles que par 1 et par eux-mêmes), il explore une partie de cet univers particulier avec légèreté et profondeur. Après une entrée en matière qui en dévoile le cadre théorique, on y trouve toutes les variations sur ce thème (nombres jumeaux, nombres de Mersenne, etc.).

Enfin, le site de Mathsoft à l'adresse www.mathsoft.com/asolve/index.html traite des problèmes mathématiques non (encore) résolus. Notre coup de cœur va, en particulier, au chapitre concernant les "constantes mathématiques favorites" où l'on découvre, outre le nombre imaginaire i , les constantes de Pythagore, d'Archimède, d'Apéry, de Chaitin, etc.

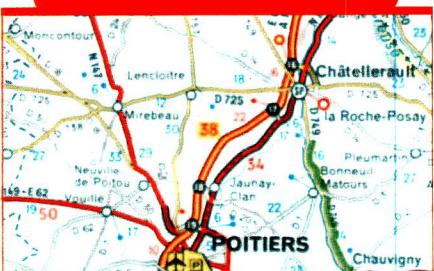


Un site où l'on découvre, notamment, les constantes mathématiques célèbres.

Seul inconvénient de tous les sites référencés ci-dessus : ils sont en anglais, la langue universelle des sciences aujourd'hui. ■

votre prochain voyage ?

3615 123 PARTEZ



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

(Excelsior Filipacchi - 2,23 F/Minute)

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

BON DE COMMANDE

à compléter et à retourner payement joint à SCIENCE & VIE
1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 PARIS cedex 15

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

NOM _____ Prenom _____

ADRESSE _____

CODE POSTAL _____ VILLE _____

(*) Chaque reliure est conçue pour classer 12 numéros. (**) Dans la limite des stocks disponibles

OFFRE VALABLE JUSQU'A FIN 99

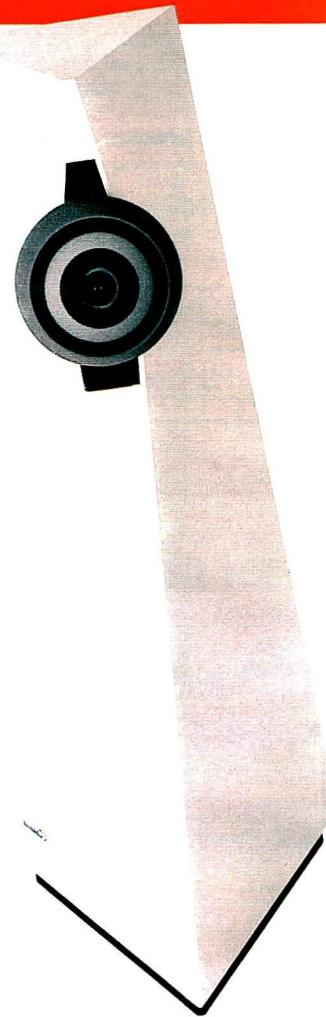
PAR HENRI-PIERRE PENEL
ET JEAN-LUC GLOCK

Vers la hi-fi totale

Pour restituer au mieux un son, l'idéal est de ramener en un même point la source sonore. Or cet impératif est incompatible avec la répartition des haut-parleurs sur la façade d'une enceinte acoustique. Avec l'Adriatis 600 Evolution, Cabasse a réussi à se rapprocher de la configuration idéale. Pour cela un triple haut-parleur coaxial (voir ci-dessous) assure la restitution des bas médiums, médiums et aiguës. La restitution des basses profondes est confiée à deux haut-parleurs de 30 cm logés dans un caisson qui fait office de socle. Mais, pour respecter l'impératif de source ponctuelle, ces haut-parleurs ne diffusent pas directement le son. Un système d'évents (guides sonores) ramène leurs ondes acoustiques dans l'axe de la sphère qui porte le haut-parleur coaxial. Outre la remarquable linéarité de réponse de cette enceinte, le respect du relief sonore est parfait.

Prix 65 000 F (1 000 €).

Ces enceintes doivent être parfaitement installées pour un rendement optimal.



Des lentilles qui s'oublient

La lentille de contact Focus Night & Day de Ciba Vision se porte nuit et jour 30 jours d'affilée. A l'issue de cette période, elle est simplement jetée. Cette prouesse est possible grâce au fluorosiloxane (copolymère à structure bi-phrasique) qui la compose. La perméabilité à l'oxygène de nouveau matériaux est six fois supérieure à celle des lentilles souples traditionnelles.

Prix 220 F à 240 F (33 à 36 €) environ.



La longévité de ces lentilles est telle que leur budget mensuel d'utilisation reste faible. De plus, elles éliminent toute manipulation quotidienne.

Le mobile devient Média Phone

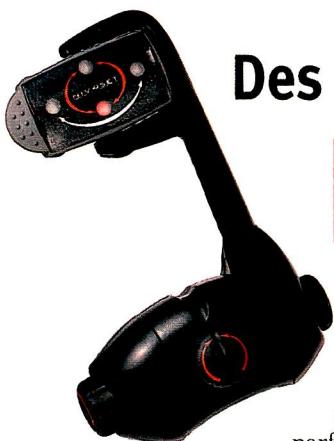
Le téléphone mobile Nokia 7110 ouvre la porte du multimédia mobile. Son électronique gère intégralement la nouvelle technologie WAP, standard destiné à l'accès à l'internet, depuis un mobile. Il affiche ainsi sur son écran graphique un mini navigateur internet. De même une touche multifonctions, le *Navi Roller*, se transforme en mini souris.

Prix 2 490 F (380 €) environ sans abonnement.

Outre ces fonctions nouvelles, le Nokia 7110 possède une étonnante autonomie. Elle atteint 11 jours en veille et 4h 30 en communication.



Des haies parfaites



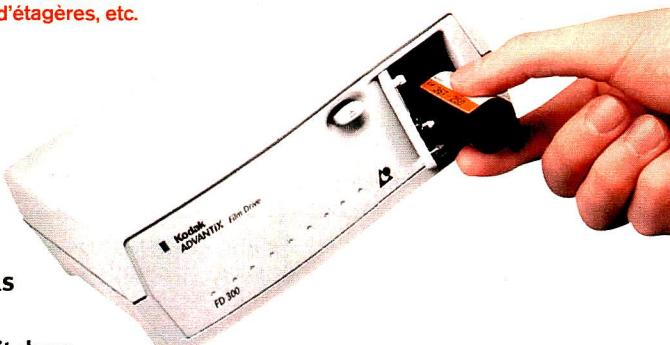
Maintenir un taille-haie parfaitement horizontal et ne pas dévier lors de la coupe est un exercice redouté de tout jardinier. Pour obtenir une taille parfaite sans devoir planter des piquets de repère ni avoir recours à un niveau à bulle, Nivaset apporte une aide précieuse. Ce petit appareil se fixe sur le taille-haie. Son niveau électrique repère automatiquement l'horizontalité de l'outil. Un panneau qui comporte quatre diodes électroluminescentes guident l'utilisateur tout au long de la taille. Pour que la coupe soit parfaite les quatre diodes doivent être éteintes. Dès qu'une diode s'allume elle indique la direction de la dérive : trop à droite, trop à gauche, trop en avant ou trop en arrière. Prix : 295 F (42 €) environ.

Nivaset peut également s'utiliser quand on recherche une parfaite planéité : pose de carrelage, terrassement, fixations d'étagères, etc.

L'APS a son scanner

Le format variable de prise de vue (standard, 16/9 ou panoramique) des appareils photographiques APS a fait leur succès. Cependant, la cartouche de film qu'ils utilisent leur est spécifique. Pour ouvrir ce standard au traitement informatique, il fallait donc étudier un scanner particulier. C'est chose faite grâce au scanner Advantix FD 300 de Kodak. Son utilisation est extrêmement simple. Il suffit d'insérer la cartouche APS dans l'appareil pour numériser les photos. Avec une résolution de 2 400 points par pouces, les images obtenues sont d'une qualité suffisante pour supporter un agrandissement jusqu'au format 20x25 cm sur une imprimante à jet d'encre. Prix 2 290 F (350 €) environ.

Le système Kodak Picture Easy qui équipe ce scanner permet de recadrer la vue ou de la zoomer avant sa numérisation.



Super Audio CD contre DVD

Le disque compact est-il déjà condamné ?

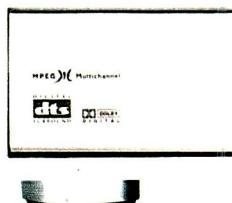
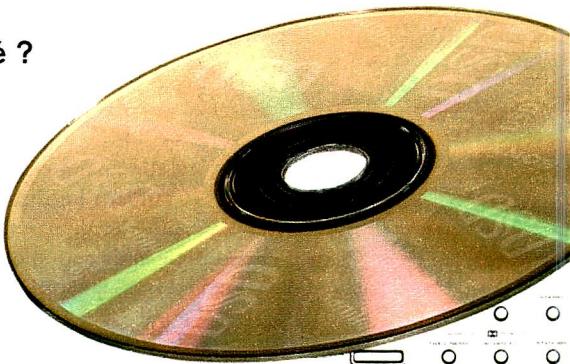
Vingt ans après avoir pris la place du microsillon, c'est maintenant à son tour de s'effacer devant les nouvelles technologies du Super Audio CD et du DVD. Et la bataille fait rage pour savoir quel standard va le remplacer. Avec bien sûr de puissants intérêts économiques et industriels en jeu.

On pensait la guerre des standards terminée. En haute-fidélité, le disque compact assurait depuis plusieurs années son rôle de support musical traditionnel. Pour le futur, le consensus des constructeurs sur le DVD semblait avoir définitivement mis fin à un combat dont la conséquence était la prolifération de lecteurs tous incompatibles entre eux. Or depuis quelques temps, on entend régulièrement parler de l'imminente arrivée de Super Audio CD et de DVD Audio. Deux nou-

veaux standards incompatibles entre eux, mais aussi avec ceux qui existent déjà. Les constructeurs déclarent-ils une nouvelle guerre du standard ? Les arguments techniques avancés pour la justifier sont-ils sérieux ou s'agit-il d'une mise à mort du disque compact ? Et pour quelles raisons ? Enfin, en cas d'incompatibilité, combien de lecteurs devrons nous acquérir pour profiter pleinement de cette avancée technologique ?

Il faut dire qu'avec la banalisation de l'informatique domestique et surtout l'apparition des gra-

veurs de CD-Rom, il est devenu aussi simple de dupliquer un disque compact qu'une cassette. Le "piratage" de disques préoccupe les producteurs de musique. Et le phénomène prend de l'ampleur. Sur certains styles de musique comme le Rap, la Dance music ou la Techno, il représenterait plus de 10% des ventes de disques. Les maisons de disque incitent donc les industriels à mettre au point un support plus difficile à dupli-



Les protagonistes

Philips et Sony s'associent pour proposer le SA-CD. D'autres grands noms de la hi-fi, tels que Pioneer, Hitachi ou Thomson, s'orientent vers le DVD Audio.



quer. Mais, quitte à changer de standard, autant en profiter pour le perfectionner. Depuis l'apparition du CD Audio, il y a près de vingt ans, les techniques de numérisation du son ont considérablement évolué. Et le public s'est accoutumé à une restitution sonore de plus en plus fidèle. SA-CD comme DVD Audio associent donc une meilleure finesse du son à une sécurisation accrue.

L'amélioration de leur qualité sonore s'obtient, grâce à la modification de deux paramètres de la numérisation : la fréquence d'échantillonnage et la quantification.

DES ÉCHANTILLONS DE SONS...

Pour numériser de la musique, ou tout autre son, l'électronique d'enregistrement analyse les fluctuations de la tension électrique

analogique issue du micro (une tension dont les fluctuations sont l'image des vibrations sonores). Pour cela le dispositif mesure sa valeur un très grand nombre de fois chaque seconde. Les variations de la tension analogique d'origine se transforment

en une série de "clichés instantanés" de sa valeur. On nomme chacun de ces clichés un échantillon. Lors de l'enregistrement d'un disque compact, la mesure s'effectue 44 100 fois par seconde. Cette opération délivre ainsi 44 100 échantillons. On dit encore que la fréquence d'échantillonnage est de 44 100 Hz ou 44,1 kHz. Mais si la tension évolue entre deux échantillons, cette fluctuation est igno-

réée. Ce phénomène induit des pertes lors de la restitution du son. Il ne faut pourtant pas en exagérer l'importance. La fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz retenue actuellement est telle qu'en théorie, la dégradation du son se situe dans des fréquences sonores trop élevées pour qu'une oreille normale les perçoive. Cependant, un audiophile entraîné équipé d'un matériel haute-fidélité haut de gamme peut les déceler. Il est possible de quantifier ce phénomène. En effet, les lois physiques de l'échantillonnage indiquent que

l'audition. En effet, l'oreille d'un adulte "normale" n'entend plus les sons à partir de 16 à 18 kHz, suivant son âge et son acuité auditive. Mais un audiophile entraîné peut percevoir jusqu'à une vingtaine de kilohertz, donc légèrement au-delà de ce que restitue le disque. Par ailleurs, la fréquence limite de 19,17 kHz évoquée correspond à un son pur : un sifflement, le son d'une flûte. Elle ne prend pas en compte les harmoniques (fréquences multiples de celle de la note jouée) qui donnent à tout instrument son timbre. Or la fréquen-

s'interroger sur l'utilité de coder ces harmoniques puisque l'oreille ne les entend pas. En fait, il existe un intérêt. Même si on ne peut parler de réelle audition, le "ressenti" s'améliore lorsque l'enregistrement sonore assure leur restitution. Le son semble plus "fin", plus précis et mieux défini.

Sur le SA-CD et le DVD audio, la fréquence d'échantillonnage devrait être portée à 96, voire 192 kHz. Le son serait ainsi analysé 192 000 fois chaque seconde. Dans ces conditions, la fréquence maximale qu'ils pourraient restituer serait portée à 83,5 kHz environ. Une note à 16,7 kHz pourrait alors comporter jusqu'à cinq harmoniques. Pour illustrer cette amélioration du rendu musical, il suffit de prendre l'exemple du cinéma. Sur les films muets du début du siècle, les images se succédaient à raison de 12 vues par seconde. On peut dire que le mouvement était "échantillonné" 12 fois par seconde. Actuellement, cette cadence est passée à 24 images par seconde. Si, dans les deux cas la restitution du mouvement existe, le septième art est passé d'une animation sautillante à des mouvements fluides par simple accroissement de sa "fréquence d'échantillonnage". Il en est de même pour le son.

Le second facteur d'amélioration de la qualité sonore est la quantification. Ce terme recouvre la précision avec laquelle chaque échantillon est mesuré. L'enjeu de la numérisation est de traduire le son en une succession de "0" et de "1". Pour cela un dispositif électronique (le convertisseur analogique/numérique) mesure les échantillons. Il attribue à chacun un nombre binaire, c'est à dire représenté par un groupe de bits ("0" ou "1"). Mais, tout comme l'échantillonnage in-

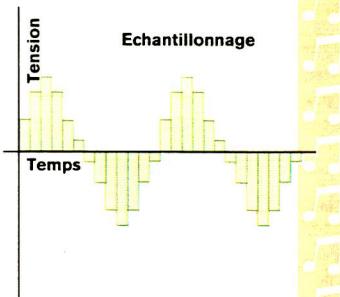
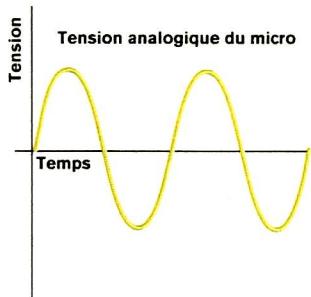
Vingt ans de numérisation ont révolutionné la restitution du son

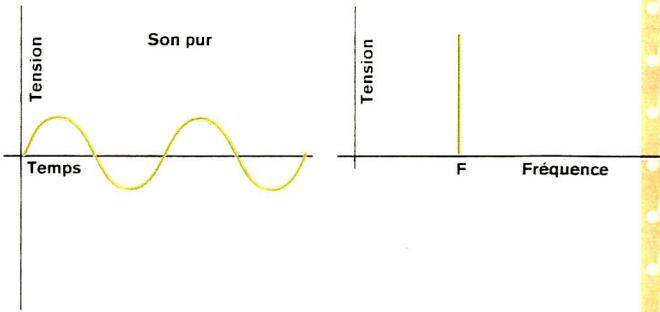
pour analyser une fréquence donnée, la fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale à 2,3 fois celle-ci. Une simple division permet de calculer que la fréquence maximale que peut coder un disque compact est de : 44,1/2,3 soit 19,17 kHz, fréquence qui correspond à un son aux limites de

ce de telles harmoniques est toujours supérieure à celle de la note que joue l'instrument. Des cymbales, par exemple, génèrent des harmoniques qui peuvent atteindre une centaine de kilohertz, c'est à dire bien au delà de ce que l'oreille perçoit et de ce que peut coder le disque compact. On peut

Les "clichés" du son

Avant de le numériser, l'électronique échantillonne le son. Pour cela, elle transforme la tension analogique issue du micro en une succession de mesures de sa valeur instantanée : les échantillons. Plus ces mesures sont nombreuses chaque seconde, meilleure et plus fidèles seront l'approximation et la reproduction du son.





Ce qu'on entend et...

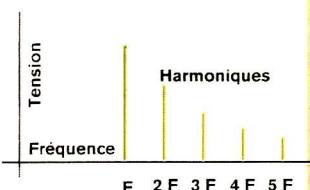
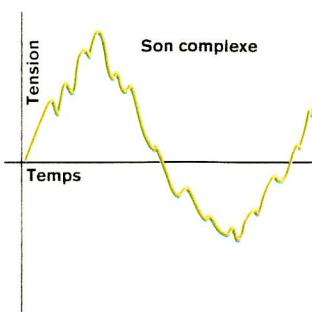
Un son pur, tel que celui d'une flûte par exemple, ne comporte aucune harmonique. Il est relativement facile de le coder correctement même si sa fréquence le situe aux limites de perception de l'oreille. Mais, la musique génère le plus souvent des sons complexes.

... ce qu'on perçoit

Ce sont les harmoniques qui fixent le timbre d'un instrument : des fréquences qui correspondent aux multiples entiers ($2F$, $3F$, $4F$, $5F$) de celle de la note jouée. Si, en théorie, notre oreille ne perçoit pas ces harmoniques, il semble qu'assurer leur restitution au plus près confère au son plus de finesse.

troduisait une incertitude temporelle, cette conversion introduit une incertitude sur l'amplitude. En clair, comme le nombre de valeurs numériques que le convertisseur peut attribuer à l'échantillon est limité, il doit réaliser une approximation. Il doit choisir entre deux valeurs consécutives celle qui est la plus proche de la valeur réelle de l'échantillon. Supposons, par exemple que l'échantillon ait pour valeur réelle 143,47. Le convertisseur ne dispose que de chiffres entiers. Il devra choisir entre 143 et 144. *A priori*, il retiendra 143 mais, une estimation plus précise de l'évolution de la musique aurait peut être retenu 144 comme valeur la plus exacte dans la réalité. Cette incertitude nuit à la finesse de la restitution sonore.

Sur un disque compact cette numérisation s'effectue sur 14 bits. C'est à dire que la valeur de chaque échantillon s'exprime sous forme d'un nombre constitué de quatorze "0" ou "1". Configuration qui n'offre que 2^{14} combinaisons, soit 16 384 valeurs. Le convertisseur ne dispose donc que de 16 384 valeurs entières. Cette ap-



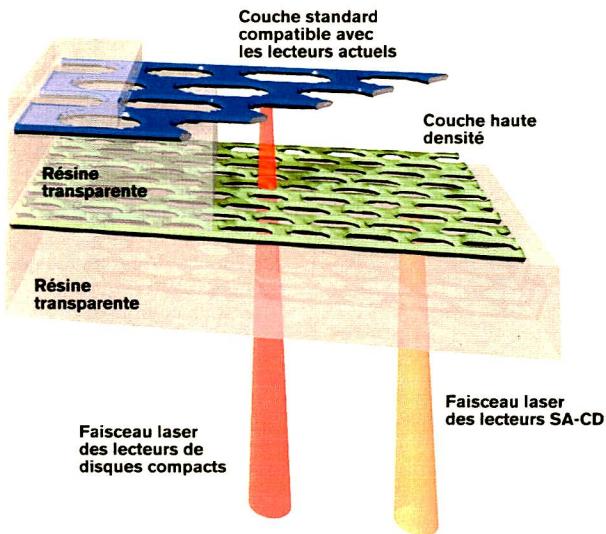
proximation fixe la dynamique du procédé, la dynamique correspondant au rapport qui existe entre le son le plus fort et le plus faible, le tout exprimé en décibels. Dans le cas du disque compact le procédé de codage sur quatorze bits fixe cette valeur à 90 décibels.

AUTONOMIE ET RENDU SONORE RÉELLEMENT ACCRUS

Les nouveaux supports devraient bénéficier d'un codage sur 24 bits. La valeur de chaque échantillon sera donc représentée par un groupe de vingt-quatre "0" ou "1". Ceci porte à 2^{24} le nombre de combinaisons et à 16 777 216, le nombre de valeurs possibles. En d'autres termes, l'analyse est 1 024 fois plus fine que pour le disque compact. Dans de telles conditions, la dynamique atteint 120 dB. Rappelons, à ce propos, que l'échelle des décibels est logarithmique, d'où une apparente faible progression de la valeur exprimée en décibels par rapport au gain réel.

Mais augmenter en même temps fréquence d'échantillonnage et nombre de bits conduit à un énorme accroissement de la quantité de données numériques que le support doit stocker. Elle s'exprime en giga-octets (milliards d'octets) alors que le standard d'enregistrement du disque compact n'offre "que" 650 mégaoctets (millions d'octets) environ. Sans modification, il ne pourrait stocker que quelques minutes de musique. Le DVD, pour sa part, offre une capacité suffisante pour disposer d'une autonomie de 70 à 80 minutes. Le SA-CD exploite, quant à lui, un nouveau revêtement permettant d'atteindre la même durée. Mais qu'en sera-t-il de la compatibilité de ces nouveaux disques avec les lecteurs existants?

Le SA-CD mise sur l'évolution dans la douceur. Il devrait porter deux couches superposées à l'instar du DVD. La première couche sera strictement identique à celle de nos actuels disques compacts et



© FLORAND

La compatibilité en héritage

Le SA-CD mise sur sa compatibilité avec les lecteurs de CD pour assurer son succès commercial. Pour cela deux couches réfléchissantes le composent. La première est identique à celle d'un disque compact. La seconde, transparente au faisceau laser des lecteurs traditionnels réfléchit celui des lecteurs SA-CD et stocke jusqu'à 4,7 giga-octets.

donc lisible par un lecteur traditionnel. La seconde, superposée à la "couche standard" sera la couche haute densité. Sa capacité de 4,7 giga-octets lui permettra de stocker jusqu'à 80 minutes de musique au format SA-CD. D'autre part, ses caractéristiques optiques très particulières la rendront transparente au faisceau laser des lecteurs de CD conventionnels.

650 nanomètres au lieu des 780 nanomètres de la tête conventionnelle. Sous ce rayonnement, la couche haute densité devient réfléchissante et la tête accède donc à ses informations.

A terme, la couche destinée aux lecteurs de disques compacts pourrait être abandonnée au profit d'une seconde couche haute densité. Cette modification per-

Des produits qui vont permettre de relancer le marché du lecteur CD

Ainsi un lecteur de disque compact ignorera sa présence. Ici la qualité sonore restera celle d'un CD traditionnel. Pour accéder à la couche haute densité les lecteurs de SA-CD posséderont deux têtes de lecture. La première leur permettra de lire les CD traditionnels, la seconde le format SA-CD. Pour cela, la longueur d'onde du faisceau laser de la tête SA-CD est de

mettrait soit de doubler l'autonomie du disque, soit de lui conférer un son multi-canal (stéréo plus son arrière).

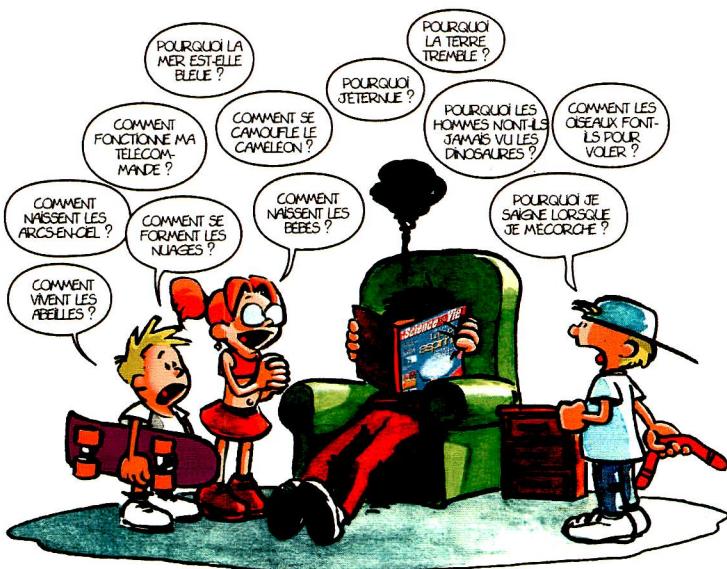
Pour le DVD audio, le problème se pose différemment. En effet il possède d'emblée une capacité de stockage suffisante pour accepter un codage de la musique sur 24 bits et un échantillonnage à 192 kHz. Mais l'électronique inter-

ne des lecteurs de DVD actuels n'est pas prête pour le gérer. Ici encore, les premiers DVD audio pourraient porter deux formats d'enregistrement. Le premier serait compatible avec la norme qu'exploite la bande son des films des DVD vidéo, le second donnerait accès au son stéréophonique en très haute qualité à condition de disposer d'un lecteur spécifique DVD audio. A terme, ce standard devrait être inclus dans les lecteurs DVD vidéo haut de gamme.

MIEUX PIÉGER ET CONTRER LE PIRATAGE DES ŒUVRES

Enfin, l'argument majeur qui plaide en faveur de ces nouveaux supports réside dans l'accroissement de la difficulté de piratage. Un point qui ne laisse pas insensibles les producteurs d'œuvres musicales. Sur le SA-CD, les "pièges" seront multiples. En premier lieu, le disque portera des marques physiques visibles par l'utilisateur qui rappellent l'hologramme imprimé sur les cassettes vidéo préenregistrées. Sur les deux nouveaux supports, des données numériques de protection seront incluses dans l'enregistrement lui-même. Elles devraient interdire la duplication pirate de tout ou partie du disque. Mais les constructeurs restent extrêmement discrets sur leur mode de fonctionnement, le niveau de protection n'étant pas encore totalement déterminé. Sera-t-il possible, par exemple, de réaliser une copie à partir d'un original? Le dispositif ne bloquera-t-il que les "copies de copies" comme c'est le cas sur le MiniDisc? Seul l'arrêt définitif de la norme du codage de protection permettra de répondre à ces questions. Quoi qu'il en soit, à court terme, ces nouveaux supports sont protégés de fait. Il n'existe actuellement aucun graveur sur le marché grand public capable à la fois de traiter ces nouveaux standards et de transférer le codage sur des couches haute densité. ■

Bien sûr vous adorez vos enfants. Surtout à cet âge...



... et si vous les abonnez aujourd'hui
à leur propre SCIENCE & VIE.

Photo non contractuelle

En cadeau de bienvenue
une paire de jumelles que
votre enfant
pourra emporter
partout avec lui...



Cette paire de jumelles d'excellente
qualité est pliable, facile à manier et très légère.
Véritable instrument d'observation, elle accompagnera
ainsi votre enfant lors de ses ballades et excursions.

**1 AN/12 numéros
225 Francs**
au lieu de 300 F

SCIENCE & VIE DÉCOUVERTES
LE SCIENCE & VIE DES 8-12 ANS



BULLETIN D'ABONNEMENT À

À compléter et à renvoyer avec votre règlement dans une enveloppe affranchie au tarif en vigueur
à SCIENCE & VIE DECOUVERTES - Service Abonnements - 1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris cedex 15

OUI J'abonne mon enfant à SCIENCE & VIE DECOUVERTES pour un an, 12 mensuels, au tarif préférentiel de 225 frs au lieu de 300 frs*, soit 3 mois d'abonnement gratuit.

Il recevra en cadeau de bienvenue le jeu de deux prismes offert par SCIENCE & VIE DECOUVERTES**.

Je règle la somme de 225 frs par chèque à l'ordre de SCIENCE & VIE DECOUVERTES

Nom de l'enfant _____

Son prénom _____

Sa date de naissance (jour, mois) ____ / ____ / 19 ____ Garçon Fille (cochez SVP)

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

* Prix de vente de la série chez votre marchand de journaux. Offre valable jusqu'à fin 99 pour un abonnement servi en France métropolitaine

** Prévoir un délai d'envoi du cadeau de 4 à 6 semaines à compter de l'enregistrement de votre paiement et dans la limite des stocks disponibles.

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Les renseignements qui vous sont demandés sont nécessaires au traitement de votre commande et destinés aux services internes de notre entreprise. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire.

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DE

SCIENCE & VIE
HORS SÉRIE



Tous les trois mois, LES HORS SÉRIE de SCIENCE & VIE traitent de façon exhaustive un grand sujet de notre temps. Chaque HORS SÉRIE fait le tour complet d'une question d'actualité scientifique.

- N° 177 - Le cerveau et l'intelligence
- N° 178 - Néolithique
- N° 179 - Dossier SIDA
- N° 180 - Science à l'école
- N° 181 - L'explosion de la génétique humaine
- N° 182 - Les aliments et la santé
- N° 183 - Aviation 93
- N° 184 - Les secrets du vivant
- N° 185 - Le sommeil
- N° 186 - La lumière
- N° 187 - Le corps humain
- N° 188 - L'adolescence
- N° 189 - Le big bang
- N° 190 - Les 9 premiers mois de la vie
- N° 191 - Aviation 95
- N° 192 - Pierre-Gilles de Gennes
- N° 193 - Attention Virus
- N° 194 - Où va la Défense Française
- N° 195 - A quoi sert le cerveau ?
- N° 196 - Les nouvelles planètes
- N° 197 - Pharaons
- N° 198 - Les grandes énigmes de la science

- N° 199 - Aviation 97
- N° 200 - L'homme
- N° 201 - Les chefs-d'œuvre du génie humain
- N° 202 - Les grandes expéditions scientifiques
- N° 203 - Dossier France
- N° 204 - Le cerveau et le mouvement
- N° 205 - L'univers de la gravitation
- N° 206 - Le dossier du dopage
- N° 207 - Aviation 99

Choisissez et commandez vos numéros

BON DE COMMANDE

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

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

N°
soit numéros à 33 francs franco l'un
(étranger : 40 francs)

OUI je commande reliures*
Science & Vie au prix de 95 francs (France)
110 francs pour l'étranger

Je joins mon règlement total de francs
à l'ordre de SCIENCE & VIE par chèque bancaire ou postal

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

Nom
Prénom
Adresse
Code postal
Ville

Etes-vous déjà abonné (e) à SCIENCE & VIE :

Oui Non

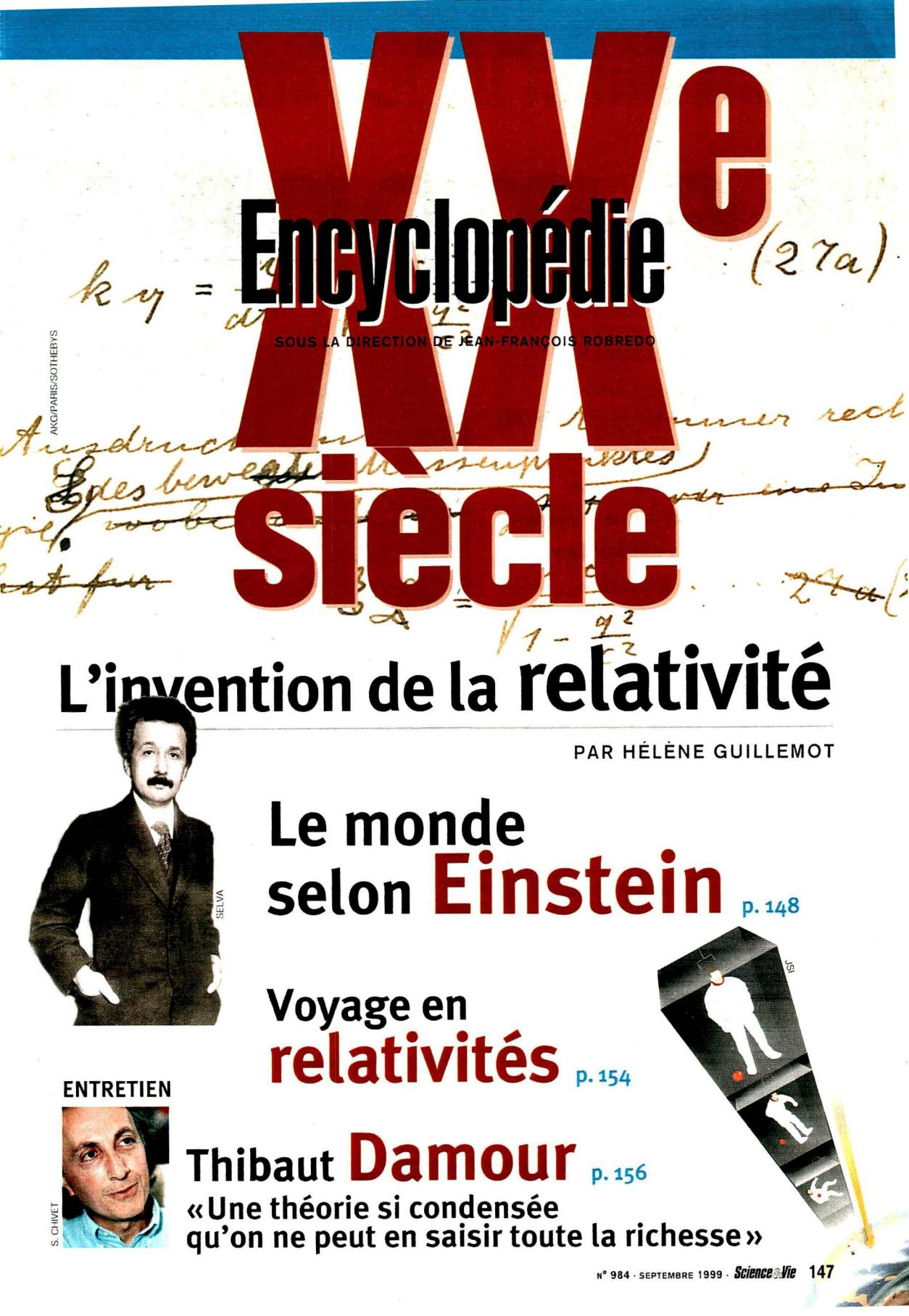
Si oui, merci d'indiquer votre N° d'abonné

étranger: mandat international ou chèque compensable à Paris

* délai de livraison 4 à 6 semaines, et dans la limite des stocks disponibles.

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

OFFRES VALABLES JUSQU'A FIN 1999



AKG/PARIS/SOTHEBYS

SOUS LA DIRECTION DE JEAN-FRANÇOIS ROBREDO

SIECLE

L'invention de la relativité

PAR HÉLÈNE GUILLEMOT



SELVA

Le monde selon Einstein

p. 148

Voyage en relativités

p. 154

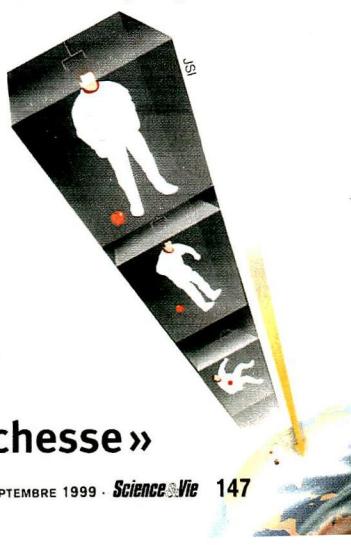
ENTRETIEN



Thibaut Damour

p. 156

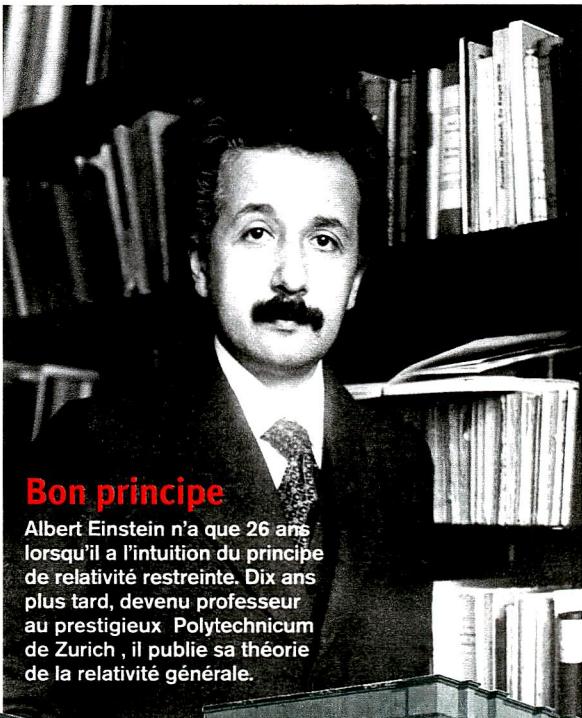
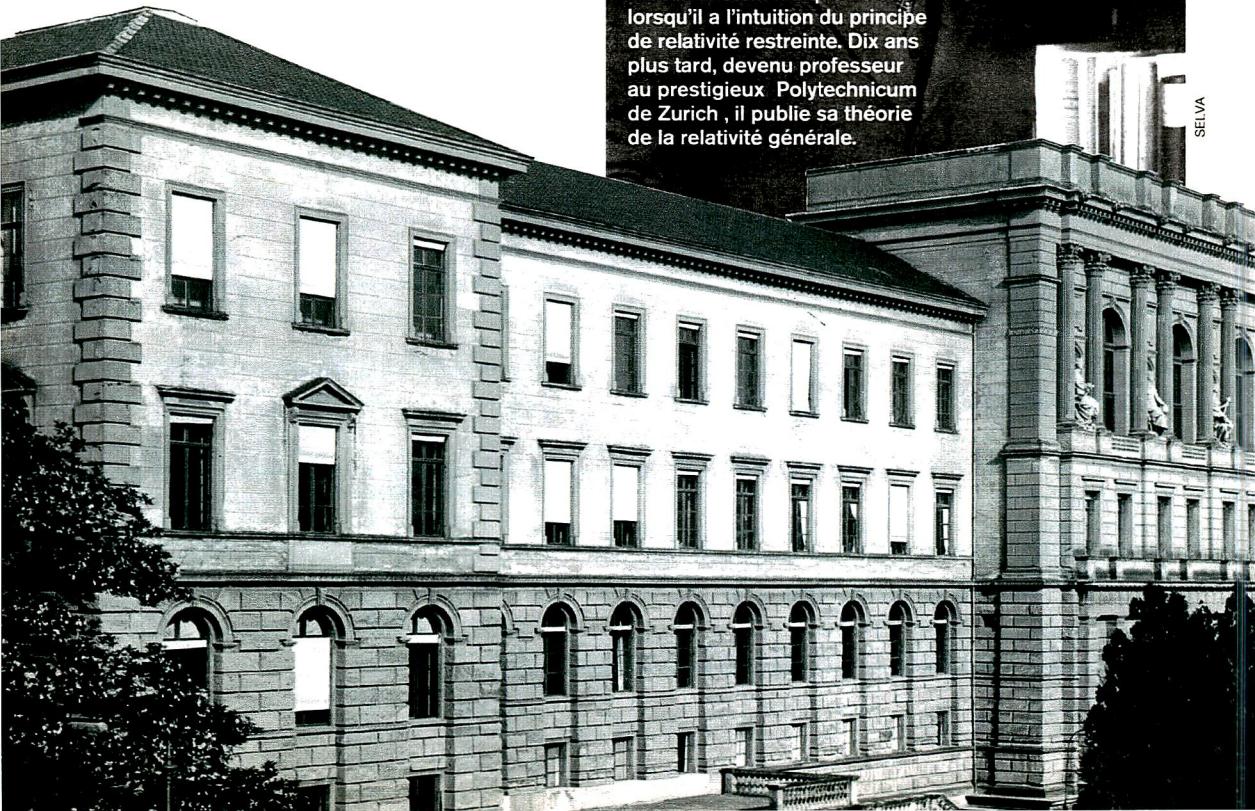
«Une théorie si condensée
qu'on ne peut en saisir toute la richesse»



L'invention de la relativité

Le monde

L'abandon pur et simple des notions classiques d'espace et de temps. Telle est la conséquence étourdissante de l'hypothèse élaborée en 1905 par un jeune Allemand. Albert Einstein est sur la voie de la relativité générale. Dans toute l'histoire des sciences, aucune théorie n'a à ce point transformé notre vision du monde.



Bon principe

Albert Einstein n'a que 26 ans lorsqu'il a l'intuition du principe de relativité restreinte. Dix ans plus tard, devenu professeur au prestigieux Polytechnicum de Zurich, il publie sa théorie de la relativité générale.

SELVA

selon Einstein

Tout le monde peut se tromper, même Albert Einstein. Celui-ci le reconnaît avec sincérité, ce jeudi 4 novembre 1915, devant ses collègues de l'académie des sciences de Prusse. «Durant ces dernières années, je me suis efforcé d'établir une théorie générale de la relativité (...). Je croyais avoir découvert la seule loi de gravitation qui soit conforme au postulat général de relativité (...), mais j'ai fait une erreur», admet-il en substance. Depuis trois ans, il suit une fausse piste mathématique!

Après «quelques mauvais moments», Einstein reprend ses équations sur une autre base et, au bout de sept semaines d'un sprint final pénible et harassant, parvient à ses fins. "Les fondements de la théorie de la relativité générale" paraît en janvier 1916 dans les *Annalen der Physik*. Einstein exulte : «C'est la plus grande satisfaction de ma vie.» Sa théorie est si belle et harmonieuse que «quiconque



$k_{xy} = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{q^2}{c^2}}} \right\}, \dots \quad (27a)$

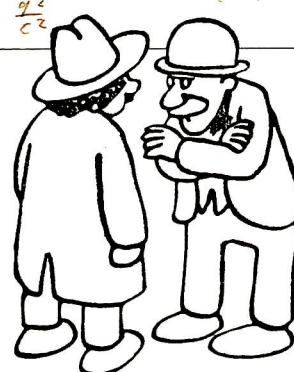
Ausdruck weiter der Hammer rechts sp.
~~(des bewegten Massenpunktes)~~
~~(des weiteren Fortbewegungspunktes)~~
ist für $E_x = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{q^2}{c^2}}} \dots \quad (27a)$

la comprend vraiment ne peut échapper à son charme», s'exclame-t-il avec ravissement.

La légende veut qu'ils n'aient pas été très nombreux à savoir goûter ce charme-là; la relativité générale d'Einstein est, dit-on alors, aussi merveilleuse qu'inaccessible! Pourtant, aucune théorie peut-être, dans l'histoire des sciences, n'a à ce point transformé notre vision du monde. Elle remet en cause radicalement non seulement la sacro-sainte loi de la gravitation universelle de Newton mais aussi les concepts même de matière, d'espace, de temps et d'Univers.

BRILLAMENT VÉRIFIÉE

Déjà au faîte de la notoriété scientifique, Einstein accédera au rang de mythe populaire quatre ans plus tard, précisément le 6 novembre 1919. Ce jour-là, en ouverture de séance solennelle de la Société royale de Londres, le grand physicien Joseph J. Thomson annonce que la théorie de la relativité générale vient d'être brillamment vérifiée par l'expérience. L'astronome Arthur Eddington, parti en Guinée au prin-

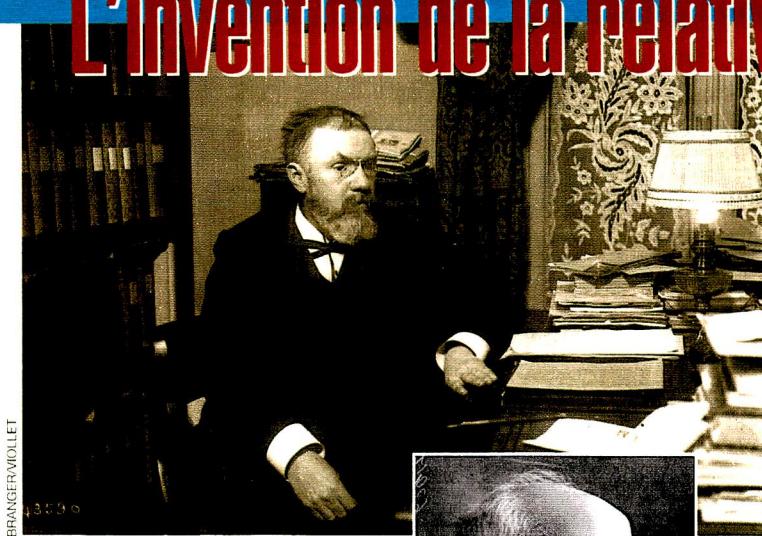


— Comment! monsieur, mais c'est abominable: vous ne paraissez pas du tout au courant des nouvelles théories d'Einstein!

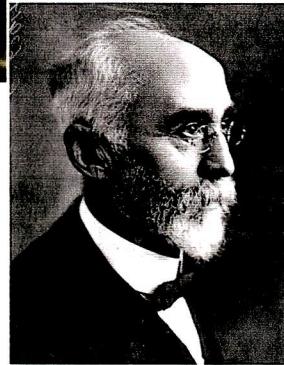
“La” formule

Formulée en 1905, la désormais célèbre égalité $E = mc^2$, ne le deviendra que bien plus tard. A l'époque, personne ne perçoit son importance ni l'étendue de ses conséquences.

L'invention de la relativité



BRANGER/MOLLET



AKG PARIS

Ils ont bien failli...

Le physicien Hendrik Lorentz (ci-dessous), en 1904, puis le mathématicien Henri Poincaré (ci-contre), en 1905, proposent des théories comportant les mêmes formules que la relativité restreinte d'Einstein. Mais seul ce dernier sait les interpréter...

temps pour photographier une éclipse totale de Soleil, a rapporté des clichés qui prouvent que les rayons lumineux provenant des étoiles lointaines se courbent en passant juste à côté du Soleil. Un effet prévu par Einstein, et qui démontre spectaculairement la courbure de l'espace! Les journaux du monde entier font leur "une" de l'événement, parlent de « révolution », de « nouveau Newton »...

Aucun savant n'a été aussi adulé qu'Einstein, qui rassemblait des foules énormes à chacun de ses déplacements. Aucune découverte n'a été autant vulgarisée que la relativité, dès les années 20 – y compris par son auteur en personne, qui ne répugnait pas à expliquer avec des mots "relativement" simples les subtilités de sa théorie. Le mot de relativité est vite devenu à la mode. Mais l'invention de ce concept revient en fait à Galilée, le père de la science moderne!

Jusqu'au XVII^e siècle, tout le monde croyait, suivant Aristote, que « le repos est l'état naturel des corps ». Galilée, le premier, montra que mouvement et repos sont, au contraire, des notions relatives : les phénomènes et les lois de la physique sont les mêmes que l'on soit immobile ou en mouvement rectiligne uniforme. Nous savons tous d'expérience que lorsqu'on

nous verser une tasse de café dans un train filant à 100 km/h, le café tombe verticalement dans la tasse, exactement comme si le train stationnait en gare. Cinquante ans

plus tard, la loi d'inertie de Newton reposera sur ce principe de relativité galiléenne : un corps qui n'est soumis à aucune force est soit immobile, soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

ETRANGEMENT CONSTANTE

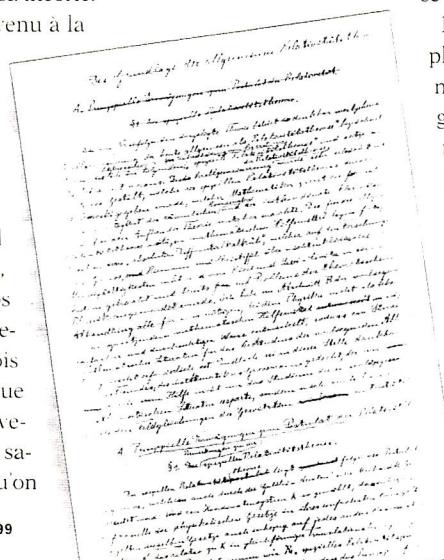
Mais le XIX^e siècle voit triompher l'électromagnétisme, science de la lumière et des champs immatériels. Son fondateur, le génial Ecossais James Clerk Maxwell, a démontré l'existence des ondes électromagnétiques (parmi lesquelles la lumière visible) qui se déplacent... à la vitesse de la lumière. Or, cette vitesse est étrangement constante, quel que soit le mouvement de la source ou de l'observateur! Il y a là une contradiction flagrante avec la mécanique de Galilée et Newton, qui veut que la vitesse varie suivant les points de vue.

Bref, au début de notre siècle, la physique est en crise. On s'imagine alors que les ondes électromagnétiques se propagent dans un milieu immatériel et immobile, l'éther, et de nombreux scientifiques espèrent réconcilier mécanique et électromagnétisme en élucidant le comportement complexe de cet éther. C'est un employé allemand du Bureau des brevets de Berne, âgé de 26 ans, qui va résoudre ce casse-tête de façon radicale : Albert Einstein.

Le jeune Einstein – qui n'a

L'Univers en équations

En première page des "Fondements de la relativité générale", Einstein expose les principes de base de sa théorie. Suivent les équations qui ont changé le monde...



AKG PARIS

jamais été le cancre qu'on a prétendu – avait acquis des connaissances considérables sur la physique de son temps par ses études au prestigieux Polytechnicum de Zurich, complétées par des lectures personnelles approfondies. Le problème de la propagation de la lumière le préoccupait depuis longtemps ; à 16 ans, il s'était demandé comment lui apparaîtrait une onde lumineuse s'il se déplaçait en même temps qu'elle. Dix ans plus tard, un jour de printemps 1905, alors qu'il agite une fois de plus toutes ces questions avec son collègue et ami Michele Besso, la solution lui apparaît brusquement. « Merci ! lui écrit-il le lendemain. J'ai complètement résolu le problème. La solution est une analyse du concept de temps. Le temps ne peut être défini de façon absolue. » Quelques semaines plus tard, il envoie à la revue *Annalen der Physik* (1) un article sobrement intitulé "Sur l'électrodynamique des corps en mouvement", qui sera connu sous le nom de théorie de la relativité restreinte.

EXIT L'ÉTHER

Pour édifier sa théorie, Einstein est parti des deux principes qu'il estime fondamentaux : le principe de relativité et la constance de la vitesse de la lumière. Il a même étendu le principe de relativité, jusque-là cantonné à la mécanique, à toute la physique, électromagnétisme inclus. Mais le prix à payer est tout simplement l'abandon des notions classiques d'espace et de temps ! Deux événements simultanés pour un observateur ne le seront pas pour un autre, en mouvement par rapport au premier. Aucun des deux n'a raison ni

.....
(1) Cette année 1905, Einstein fera paraître dans la même revue deux autres articles révolutionnaires : l'un sur la nouvelle théorie des quanta et l'autre sur le mouvement des atomes.



J.-L. CHARMET

– Quel concert de louanges !
Ces dames parlent encore de leurs couturiers.
– Mais non, il s'agit d'Einstein. (Dessin de P. Portelette)

tort : la simultanéité n'est plus une notion absolue, la durée non plus. Les conséquences sont étourdissantes !

D'abord, *exit* l'éther, dont Einstein note au passage qu'il devient «superflu». Surtout, le temps et l'espace ne sont plus immuables ni indépendants. Ils sont au contraire mouvants et liés entre eux. Dans un système en mouvement (très rapide) par rapport à un autre, le temps se dilate et l'espace se contracte ! Mais la conséquence aujourd'hui la plus fameuse de la relativité restreinte a été livrée par Einstein en *postscriptum*, quatre mois après son article. Elle tient en une égalité : $E = mc^2$. Autrement dit, si un corps absorbe de l'énergie, sa masse augmente, et inversement : s'il en émet, sa masse diminue. Masse et énergie sont les deux aspects d'une réalité unique. A l'époque, il semble que personne n'ait perçu l'importance de cette formule, ni imaginé ses conséquences.

La théorie

Einstein superstar

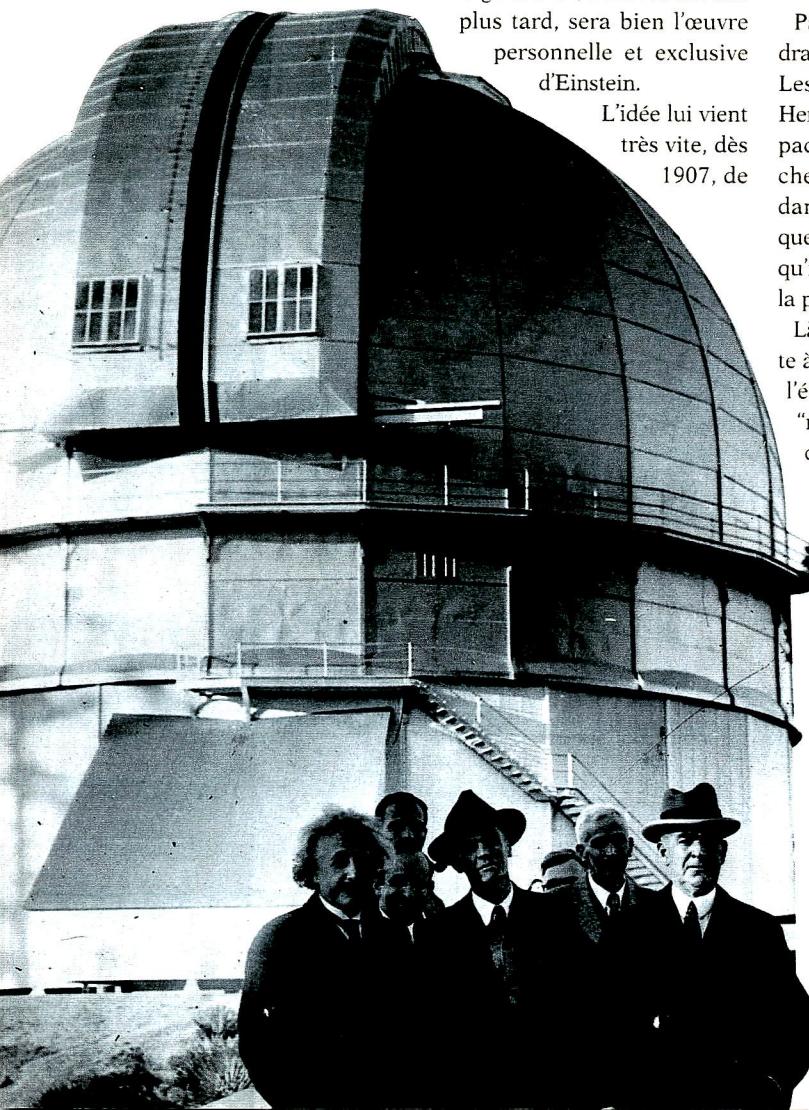
Peu de découvertes ont été autant vulgarisées que la relativité. Au faîte de sa notoriété, Einstein se prête de bonne grâce aux obligations de la célébrité et divulgue lui-même ses théories au public.



L'invention de la relativité

Mère du big bang...

La relativité d'Albert Einstein (ici, en visite à l'observatoire américain du mont Wilson) a donné naissance aux théories du big bang et de l'expansion de l'Univers, et à une astrophysique relativiste peuplée d'objets massifs comme les trous noirs et les pulsars.



d'Einstein a très vite suscité l'intérêt des physiciens, même s'ils n'ont pas tous été immédiatement convaincus. Le Néerlandais Hendrik A. Lorentz et le Français Henri Poincaré étaient d'ailleurs parvenus, par d'autres chemins, à des formules équivalentes à celles d'Einstein, mais ils les interprétaient comme des artifices mathématiques ou comme des effets dynamiques, et conservaient l'éther, ainsi que le temps et l'espace absolus. Mais, en 1905, la relativité restreinte était "dans l'air"; et, si Einstein n'avait pas été là, d'autres physiciens auraient sans doute fini par tirer les mêmes conclusions. En revanche, la seconde théorie de la relativité, ou "relativité générale", achevée dix ans plus tard, sera bien l'œuvre personnelle et exclusive d'Einstein.

L'idée lui vient très vite, dès 1907, de

dépasser sa propre théorie, qu'il juge décidément trop limitée. En préparant un article de synthèse, il revient sur la notion de relativité "restreinte" aux mouvements rectilignes uniformes. Uniformes par rapport à quoi? Pourquoi privilégier précisément ces mouvements-là? « Si l'on ne peut assigner au concept de vitesse qu'une signification relative, doit-on malgré cela continuer à considérer l'accélération comme un concept absolu? » s'interroge-t-il. Einstein en est désormais persuadé, le principe de relativité doit être généralisé à tous les mouvements, qu'ils soient uniformes ou accélérés.

«L'IDÉE LA PLUS HEUREUSE DE MA VIE»

Par ailleurs, la relativité restreinte caudrait mal avec la théorie de la gravitation. Les mathématiciens Henri Poincaré et Hermann Minkowski ("inventeur" de l'espace-temps à quatre dimensions) cherchent eux aussi à traiter la gravitation dans le cadre "relativiste". Einstein sait que le fond du problème est là. C'est alors qu'il a, comme il le dira plus tard, « l'idée la plus heureuse de [sa] vie ».

Là encore, la genèse de cette idée remonte à Galilée et à Newton! Elle repose sur l'équivalence entre "masse d'inertie" et "masse pesante". La masse d'inertie d'un corps s'oppose à son mouvement : plus un corps est massif, plus il faut de force pour le faire bouger. La masse pesante est la propriété sur laquelle agit la gravitation (de même que la force électrique agit sur la charge). A priori, il n'y a donc aucune raison pour qu'elles soient égales. Sauf qu'elles le sont, justement. La physique classique le constate sans l'expliquer.

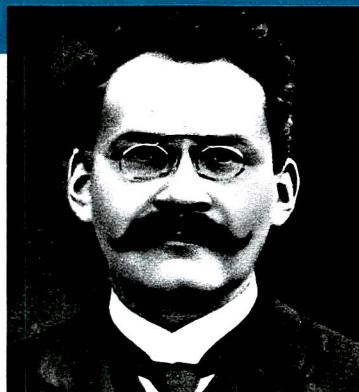
Mais, pour Einstein, cette équivalence, à laquelle plus personne ne prenait garde, ne peut être une simple coïncidence. « Ce principe m'apparut alors dans sa signification profonde (...). Je soupçonnais qu'il devait renfermer la clef d'une compréhension (...) de l'inertie et de la gravitation. » Einstein comprend soudain que la gravi-

tation est, elle aussi, "relative", qu'elle est équivalente à n'importe quel mouvement accéléré.

Les deux piliers qui soutiennent la théorie de la relativité générale sont donc en place dès 1907 : ce sont le "principe d'équivalence" (entre gravitation et accélération) et le "principe de relativité généralisé". Mais l'édification de la théorie sera lente et progressive. Après l'article de 1907 qui en livre déjà une esquisse assez fidèle, Einstein interrompt trois ans ses recherches sur la gravitation – trois années qu'il consacre à la physique quantique naissante.

En 1911, à Prague où il est nommé professeur, Einstein reprend sa théorie de la gravitation. Celle-ci, en vérité, n'a plus grand-chose à voir avec la force attractive de Newton. Ce n'est même plus une force à proprement parler : devenue purement géométrique, la gravitation est une déformation de l'espace-temps, une courbure engendrée par la matière et qui, en retour, agit sur celle-ci. Encore une fois, les concepts changent de sens. L'espace-temps n'est plus un cadre immuable, différent aux événements qui s'y déroulent. Il est mou, façonné par la matière qu'il contient. Une étoile, par exemple, "creuse" l'espace-temps et oblige les objets proches d'elle – les planètes, mais aussi la lumière – à suivre des trajectoires courbes, épousant ces déformations !

Cette nouvelle théorie suppose d'abandonner la vieille géométrie d'Euclide et d'adopter une géométrie des espaces courbes et déformables. En 1912 – il est maintenant professeur au Polytechnic de Zurich –, Ein-



AKG PARIS

L'espace-temps, c'est lui !

Ancien professeur de mathématique d'Einstein, Hermann Minkowski améliore le formalisme de la relativité restreinte en inventant l'espace-temps à quatre dimensions.

A la "une"

Voilà trois quarts de siècle qu'Einstein fait la "une" des magazines, qui tentent d'expliquer simplement la relativité du temps.

SELVA

504 - N° 402

UNE RÉVOLUTION
DANS NOTRE CONNAISSANCE DU MONDE

LES THÉORIES DU PHYSICIEN EINSTEIN

Il est produit depuis peu un événement qui, il faut en croire certains savants et philosophes, dépassera en importance absolue la guerre mondiale elle-même. Cet événement, dont l'origine peut-être encore dans des milliers d'années, alors que nos théorèmes politiques et sociaux ne se sont pas encore complètement stabilisés, a été causé par une révolution dans le monde scientifique. C'est la première fois que dans un langage simple et direct, il nous parle de la nature de l'espace et du temps, de la gravitation et de la lumière.

la Revue des Deux Mondes science : M. Charles Nordmann Paris.

Le Particule qu'on a le sentiment d'être et qui est essentiellement brûlé et sucré, théories d'Einstein, exposé qui est pourtant complet, et essentielles de ce moment de l'histoire de l'Univers.

C'est la première fois que dans un langage simple et direct, il nous parle de la nature de l'espace et du temps, de la gravitation et de la lumière.

TIME
The Weekly Newsmagazine

Soit un train blindé tirant sur une cible arrêtée. Au contraire, si de canon leur parvient également

en arrière en travers de la voie, au moment précis où il est évidemment des deux coups arrivés, l'autre sera plus tôt que l'autre vers la fin de la course, conformément aux vues d'Einstein. La lumière des deux coups

stein prend contact avec des mathématiciens, entame une collaboration avec Marcel Grossmann, un compagnon d'études devenu spécialiste des géométries non-euclidiennes, et s'initie aux techniques mathématiques complexes qui lui sont nécessaires pour construire les équations reliant les masses et la courbure de cet espace-temps "mou". Après d'immenses efforts et quelques fourvoiements, il met la dernière main à ses calculs en décembre 1915.

Si la théorie elle-même est achevée en 1916, sa conséquence la plus fascinante, peut-être, n'apparaîtra qu'un an plus tard : c'est la naissance de la cosmologie moderne. Car, en relativité générale, l'Univers tout entier devient objet de science et peut être mis en équations. Les *Considérations cosmologiques*, publiées par Einstein en 1917, et surtout les travaux du Russe Alexandre Friedman et du Belge Georges Lemaître, aboutissent aux théories de l'expansion de l'Univers et du big bang.

Décidément très féconde, la théorie d'Einstein a aussi engendré toute une astrophysique relativiste, peuplée d'objets tels que les pulsars et les trous noirs, de masses si élevées que l'espace-temps s'en trouve violemment bouleversé aux alentours. Quatre-vingts ans après sa naissance, grâce aux satellites et aux moyens d'observation permettant de scruter des régions de plus en plus lointaines et de se rapprocher de l'origine de l'Univers, la relativité générale est plus vivante et productive que jamais.

Vérifiée dans ses moindres recoins, avec une précision supérieure au milliardième, elle n'a jamais été prise en défaut.

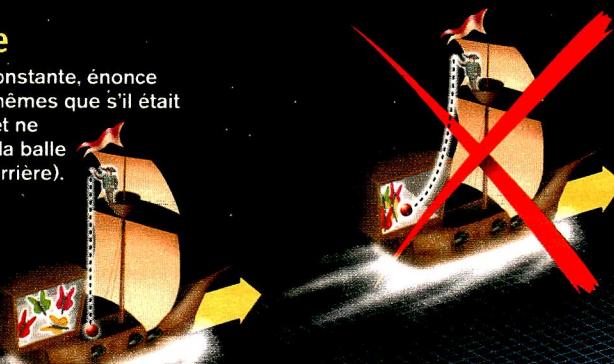
L'invention de la relativité

Voyage en relativités



La relativité de Galilée

Dans un navire voguant à vitesse constante, énonce Galilée, les phénomènes sont les mêmes que s'il était immobile : les papillons volent (et ne s'écrasent pas contre leur cage), et la balle tombe au pied du mât (et non vers l'arrière).



L'inertie de Newton

En l'absence de force, un corps est soit immobile, soit en mouvement rectiligne uniforme. La loi d'inertie de Newton découle directement de la relativité galiléenne.



La simultanéité relative d'Einstein

Un flash se déclenche au milieu d'un wagon et se reflète sur deux miroirs fixés sur les parois. Pour un voyageur du wagon, les deux reflets sont simultanés ①. Mais, pour un spectateur extérieur, la lumière parcourt une distance plus courte pour parvenir au miroir arrière (qui se rapproche) que pour atteindre le miroir avant (qui s'éloigne). La vitesse de la lumière étant constante, le miroir arrière est atteint plus tôt ②, aux yeux de ce spectateur. Deux événements simultanés pour le voyageur ne le sont donc pas pour le spectateur ! (Cet effet n'est sensible que si le wagon avance à une vitesse proche de celle de la lumière.)



L'attraction des courbures

En relativité générale, un satellite qui subit l'attraction gravitationnelle d'un astre épouse la courbure de l'espace creusée par celui-ci.



Mirage gravitationnel

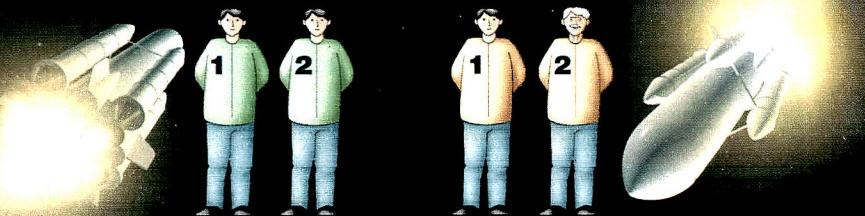
Lorsqu'une masse qui déforme fortement l'espace-temps (ici, un trou noir ①) s'interpose entre une étoile ② et nous ③, la lumière de l'étoile, qui suit les courbes de l'espace-temps, peut se dédoubler, créant une image double ④ : c'est un mirage gravitationnel.



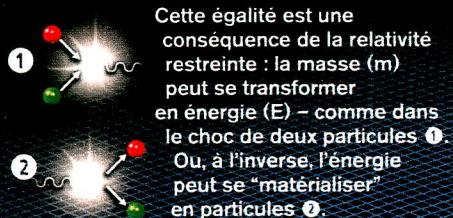
La vitesse de la lumière est invariante

Pour un observateur extérieur, la vitesse d'un missile ① lancé par un avion est la somme de la vitesse du missile (par rapport à l'avion) et de la vitesse de l'avion. En revanche, la vitesse de la lumière ② émise par un avion ne s'additionne pas à celle de l'avion : elle est invariante.





$$E = mc^2$$



Cette égalité est une conséquence de la relativité restreinte : la masse (m) peut se transformer en énergie (E) – comme dans le choc de deux particules ①. Ou, à l'inverse, l'énergie peut se "matérialiser" en particules ②.

Le paradoxe des jumeaux

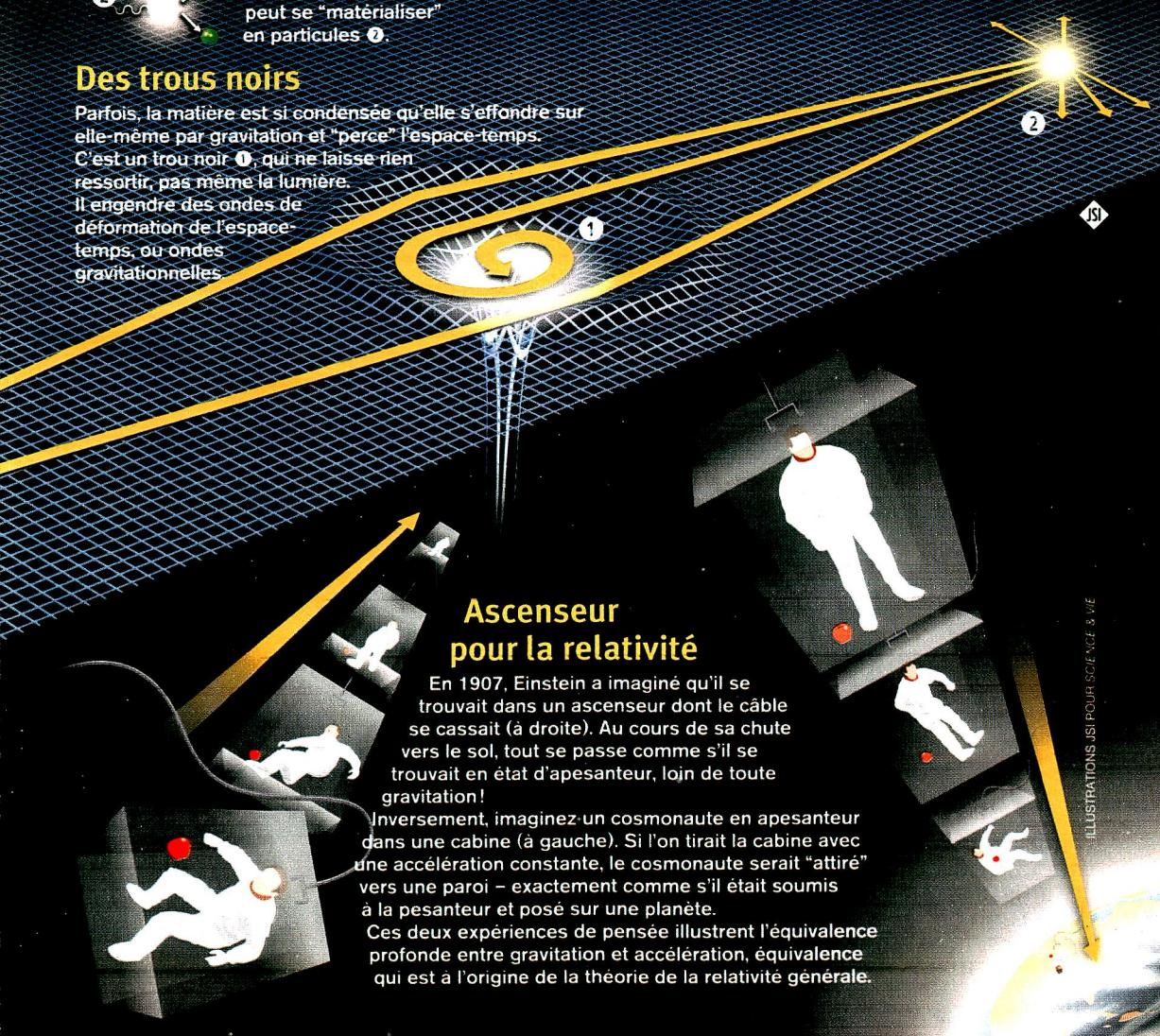
Le jumeau n° 1 part en fusée pour un voyage intersidéral, tandis que son frère n° 2 reste sur Terre. Quand le jumeau n° 1 rentre chez lui, des années plus tard, il a moins vieilli que son frère sédentaire : le temps s'est écoulé moins vite pour lui ! Ce paradoxe, énoncé par Paul Langevin, est un effet de la relativité restreinte.

Des trous noirs

Parfois, la matière est si condensée qu'elle s'effondre sur elle-même par gravitation et "perce" l'espace-temps.

C'est un trou noir ①, qui ne laisse rien ressortir, pas même la lumière.

Il engendre des ondes de déformation de l'espace-temps, ou ondes gravitationnelles.



Ascenseur pour la relativité

En 1907, Einstein a imaginé qu'il se trouvait dans un ascenseur dont le câble se cassait (à droite). Au cours de sa chute vers le sol, tout se passe comme s'il se trouvait en état d'apesanteur, loin de toute gravitation !

Inversement, imaginez un cosmonaute en apesanteur dans une cabine (à gauche). Si l'on tirait la cabine avec une accélération constante, le cosmonaute serait "attrié" vers une paroi – exactement comme s'il était soumis à la pesanteur et posé sur une planète.

Ces deux expériences de pensée illustrent l'équivalence profonde entre gravitation et accélération, équivalence qui est à l'origine de la théorie de la relativité générale.

L'invention de la relativité

PARCOURS

1951 : naît à Lyon.

1970 : Ecole normale supérieure de Paris.

1974 : stage post-doctoral à l'université de Princeton (Etats-Unis).

1985 : directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique.

Etudie les mouvements des pulsars binaires, en collaboration avec Joseph Taylor (prix Nobel). Montre l'existence des ondes gravitationnelles.

1989 : professeur à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES). Travaille sur les ondes gravitationnelles, le lien entre gravitation et théorie des cordes, la cosmologie primordiale.

1990 : grand Prix de l'Académie des Sciences.

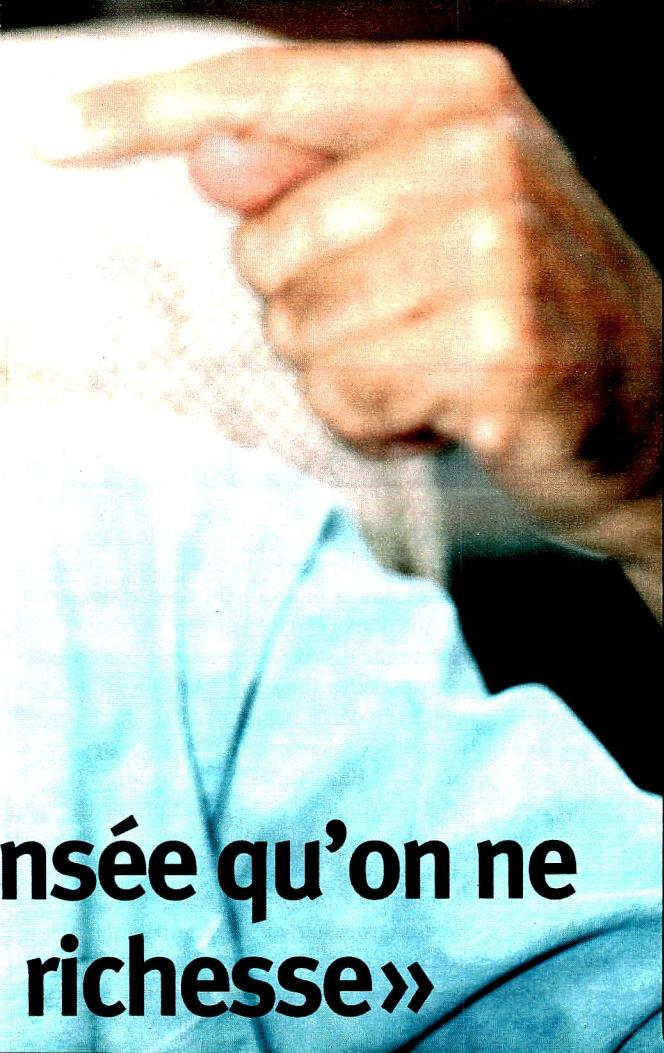
1996 : Médaille Einstein de la société Albert Einstein de Berne.



Thibaut Damour
«Une théorie siconde peut en saisir toute la

PROPOS
RECUUEILLIS
PAR HÉLÈNE
GUILLEMOT,
PHOTOS
SOPHIE CHIVET

Patient vérificateur de la relativité générale, dont il est l'un des grands spécialistes, Thibaut Damour participe aujourd'hui à la préparation d'expériences spatiales destinées à tester une théorie qui englobe et dépasse celle d'Einstein : la "théorie des cordes".



nsée qu'on ne richesse»

S & V : La relativité générale a plus de 80 ans. Est-elle toujours vraie ? A-t-elle évolué ?

Thibaut Damour : L'idée la plus importante de la relativité générale, c'est que la géométrie de l'espace et du temps est fluctuante, molle, influencée par la présence de matière. Les équations de base, écrites par Einstein en décembre 1915, restent celles que l'on utilise aujourd'hui. Mais on en a extrait beaucoup de choses qu'Einstein n'avait pas prévues : en particulier la notion de trou noir et celle d'expansion de l'Univers. Cette théorie est tellement condensée que, même en y passant des années, on ne peut en saisir toute la richesse !

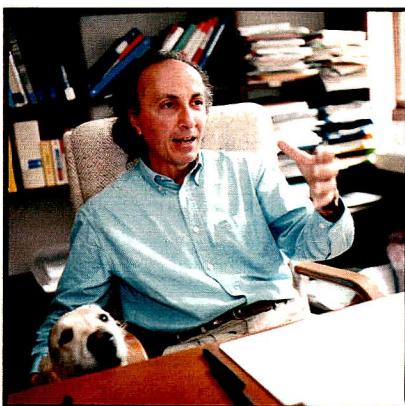
On en a extrait beaucoup de choses qu'Einstein n'avait pas prévues . . .

S & V : La relativité générale a-t-elle eu des retombées, des applications techniques ?

T. D. : Pendant longtemps, elle est restée un bloc isolé. Elle décrivait de façon très raffinée la gravitation mais ne s'occupait pas du reste de la physique. Et puis, elle ne servait (presque) à rien : la théorie de Newton suffisait à expliquer pratiquement tous les phénomènes gravitationnels connus à l'époque. En cette fin du xx^e siècle, en revanche, la théorie d'Einstein joue un rôle énorme. En astrophysique, elle a permis de concevoir des objets pour lesquels la gravitation est beaucoup plus forte que dans le système solaire : les étoiles à neutrons, que l'on a découvertes par la suite, et les trous noirs. C'est la relativité générale qui permet de décrire la structure de ces objets et leurs interactions. Elle est aussi à l'origine de la cosmologie, qui est actuellement un immense domaine de recherches.

Quant aux applications pratiques, on en trouve dans la vie de tous les jours ! Le

L'invention de la relativité



Tout réconcilier

Einstein cherchait déjà une théorie réconciliant la mécanique quantique, qui décrit le monde microscopique, et la relativité générale, qui régit l'univers macroscopique. La "théorie des cordes", selon laquelle les particules sont les modes de vibration d'une corde minuscule, pourrait y parvenir. C'est ce que Thibaut Damour cherche à vérifier.

vous ne pouvez vous localiser avec précision que si vous prenez en compte le fait qu'une horloge atomique à quelques milliers de kilomètres au-dessus de nos têtes ne mesure pas le même temps qu'une horloge sur Terre. C'est l'idée essentielle d'Einstein : le temps est mou, influencé par la gravitation. Aujourd'hui, les avions utilisent des systèmes GPS pour atterrir ; dans un avenir proche, nos voitures en seront équipées. C'est un effet mystérieux de la théorie d'Einstein – le fait que le temps ne soit pas le même partout –, auquel les gens ne voulaient pas croire, qui joue là un rôle essentiel !

S & V : Reste-t-il encore des choses à découvrir, à tester, en relativité générale ?

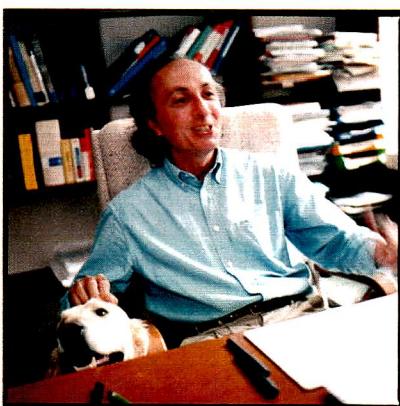
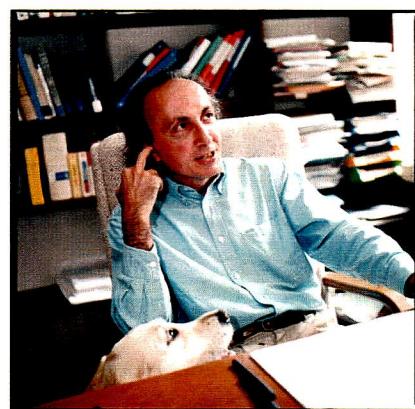
T. D. : Ce n'est qu'à la fin des années 60 que la technologie est devenue assez précise pour tester la théorie d'Einstein. On sait aujourd'hui que celle-ci est vraie quand le champ de gravitation est faible, comme

dans le système solaire (le meilleur test est la mesure de la distance Terre-Lune par laser, au centimètre près, qui confirme la théorie d'Einstein au millième près), mais aussi quand le champ est important – ces effets de champ fort ont été vérifiés dans des

systèmes de deux étoiles à neutrons qu'on appelle pulsars binaires.

Que reste-t-il à tester ? D'abord, la prédiction du champ fort ultime qu'est le trou noir. C'est une région où la matière déforme si profondément la géométrie de l'espace et du temps qu'elle donne lieu à une structure d'où la lumière ne peut jamais sortir. On est sûr que les trous noirs existent, les preuves indirectes sont très fortes ; mais on n'en a pas de preuve directe. On espère le démontrer en observant l'arrivée d'ondes gravitationnelles sur Terre.

La géométrie de l'espace est quelque chose de mou comme de la gelée ; quand on agite de la gelée, on crée des ondes de déformation. Les ondes gravitationnelles



sont des ondes de déformation de la géométrie de l'espace et du temps, qui sont émises par le mouvement de certaines masses dans l'espace et se propagent à très grande distance. On ne les a pas encore observées sur Terre. Mais un grand détecteur franco-italien d'ondes gravitationnelles va démarrer en Italie, et deux autres aux Etats-Unis. D'ici deux ou trois ans, ces instruments devraient permettre de "voir" les trous noirs. En effet, quand deux étoiles à neutrons assez massives s'effondrent l'une sur l'autre, elles engendrent un trou noir, qui vibre avec des fréquences caractéristiques. Donc, si l'on trouve des ondes gravitationnelles avec ce spectre de fréquences, ce sera la preuve ultime de l'existence des trous noirs.

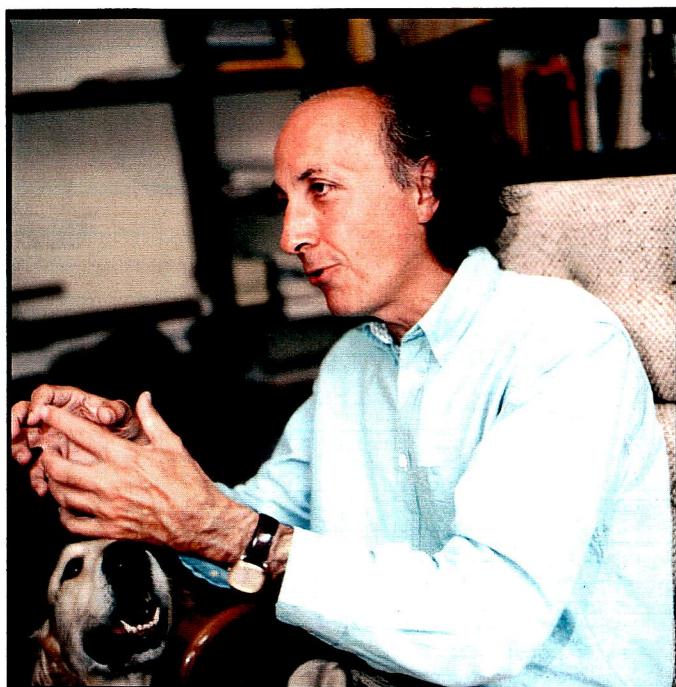
D'autres expériences seront réalisées dans la prochaine décennie. La NASA a investi 500 millions de dollars dans une expérience prévue pour octobre 2000 : le satellite *Gravity Probe B* va mettre en orbite autour de la Terre des gyroscopes, qui devront vérifier que l'espace n'est pas fixe, mais entraîné par la rotation de la Terre.

En cosmologie, de grands programmes ont pour but d'étudier le "fond radio micro-onde", ce rayonnement froid présent dans partout l'Univers et qui provient du big bang. Un satellite américain, *MAP*, et un satellite de l'ESA, *Planck Surveyor*, vont mesurer finement les fluctuations de ce rayonnement, ce qui permettra, d'ici à moins de dix ans, de répondre à énormément de questions sur l'origine de l'Univers, sa taille, son expansion, etc.

S & V : La relativité générale n'a jamais été mise en défaut. Doit-on la considérer comme définitive, ou sera-t-elle un jour remplacée par une autre théorie?

T. D. : Aujourd'hui, la physique est dans un état inacceptable. D'un côté, la théorie quantique qui décrit le monde microscopique des particules; de l'autre, la relativité générale qui décrit le monde macroscopique, l'espace-temps et la gravitation. Einstein a passé trente ans de sa vie à chercher une théorie qui unifie la gravitation avec les autres interactions. Mais on s'est aperçu, dans les années 50, que le champ gravitationnel ne pouvait pas être quantifié comme les autres champs décrivant des forces.

Une théorie pourra peut-être réconcilier la théorie d'Einstein et la mécanique quantique : c'est la "théorie des cordes". Depuis les Grecs anciens, les constituants ultimes de la matière ont toujours été considérés comme des particules ponctuelles. La théorie des cordes rompt avec cette idée, elle dit que toutes les particules sont des modes de vibration d'une corde unique et minuscule (10^{-32} cm). De même qu'une corde de piano a plusieurs harmoniques, quand on quantifie une corde, on trouve tout un spectre de vibrations; et à chaque mode de vibration correspond



| La géométrie de l'espace est quelque chose de mou comme de la gelée

une particule ou un champ. Or, quand vous étudiez tous ces états de vibration, vous trouvez, ô miracle, le champ de gravitation, qui sort de là comme d'un chapeau! Et aussi d'autres champs, qui, on l'espère, vont donner la matière que l'on connaît et les autres interactions.

La théorie des cordes prévoit que les constantes de la physique ne sont pas vraiment fixes, qu'elles sont "molles", elles aussi, et peuvent fluctuer. Si c'est vrai, un des postulats d'Einstein, le principe d'équivalence, serait alors violé. Il a été vérifié à 10^{-12} près, mais, pour le vérifier avec une bien plus grande précision encore, deux expériences sont en préparation : le projet français Microscope et le projet américano-européen STEP (Satellite Test of the Equivalence Principal). Ces satellites, qui devraient voler à partir de 2004, pourraient nous dire s'il y a quelque chose au-delà de la relativité générale. ■

Rétro

PAR VÉRONIQUE ROCHEWSKY

Il y a

65 ans



Des automobiles plus sobres

L'Econom permet de supprimer les pertes de carburant et de lubrifiant qui se produisent dès qu'on lâche la pédale d'accélération. Ce dispositif destiné à économiser le carburant est la réponse des constructeurs automobiles à la nouvelle taxe à la consommation.

Comment jouer du Martenot

M. Martenot interprète ici un morceau écrit pour un instrument à ondes musicales de son invention. Sa main droite donne la note. Sa main gauche commande la puissance et le mode d'attaque. La radioélectricité permet d'enrichir la palette des timbres et des sonorités.

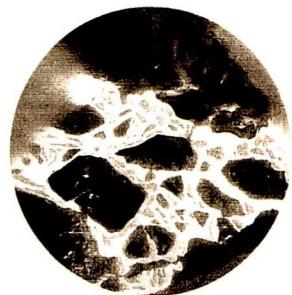


France et Colonies : 4 fr.
N° 202 - Septembre 1934

LA SCIENCE ET LA VIE

SEPTEMBRE 1934

Pour améliorer les qualités offensives de l'aviation de chasse, les études sur les avions-cannons se poursuivent, grâce à des crédits supplémentaires. Une voie de recherche consiste à équiper les multiplaces de combat d'un canon pouvant tirer dans l'axe de vol ou avec un léger "débattement" horizontal.

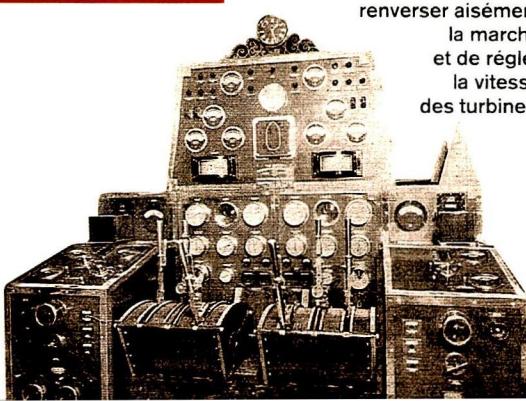


La fin d'un monopole

Sur cette radiographie d'un échantillon de pechblende, les veines apparaissent fortement accusées par la radioactivité qu'elles émettent. Ce minerai, très riche en oxyde d'uranium, fournit environ 120 milligrammes de radium par tonne. Les gisements découverts au Canada détrônent ceux du Katanga (Congo belge).

Propulsion électrique

Le nouveau paquebot anglais *Strathnaver* est propulsé par deux moteurs électriques synchrones de 14 000 ch. La conduite des propulseurs s'effectue à partir de ce tableau de commande, dont les leviers permettent de renverser aisément la marche et de régler la vitesse des turbines.



Abonnez-vous aux

CAHIERS DE SCIENCE & VIE

et découvrez
l'histoire des sciences
pour
149 francs.

Saint Thomas d'Aquin

Newton

PHOTOS : GRAUDIN / CERN

Descartes

LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE
1000 ANS DE SCIENCES

V - XVIII^e siècle
La Grande Encyclopédie
35 volumes pour consigner tous les savoirs.



Bulletin d'Abonnement

à compléter et à retourner avec votre règlement à l'ordre des CAHIERS DE SCIENCE & VIE sous enveloppe affranchie à :

Service Abonnement - 1, rue du Colonel Pierre Avia 75505 Paris cedex 15.

OUI

Je m'abonne aux CAHIERS DE SCIENCE & VIE
et je choisis la formule suivante :

Cocher les cases de votre choix

- 1 AN - 6 NUMEROS pour **149 francs** au lieu de 192 francs*
soit 43 francs d'économie
et recevez en cadeau la reliure des Cahiers de Science & Vie**

• Je choisis de régler par :

- chèque bancaire ou postal à l'ordre des CAHIERS DE SCIENCE & VIE
 carte bancaire

N 

expire à fin  mois  année

Date et signature obligatoires

Nom 

Prénom 

Adresse 

Code postal  Ville 

Offre valable jusqu'à fin 1999 pour un premier abonnement livré en France métropolitaine.
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 17

* Prix de vente normal chez votre marchand de journaux

** Prévoir un délai de réception de 4 à 6 semaines et dans la limite des stocks disponibles.

En application de l'article L. 27 de la loi du 6/01/1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et sont exclusivement communiquées au destinataire la traitant. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès d'Excelsior. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient communiqués ultérieurement.

SV 984

VOTRE CADEAU

Cette superbe reliure

au logo des Cahiers de Science & Vie

vous permettra de classer vos magazines.

LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE

RC PARIS 5/52 34773

Le ciel du mois

PAR YVES DELAYE

NASA

On a déjà répertorié seize satellites de Jupiter (ici, Io et Ganymède), qui décrivent une orbite quasi circulaire autour de la planète géante.

Satellites galiléens

C'est à l'automne 1609 que Galilée observe pour la première fois Jupiter et découvre quatre satellites en rotation autour de la planète géante : les premiers d'une longue série, puisque nous en connaissons maintenant seize – et la liste n'est certainement pas terminée...

Ces satellites portent les noms d'Io, Europe, Ganymède et Callisto, et sont surnommés "satellites galiléens" en souvenir de leur découvreur. Ils sont relativement proches de la planète, gravitant entre 422 000 et 1 883 000 km du centre de Jupiter, et la durée de leur révolution va de 1,7 à 16,6 jours. Ce mouvement rapide, combiné au fait que le plan de leurs orbites est quasiment équatorial, se traduit pour l'observateur

terrestre par de nombreux "phénomènes", tels que le passage devant la planète, l'entrée dans son cône d'ombre, etc. Pour l'amateur, c'est une véritable aubaine : pratiquement tous les soirs où Jupiter est visible, il y a un phénomène à observer. Il suffit d'un instrument modeste, comme une lunette de 60 mm, pour en suivre une bonne partie.

Les phénomènes des satellites de Jupiter sont décrits en détail dans les éphémérides astronomiques (1), où des tableaux indiquent, jour par jour, ce qui est observable. Mais ces tableaux sont écrits de façon abrégée, et les éphémérides ne détaillent pas toujours la signification des signes employés... Voici donc les explications nécessaires pour les déchiffrer :

La première et la deuxième colonne donnent la date et l'heure du phénomène

ASTRES ET LUNE EN SEPTEMBRE

en temps universel (ajouter une heure en hiver et deux heures en été pour obtenir le temps civil). La troisième colonne précise le satellite concerné : I = Io; II = Europe; III = Ganymède; IV = Callisto. Enfin, la dernière colonne décrit le phénomène. Les abréviations sont les suivantes :

Ec. : Commencement d'éclipse. Le satellite disparaît dans le cône d'ombre de Jupiter, c'est-à-dire qu'il va subitement "s'éteindre" à une courte distance de la planète.

Ef. : Fin d'éclipse. Le satellite sort de l'ombre et redevient visible, là aussi à courte distance du disque planétaire.

Im. : Immersion. Le satellite disparaît, mais, dans ce cas, il est directement occulté par le disque de Jupiter et non par l'ombre.

Em. : Emerson. Phénomène inverse du précédent ; le satellite réapparaît au bord du disque.

Pc. : Passage commençant. Cette fois, le satellite passe devant la planète, mais, celle-ci étant beaucoup plus lumineuse que lui, il ne sera pas visible durant le passage.

Pf. : Passage finissant. C'est la fin du passage et la réapparition du satellite au bord opposé à celui de sa disparition.

Oc. : Ombre commençant. L'ombre du satellite, visible comme un petit point noir, passe sur le disque.

Of. : Ombre finissant. Fin du passage de l'ombre.

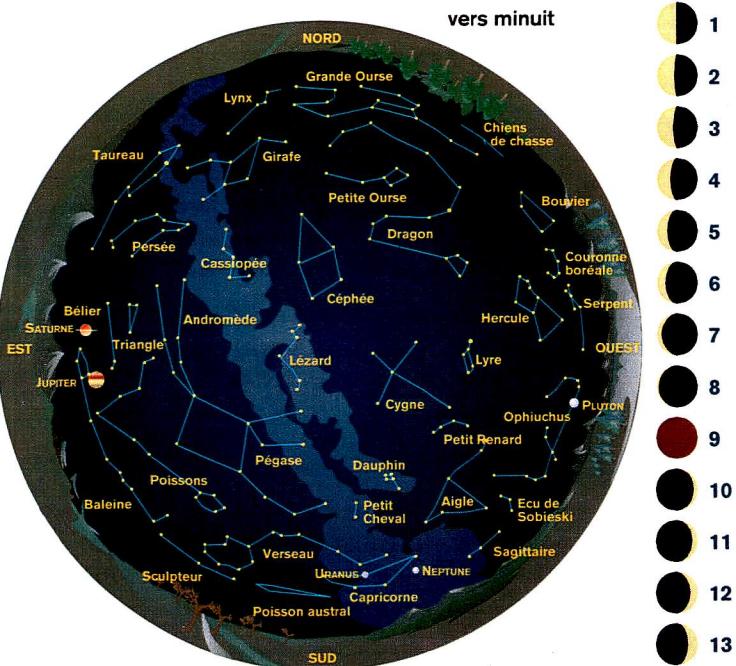
L'observation des éclipses ou des passages est réalisable avec les instruments les plus modestes, voire une paire de jumelles 10 X 50, à condition qu'ils soient parfaitement stables, c'est-à-dire posés sur un trépied. En revanche, pour assister au passage de l'ombre sur le disque de la planète, il faut utiliser un télescope d'au moins 100 mm et d'un grossissement de 100 X ou plus.

Les semaines qui viennent nous réservent de bien belles observations de ce véritable ballet cosmique. ■

(1) *Éphémérides astronomiques 1999 du Bureau des longitudes*, Masson.

Éphémérides astronomiques 1999 de la Société astronomique de France, SAF.

Le Guide du ciel 1999-2000, Nathan.



LES PLANÈTES

Vénus

Vénus apparaît une demi-heure avant le lever du Soleil, à 6° au-dessus de l'horizon est. En fin de mois, elle se sera élevée à plus de 30°.

Jupiter

Jupiter approche les 49" d'arc de diamètre ! Observable presque toute la nuit, elle se repère aisément en début de nuit, plein est.

Mars

Mars se trouve au-dessus de l'horizon sud-ouest en

début de nuit. Poursuivant son éloignement de la Terre, la planète rouge voit son diamètre apparent diminuer de façon sensible.

Saturne

Le diamètre apparent de Saturne, anneaux compris, est de 44" d'arc, ce qui la rend parfaitement observable dans les instruments d'amateur.

Uranus et Neptune

On les trouve dans le Capricorne, au sud-est, en première partie de nuit.

LES GRANDS RENDEZ-VOUS

Mercredi 1^{er}

Rapprochement de la Lune et de Saturne en soirée, à l'est.

Lundi 6

Mars et Delta du Scorpion en conjonction serrée.

Jeudi 9

Très fin croissant de Lune peu avant le lever du Soleil, à l'est.

Vendredi 10

Fin croissant de Lune peu

après le coucher du Soleil, à l'ouest.

Lundi 20

Maximum de l'essaim des Piscides.

Mardi 21

Spectaculaire rapprochement d'Uranus et de la Lune vers 21 h.

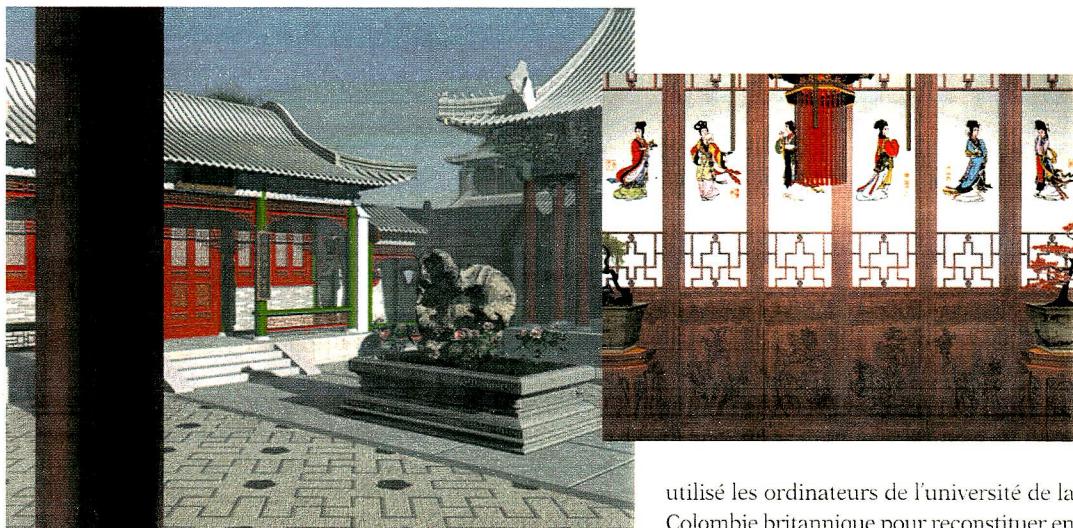
Du 26 au 28

La Lune croise Jupiter puis Saturne en début de nuit, plein est.

CD-Rom

PAR JEAN-RENÉ GERMAIN

Dans les jardins de Yuan Ming Yuan

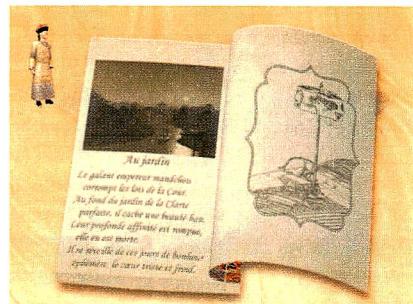


MYSTÈRE AU PALAIS D'ÉTÉ

Il est sur Terre des endroits mythiques. Le palais d'Eté (Yuan Ming Yuan, en chinois), refuge des empereurs de Chine et de leurs concubines à Pékin, fut l'un d'eux. Hélas, ce site extraordinaire de pavillons et de jardins construits sous les Qing (1644-1911), quintessence de la culture chinoise, fut détruit et pillé par les barbares occidentaux en octobre 1860, lors de la seconde guerre de l'Opium. Sans l'initiative de Lifeng Wang, un jeune auteur chinois de Vancouver, qui a

Civilisation

Certes, Lotus de Printemps a disparu. Mais tenter de la retrouver est surtout une invitation à parcourir pavillons et jardins du palais d'Eté, à la recherche du temps perdu.



utilisé les ordinateurs de l'université de la Colombie britannique pour reconstituer en images de synthèse 3D les pavillons (extérieur et intérieur) et les jardins du Yuan Ming Yuan, nous ne pourrions avoir une idée de ce que fut en son temps ce palais d'Eté, aujourd'hui disparu, considéré comme l'une des merveilles du monde. Rien de mieux qu'une énigme policière pour l'explorer en détail. Le joueur devra aider l'empereur Xianfeng à retrouver sa concubine Lotus de Printemps mystérieusement disparue. Mais, on l'a compris, cette recherche n'est qu'un prétexte à découvrir le monde merveilleux et poétique de la civilisation chinoise. Comme toujours fidèle à sa passion (associer technologie et culture), l'éditeur Syrinx a enrichi ce céderom d'un complément culturel sur l'art des jardins en Chine.

Syrinx, 299 F (45.58 €), 2 CD-Rom, pour PC/Mac.

Bain de langage

ADIBOU ANGLAIS

Répondant aux directives de l'Education nationale, qui préconise la généralisation de l'enseignement précoce des langues vivantes, ce cédérom d'initiation à l'anglais pour les 4-7 ans était attendu depuis longtemps. Réalisé avec des éducateurs et des pédagogues à partir d'expériences menées dans des écoles pilotes, il permet aux enfants d'acquérir des compétences linguistiques de base suffisantes pour exprimer sentiments, besoins, souhaits, etc. L'enfant est immergé dans l'archipel des Sweeties, plein de fantaisie, où à travers quatre-vingt-dix activités différentes en trois niveaux de complexité il acquiert un millier de mots. La méthode propose des modules d'apprentissage par reconnaissance vo-



cale avec analyse des réponses de l'enfant, ce qui lui permet de se corriger à l'aide de mots prononcés par sa propre voix. D'autre part, pour plus de réalisme, les petits personnages ont les lèvres qui bougent en synchronisation avec les mots prononcés. Comme toute la série éducative ADI, cette méthode Adibou est sans nul doute promise à un grand succès.

.....

Coktel, 2 CD-Rom 299 F (45,58 €), pour PC, 249 F (37,96 €), pour Mac.

En attendant l'euro

ADI : L'EURO

Destinée aux jeunes de 11 à 15 ans (6^e-3^e), voici une excellente initiation à l'euro (conforme au programme officiel de l'Education nationale) : 400 questions et 100 documents multimédias pour tout apprendre sur la monnaie européenne du xx^e siècle et découvrir les pièces et billets qui seront obligatoires en 2002. Une section (l'une des plus intéressantes), précédée d'un exposé sur l'histoire de l'Europe et de ses monnaies, explique la finalité économique (voire culturelle) de l'euro et l'atout qu'il représente comme nouveau moyen d'échange. Pour parfaire le sentiment d'appartenance à l'Europe, les jeunes peuvent surfer sur l'internet avec des correspondants. Cette méthode ADI utilisée pour parler d'un sujet somme toute aride est particulièrement réussie.



.....

Coktel, 99 F (15,09 €), 3 CD-Rom, pour PC/Mac.

NOUS AVONS AIMÉ

LES ETATS-UNIS VUS DE L'ESPACE

Réalisé par M-Sat, le spécialiste français du traitement des images satellites, voici le premier titre de la collection « Vu de l'espace » dont l'ambition est de donner une représentation complète de notre globe observé par satellite. Ce premier volume est entièrement consacré aux Etats-Unis, avec une résolution de 100 m. Une trentaine de grands sites touristiques et urbains bénéficient d'une résolution de 30 m. Nous avons particulièrement apprécié les vues détaillées de New York et Washington prises avec 3 m de détail par les satellites espions russes. A côté des photos spatiales, des séquences animées fort réussies permettent de comprendre les particularités géologiques de certains sites célèbres. Nous avons également été sensibles aux explications vidéo exposant les arcanes du traitement des images satellites. Un système de fiches et d'index permet de retrouver immédiatement les lieux sélectionnés. Il faut prévoir au moins 20 Mo de mémoire sur le disque dur pour stocker ses images favorites. A la rentrée, un deuxième volume, entièrement consacré à notre pays devrait suivre.

.....

Havas Interactive, 249 F (37,96 €), pour PC.

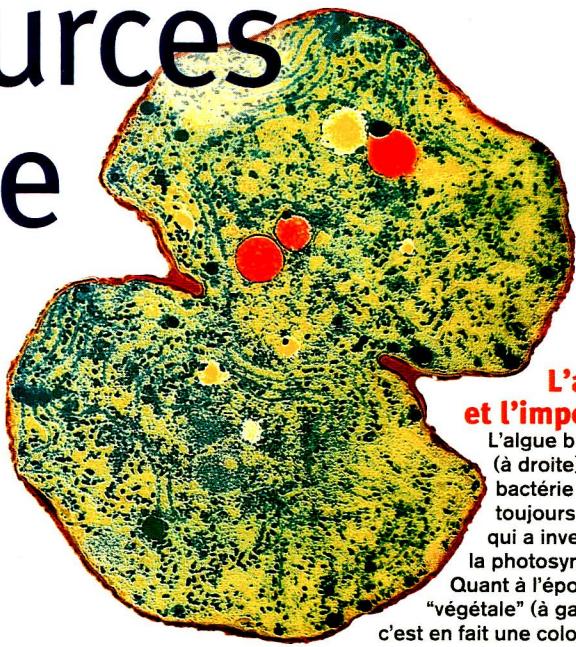
L'ENCYCLOPÉDIE DES SCIENCES & L'ENCYCLOPÉDIE DE L'ESPACE ET DE L'UNIVERS

Une réédition réactualisée de deux titres fondamentaux que se doit de posséder tout lecteur de *Science & Vie* désireux de disposer des données et concepts de base de la science et de l'astronautique.

.....

Havas Interactive, 199 F (30,34 €), coffret de 2 CD-Rom, pour PC.

Aux sources de la vie



L'ancêtre et l'imposteur

L'algue bleue (à droite) est la bactérie primitive, toujours présente, qui a inventé la photosynthèse. Quant à l'éponge dite "végétale" (à gauche), c'est en fait une colonie de cellules... animales.



LA PLUS BELLE HISTOIRE DES PLANTES

Jean-Marie Pelt, Marcel Mazoyer, Théodore Monod et Jacques Girardon

Quartième titre de la collection "La plus belle histoire de...", ce petit livre dense retrace l'évolution des plantes et des modes de culture dans une perspective toujours signifiante. Si bien que le lecteur, ravi, recompose le puzzle de la vie.

Avec le recul des eaux, il y a seulement 430 millions d'années, les plantes comme les animaux s'adaptèrent. Les algues vertes colonisèrent la terre ferme. Mais leurs ancêtres, les algues bleues, avaient éclos 3 milliards d'années auparavant, dans un monde de chimie prébiotique déjà vieux de 1 milliard d'années. Ces petites bactéries aquatiques dotées de chlorophylle régnèrent seules sur la Terre pendant 2 milliards d'années, enrichissant l'atmosphère d'un déchet précieux : l'oxygène.

Elles perdurent, mais leur destin fut surtout d'être absorbées, devenant les chloroplastes au sein de plus grosses cellules dont les chromosomes s'étaient regroupés en noyaux. Une évolution qui a pris 2 milliards d'années mais a donné au monde ses couleurs et des organismes pluricellulaires et sexués.

Dix millions d'années à peine après la conquête du sol par les algues vertes apparaissent les premières plantes dressées, puis les fougères et des arbres qui ont inventé un écrin (l'ovule) pour la cellule sexuelle femelle. Mais le véritable arbre moderne, apparu il y 370 millions d'années, est l'archéoptéris, à ne pas confondre avec l'archéoptéryx, l'ancêtre des oiseaux, né 200 millions d'années plus tard, avec les plantes à fleurs.

Jean-Marie Pelt nous entraîne avec poésie et humour dans un monde créatif. Il nous révèle la naissance et la véritable nature d'une figue; le goût des plantes rudérales (du latin *rudus*, "décombres") pour

la pollution humaine; les migrations des plantes, depuis les conifères, qui ont servé les plantes de la mer et ont inventé la graine, jusqu'aux angiospermes, qui ont abrité cette graine dans un fruit.

Marcel Mazoyer, professeur d'agriculture comparée, raconte, lui, comment l'agriculture était déjà en graine dans la cueillette, source de sédentarisation au Néolithique. Des plantes vivrières à la rose en passant par le coton égyptien, il met en lumière la sélection qu'a opérée la domestication des plantes, favorisant des caractères nouveaux et éliminant ceux qu'avait suscités une nature sauvage et hostile. D'où l'abandon des variétés de pays au profit de celles qui peuvent valoriser un mode de culture rendu de plus en plus artificiel.

Mais la nature, précise, optimiste, Théodore Monod, a des ressources : à peine 80 des 500 000 espèces de plantes sont cultivées à grande échelle. Et l'on découvre combien elles sont vieilles et se sont transformées au gré de leurs pérégrinations, à partir de l'Asie pour le soja, le riz, le blé, la canne à sucre, les bananes ; de l'Équateur à la plaine des Sablons (à Neuilly-sur-Seine !) pour la pomme de terre ; du Mexique à l'Angleterre, en passant par Naples, pour la tomate ; de l'Amérique à l'Europe pour la vigne, dont l'histoire est inséparable de celle de ses ravageurs, l'oïdium et le phylloxéra, qui l'empêchèrent de prospérer.

Il n'existe plus guère de plantes réellement locales, les mutations ayant été le carburant de l'évolution. Mais les auteurs n'en sont pas pour autant adeptes des organismes génétiquement modifiés (OGM). Serait-ce la cause d'une coquille (p. 166) – incongrue pour un initié – qui développe en *tumefaciens* le "t" de *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) ? Petit reproche à adresser à cette excellente fresque, en plus des innombrables "tout à fait", "absolument", "vous avez raison", etc., liés au choix littéraire de la formule de l'entretien entre un Candide (le journaliste Jacques Girardon) et trois savants.

Marie-Laure Moinet

.....

Seuil, 24 p., 95 F (14 €).

QUAND LA SCIENCE FAIT PEUR

CONTRE LA PEUR

Dominique Lecourt

Il faut « tout repenser », annonce Dominique Lecourt dans cet essai, qui vient de ressortir dans la collection "Quadrige" des Presses universitaires de France. Un impératif, posé à la page 145 du livre, qui fait suite à une démonstration s'appuyant sur des analyses historiques et philosophiques.

Le premier constat est d'une actualité brûlante : la science fait peur. Elle n'est plus cette activité triomphante qui annonçait un progrès sans fin.

Pourquoi ? La science fait peur parce que certains événements majeurs, dont l'archétype est Hiroshima (on pense aujourd'hui à

l'industrie nucléaire, aux organismes génétiquement modifiés ou au clonage), ont donné naissance à un véritable mouvement "antiscience", au discours passionné et parfois extrémiste.

Mais elle fait peur aussi parce que, dans le camp opposé, certains défenseurs inconditionnels du progrès scientifique, les "scientistes", sont aveuglés par leur adoration

"religieuse" de la science.

Dans les deux cas, la science devient inquiétante. Dominique Lecourt ne se reconnaît dans aucune de ces deux positions et, pour « lutter contre la peur », affirme qu'il faut reprendre la réflexion à la source.

D'une part, la philosophie des Lumières (illustrée ici par Condorcet) est bien à l'origine, avant Auguste Comte, du "scientisme". D'autre part, la conception romantique qui a donné naissance à l'écologie traditionnelle et "antitechnoscience"

s'enracine principalement dans la pensée de Heidegger. Dominique Lecourt traque les racines, les lignées, les traditions depuis l'avènement de la science moderne,

au XVII^e siècle, pour mieux nous donner les moyens de repenser les vrais enjeux de la science contemporaine. Aller au-delà du stérile combat actuel est donc un impératif et une urgence. A méditer par tous ceux qui s'intéressent de près ou de loin à la science.

Jean-François Robredo

.....
Quadrige/PUF, 184 p.,
55 F (8,35 €).
Roch-Productions, 276 p., 340 F
(52 €), vente au 01 45 40 51 27.

Dominique Lecourt

Contre la peur



Quadrige / Presses Universitaires de France

Trois ans avec les nageurs de combat

LE COMMANDO HUBERT

Frank Jubelin

L'actualité mondiale récente, et notamment la guerre du Kosovo, montre combien les forces spéciales sont devenues des acteurs majeurs lors des crises régionales. En effet, si les opérations aériennes à haute altitude ont permis une action dissuasive forte, leur précision dépendait de la fiabilité des informations recueillies sur place. Or, celles-ci ne peuvent être obtenues seulement par l'observation satellitaire ou aérienne (les drones). La reconnaissance sur le terrain par des troupes d'élite reste cruciale.

A ce jeu dangereux, certaines unités spécialisées sont devenues indispensables. Et le commando Hubert, avec les nageurs de combat de la Marine nationale, tient une place prépondérante. Pour la première fois, un livre lui est consacré. Récit fertile en révélations, rehaussé par de très nombreuses photos inédites. Frank Jubelin, l'auteur, et Roch Pescadère, le photographe, ont suivi durant trois années cette unité dans toutes ses activités. Ils décrivent, dans un ouvrage de référence, comment ces nageurs "rustiques" sont devenus commandos "polyvalents" d'élite. Qui peuvent être placés (et le sont...) sur tous les théâtres d'opérations où les intérêts de



Nageurs d'élite

Un livre à la gloire des nageurs de combat du commando Hubert (ici, précédés de leurs "tracteurs" sous-marins).



la France sont en jeu, en gardant une parfaite confidentialité. En effet, les hommes d'Hubert mettent un point d'honneur à respecter le secret absolu sur leurs actions.

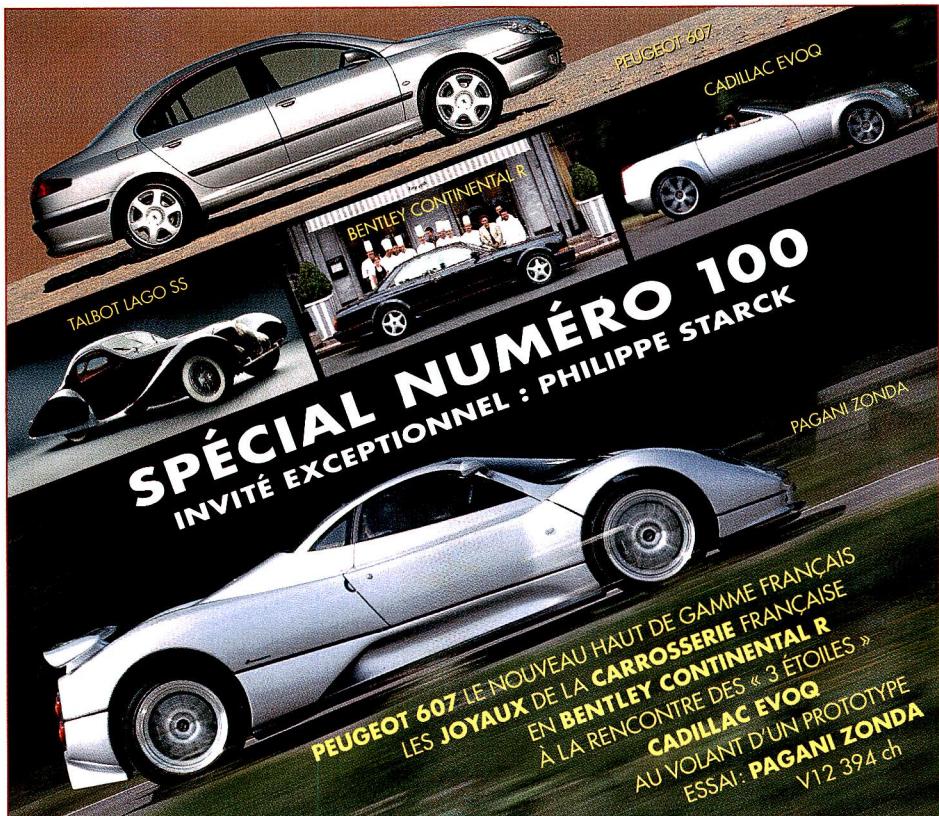
Le travail d'investigation des auteurs du livre en est d'autant plus remarquable. Il est présenté en trois volets : une partie historique dense, retracant la naissance des bérrets verts français, comme la genèse des nageurs de combat italiens. Puis une présentation détaillée des techniques utilisées au cours des principales missions actuelles, notamment le contre-terrorisme maritime ou la pénétration en profondeur de territoires hostiles. Enfin, les perspectives d'évolution des unités d'élite, dans le nouveau contexte géostratégique mondial.

Didier Dubrana

Roch-Productions. 276 p., 340 F (52 €), vente au 01 45 40 51 27.

AUTOMOBILES CLASSIQUES®

N° 100 - SEPTEMBRE 1999 - 38 F



38 FF - 240 FB - 12 FS - 19 DM - 150 AFS - \$ 3.94 - \$ CAN 2.95 - 11.50 PT\$ - 80 DH - \$700 L - ANTILLES / GUYANE / RÉUNION - 29 F & 500 CT

GRAND CONCOURS : ÉLISEZ LA VOITURE DU SIÈCLE

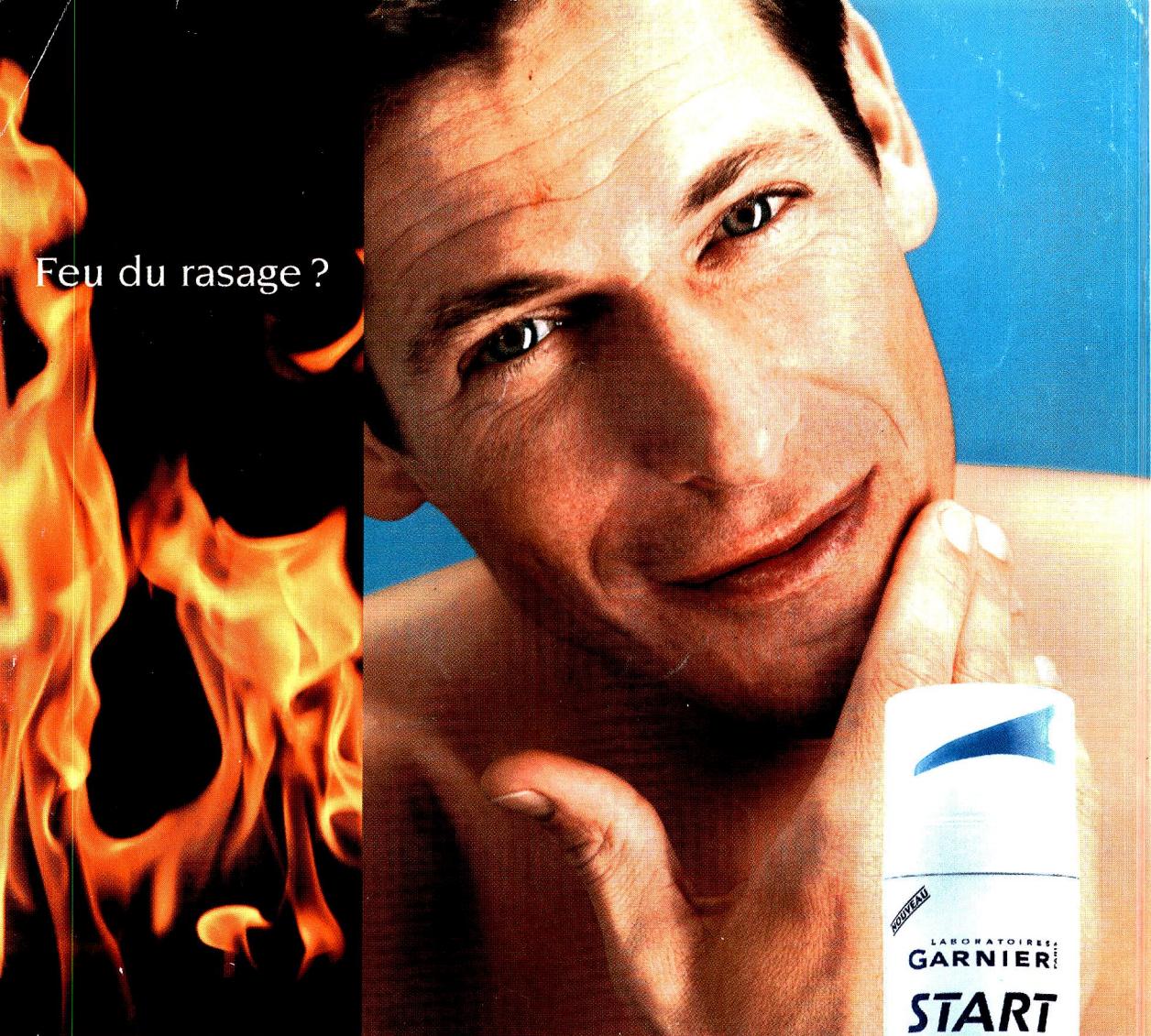
140 CADEAUX À GAGNER POUR UNE VALEUR DE 280 000 FRANCS

EN SUPPLÉMENT : LE POSTER DES 100 CLASSIQUES • BAGATELLE 1999

T 1634 - 100 - 38,00 F - RD



En vente partout



Feu du rasage ?

Neutralia dermo-protecteur des Laboratoires Garnier.
Le seul gel de rasage au Glycerum apaisant
et hydratant. Il apaise
quotidiennement la peau du feu du rasage
et l'hydrate parfaitement.



NEUTRALIA : LA SANTÉ DE LA PEAU.

GARANTI PAR LES LABORATOIRES

GARNIER