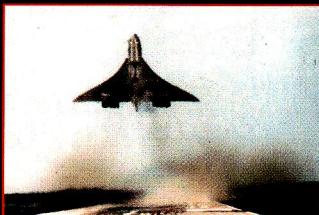


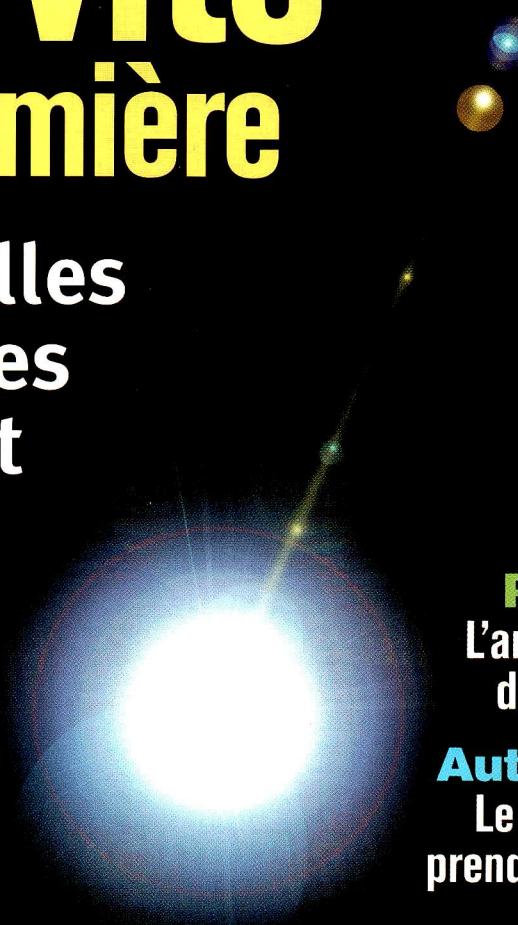
Mensuel n° 997 - octobre 2000

Plus vite que la lumière

Les nouvelles
expériences
qui défient
Einstein



Concorde
Ce n'était pas
la 1^{re} fois !



Pauvreté
L'arithmétique
de la misère

Automobile
Le numérique
prend le pouvoir

Vie privée
Internet
vous surveille





Le sens du collectif.

11H30/13H

RTL
JULIEN COURBET

L'avenir des clones



C. MC PHERSON-STF/AFP

**En son temps,
Dolly a fait craindre
l'avènement
du clonage
reproductif humain.
Les scientifiques
ont calmé les esprits
en vantant les mérites
du seul clonage
thérapeutique.
Saura-t-on s'en tenir là ?**

Le processus de mécanisation du vivant, notamment de l'humain, est un fait de civilisation et ne rencontre que des îlots de résistance épars. Il vient de franchir une étape décisive : le projet de clonage thérapeutique, défendu par le gouvernement britannique depuis cet été. Il s'agit d'obtenir, à partir des cellules d'un patient, des clones dont on tirera des cellules souches qui donneront des tissus à greffer totalement compatibles avec le receveur. Les "moralistes" s'insurgent : créer des embryons puis les "tuer" est indigne de l'humanité. Les "pragmatiques", eux, n'en démordent pas : si ça peut soigner, c'est bon pour l'homme. Et cela fait déjà bien longtemps que ces pratiques sont tolérées à des fins de recherche dans plusieurs pays (pas encore en France). Cependant que l'industrie biotechnologique fait pression pour garantir son avenir dans la culture de tissus.

Etape suivante : le clonage reproductif humain, non pas pour autoriser quelques illuminés à se dupliquer à l'infini mais pour créer des hommes transgéniques. Quel rapport ? On sait remplacer un gène, mais seulement dans une cellule. On pourrait donc transférer le noyau d'une cellule génétiquement modifiée dans un œuf préalablement énucléé. Cet œuf implanté dans l'utérus donnerait alors naissance à un clone transgénique. Ce serait un moyen d'éradiquer des maladies héréditaires, voire d'améliorer le patrimoine génétique, affirment les partisans de cette démarche.

Reste un problème éthique épique : comment se dispenser du consentement éclairé des générations futures ? Mais il n'est pas impossible qu'on y parvienne un jour, à titre exceptionnel, dans des conditions particulières... Avant d'en arriver là, peut-être faudrait-il que la question soit posée ouvertement dans un grand débat au cours duquel les citoyens pourront former et exprimer leur opinion. Il ne faudrait pas ignorer que depuis plus de quarante ans la biologie moléculaire, sans l'avouer clairement, poursuit un projet : l'amélioration de l'espèce humaine. Est-ce bien souhaitable ?

S & V

n° 997 • octobre 2000

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. 45 et 115. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08, sur minitel en tapant 3615 ABON (1,29 F la minute), ou sur l'internet (<http://www.abomag.com>).

Encart abonnement broché sur la vente au numéro France métropolitaine.

Encart broché 9Télécom de huit pages sur la vente au numéro et abonnés.

Un CD-Rom AOL collé en p. 97 est joint aux exemplaires de la diffusion abonnés France métropolitaine.

Couverture: G. Motte, M. Young/Corbis Sygma.

M. YOUNG/CORBIS SYGMA



■ Juin 1979: des pneus d'un Concorde éclatent au décollage, transperçant les réservoirs. Par miracle, la catastrophe fut évitée. Personne n'avait tiré les leçons de cet incident...

■ Dans le Pacifique sud, les volcans sous-marins abritent une faune d'une diversité insoupçonnée.

■ Tragédie du *Koursk*: le sous-marin a-t-il été victime d'un missile tiré par un croiseur russe ou d'un accident lors du lancement d'un nouveau type de torpille ?



Sommaire

Forum 7

Actualité

Recherche 14

Environnement 30

Technologie 38

Médecine 46

Document

Concorde : ce n'était pas la première fois ! 56

En couverture

Plus vite que la lumière

■ Les nouvelles expériences qui défient Einstein 60

■ Petit tour d'horizon des illusions lumineuses 67

■ Tout est relatif 71

Biodiversité

Des îles habitées sous la mer 84

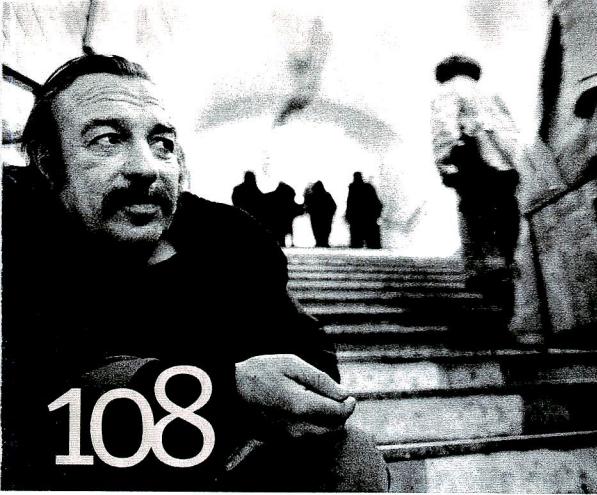
Climatologie

Oscillation nord-atlantique : le Yo-Yo météo 90

Enquête

Koursk

Tombé sous les armes russes 98



J.-F. JOLY/EDITING

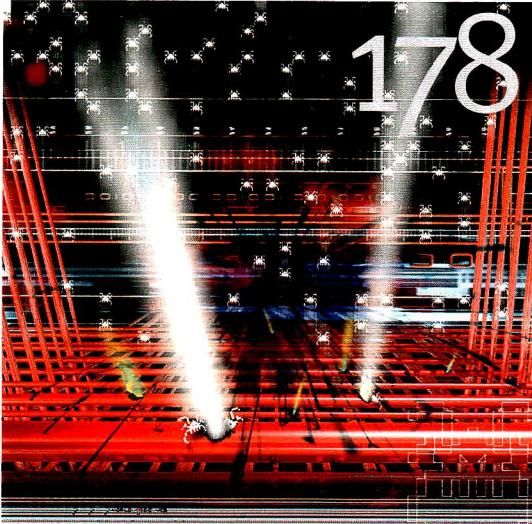
108

■ Ceux qui n'ont pas assez pour vivre... Qui sont-ils ? La Journée mondiale du refus de la misère entend leur donner la parole. Mais comment les compter, comment compter ceux qui manquent ?

108

■ Dans une sépulture gelée depuis plus de deux mille ans, les restes d'un prince saka, d'une inconnue et de treize chevaux richement harnachés...

■ Après les cookies, le web bug. Ce cybercafard plein de ruse, indécelable par l'internaute, permet la constitution de mégabases de données nominatives.



F. FAVOTTI

Socio-économie

L'arithmétique de la misère ..108

Dossier

SATELLITES

La guerre des images ..116

Archéologie

Les secrets de la tombe d'un prince saka130

Physique

En route pour Photoniqueville140

Automobile

Le numérique prend le pouvoir148

Histoire

Pierre Varignon, l'inventeur de la vitesse ..156

Science net

Vers l'internet tout optique167

Internet

Un œil sur l'orbite174

Conso

Internet: la menace178
Le Mac à la puissance Cube ..182

Loisirs

Rétro184
Le ciel du mois186
CD-Rom188
Livres190

ENFIN UNE LIGNE DE SOINS

**100%
MASCULINS.**

2 Secrets

pour une peau clean

1

NOUVEAU

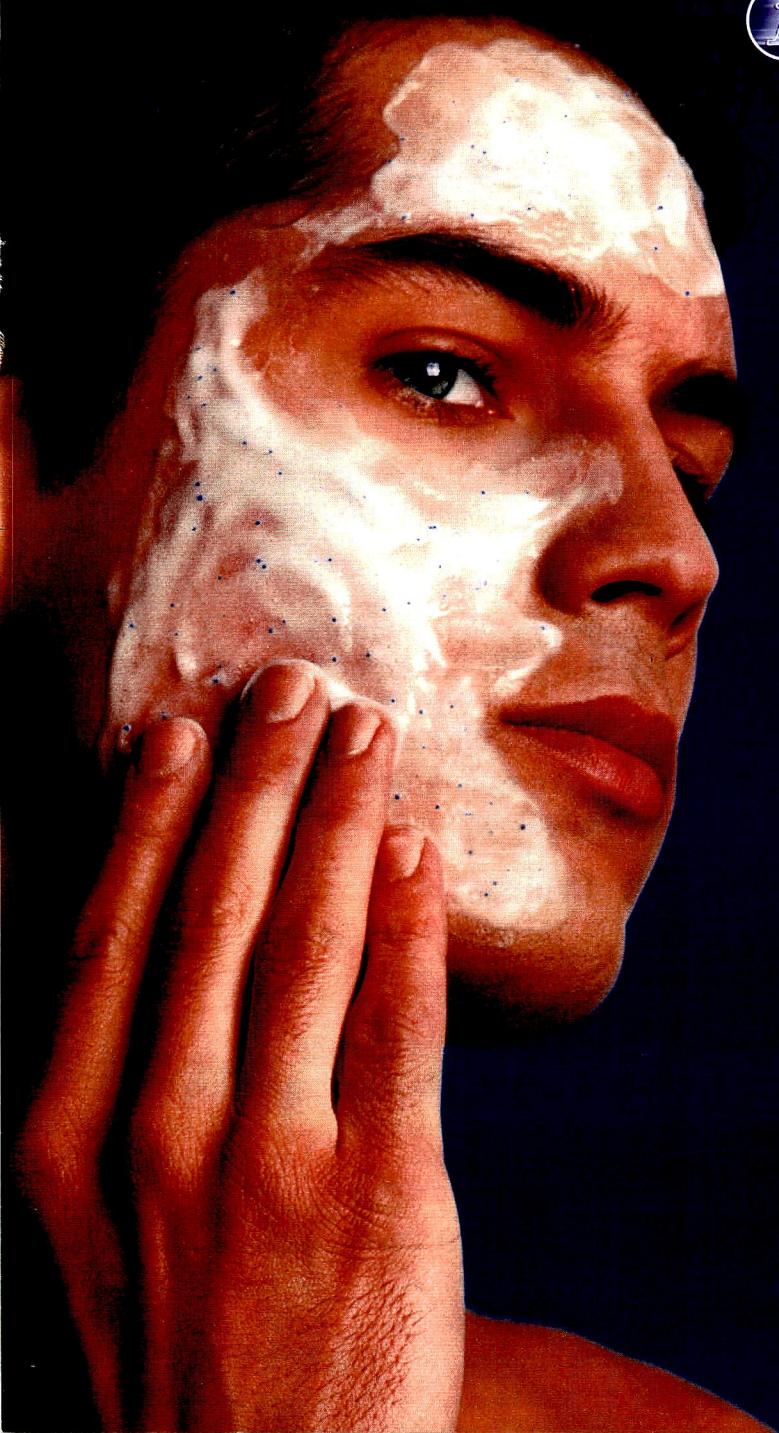
gel
Le gel désincrustant

**LES HOMMES DÉCOUVERT
UN NOUVEAU GESTE.**

Le nouveau gel désincrustant NIVEA FOR MEN s'adresse à ceux qui souhaitent débarrasser leur peau de toutes les impuretés.

Les particules contenues dans sa formule exfolient en douceur tout en stimulant la circulation.

Sa formule fraîche, enrichie en glycérine, vitamines E et B5, assure l'hydratation essentielle de la peau.



**Une fois par semaine,
2 gestes complémentaires
simples et efficaces
pour purifier votre
peau en profondeur.
Une peau saine signée
NIVEA FOR MEN.**



SIMPLICITÉ ET EFFICACITÉ.

Appliquez une petite noisette de gel sur votre peau humide, massez délicatement en évitant le contour des yeux, rincez abondamment à l'eau claire.

Résultat immédiat : une peau plus douce, plus propre et mieux préparée pour le rasage.

UN GESTE SIMPLE POUR UN NEZ PARFAITEMENT NET.

FCB

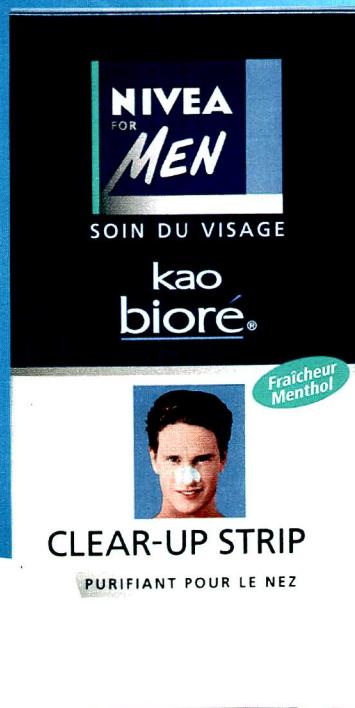
Le Clear-Up Strip de NIVEA FOR MEN Kao Bioré a été conçu pour les hommes qui veulent retrouver une peau nette.

La peau du nez secrète du sébum qui obstrue les pores de la peau où les impuretés viennent se loger : d'où l'apparition de points noirs.

Chaque semaine, le Clear-Up Strip de NIVEA FOR MEN Kao Bioré nettoie la peau en profondeur. Les pores du nez sont propres, votre peau respire de santé. En plus, l'utilisation est simple : mouillez votre nez, appliquez le patch, retirez-le après 10 minutes et le tour est joué !

2

patch Le patch purifiant



Gel Désincrustant NIVEA FOR MEN (75ml) : 27 F
Clear-Up Strip NIVEA FOR MEN Kao Bioré : 28 F
Disponibles au rayon hygiène de votre supermarché.
Prix public conseillé.

www.niveaformen.com



**NIVEA FOR MEN.
POUR CEUX QUI OSSENT LE SOIN.**



Nouveau

attention
très frais



Shampooing anti-pelliculaire nouvelle génération.

Clear Refresh : L'efficacité anti-pelliculaire, le plaisir en plus. Sa formule purifie et apaise le cuir chevelu et procure une sensation de fraîcheur intense. Vos cheveux respirent, une vraie source de bien-être.

Clear Refresh : Sa fraîcheur vous monte à la tête.

Forum

en couverture

La Bible relue et corrigée par la génétique

Adam et Eve, où ils étaient ? Abraham est-il le père des Juifs et celui des Arabes ? Des généticiens américains sont partis à la recherche de l'ancêtre commun des peuples semitiques.

Bilan des découvertes qu'ont fait

et ce qu'en disent les rabbins



La Bible revue et corrigée par la génétique.

Notre article de couverture du numéro d'août (Science & Vie n° 995) a mis nos lecteurs en verve et nombreux ont pris la plume. Certains l'on fait pour affirmer haut et fort leur croyance au caractère sacré et véridique du livre saint – ce que nous respectons, mais qui relève de la foi et non de la raison –, d'autres nous ont écrit pour apporter des précisions, comme M. Chevalier, de Luxeuil-les-Bains (Haute-Saône), qui nous rappelle que la Bible ne mentionne pas à proprement parler les douze tribus arabes que cite notre article, mais que c'est le peuple arabe qui, à la naissance de l'Islam, s'est identifié à Ismaël et à ses douze fils. M. Naslin, de Belin-Beliet (Gironde), nous rappelle par ailleurs que l'on doit écrire "les juifs" avec une minuscule, comme "les catholiques" ou "les musulmans", car il s'agit d'une religion et non d'une ethnie ou d'une nationalité. Dont acte.

L'encadré intitulé "Pour en finir

avec le racisme" suscite de nombreuses réactions. Il n'a pas toujours été bien compris, probablement parce que trop synthétique.

Comme nous le fait remarquer Jacques Lesca, d'Oxford (Grande-Bretagne), cet encadré aurait mérité d'être plus développé. Et ce lecteur poursuit en nous livrant ses réflexions : « Étant donné que "les différences de couleur sautent aux yeux", on ne saurait nier qu'il existe, *grosso modo*, trois groupes d'êtres humains (les trois "races" ?).

S'il est entendu que ce terme de "race" engendre "racisme" et, par là, comme vous le dites très bien, l'expression d'une peur de la différence qui se manifeste par des stupidités non scientifiques, peut-on donc parler de "sous-espèces" ? Car il faut bien reconnaître que les différences entre les trois groupes ne se limitent pas à la couleur de la peau. De nombreuses autres caractéristiques physiques, voire physiologiques, se transmettent héréditairement. Sont-elles codées par certains gènes ? Les a-t-on étudiées ? [...].

S'il est évident qu'on ne peut en aucun cas associer une quelconque notion de différence intellectuelle aux différences physiques (certains Américains d'origine asiatique sont des Américains dans toute leur splendeur, mais pourraient passer inaperçus en Asie), il me semble permis de se poser la question des différences physiques typiques et récurrentes en termes rigoureusement scientifiques d'évolution, de gènes ou autres éléments de taxinomie, et d'en tirer... uniquement le plaisir de comprendre ces différences. Cela permettrait peut-être de les expliquer aux enfants en termes rationnels... sans en avoir peur. Car comprendre, c'est commencer à accepter. »

Si cette dernière réflexion paraît fort juste, celle qui concerne la notion de "sous-espèce" est un peu inquiétante. Non, il n'y a pas de sous-espèce humaine. *Homo sapiens* n'est qu'une seule et même espèce, indivisible. Ces différences qui "sautent aux yeux" – couleur de peau, morphologie – sont moins significatives que d'autres, tout aussi criantes que les différences d'âge, de sexe, de langue ou de culture. En fait, dès que l'on cherche à classer les populations humaines de manière rigoureuse, on s'aperçoit qu'il n'existe pas de frontières assez nettes pour distinguer clairement trois "races". On trouvera toujours un noir très clair, ou un très noir au profil européen, etc. A tel point que l'anthropologie arrive à la conclusion que ce qui caractérise l'humanité c'est une multitude de différences qui interdisent une quelconque classification. Et ce qui en fait la richesse, c'est bien le métissage, fruit d'une longue histoire de migration. ■

Système Echelon « Il existe un moyen, accessible à tout un chacun, de lutter contre de tels systèmes d'intrusion dans les communications mondiales. Il suffit d'intégrer dans la signature de chacun de vos e-mails quelques mots clés que le système Echelon cherche à repérer.

Par exemple : Echelon, NSA, Explosives, guns, assassination, conspiracy, primers, detonators, initiators, main charge, nuclear charges, ambush, Rewson, SAFE, Waihōpāi, INFOSEC, ASPIC, MI6, Information Security, SAI, Information Warfare, IW, IS, Privacy, Information Terrorism, Terrorism Defensive Information, Defense Information Warfare, Offensive Information...

Une liste plus complète de mots



clé peut être trouvée à l'adresse suivante : <http://www.dis.org/erewhon/spookwords.html>. Le citoyen lambda ayant sa page personnelle ou un site sur l'internet, peut utile-

ment intégrer de façon invisible au niveau des tags, ou en petits caractères de la même couleur que le fond d'écran, les mots clés d'Echelon, qui voyageront ainsi à chaque fois qu'un internaute appellera cette page. Il est probable que la panne informatique par saturation du 24 janvier 2000 est le résultat de telles contre-mesures. »

Dr Eric Loonis (Périgueux)

En effet, c'est un moyen de saturer les systèmes de surveillance, et cette parade fait l'objet d'un débat chez les spécialistes de l'espionnage et du contre-espionnage. Cependant, il ne faudrait pas croire qu'il est infaillible car la surveillance des communications sur l'internet ne se limite pas à rechercher des mots clés pour identifier d'éventuels terroristes ou trafiquants.

Elle procède aussi par sondage, étudiant l'ensemble des communications de personnes tirées au hasard. De plus, il existe désormais aujourd'hui des systèmes très élaborés d'analyse sémantique qui se prétendent capables de découvrir le sens caché de courriers codés qui font allusion à l'objet d'un trafic ou les détails d'une mission – sans les nommer en clair.

Mauvais exemple : Mendel et le tirage au sort. Dans notre article d'histoire consacré à Mendel (Science & Vie n° 995, p. 130) nous expliquions que l'inventeur des lois de l'hérédité partait de l'idée que le brassage des caractères héréditaires était une affaire de hasard. Nous donnions l'exemple suivant : prenons « deux urnes contenant un nombre égal de boules rouges et de boules vertes. Lorsque, à chaque tirage, on associe une boule issue d'une urne avec une boule issue de l'autre urne, on a une chance sur quatre de tirer une paire toute rouge ou toute verte. Sur une série suffisamment grande, on a bien un rapport de 3 paires bicolores pour 1 paire d'une seule couleur. » Didier Cousson, de Mont-de-Marsan (Landes), a remarqué notre erreur. Le résultat du tirage est un rapport de 2 paires bicolores pour 2 paires d'une seule couleur. Rien à voir avec le fameux rapport de 3:1 des lois de Mendel. « En revanche, écrit-il, si l'on s'intéresse aux paires qui contiennent au moins une boule d'une couleur donnée (couleur que l'on peut qualifier de dominante), on obtient bien un rapport de 3 pour 1. Ce qu'on voulait démontrer. »



Cette année, passez en 6ème.



Bora Break TDI® 115. Boîte 6 vitesses.

Volkswagen Bora



Précisions Nous rapportons (*Science & Vie* n° 995, p. 18) qu'une expérience de physique donne des précisions sur la constante gravitationnelle G, aujourd'hui évaluée entre 6,6741 et 6,6744. M. Damany, de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique), s'est alors donné la peine de calculer quelques modifications engendrées par la nouvelle valeur de G pour les mises en orbite de satellites. Selon les lois de Newton, la vitesse minimale pour mettre un objet en orbite depuis le sol devient 11,180 km/s au lieu de 11,186 km/s, et l'orbite géostationnaire est maintenant théoriquement située à 42 163,63 km du centre de la Terre.



Mais cette orbite et cette vitesse ne sont que théoriques : si les corrections entraînées par la relativité générale sont ici inutiles, puisqu'elles n'affecteraient les vitesses usuelles des satellites que d'un facteur 10^{-10} , il faut cependant prendre en compte le fait que la Terre n'est pas vraiment ronde, mais aplatie aux pôles. Le rayon de l'orbite géostationnaire est alors de 42 165,8 km. ■

Trafic fluide « Radio Trafic utilise une fréquence unique de 107,7 MHz grâce à sa configuration isofréquence. Pourquoi ne pas appliquer cette technique aux autres radios FM ? » Nicolas Gorenstein (internet).

Trois points s'y opposent. Le premier est d'ordre technique : le système fonctionne parfaitement lorsque le récepteur se trouve sur une droite passant par les deux émetteurs. Cette condition est simple à assurer sur une autoroute où on dispose des émetteurs de loin en loin ; mais elle n'est plus respectée dès lors qu'on s'écarte de cette ligne. Le second est le surcoût qu'induit le contrôle de phase des émetteurs. Troisièmement, enfin, il faudrait revoir le "plan fréquence" du territoire français. ■

TOUTE LA BOURSE EN DIRECT
profitez des tarifs MODULO*

3615
1000 ACTIONS

* 50 % de réduction du lundi au vendredi de 19 h à 8 h, le samedi à partir de 12 h et les dimanches et jours fériés

OPTION FINANCE
2,23 F la minute

L'accélérateur du 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 : svnews@excelsior.fr

Adresse télégraphique : Sieniev Paris.

Principaux associés : Yveline Dupuy, Paul Dupuy.

DIRECTION, ADMINISTRATION

Président-directeur général : Paul Dupuy. Directrice générale : Yveline Dupuy. Directeur général : Jean-Pierre Beauvalet. Directeur général adjoint : François Fahys. Directeur financier : Jacques Béhar. Directeur marketing : Marie-Hélène Arbus. Directeur commercial MD : Patrick-Alexandre Sarradeil. Directrice des ventes : Chantal Contant. Directeur des études : Roger Goldberger. Directeur de la fabrication : Pascal Rémy, chef de la fabrication, Laurent Remise, assistés de : Valérie Brunehaut.

REDACTION

Directeur de la rédaction : Matthieu Villiers. Rédacteur en chef : Jean-René Germain, assisté d'Elisabeth Latsague. Rédacteurs en chef adjoints : Jean-François Robredo, Didier Dubrana, Gérard Morice. Chef des informations : Isabelle Bourdial. Chef de service : Christine Laurent. Secrétaires de rédaction : Agnès Marillier, Jean-Luc Glock, Camille Chaplain. Chefs de rubrique : Philippe Chambon, Germain Chambost, Roman Ikonoff. Rédacteurs : Pierre Rossion, Marie-Laure Moinet, Henri-Pierre Penel, Hélène Guillemot, Valérie Greffoz, Hervé Poirier. Conception graphique : Nathalie Baylaucq. Direction artistique : Gilles Moine. Maquette : Lionel Crooson, Valérie Samuel. Services 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

Marianne Baur, Mélanie Billaud, Séverine Corson, Serge Courrier, Martin Crag, Philippe Henarejos, Valérie Jacquemin, Sylvia Kesbi, Anne Le Vot, Thomas Ley, Frédéric Mauve, Victoire N'Sondé, Véronique Rochewsky, Edith Rolland, Akéla Sari, Robert Touboul.

RELATIONS EXTÉRIEURES

Michèle Hilling, assistée de Chrystel More.

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 : Mathilde Janier, 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. Directeur commercial : Olivier Meinvielle. Assistante commerciale : Valérie Louis. Directrice de la publicité : Sophie Vatelot-Oger. Directrice de la clientèle : Véronique Le Gall. Assistante de publicité : Elise Naudin.

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 : Carole Hilttenbrand. 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, ou sur abogam.com. Aux Etats-Unis et au Canada : Periodica Inc. - C.P. 444, Outremont, Québec, Canada H2V 4R6. En Suisse : Naville, case postale 1211, Genève 1, Suisse. En Belgique : Press-Abonnements, avenue des Volontaires, 1160 Bruxelles. Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

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

Les manuscrits non insérés ne sont pas rendus. La rédaction ne reçoit que sur rendez-vous. Copyright 1989 *Science & Vie*.





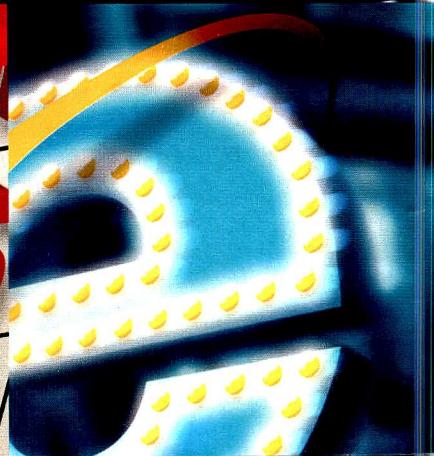
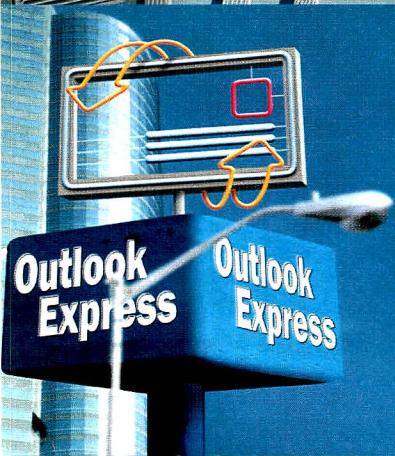
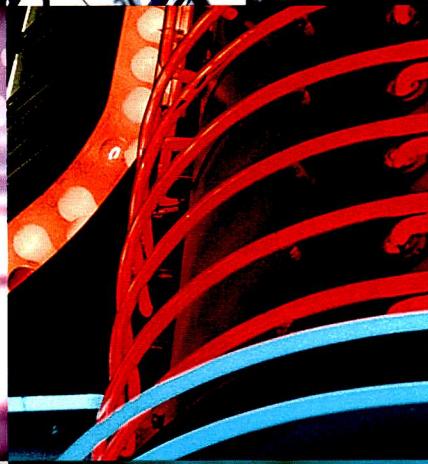
NOUVELLE CITROËN XSARA VOYAGER DANS UN MONDE PLUS SÛR.



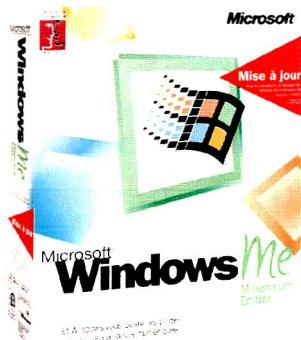
Jusqu'à la nouvelle Citroën Xsara, on n'avait rien inventé de mieux que mille et un morceaux de polystyrène pour transporter ce qui est fragile. Incontestablement, la nouvelle Xsara est une invitation à voyager, en toute sécurité. Installez-vous au volant et tombez sous le charme d'une grande routière racée et née pour voyager: nouvelles motorisations 16 soupapes, module radio-téléphone⁽¹⁾, ordinateur de bord⁽²⁾, système de navigation⁽¹⁾... Le voyage s'annonce agréable, il le sera encore plus car vous êtes en confiance: 2 airbags frontaux adaptatifs, 2 airbags latéraux, ABS avec répartiteur électronique, direction à assistance variable... Vous n'imaginez pas tout ce que Citroën peut faire pour vous.

Sécurité sur la route. Grande cause nationale 2000.

Modèle présenté : Xsara 2.0 HDi Exclusive avec option peinture métallisée.
(1) En option. (2) De série sur Exclusive et VTS.



Ouvrez un pack d'attractions.



INTERNET, JEUX, MUSIQUE, PHOTO, VIDÉO...

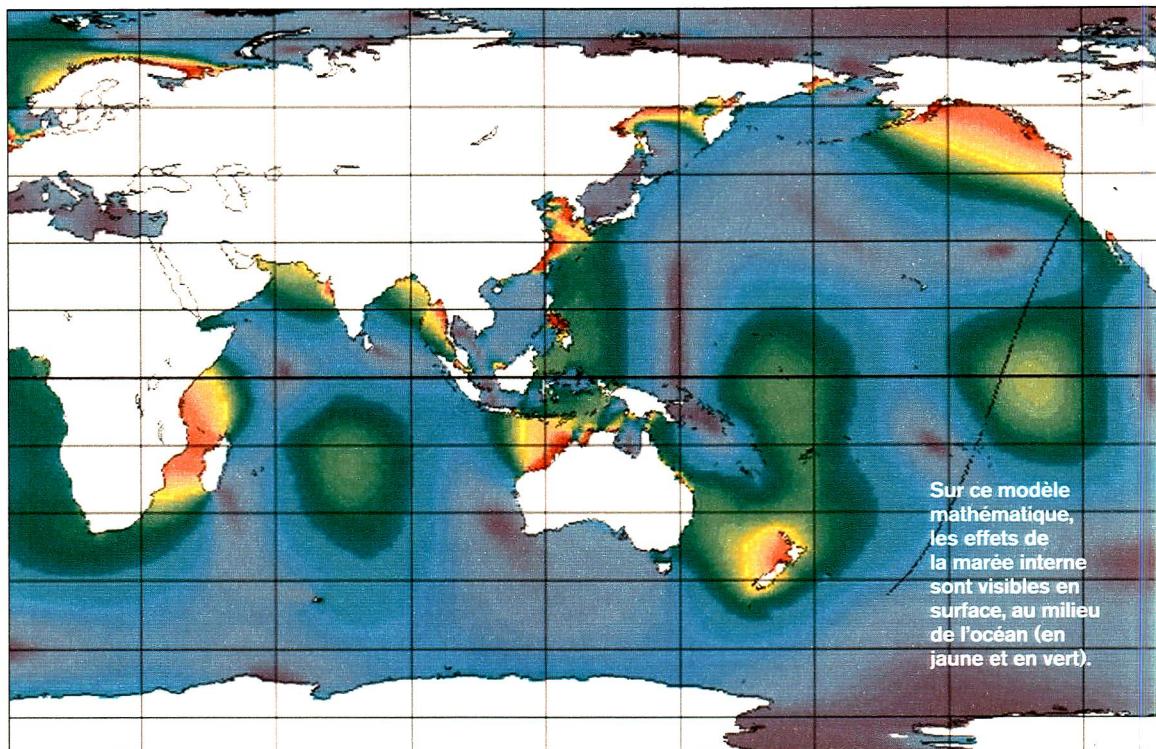
Découvrez Microsoft Windows Millennium Edition, le nouveau pack de tous vos loisirs.

Avec Microsoft Windows Millennium Edition, la toute nouvelle version de Windows pour la maison, votre PC se transforme aussitôt en véritable parc d'attractions et de loisirs pour toute la famille. Encore plus de plaisir, de rapidité, de sécurité et de simplicité. Microsoft Windows Millennium Edition, c'est maintenant et c'est à vous de jouer !

Jusqu'où irez-vous ?

Microsoft

www.microsoft.com/france/windows/me



Les dessous cachés de

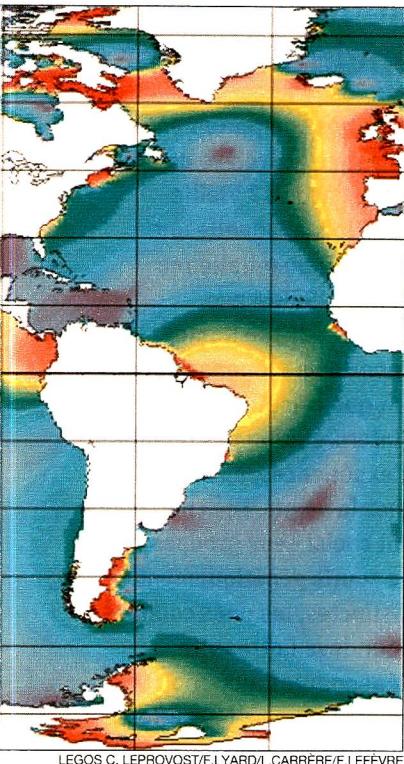
Le satellite *Topex-Poséidon* vient de lever le voile sur l'existence d'une seconde marée océanique, en marge de la marée visible. Ainsi il est bien prouvé que l'attraction de la Lune chamboule les profondeurs de la mer.

La Lune et, dans une moindre mesure, le Soleil exercent une attraction gravitationnelle sur la Terre, qui se traduit par une déformation périodique des océans. Grâce au satellite *Topex-Poséidon*, on vient de montrer qu'en marge du soulèvement des flots se propagent des ondes internes susceptibles d'infléchir la circulation océanique. Comme la

première, cette seconde marée n'est pas simplement proportionnelle à l'attraction lunaire. Car la réponse de l'océan est complexe, du fait des frottements sur le plancher océanique, du relief côtier et sous-marin ou des déformations du globe sous la charge des mers. L'amplitude des marées visibles a ainsi été calculée en recourant aux équations de l'hydrodynamique, puis en intégrant les mesures alti-

métriques des satellites. D'après les lois de Kepler, on estime à 2,4 térawatts (10^{12} watts) la part de l'énergie perdue par le couple Terre-Lune dissipée dans les océans. Dans les zones littorales, les marées dilapident de 1,7 à 2 térawatts. Deux chercheurs américains (*Nature* n° 6788) sont parvenus à masquer leurs effets pour repérer, dans les relevés du satellite, ceux induits par une éventuelle marée interne. L'énergie manquante (de 0,4 à 0,7 térawatts) alimente bien des turbulences profondes qui perturbent la stratification de l'océan et en modifient la circulation générale. En effet, l'océan se présente comme une succession de couches d'eau plus

BOTANIQUE



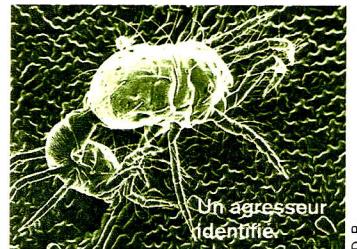
la marée

froides et plus denses à mesure que la profondeur augmente. Vers 800 mètres se produit une discontinuité thermique ou thermocline, où la température chute brutalement.

« Cette marée interne, plus importante qu'on l'imaginait, brasse les masses d'eau, notamment à l'aplomb des dorsales », explique Christian Le Provost dont l'équipe (CNES, université de Toulouse-CNRS) a développé les modèles mathématiques de ces marées océaniques. En effet, au contact des reliefs, les turbulences engendrées par la marée profonde créent des ondes internes, qui rayonnent et provoquent une remontée de la thermocline. **I. B.**

Les haricots donnent l'alerte

Attaquées par des arthropodes, plusieurs variétés de plantes émettent des substances volatiles qui attirent les prédateurs de leur prédateur. Le haricot du Cap fait mieux : les plans assiégés préviennent leurs voisins, toujours par voie aérienne. Ceux-ci déclenchent alors leurs mécanismes de défense avant d'être agressés. Des chercheurs japonais et allemands (*Nature* n° 6795) ont montré que ce haricot fait la différence entre ses assaillants : s'il s'agit de minuscules araignées *Tetranychus urticae*, les feuilles du haricot lancent l'alerte. Mais si les chercheurs infligent eux-mêmes une



blessure aux feuilles, ce ne sont ni les mêmes gènes qui sont activés ni les mêmes substances synthétisées. Dans ce cas, ces molécules ne déclenchent aucune réaction chez les pieds voisins. Cependant, on ne sait pas encore ce qui permet à la plante de reconnaître une attaque par *T. urticae*. **A. C.**

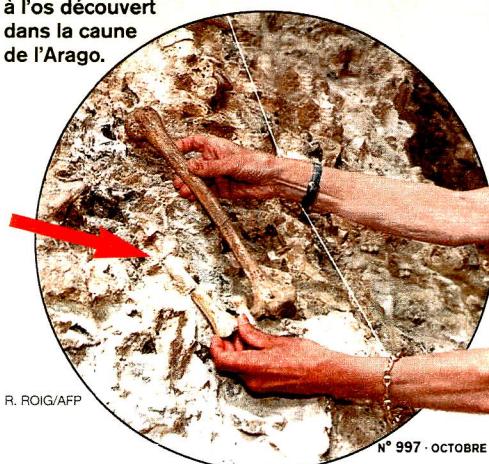
PALÉOANTHROPOLOGIE

LA FEMME DE TAUTAVEL

■ Quelque trente ans après avoir livré la face et l'os frontal d'un *Homo erectus* baptisé "homme de Tautavel", la Caune de l'Arago vient d'offrir un nouveau fragment humain d'importance : un humérus féminin presque intact malgré son âge canonique de 450 000 ans. Cette grotte située dans

les Pyrénées-Orientales fait l'objet de fouilles dirigées par Henry de Lumley, épaulé par sa femme, Marie-Antoinette (du Muséum d'histoire naturelle). Près d'une centaine de restes humains, qui appartiennent aux ancêtres probables de l'homme de Néandertal, y ont ainsi été découverts. **I. B.**

Marie-Antoinette de Lumley compare un humérus complet à l'os découvert dans la caune de l'Arago.



R. ROIG/AFP

RECHERCHE



Ce dispositif mesure directement la résistance des nanotubes (à gauche).

C. DEKKER - D. R.

NANOPHYSIQUE

Les nanotubes résistent

Les nanotubes, ces fibres de carbone creuses, possèdent des propriétés étonnantes. D'une minceur extrême (moins d'un nanomètre de diamètre, c'est-à-dire un millionième de millimètre), elles montrent une résistance à la rupture à faire pâlir les matériaux les plus solides. Mais leur taille microscopique rendait jusqu'à présent toute mesure de ces propriétés mécaniques difficile. L'obstacle vient d'être franchi par des Américains qui ont publié leurs résultats au mois de juin dans la revue *Physical Review*

Letters. Ils ont utilisé une pointe de microscope à force atomique, capable d'attirer la matière par la seule force d'attraction des atomes, pour accrocher un faisceau de nanotubes. Puis ils ont tiré sur la pointe jusqu'à ce qu'un nanotube cède. Résultat : un étirement de 30 à 50 gigapascals est nécessaire pour atteindre le point de rupture. En comparaison, les fibres de carbone et l'acier sont de vraies mauviettes : ces matériaux cèdent respectivement à 5 et 3 gigapascals. Voilà qui promet un bel avenir aux nanotubes! A. D.

COSMOLOGIE

EXPANSION UNIVERSELLE

■ L'un des objectifs du télescope spatial *Hubble*, lorsqu'il a été lancé en 1990, était de déterminer le taux d'expansion de l'Univers, que les spécialistes appellent la "constante de Hubble". Après dix années d'observation d'étoiles et de galaxies lointaines, le télescope a rendu son verdict : notre univers

s'étend d'environ 74 kilomètres par seconde et par mégaparsec. Ce qui signifie que des galaxies situées à 50 millions d'années-lumière (environ 15 mégaparsec), comme celles appartenant à l'amas de la Vierge, – le plus proche de nous – s'éloignent à la vitesse de 1 100 kilomètres par seconde. V. G.

BIOLOGIE

Gènes versus environnement

Dans nos comportements, qu'est-ce qui relève de l'inné ou de l'acquis ? Vieille question, à laquelle une équipe franco-italienne (unité INSERM 259 et université de Rome) apporte une réponse qui ne fait que compliquer l'interprétation des résultats d'expériences, au moins chez la souris. Les chercheurs ont choisi deux groupes de souris génétiquement distinctes, les unes connues

pour devenir très vite dépendantes aux amphétamines, les autres réputées résistantes au pouvoir d'assuétude de ce produit.

Après avoir subi quelques semaines de stress (par limitation de la quantité de nourriture disponible), les souris résistantes sont devenues aussi "accro" que les autres. Conclusion : quand on veut faire la part des gènes, il faut bien faire attention à celle de l'environnement. Une étude qui laisse à penser qu'il est peut-être impossible de tracer la limite entre ces deux paramètres, d'autant plus que l'environnement est complexe et que les sujets étudiés ont un psychisme élaboré. Ph. C.



On est toujours le fils de son père, mais pas forcément fils à papa.

OFFRE
18-24 ANS



Assurance carte dans la limite des dispositions contractuelles.

Exonération d'agios équivalente à l'utilisation d'une facilité de caisse de 3000 F / 5 jours par mois. Au delà, intérêts à 15,75 %. TEG au 01/07/2000.

Pour un prêt de 40 000 F à 5,60 % hors assurance, accordé aux étudiants membres d'une mutuelle partenaire de la Société Générale (MEP, MGEL, SMEBA, SMECO, SMENO, SMEREB, SMEREP, SMERRA, SMESO), sur une durée de 7 ans dont 3 ans de différé d'amortissement. Charges mensuelles en période de différé : 190,67 F, en période de remboursement : 944,08 F. Coût total du prêt assurances obligatoires comprises : 12 378,30 F (dont 11 459,96 F d'intérêts, 720 F d'assurance, 198,34 F de frais de dossier). TEG : 6,03 % (an 0,50 % mensuel) au 01/07/2000.

www.societegenerale.fr

La Société Générale propose des produits et des services pour vous aider à mieux vivre votre indépendance.

Pack Jeunes,
qui inclut notamment :

- La Carte Bleue Visa assurée contre la perte ou le vol.
- Une exonération d'agios quand vous êtes à découvert.
- La réception du solde de votre compte sur votre téléphone mobile.

Le Prêt Etudiant Evolutif :

Un véritable prêt sur mesure qui vous permet de décaler le début de vos remboursements et de modifier leur durée.

Pour plus de renseignements, un conseiller Jeunes est à votre service dans chacune de nos agences.



Si on en parlait ?

RECHERCHE

GÉNÉTIQUE

La mouche qui explique l'origine des espèces

Au large du Cameroun, dans l'île de Sao Tomé, une huitième sœur de la mouche *melanogaster* vient d'être découverte. Elle fournirait des clés pour comprendre l'évolution de ses semblables.

A peine découverte, la mouche de Sao Tomé (*Drosophila santomea*), du nom de l'île où, endémique, elle se développe, fait beaucoup parler d'elle. Découverte par l'équipe du Pr Daniel Lachaise, du laboratoire Populations, génétique et évolutions du CNRS, elle pourrait aider à comprendre comment des changements génétiques peuvent mener à l'émergence de nouvelles espèces (*Proceedings of the Biological Royal Society*, n° 1452).

Cette drosophile vient d'une île au large du golfe de Guinée, et appartient au même groupe que *melanogaster*, la star des laboratoires. Elle se distingue de ses huit congénères par sa coloration abdominale, qui n'est pas noire mais jaune. L'étude des gènes de la drosophile de Sao Tomé tend à montrer qu'elle est très proche de la mouche *D. yakuba*, également présente sur l'île. Des



Une nouvelle mouche proche de l'espèce *melanogaster* (ci-contre) vient d'être identifiée.

V. STEGERS/PLUCOSMOS

hybrides mâles stériles ont été obtenus en croisant mâles et femelles des deux mouches alors que de tels croisements semblent impossibles avec les autres espèces.

De plus, les chercheurs ont identifié une région "hybride" à mi-chemin entre les zones d'habitat de *D. santomea* (au-delà de 1 500 m) et celle de *D. yakuba* (en deçà de 1 250 m). L'étonnante similitude de certaines portions de l'ADN mito-

chondrial de ces deux espèces pourrait être imputée à une bactéries (*Wolbachia*), qui les véhiculerait d'une mouche à l'autre.

L'île de Sao Tomé appartient à la ligne volcanique du Cameroun (CVL). Une autre drosophile, pourtant continentale, (*D. orena*), fréquente également cet arc insulaire. L'ancêtre de *melanogaster* et de ses sœurs pourrait donc provenir de cette région du monde.

J. B.

ANNO

STELLA
ARTOIS

1366

AD HONORES



LEUVEN BELGIUM



S E R V I R
L'AUTHENTICITÉ
DEPUIS 7 SIÈCLES.

UNE TRADITION RESPECTÉE DEPUIS 1366.

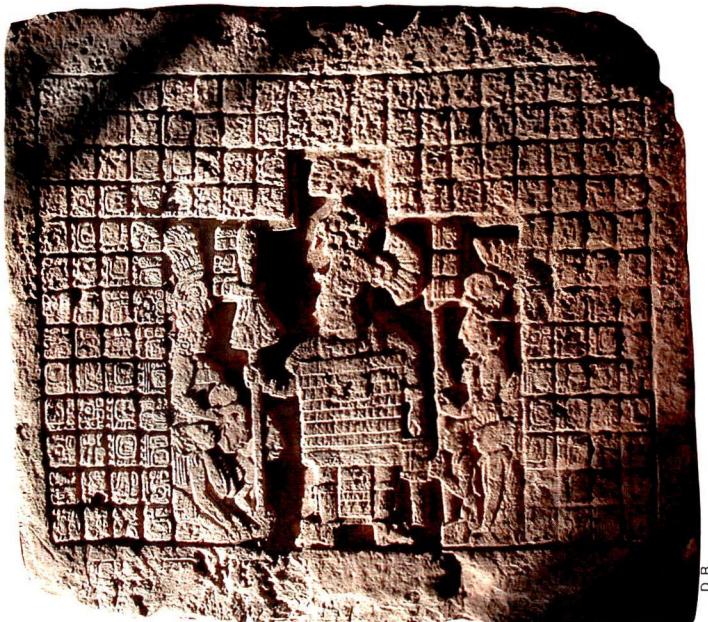


L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ, CONSOMMEZ AVEC MODÉRATION.

Une épopee gravée dans la pierre

L'ancienne cité maya de Piedras Negras est célèbre pour ses stèles où se mêlent sculptures et hiéroglyphes. Aujourd'hui, dans ce site prestigieux du nord-ouest du Guatemala des archéologues ont mis au jour un nouveau panneau en pierre, sculpté et gravé, mesurant environ 1,80 m sur 1,30 m.

Cette pièce a été retrouvée par des chercheurs américains et guatémaltèques au pied d'une pyramide. Un événement rare : « On ne découvre plus beaucoup de nouvelles inscriptions, explique Dominique Michelet, du laboratoire d'archéologie des Amériques. La plupart des panneaux de surface ont déjà été enregistrés, ont été pillés ou alors sont de mauvaise qualité. » Il aura fallu quatre années de travail pour que le projet, initié par la Brigham Young University et l'université Del Valle du Guatemala, obtienne ce premier grand succès.



D.R.

Toute la vie d'un roi maya, un "roman fleuve", sur une stèle...

L'originalité de cette stèle réside dans l'exceptionnelle longueur de son texte – de cinq à dix fois plus long que la plupart des textes retrouvés jusqu'à maintenant, es-

time Stephen Houston, codirecteur du projet et épigraphie spécialiste de l'écriture maya. La stèle résume les différents épisodes de la vie d'un roi maya mort il y a plus de mille trois cents ans, Itzamk'anahk K'in Ajaw'. La longueur de son nom et la longévité de son règne, quarante-sept ans, sont certainement à l'origine du "roman fleuve" inscrit sur ce panneau. Pendant les vingt-cinq premières années de son règne, Piedras Negras a connu la paix, mais la majeure partie des inscriptions évoque les batailles menées par ce souverain du VII^e siècle.

Selon l'hypothèse la plus probable, cette stèle aurait appartenu à un temple funéraire. Autrefois localisée au sommet de la pyramide dédiée au roi dont elle raconte la vie, la stèle aurait glissé à sa base lors de l'effondrement de la civilisation maya, environ huit cents ans après J.-C.

V. N.S.

ASTRONOMIE

COLÈRES D'UNE ÉTOILE

■ Voilà à quoi pourrait ressembler notre Soleil dans quelques milliards d'années, lorsqu'il arrivera à la fin de sa vie, et sera agité de violents soubresauts. Cette

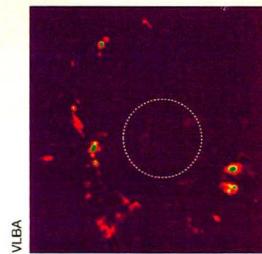


image montre des gerbes de gaz éjectées par l'étoile TX Cam (cercle), située à environ un millier d'années-lumière de la Terre. Ce sont les plus précises jamais obtenues montrant l'activité d'une étoile autre que le

Soleil. Elles ont été réalisées grâce au Very Long Baseline Array (VLBA), un réseau de dix antennes radio de 25 m disséminées aux Etats-Unis, à Hawaï et aux îles

Vierges, qui fonctionnent comme un télescope de plus de 8000 km de diamètre. Si nos yeux étaient aussi perçants, nous pourrions lire une page de journal dans un kiosque new-yorkais tout en étant à Los Angeles. V. G.

Ambi
Pur
Car

Le parfum de votre voiture



Ambi-Pur Car est le premier diffuseur de parfum pour voiture avec des fragrances raffinées et discrètes.

Il a tout pour vous séduire: efficacité parfumante constante et intensité réglable.

Il se décline en 3 parfums* inédits à choisir selon vos envies:

Vanilla Bouquet, **Aqua** et **After-Tabacco**.



Disponible en diffuseur et en recharge en grandes surfaces, au rayon Produits d'entretien.

© 1992 Ambi-Pur Car

Pas de Terminator chez les truites



ROUXAINE/JACANA



BERTHOULE/JACANA

Les truites que vient de créer l'INRA ont un faux air de Terminator. Ces OGM en écailles sont frappés de stérilité de façon réversible. Ils pourraient contribuer à réduire les risques de pollution génétique causée par d'éventuels élevages de poissons transgéniques.

Des truites transgéniques stériles s'ébattent dans un bassin de l'INRA, à Rennes... Un organisme génétiquement modifié dans l'impossibilité de répandre ses transgènes dans la nature, voilà qui fait immanquablement penser au soja porteur du gène Terminator, créé par Monsanto. Mais à la station commune de recherches en ichtyologie, biodiversité et environnement (Scribe) on se défend d'avoir voulu mettre au point un poisson rendant les éleveurs dépendants des fournisseurs

d'alevins. Ces truites arc-en-ciel peuvent retrouver leur fertilité pour peu qu'on leur fournit une gonadolibérine, substance impliquée dans la maturation sexuelle et que leur organisme ne sait plus fabriquer. Elles ont été dotées d'un gène supplémentaire "en verlan", le négatif du gène contrôlant indirectement le développement des gonades. Ce gène non-sens brouille le message de sa version en positif, qui reste néanmoins active.

L'objectif initial répond, selon le Scribe, à un souci écologique : circonscrire des transgènes en évit-

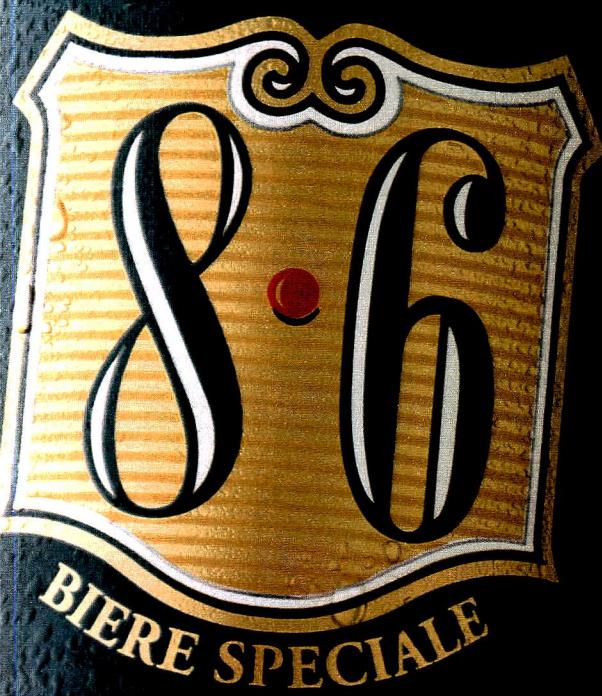
tant que des poissons transgéniques qui se seraient échappés d'un élevage remplacent, à terme, une espèce sauvage. Le laboratoire entend poursuivre ainsi son expertise sur la transgénèse, pour répondre aux consommateurs et aux producteurs globalement hostiles aux OGM. Pour les chercheurs français, la truite arc-en-ciel n'est qu'un modèle : elle ne peut de toute façon se reproduire dans les rivières d'Europe, contrairement à sa consœur américaine. D'où l'intérêt de ces travaux pour le Canada, les Etats-Unis ou la Chine, qui font l'élevage de poissons transgéniques et qui ne sont pas à l'abri des fuites... Des carpes génétiquement modifiées évoluent déjà en toute liberté dans les rivières chinoises.

I. B.

Toque or



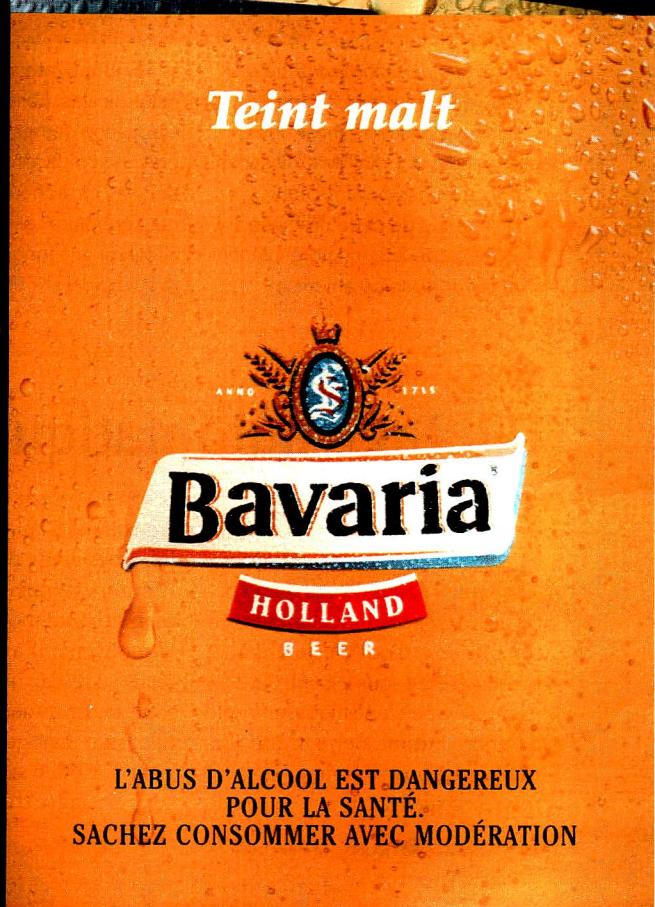
Chiffres emblématiques



Tunique bleue



Teint malt



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

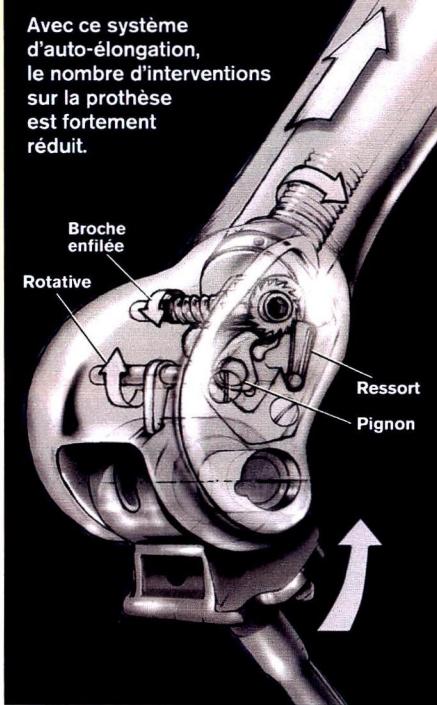
QUAND LA PROTHÈSE GRANDIT

■ Les problèmes de croissance osseuse de l'enfant impliquent de lourds traitements, notamment chirurgicaux, lorsqu'une prothèse vient se substituer à l'os. Une nouvelle génération de prothèse, qui grandit avec l'enfant, vient d'être présentée par des chercheurs autrichiens et allemands dans *Nature* (n° 6792).

Cette prothèse de fémur, qui s'allonge lentement, est une endoprothèse.

L'énergie nécessaire

à cette élongation est générée par l'enfant lui-même lorsqu'il fléchit le genou : 18 flexions engendrent 1 mm de croissance. Treize jeunes patients sont déjà dotés de cette prothèse, qui a sauvé leur membre inférieur et réduit considérablement



UNIV. OF VIENNA

le nombre d'interventions chirurgicales. Le risque d'une élongation démesurée est prévenu par la tension des tissus souples environnants, qui contrôlent l'allongement et assurent une longueur égale des jambes après la croissance. J. B.

NEUROLOGIE

Pilotage automatique

Bouger rapidement la main ne relèverait pas d'une décision volontaire, mais impliquerait une région du cerveau spécialisée dans les mouvements automatiques. Tout geste manuel brusque serait sous le contrôle d'un groupe de neurones jouant le rôle de pilote automatique. Cette "action qui échappe à l'intention" a été mise en évidence par une équipe de

l'INSERM et par des biologistes de l'université Claude-Bernard et des hospices civils de Lyon. Lorsque l'action est banale, les structures motrices intentionnelles amorcent le mouvement avant de passer le relais au réseau neuronal qui ajuste le geste. En situation d'urgence, ce pilote automatique situé dans la région pariétale supérieure du cerveau est activé d'emblée. I. B.

EXOCHIMIE

Du sucre et de la vie

Le sucre est universel.

Au beau milieu d'un nuage de gaz et de poussières, près du centre de notre galaxie, des chercheurs de la NASA, de l'université de l'Illinois et de l'observatoire national de Green Bank (Virginie de l'Ouest), viennent de découvrir des molécules de glycolaldéhyde (CH_2OHCHO), un précurseur du sucre.

Non seulement il est extrêmement rare de trouver dans l'espace des molécules formées d'au moins huit atomes, mais, de plus, les glycolaldéhydes ont la particularité de pouvoir se combiner avec d'autres molécules pour former des sucres tels que le ribose, l'une des briques de l'ADN et de l'ARN. Selon André Brack, directeur du centre de biophysique moléculaire de l'université d'Orléans (Loiret), « cette découverte laisse à penser que les précurseurs de la vie étaient probablement présents dans le milieu interstellaire avant même la formation du système solaire ». V. G.



NRAO/AUI/NSF

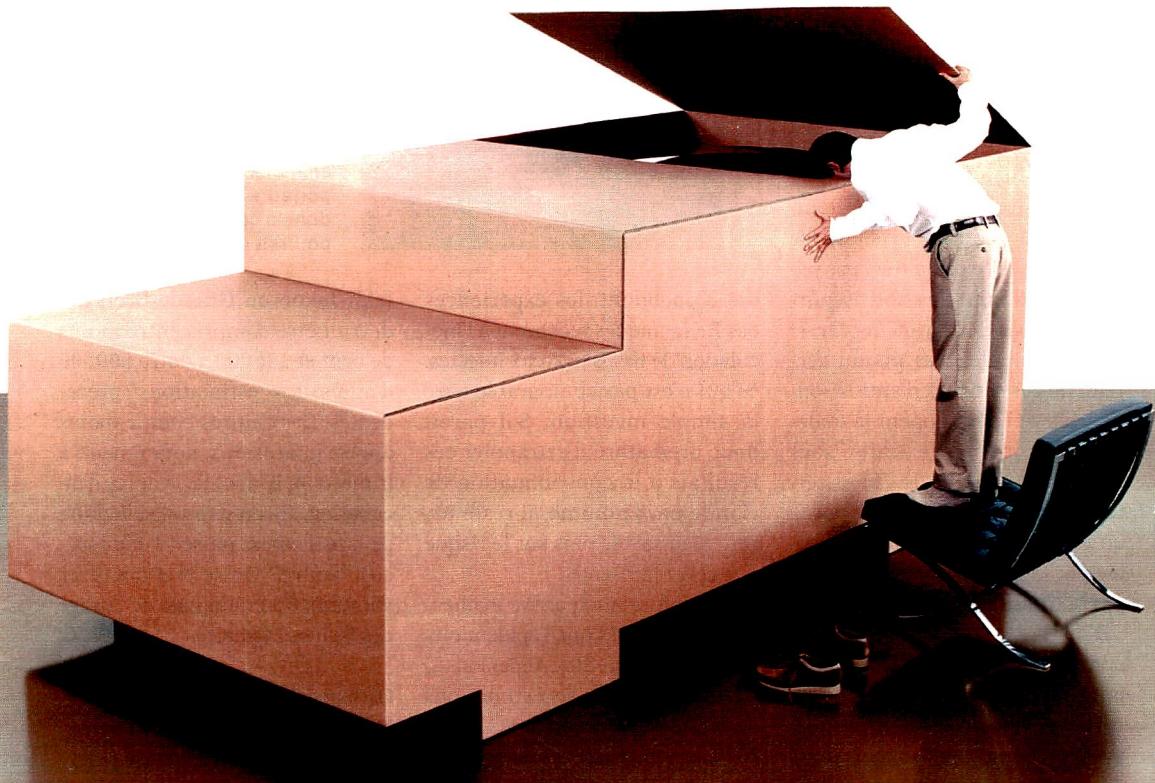


Le Réseau RENAULT

Qu'est-ce-que vous achetez vraiment
quand vous achetez une voiture ?

L'achat d'une voiture est un moment important et il y a certains points à ne pas sous-estimer. Quand vous achetez une Renault, vous ne choisissez pas seulement un modèle qui vous a séduit, mais surtout vous bénéficiez également de tout un Réseau. Un Réseau dont le sérieux et la compétence vous sont entièrement dévoués, et qui s'engage à toujours mieux vous servir. Ne croyez-vous pas que vous et votre voiture méritez bien cela ? www.renault.fr

**POUR QU'UNE RENAULT
SOIT PLUS QU'UNE VOITURE.**

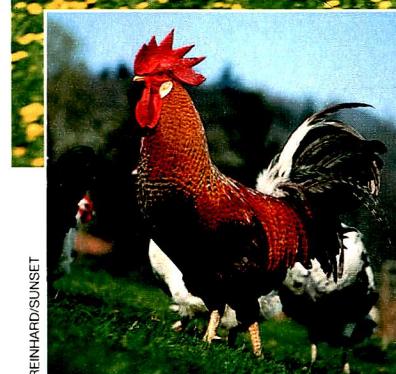
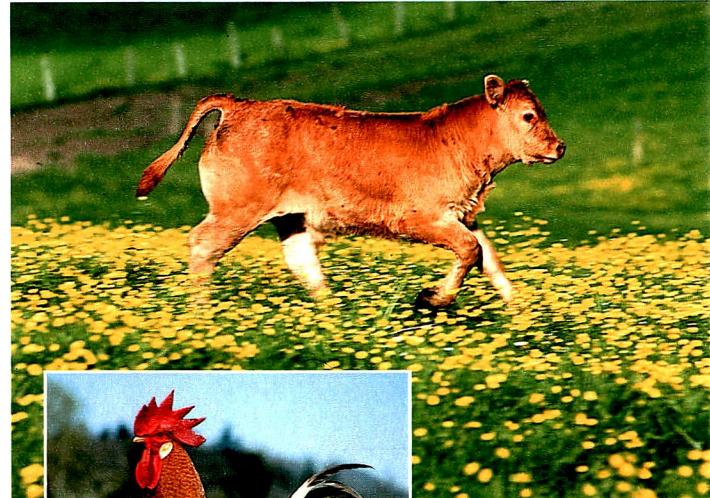


Le prion dépasse les bornes

L'agent infectieux de la maladie de la vache folle révèle de nouvelles capacités à passer d'une espèce à l'autre. Une nouvelle inquiétante, qui pourrait avoir de lourdes conséquences.

La protéine prion responsable de la maladie pourrait se jouer des barrières d'espèce beaucoup plus facilement qu'on ne le pensait jusqu'ici. L'équipe de John Collinge (1) montre que la transmission du prion de hamsters malades à la souris, espèce pour laquelle ce prion n'est pas pathogène, donne des souris porteuses saines de la protéine. Or, si l'on inocule des extraits du cerveau de ces souris à d'autres souris, celles-ci développent la maladie. Les mêmes extraits sont pathogènes pour le hamster. Conclusion, ce n'est pas parce qu'une espèce ne semble pas affectée par la maladie qu'elle ne peut pas la transmettre.

D'où l'idée que des animaux comme le porc, le mouton ou, pourquoi pas, la volaille, pourraient porter un prion inoffensif pour eux mais pathogène pour d'autres animaux ou pour l'hom-



C. THIERRY

Les farines animales pourraient transmettre l'agent de la maladie de la vache folle à des animaux qui resteraient porteurs sains mais dont la consommation pourrait être pathogène.

me. Cependant, les expériences des Britanniques recourent à l'inoculation de tissus nerveux infectés, ce qui n'est pas comparable avec la simple ingestion. S'il paraît donc prématuré d'extrapoler ces résultats à la consommation de viande par l'homme, il reste urgent d'en savoir plus sur le risque que cela représente.

Cette information arrive malheureusement après que l'épidémiologiste britannique Roy Anderson (2) a revu à la baisse les estimations de l'ampleur de l'épidémie : d'ici à 2040, le nombre de cas du nouveau variant de la maladie de Creutz-

feldt-Jakob en Grande-Bretagne devrait être compris entre moins de cent et 136 000, contre 500 000 d'après les estimations précédentes. Des chiffres pour le moins approximatifs dus, notamment, à la méconnaissance de la durée d'incubation. Qu'en sera-t-il si le prion peut facilement passer d'une espèce à l'autre ? On se prend à rêver d'interdiction mondiale de l'usage des farines animales. **Ph. C.**

.....

(1) Imperial College School of Medicine at St Mary, Londres.

(2) Wellcome Trust, université d'Oxford, Grande-Bretagne.



Le Réseau RENAULT

Nous nous engageons à ce que vous puissiez toujours essayer le modèle de votre choix.

Il est tout à fait normal d'avoir des doutes sur la couleur, la taille, les accessoires... et bien d'autres choses encore. Il n'y a qu'en essayant qu'on peut vraiment être sûr qu'un modèle vous va ! Quant aux équipements, le choix est parfois délicat. Alors, le Réseau Renault met à votre disposition, sous 8 jours, le modèle de votre choix. Essayage garanti dans la plus grande intimité ! www.renault.fr

**POUR QU'UNE RENAULT
SOIT PLUS QU'UNE VOITURE.**

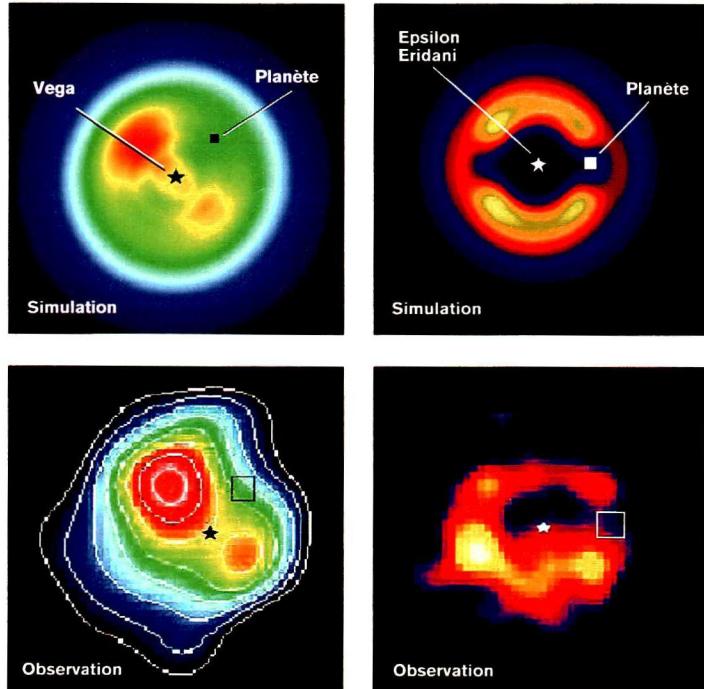


RECHERCHE

ASTRONOMIE

Des planètes sous la poussière

La présence de trois nouvelles planètes a été détectée, par des chercheurs du Goddard Space Flight Center de la NASA, autour des étoiles Beta Pictoris, Epsilon Eridani et Vega. Habituellement, les astronomes détectent les exoplanètes de deux manières : soit ils observent les légers déplacements de leur étoile, provoqués par l'attraction gravitationnelle de la planète (méthode des vitesses radiales) ; soit ils mesurent la baisse de luminosité de l'étoile lors du passage de la planète devant elle (méthode du transit). Les scientifiques américains ont utilisé une troisième méthode, moins fréquente, qui consiste à observer le disque de poussières entourant l'étoile pour y déceler les traces imprimées par



L'aspect des disques de poussières des étoiles Vega (à gauche) et Epsilon Eridani (à droite) révèle la présence d'une planète autour de l'une et l'autre. Les observations correspondent bien aux simulations.

d'éventuelles planètes, comme celles laissées sur la mer par des bateaux. Cette méthode permet de repérer des planètes autour

d'étoiles massives qui tournent trop vite pour qu'on puisse leur appliquer la méthode des vitesses radiales – comme Beta Pictoris et Vega – ou des systèmes planétaires vus de face (non repérables par la méthode du transit).

« Au-delà de la détection de planètes, l'étude des disques de poussières est particulièrement intéressante pour comprendre l'évolution des systèmes planétaires », commente Alain Lecavelier des Etangs, de l'Institut d'astrophysique de Paris.

V. G.

GÉOPHYSIQUE

SÉISMES ARTIFICIELS

Pour bien étudier les tremblements de terre, mieux vaut les provoquer soi-même. Partant de cette idée, des chercheurs allemands du Centre de recherche géophysique de Potsdam mènent depuis le mois d'août une expérience unique au monde, à Windischeschenbach, en Bavière : ils créent de petits tremblements de terre artificiels en utilisant la pression de l'eau comme contrainte mécanique. Pendant près de cent jours, ils vont ainsi injecter plusieurs milliers de mètres cubes d'eau

dans un puits de 9101 m de profondeur, le trou de forage ouvert le plus profond au monde. Les microsismes sont enregistrés par un réseau de 40 sismomètres à la surface et une sonde est placée au fond d'un second puits de 4000 m de profondeur. Les scientifiques espèrent ainsi récolter de précieuses informations sur le mécanisme des tremblements de terre, mais aussi sur celui des microsismes qui se produisent au voisinage des lacs artificiels et des forages profonds.

V. G.

Ont collaboré

à cette rubrique :

Julien Bouteille,
Philippe Chambon,
Albane Canto, Anne Debroise,
Valérie Greffoz,
Victoire N'Sondé.

Une nouvelle génération de chaudières...

Et la technique a du talent !



La nouvelle gamme Viessmann est le point de rencontre réussi entre une technologie de pointe parfaitement maîtrisée et une force d'innovation résolument tournée vers l'avenir.

Choisir Viessmann, c'est trouver à coup sûr la solution adaptée à chaque besoin et à toutes les exigences : chaudières fioul et gaz, acier et fonte, murales et au sol, et leurs équipements périphériques, pour un chauffage et une production d'eau chaude sanitaire d'un très haut niveau de confort.

Demandez-nous le "Guide des solutions de chauffage" ainsi que les coordonnées de nos distributeurs les plus proches directement au Numéro Indigo : 0 820 820 825 (appel 0,79 FTTC la minute).

VIES MANN

Bien plus
que la chaleur

Viessmann S.A. - B.P. 59 - 57380 Faulquemont
Tel. : 03 87 29 17 00 - Web : <http://www.viessmann.fr>



Gaz jusqu'alors inconnu, le SF_5CF_3 a été isolé dans la glace de l'Antarctique. A gauche, la tour de forage ; ci-dessous, les échantillons d'air prélevés dans la glace et conservés dans des containers spéciaux.

Un nouveau polluant dans l'air

Un nouveau gaz à effet de serre vient d'être mesuré dans l'atmosphère. Sa nocivité potentielle et sa durée de vie sont exceptionnelles, mais pour le moment, sa contribution au réchauffement de la planète est encore négligeable.

La liste des gaz à effet de serre s'allonge. Une équipe de chercheurs britanniques, allemands et américains vient en effet de déceler un gaz jusqu'alors inconnu dans l'atmosphère, le SF_5CF_3 . Depuis la conférence internationale de Kyoto, en décembre 1997, six gaz sont sur-

veillés pour leur rôle majeur dans le réchauffement de la planète : le méthane (CH_4), le dioxyde de carbone (CO_2), l'oxyde d'azote (N_2O), les hydrofluorocarbones (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6). Les scientifiques qui ont découvert ce nouveau gaz à effet de serre ont d'abord pensé qu'il s'agis-

sait d'un dérivé du SF_6 , provenant des installations électriques à haute tension. Mais Carl Brenninkmeijer, chercheur à la division chimie atmosphérique de l'Institut Max Planck en Allemagne, qui a participé à ces travaux, estime qu'il faut chercher ailleurs : « Ce gaz pourrait résulter d'une réaction parasite liée à un procédé industriel autre que la fabrication de SF_6 ». Cependant, ce procédé n'a toujours pas été identifié. Quelle que soit l'hypothèse retenue, SF_6 ou pas, l'émission de SF_5CF_3 semble liée à l'activité humaine.

Le SF_5CF_3 a pu être isolé par des prélèvements de carottes gla-

ciaires dans l'Antarctique et des mesures directes dans la stratosphère, la couche de l'atmosphère située de 18 à 50 km d'altitude. Les analyses de bulles d'air emprisonnées dans la glace jusqu'à 100 mètres de profondeur ont permis de dater l'apparition de ce gaz à la fin des années 50.

Pour connaître son émission actuelle, les chercheurs ont procédé à des détections, à l'aide d'appareils de dosage chargés sur des ballons et lancés dans l'atmosphère. Les résultats de ces mesures, publiées dans la revue *Science* (n°5479), indiquent que la concentration du SF₅CF₃, qui était de 0,12 partie par milliard en 1999 (contre 370 parties par million pour le CO₂), augmente chaque année de 6%. Les mesures révèlent par ailleurs que ce polluant possède la plus forte capacité d'absorption du rayonnement infrarouge jamais mesurée pour un gaz à effet de serre. C'est la capture de ce rayonnement, une fois réfléchi par le sol, qui est responsable de l'effet de serre. Son pouvoir chauffant est 18000 fois supérieur à celui du CO₂. En d'autres termes, le SF₅CF₃ est potentiellement le plus puissant des gaz à effet de serre. Néanmoins, les recherches font apparaître qu'il est présent en trop faible quantité dans l'atmosphère pour contribuer au réchauffement de la planète.

Doit-on en conclure que le SF₅CF₃ est une simple curiosité scientifique ? Ce n'est pas l'avis des auteurs des travaux sur ce nouveau gaz. Etant donné son extraordinaire durée de vie dans l'atmosphère – mille ans – (contre cent ans pour le CO₂), les scientifiques considèrent qu'il est primordial de déterminer et de contrôler les sources industrielles à l'origine de sa production, de façon à prévenir une trop grande accumulation.

V. N'S et A. C.

BIOLOGIE VÉGÉTALE

UNE MOLÉCULE ANTISÉCHERESSE

■ Plus qu'un simple traumatisme, la réduction de la croissance des plantes en cas de sécheresse est un processus complexe d'adaptation. Ce constat est le fruit de travaux

menés par l'Institut national de recherche agronomique (INRA) pour sélectionner les plantes les mieux adaptées aux conditions difficiles de culture. La réponse immédiate au déficit hydrique est contrôlée par l'ouverture et la fermeture des stomates, des pores microscopiques situés sur l'épiderme de la feuille. Par ces orifices, le dioxyde de carbone (CO₂), nécessaire à la photosynthèse, pénètre dans la plante et provoque une sortie d'eau massive. Les expériences



L'eau sort de la feuille par les stomates ouverts.

J. BURGESE/SPU/COSMOS

de l'INRA ont montré que pour des lignées sensibles, comme pour des lignées tolérantes à la sécheresse, la fermeture des stomates dépend de la production d'une même molécule, l'acide abscissique (ABA). En situation de déficit hydrique, cette molécule est synthétisée par les racines, puis transportée jusqu'aux feuilles par la sève. Pour les lignées résistantes à la sécheresse, les feuilles croissent plus lentement et transpirent moins. G. M. et V. N'S.

CHIMIE

Une odeur par défaut

L'industrie automobile ne laisse rien au hasard, pas même les odeurs. Une nouvelle profession a donc vu le jour : "nez" au service des constructeurs. Chez PSA, la méthode est pragmatique. Dans un premier temps, en se référant à un panel



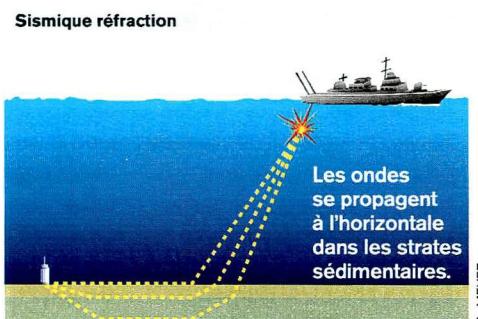
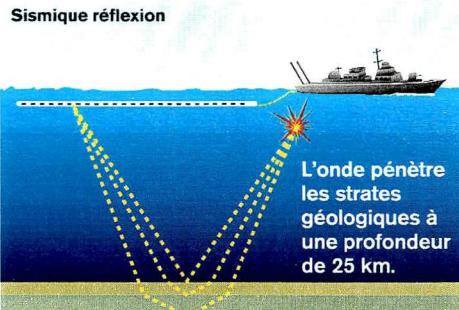
de clients représentatifs, les "mauvaises" odeurs, qui n'appartiennent pas à l'univers automobile, sont recensées. Puis les "nez", douze ingénieurs et techniciens spécialistes en analyse physico-chimique, sont chargés de flairer chaque matériau, chauffé puis refroidi, des éléments du futur véhicule pour repérer les "mauvaises" odeurs. Une fois celles-ci localisées, un chromatographe sépare les différentes molécules qui composent le gaz.

Le fournisseur est alors chargé d'éliminer les molécules incriminées, de façon à obtenir un véhicule aussi neutre que possible. J. B.

Sous la mer, les sédiments

Les sédiments marins recouvrent 90 % des fonds océaniques. Pour mieux comprendre leur formation, l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) développe un nouveau dispositif de sismique, la sismique réflexion. Elle fait appel aux vitesses de propagation d'ondes acoustiques, provoquées par des compresseurs d'air, dans les différentes strates sédimentaires.

En sismique réflexion, la source et le récepteur sont voisins. Des hydrophones en chaîne immergés – la "flûte sismique", longue de 4 500 m – sont tractés derrière le bateau et enregistrent les signaux réfléchis des fonds. A l'inverse, en sismique ré-



Des céramiques antinucléaires

Les verres restent les matériaux de choix pour le stockage des déchets radioactifs. Leur structure souple leur confère une résistance aux irradiations et à la corrosion par l'eau, éprouvée dans le temps. Les scientifiques s'intéressent aujourd'hui à une autre famille : les céramiques.

Contrairement aux verres, chacune serait utilisée pour conditionner une catégorie spécifique de déchets. Des chercheurs du Laboratoire national de Los Alamos (Nouveau-Mexique) étudient ainsi une classe de céramiques dont la structure est celle d'un cristal naturel, la fluorite. D'après des simulations par ordinateur voir (*Science*, n° 5480), elles pourraient s'avérer efficaces pour confiner le plutonium et les autres membres de sa famille – les actinides –, des éléments radioactifs très lourds caractérisés par une longue durée de vie. Pour juger le potentiel de ces céramiques, les chercheurs souhaitent à l'avenir tester leur comportement dans des conditions réelles, par exemple en présence d'eau.

V. N.S.

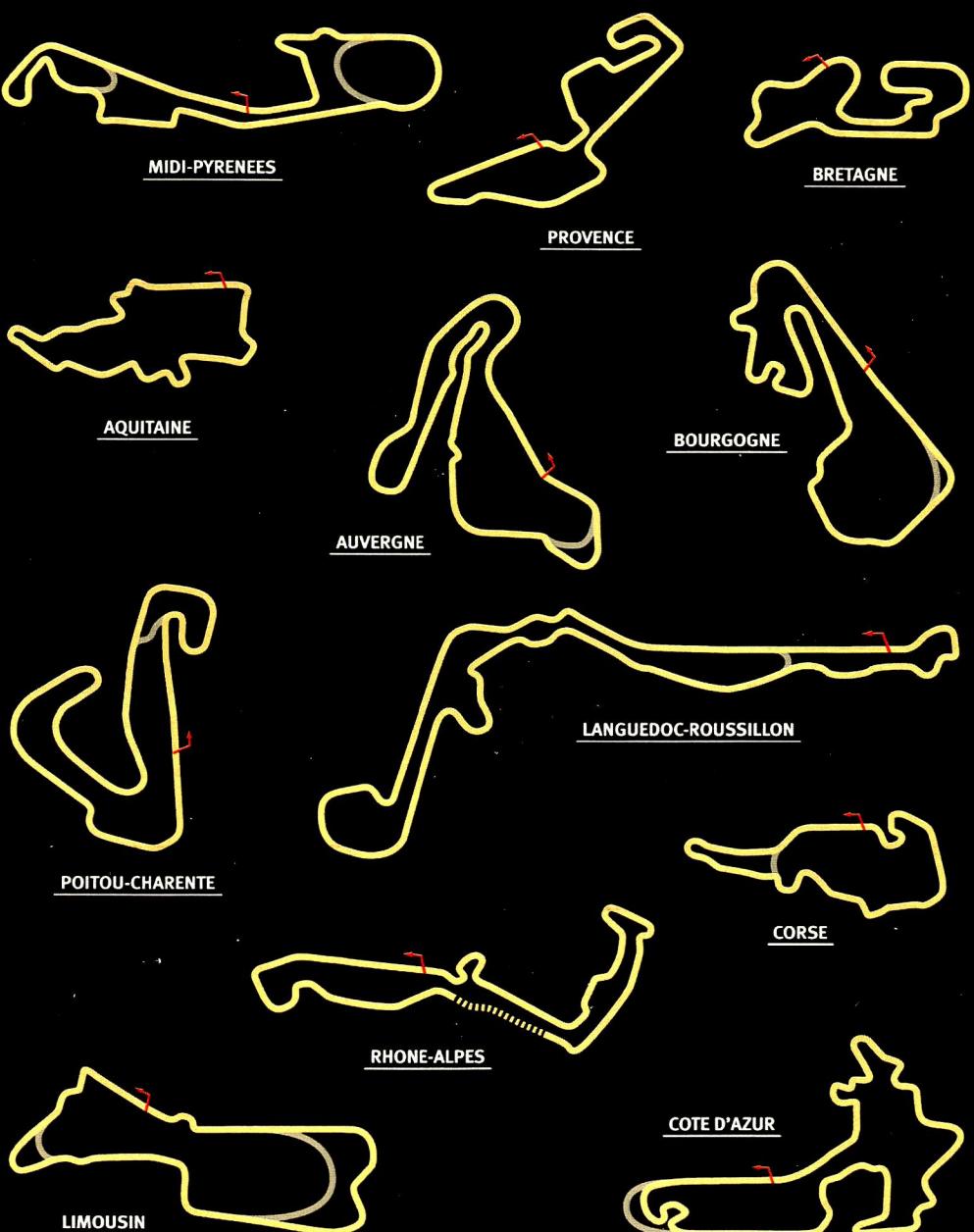
RECYCLAGE

TRI DU VERRE, LA COULEUR EN PLUS

Après la reconnaissance informatique des formes, un nouveau système de recyclage du verre basé sur le tri optique fait son apparition. En Corse, la chaîne de tri de la société Volparec est ainsi spécialisée dans le recyclage de bouteilles entières en fonction des nuances de teintes de verre. Dans un premier temps, les bouteilles avancent sur un ensemble de convoyeurs, de tables de palettisation et de zones

de stockage pour un tri des produits abîmés. Elles sont ensuite grattées et lavées, puis passent devant deux caméras. Là, selon la forme de leurs cols et leurs couleurs, elles sont automatiquement regroupées, prêtes à être rangées par six dans des cartons. La capacité totale du site corse s'élève à 25 000 tonnes, de quoi traiter largement le potentiel de collecte de verre dans l'île (15 000 tonnes).

F. A.



La prochaine saison,
voyagez en groupe sur de nombreux circuits.



Tortues-luths : une espèce s'éteint

Le nombre de tortues-luths, les plus grosses tortues marines au monde, chute de manière dramatique.

Les femelles disparaissent des principaux sites de ponte, certainement victimes des filets de pêche dérivants.

Vieille de 100 millions d'années, la tortue-luth n'a peut-être plus que quelques décennies à vivre. De son nom latin *Dermochelys coriacea*, elle se différencie des autres tortues par une carapace dépourvue d'écaillles. Son impressionnant gabarit – en moyenne 2 m de long pour un poids de 450 kg – lui confère le titre de plus grosse tortue marine. C'est le va-et-vient des femelles sur les plages au moment de la ponte – jusqu'à une douzaine d'aller-retours – qui semble causer leur extinction (voir *Science & Vie* n° 970, p. 74).

En quinze ans, plus des deux tiers des femelles luths auraient disparu. Plusieurs thèses ont été avancées pour expliquer la baisse du nombre de femelles qui visitent les sites de nidification, notamment l'existence d'autres lieux de ponte inconnus ou



C. PORTAL/COSMOS / S. CORDIER/JACANA

Les nombreux va-et-vient des tortues-luths entre la mer et les plages seraient responsables de leur disparition.

un ralentissement du rythme des pontes. Aujourd'hui, l'hypothèse la plus probable incrimine l'activité humaine. Yvon Le Maho, directeur du Centre d'écologie et de physiologie énergétique de Strasbourg (CEPE), collabore avec l'association WWF à des campagnes de protection et d'étude des tortues-luths sur les plages d'Awala-Yalimapo en Guyane française, l'un des derniers grands sites de ponte. « Malgré diverses mesures de conservation, le nombre de tortues-luths continue de baisser. La mortalité survient donc en mer », conclut-il. Les reptiles seraient piégés par des filets dérivants utilisés pour pêcher le poisson, au large des lieux de ponte.

Et le constat est édifiant : deux des quatre principales zones de ponte, sur les côtes pacifiques du Mexique

et de la Malaisie, ont presque disparu. Une étude américaine publiée dans *Nature* (n° 6786) dresse un bilan alarmant du dernier grand site visité par les luths dans l'océan Pacifique : la Playa Grande au Costa Rica. Elle présente des prévisions calculées sur un modèle mathématique de dynamique des populations. Selon ces résultats, si aucune mesure sérieuse de protection n'est adoptée, seules cinquante femelles viendront pondre sur cette plage en 2005, alors qu'elles étaient plus de mille trois cents en 1989.

Pour Yvon Le Maho, la survie des tortues-luths se joue à Awala-Yalimapo : « En Guyane, la responsabilité internationale est engagée. Le nombre de tortues est encore élevé, mais on se demande si leur déclin n'est pas irréversible. »

V. N'S.

and the *U.S. Fish and Wildlife Service* (USFWS) are the two main agencies involved in the protection of the species.



Nouveau Seat Alhambra.

204 ch pour toute la famille.

Venez essayer le nouveau Seat Alhambra et profiter de son avance technologique

De série sur toute la gamme : ABS couplé à l'EBV et correcteur électronique de

freinage en courbe ESBS, air conditionné, verrouillage centralisé et télécommande

4 Airbags Seat⁽¹⁾ et programme électronique de stabilité ESP⁽²⁾...

Profitez aussi, selon les versions, d'équipements d'avant garde : alarme volumétrique, système de radionavigation GPS, double Climatronic, jusqu'à 4 sièges enfants intégrés, aide électronique au stationnement.

Côté mécanique : puissance de la motorisation 2.8i V6 de 204 ch⁽³⁾ ; souplesse et reprise du TDi 115 ; disponibles en boîte manuelle 6 vitesses ou automatique "Tiptronic" 5 rapports, pour couronner

Modèle présenté : nouveau Seat Alhambra 2.8i V6 Sport 202 900 F^{30 931,91}



Journal of Allergy and Clinical Immunology



SEAT

ENVIRONNEMENT

POLLUTION

Colère noire contre marée verte

La Bretagne a décidé de réagir face à la prolifération d'algues vertes sur son littoral. Cette pollution est due aux apports excessifs de nitrates causés par les engrains et les résidus de l'élevage. Le conseil régional et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne financent ainsi neuf sites expérimentaux à portée locale, essentiellement situés le long de la côte nord-bretonne, comme les bassins-versants du Frémur (Côtes-d'Armor) ou de Quillimadec (Finistère).

Avec un budget global avoisinant 9 millions de francs, ces structures



C. RIVES/MSA

La prolifération d'algues vertes sur le littoral breton est due à l'apport excessif de nitrates causés par les engrains et les résidus de l'élevage.

ont plusieurs priorités : mettre aux normes européennes les bâtiments d'élevage, modérer la fertilisation en engrains chimiques des sols, aménager des espaces qui piégeaient les nitrates en fonction de l'utilisation du sol ; enfin, exercer

un épandage plus raisonnable des résidus de l'élevage.

« C'est une lutte contre l'eutrophisation du milieu due au brassage limité des eaux et à l'augmentation de la température en raison de la faible profondeur », déclare Philippe Seguin, de l'Agence de l'eau de Saint-Brieuc. Les sites ont maintenant cinq ans pour faire leurs preuves.

J. B.

TOXICOLOGIE

L'AIRBAG CHANGE DE GAZ

■ L'airbag sauve 650 vies et évite 3 400 blessés graves par an. Si son efficacité n'est pas contestée, il fait pourtant l'objet de modifications techniques car les cartouches qui déclenchent le coussin d'air contiennent de l'azide de sodium (NaN_3), un combustible potentiellement dangereux et toxique, notamment au contact de l'eau.

L'azide de sodium, mélangé à

deux produits oxydants, se présente sous la forme de pastilles blanches. A la suite d'une impulsion électrique, ces dernières s'enflamme et dégagent de l'air, qui gonfle le coussin. Le NaN_3 forme alors du sodium solide (Na), éliminé grâce à une réaction chimique avec les oxydants. Or, le Na présente un danger car il est directement inflammable au contact de l'eau. Le Conseil national de l'air du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement recommande donc la récupération ou la neutralisation de l'azide de sodium dans les cartouches d'airbags qui en contiennent. Le NaN_3 sera remplacé par des propergols, des substances susceptibles de libérer une grande quantité d'énergie. M. B.



Toxique, l'actuel gaz de l'airbag sera remplacé.

RENAULT

ÉCONOMIE

Amiante sans visa

La France refuse l'importation sur son territoire de produits contenant de l'amiante, jugée cancérogène, en provenance du Canada. L'Organisation mondiale du commerce (OMC), arbitre dans cette affaire, réserve son verdict, même si la France est donnée gagnante.

V. N.S.

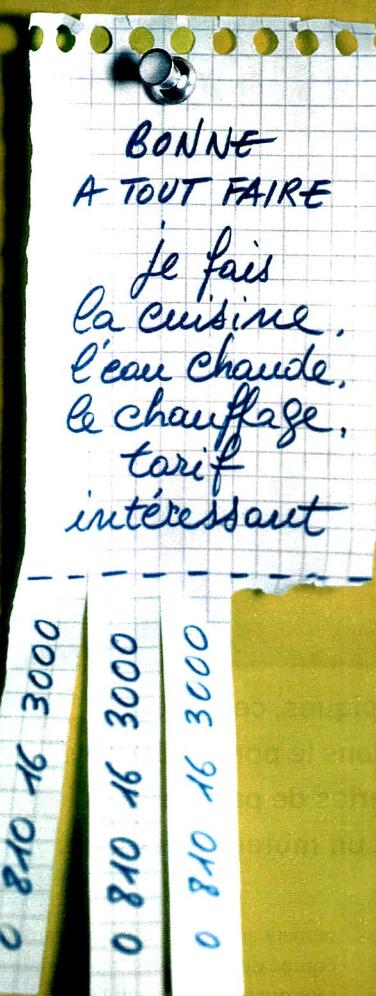
Ont collaboré à cette rubrique :

Florence Antomarchi,

Mélanie Billaud,

Julien Bouteille, Albane Canto

et Gérard Morice.



0 810 16 3000

Chauffer son habitat, avoir de l'eau chaude à volonté et cuisiner avec une seule et même énergie, c'est le vrai confort. Avec le gaz naturel, vous profitez de tous ces avantages, mais aussi d'une énergie toujours disponible et parfaitement respectueuse de l'environnement.

Pour bénéficier d'un conseil personnalisé, appelez dès aujourd'hui votre Conseiller Gaz de France au N°Azur **0 810 16 3000**.*



Ici. Là-bas. Pour vous. Pour demain.

Eole et Hélios vont en bateau...



DR

Pendant les Jeux olympiques, ce curieux voilier a fait la navette dans le port de Sydney. Ses voiles sont recouvertes de panneaux solaires qui alimentent un moteur électrique.

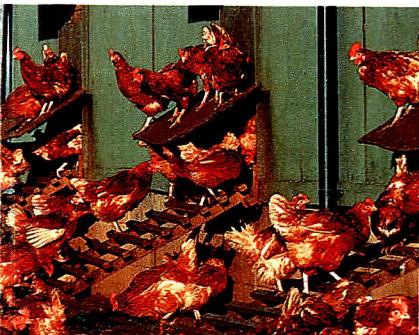
Pourquoi ne pas couvrir les voiles d'un bateau de cellules photovoltaïques ? L'idée a été mise en pratique sur un catamaran de 21 m de long par Robert Dane, un médecin australien. Il a imaginé ces voiles "combinées" à la lecture d'un livre sur les insectes. L'auteur y affirme que la fonction première des ailes d'insectes est de capter l'énergie solaire nécessaire à leur organisme. Le Dr Dane a donc construit des voiles souples dans lesquelles sont incorporées des cellules photovoltaïques, le tissu des voiles protégeant les cellules contre l'humidité et l'air marin. Financé en partie par le gouver-

nement australien, le catamaran est équipé de huit voiles, qui comportent quatre-vingts cellules solaires chacune. Elles sont montées sur des supports verticaux qui peuvent s'orienter afin de recevoir le maximum d'ensoleillement, quel que soit le sens de déplacement du bateau. Le tout est commandé par un système automatique qui détermine en permanence la direction du soleil. D'autres panneaux solaires sont disposés sur les surfaces horizontales du bateau. L'énergie électrique obtenue est stockée dans quatre-vingts batteries, dont le poids total est de 2 tonnes. Cette énergie sert à entraîner deux moteurs à courant continu d'une puis-

Quatre-vingts cellules photovoltaïques équipent chacune des huit voiles du *Solar Sailor*.

sance de 50 ch chacun, qui actionnent deux hélices. Lorsqu'il fonctionne à l'énergie électrique, le catamaran, baptisé *Solar Sailor*, croise à 6 noeuds. Avec un vent latéral de 10 noeuds, la vitesse du bateau dépasse 11 noeuds. Et elle peut atteindre 15 noeuds quand se manifeste le phénomène dit de vent relatif, engendré par la combinaison du vent sur les voiles verticales et du flux d'air qui prend naissance entre les deux rangées de voiles. Lorsque le bateau navigue à la voile, les pales des hélices prennent la "position drapeau", c'est-à-dire qu'elles sont orientées dans le lit du courant afin de produire le moins de traînée possible. En service depuis juin dernier, le *Solar Sailor* a été utilisé comme navette dans le port de Sydney pendant la durée des Jeux olympiques.

Un système de climatisation ou de ventilation permet de réduire la mortalité des poulets de batterie.



P. DEANSTONE



DR

ELEVAGE

Poulets à bonne température

Pour réguler la température des batteries d'élevage de poulets, et la maintenir dans des limites idéales, un chercheur américain de l'université d'Etat de Géorgie a implanté une sonde de température dans la poitrine des volatiles. Un émetteur radio miniature est associé à la sonde. Si la température des poulets augmente, l'émetteur le signale aussitôt, ce qui déclenche le système de climatisation ou de ventilation de l'élevage, afin que les poulets ne subissent aucun stress thermique. C'est en effet l'une des causes principales des pertes de poulets élevés en batterie.

MOTORISATION

2 litres aux 100 km

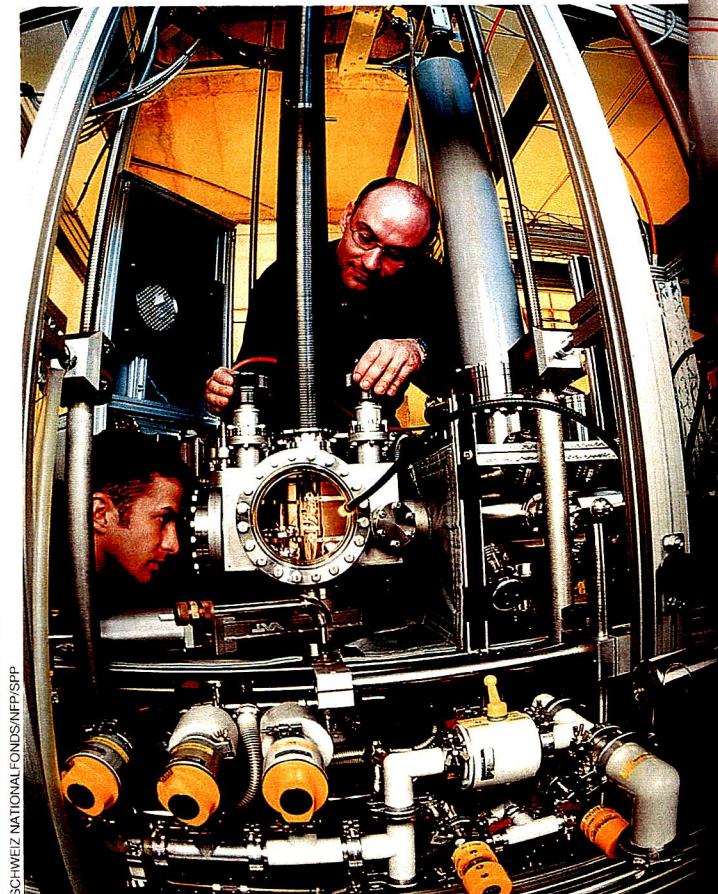
Le moteur deux temps de 50 cm³ de cylindrée qu'utilisent la plupart des scooters a de nombreux avantages: simplicité de fonctionnement, dimensions et poids réduits, fiabilité, coût de fabrication raisonnable. Mais, en contrepartie, il engendre une consommation relativement élevée, un bruit de fonctionnement gênant et des émissions polluantes, sous forme de gaz et de fumées. Le groupe italien Aprilia assure que son nouveau moteur deux temps à injection directe et gestion électronique, l'Aprilia Ditech (Direct Injection Technology), réduit ces inconvénients. Le carburant utilisé n'est pas le mélange essence-huile classique sur ce type de moteur, souligne le constructeur, mais de l'essence, qui est injectée directement dans la chambre de combustion. La lubrification s'effectue de manière indépendante, grâce à un réservoir

d'huile d'une contenance de 1,6 litre, qui assure une autonomie proche de 4 500 km. La consommation de carburant serait nettement améliorée par rapport à un moteur deux temps muni d'un pot catalytique. Elle ne dépasse pas 2 litres aux 100 km. Les émissions polluantes de ce moteur seraient réduites de 80 %.

L'essence (sans mélange d'huile) est injectée directement dans la chambre de combustion.



TECHNOLOGIE



SCHWEIZ NATIONALFONDS/NFP/SPP

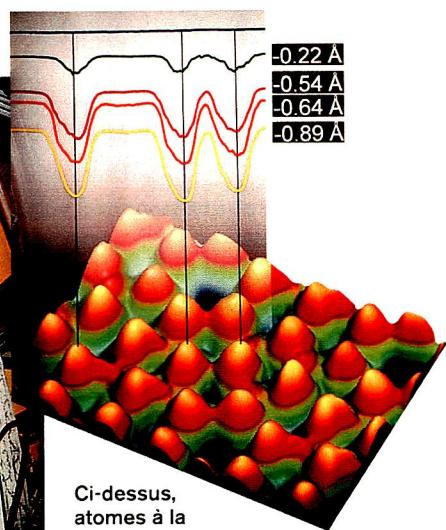
NANOTECHNOLOGIES

Le microscope qui manipule les atomes

Fabriquer des nano-objets – de la dimension de quelques atomes – nécessite de mettre au point des procédés pour observer ces atomes un par un, les étudier, les déplacer et les assembler. Un premier pas important en ce sens vient d'être franchi, si l'on en croit une équipe de recherche suisse de l'Institut de physique de l'université de Bâle. Les chercheurs helvétiques sont parvenus à mesurer les forces de liaisons chimiques entre deux atomes. Ils ont utilisé pour cela une version

spéciale d'un microscope à force atomique, sous ultra-vide et basse température. L'échantillon à examiner est maintenu à une température de quelques degrés au-dessus du zéro absolu, les mouvements des atomes sont alors presque complètement "gelés" et le microscope est très stable. Il est alors possible de positionner la fine pointe de l'instrument au-dessus d'un atome et de s'en approcher progressivement. « Quand la pointe n'est plus qu'à quelques dixièmes de nanomètre de l'atome, explique Hans Josef Hug, chef du projet de recherche, une liaison chimique s'établit entre l'atome tout à l'avant de la pointe et l'atome choisi à la surface de l'échantillon. Quand la distance diminue encore, cette force attractive augmente jusqu'à un maximum, puis diminue et finit par devenir répulsive... »

« Ce microscope permet aussi de manipuler les atomes un à un, il constitue une sorte d'œil et de main pour des nanostructures », conclut Hans Josef Hug.



Ci-dessus,
atomes à la
surface d'un matériau.
Le microscope suisse
permet de les déplacer un à un.

Le microscope suisse permet de déplacer les atomes un à un. sus du zéro absolu, les mouvements des atomes sont alors presque complètement "gelés" et le microscope est très stable. Il est alors possible de positionner la fine pointe de l'instrument au-dessus d'un atome et de s'en approcher progressivement. « Quand la pointe n'est plus qu'à quelques dixièmes de nanomètre de l'atome, explique Hans Josef Hug, chef du projet de recherche, une liaison chimique s'établit entre l'atome tout à l'avant de la pointe et l'atome choisi à la surface de l'échantillon. Quand la distance diminue encore, cette force attractive augmente jusqu'à un maximum, puis diminue et finit par devenir répulsive... »

« Ce microscope permet aussi de manipuler les atomes un à un, il constitue une sorte d'œil et de main pour des nanostructures », conclut Hans Josef Hug.

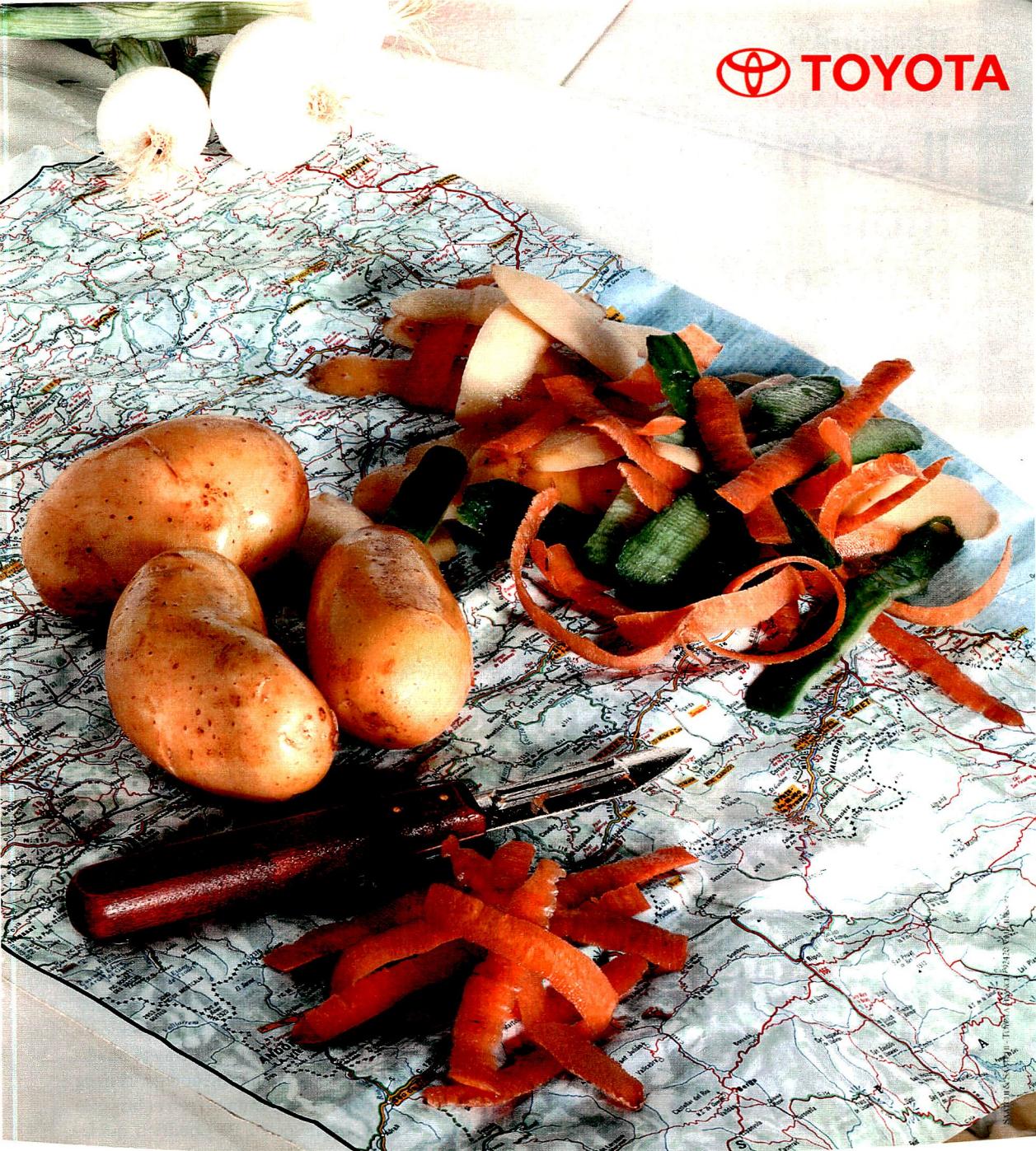
TÉLÉPHONIE MOBILE

Au poignet

La firme Motorola commercialise un téléphone portable de la dimension d'une grosse montre, qui se porte au poignet. La batterie d'alimentation est située sur l'autre partie du bracelet.



PPCM



TOYOTA YARIS SÉRIE SPÉCIALE GPS, AVEC SYSTÈME DE NAVIGATION PAR SATELLITE.

A partir de **64 000 F***, découvrez le GPS, un moyen simple et efficace pour arriver toujours à bon port. Entrez votre adresse de destination puis laissez-vous guider à l'œil et à l'oreille sur le meilleur

itinéraire. Avec le GPS, que vous soyez en ville ou à la campagne, vous serez toujours sur la bonne route. Modèle présenté :

70 200 F.** 3615 TOYOTA (1.29F/mn). www.toyota.fr

Offre valable pour toute commande avant le 31/10/2000 d'une Yaris Série Spéciale GPS neuve, réservée aux particuliers, chez les concessionnaires participants. *Yaris 1.0 i Linea Terra 3 portes Série Spéciale GPS. **Yaris 1.0 i Linea Sol 3 portes Série Spéciale GPS. Tarif indicatif au 7/09/2000.



Il est pas frais mon poisson?

Si le très susceptible Ordralfabetix, le célèbre poissonnier d'*Astérix*, avait pu mesurer la fraîcheur de sa marchandise en analysant les molécules émises par les poissons, le petit village gaulois eût été moins agité. L'appareil qui réalise cette performance vient d'être mis au point par Pierre Loonis, maître de conférences à l'université de La Rochelle. Les mécanismes biochimiques qui entraînent la perte de fraîcheur du poisson, avec émissions de molécules caractéristiques, comme l'amine et l'aldéhyde, sont ainsi repérés à coup sûr par un "nez" renifleur électronique. Le niveau d'amine détermine le degré de fraîcheur. Cependant, aux basses températures de conserva-



Un "nez" électronique analyse les molécules émises par le poisson: on détermine ainsi sa fraîcheur.

tion, les odeurs peuvent être inhibées. Une caméra est alors associée au renifleur. Elle mesure la dégradation de la couleur du poisson, proportionnelle à son vieillissement. La fiabilité de l'association des deux instruments a été testée avec succès à la criée aux poissons.

TEXTILES

CHAUSETTES SANS ODEUR

■ Le groupe français Rhodia commercialise ce mois-ci un nouveau textile en polyamide qui régule le nombre des bactéries présentes à la surface de la peau. On sait que le développement des bactéries sur le corps, aux endroits en contact avec des sous-vêtements, des chaussettes, etc., est souvent à l'origine d'odeurs gênantes ou de problèmes d'hygiène. Ce nouveau fil synthétique réduit la prolifération des bactéries, mais ne les

élimine pas en totalité. En outre, il ne produit pas d'effets secondaires désagréables sur la peau elle-même.

Ses propriétés bactériostatiques (et non bactéricides) préservent la flore bactériologique naturelle de la peau. Le produit actif – sur lequel la société se montre très discrète – est inséré dans la masse du fil et diffuse à sa surface. Il résiste aux lavages successifs et garderait ses propriétés après une trentaine de lavages.

Tueur de bruit

La technique pour atténuer le bruit consiste à émettre un bruit en opposition de phase avec celui que l'on veut réduire, qui se trouve ainsi quasiment annulé. Plusieurs systèmes existent déjà. Certaines voitures haut de gamme en sont équipées, afin de ménager à leurs occupants un silence quasi-parfait. Cependant, c'est le domaine aéronautique qui paraît le plus demandeur. Les pilotes d'avions légers peuvent ainsi utiliser des écouteurs dotés d'un équipement anti-bruit. On sait aussi réduire le bruit à l'intérieur d'une cabine d'appareil commercial, grâce à un émetteur installé à proximité des sièges situés à hauteur des moteurs. On agit de même au sol, sur les aéroports, dans les centres d'essais des moteurs, afin de réduire les nuisances sonores pour les riverains. Mais cette technique est plus difficile à mettre en œuvre en vol: l'installation d'un émetteur "contre-bruit" sur les gros turboréacteurs des avions commerciaux entraîne en effet un surcroît de poids et une dépense d'énergie non négligeable, donc une surconsommation en carburant. La solution qui permettrait de pallier ces inconvénients existe peut-être. Elle a été imaginée par un ingénieur américain de l'Institut Virginia Tech et brevetée par la société BF Goodrich, qui fabrique des trains d'atterrissement. Elle consiste à sélectionner et prélever le bruit en certains endroits du moteur, puis à trouver des bruits en provenance d'autres parties de l'avion susceptibles d'être en opposition de phase afin de le contrecarrer. Ainsi l'émetteur est-il alimenté en quelque sorte par le moteur lui-même. D'où une économie d'énergie et de poids.

Artisans,
Commerçants,
PME, Professions
Libérales...

17 cts/mn
sur vos appels en local*.

ça, c'est précis.

Et avec notre diagnostic gratuit, vous connaîtrez toutes nos solutions tarifaires adaptées à vos besoins.

ça, c'est concret.



Vos solutions personnalisées
en appelant votre conseiller
Professionnels au 1016.

TECHNOLOGIE

MAINTENANCE

LES BONS PLANS SOUS LES YEUX

■ Les techniciens qui dépannent des circuits électriques et électroniques disposeront bientôt de lunettes spéciales qui projettent sur leurs verres les schémas des circuits analysés. Grâce à un mini-ordinateur accroché à la ceinture, les techniciens (de l'aéronautique, en particulier) n'ont plus besoin de se référer en permanence à des manuels techniques ou à des plans disposés à côté d'eux. Ils sont affichés sous leurs yeux. Le projet fait partie d'un ensemble de travaux conduits en

Allemagne par le Fraunhofer Institute for Computer Graphics. Mené sous l'égide du ministère allemand de la Recherche, il concerne également d'autres secteurs d'activité, notamment celui des machines-outils. A un stade plus avancé, le système de projection sur lunettes pourrait être couplé à une caméra miniature qui détecterait la direction du regard des techniciens. De cette manière, seule la partie du circuit sur laquelle l'opérateur intervient serait projetée sous ses yeux.

ROBOTIQUE

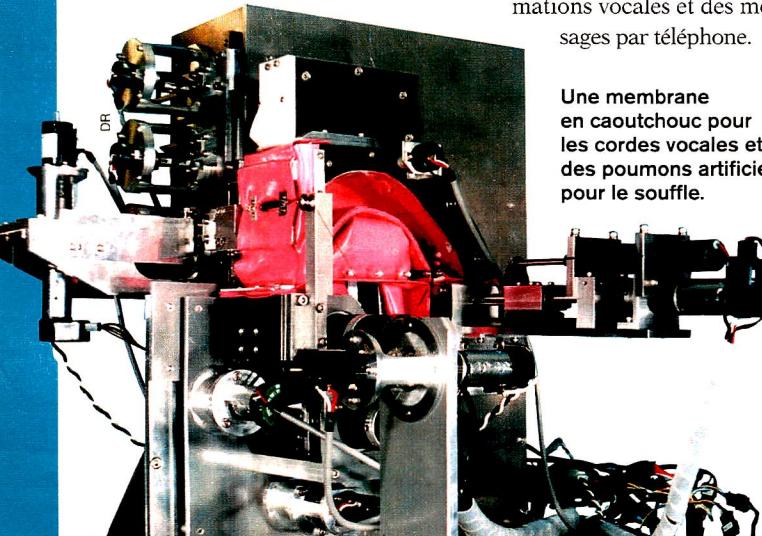
Cordes vocales artificielles

Une équipe de chercheurs japonais, sous la direction du Pr Atsuo Takanishi, de l'université Waseda, a mis au point un robot capable d'émettre des sons similaires à ceux de la voix humaine grâce à un système qui imite les muscles de la gorge et les cordes vocales. Celles-ci sont remplacées par une membrane en caoutchouc sur laquelle on dirige un souffle d'air provenant de "pou-

mons" artificiels. En modifiant la tension de la membrane, on peut faire varier le ton de la voix ainsi obtenue. Selon les chercheurs japonais, leur robot, en tout cas le mécanisme d'émission des sons, pourrait servir à développer des cordes vocales artificielles pour les humains qui en sont privés, ou aider à corriger les déficiences d'élocution. Il pourrait également être utilisé pour transmettre des infor-

mations vocales et des messages par téléphone.

Une membrane en caoutchouc pour les cordes vocales et des poumons artificiels pour le souffle.



PROTECTION

Primée au concours Lépine

Motocyclistes, sportifs, travailleurs sur les chantiers, etc., apprécieront cette protection jetable que l'on place au fond d'un casque et qui absorbe la sueur, le sébum et les poussières. La Sanitète, inventée par Jean-Jacques Sansarlat, primée au concours Lépine, est réalisée en matière absorbante non tissée. Elle est renforcée par une structure plus rigide en carton mince, sous la forme d'ailettes disposées en étoile, de façon à pouvoir l'adapter à tous les types de casques ou de crânes !

AUTOMOBILE

Idée lumineuse pour les distraits

Les conducteurs distraits, qui oublient d'éteindre les lumières de leur véhicule, risquant ainsi de décharger complètement leur batterie, vont pouvoir se reposer sur un procédé astucieux dû à une entreprise britannique. Le Smartswitch mesure à intervalles réguliers le voltage de la batterie. Si celui-ci baisse jusqu'à un niveau présélectionné par l'utilisateur, la batterie est automatiquement déconnectée, coupant ainsi l'alimentation électrique. Elle est à nouveau reliée au circuit lorsque le conducteur tourne la clé de contact.



Un sondeur a permis de dresser l'identité acoustique de deux espèces de thons.

PÊCHE

La densité des thons

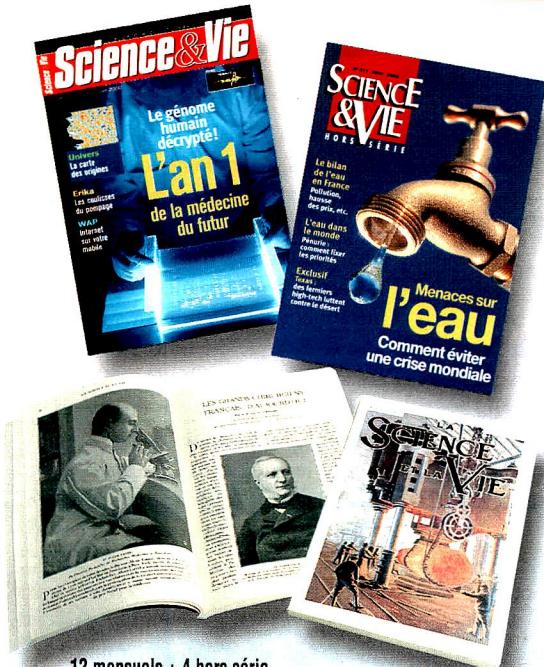
Afin d'améliorer l'évaluation des ressources thonnières (et dans le but d'en rationaliser l'exploitation), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) a mis au point une méthode pour étudier la répartition des thons qui vivent en profondeur

dans la zone du Pacifique Sud. Un sondeur acoustique repère les organismes marins présents de la surface à 500 m de profondeur. Grâce aux expérimentations effectuées avec cet appareil, on a défini une gamme d'échos spécifiques à deux espèces, le thon à nageoire

jaune et le thon obèse. L'index de réflexion individuelle (l'identité acoustique) obtenu a permis d'estimer localement, pour la première fois, la densité des thons à diverses profondeurs, ainsi que la distribution du micronecton (crustacés, poissons, céphalopodes de 1 à 10 cm, la nourriture principale des thons). Dans les zones où ces proies sont nombreuses, la pêche thonnière est globalement fructueuse. Mais si cette nourriture est trop abondante, elle attire davantage les thons que les appâts fixés sur les palangres, ces lignes de pêche munies de multiples hameçons immergées en profondeur. L'une des conclusions du programme de recherche de l'IRD est d'avoir montré que dans une région riche en micronecton, le rendement de la pêche à la palangre est plus élevé là où les proies des thons ne sont pas trop agrégées.

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 la réédition
du N°1 de LA SCIENCE ET LA VIE

299 francs
seulement

Oui

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

Je recevrai en cadeau de bienvenue la réédition du N°1
de LA SCIENCE ET LA VIE *.

je règle la somme de 299 francs** seulement.

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____

Ville _____

Tél. _____

E-mail _____

Je choisis de régler par :

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

N° _____

expire à fin _____ mois _____ année _____

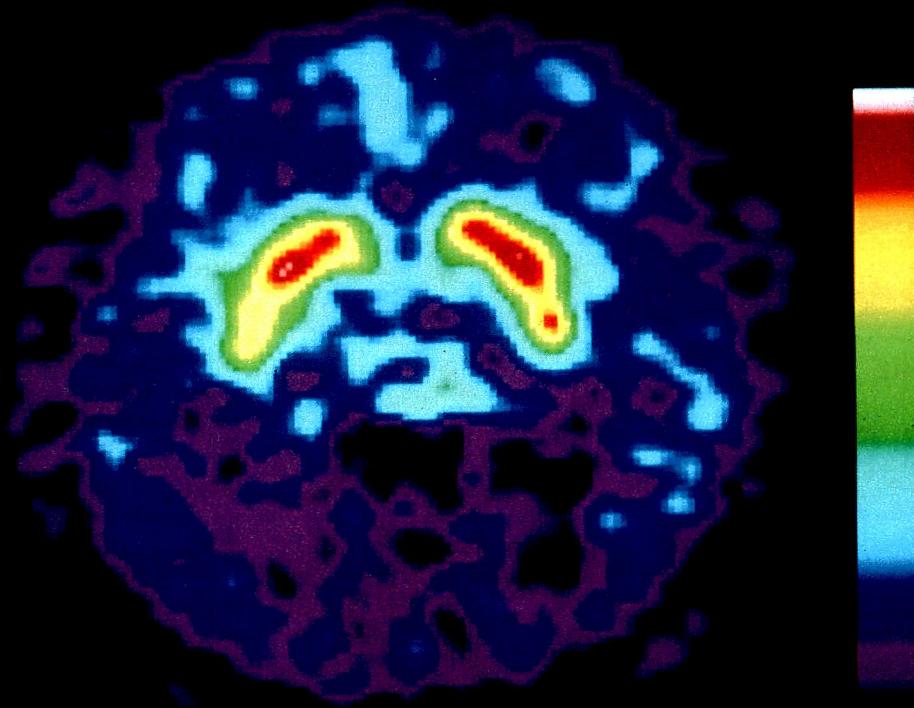
Date et signature obligatoires

* délai de réception de 3 à 4 semaines à partir du règlement de votre abonnement et dans la limite des stocks disponibles.
** au lieu de 376 F prix de vente des magazines chez votre marchand de journaux.

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN 2000 ET RÉSERVÉE À LA FRANCE METROPOLITAINE.

Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08

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



Mieux voir pour mieux opérer

En utilisant simultanément un outil d'imagerie médicale et des rayons gamma, des médecins belges espèrent améliorer sensiblement la chirurgie du cerveau.

Deux hôpitaux bruxellois expérimentent un traitement contre des cancers cérébraux, basé sur l'observation de l'activité métabolique de la tumeur. Cette technique s'applique aux gliomes, des tumeurs qui se caractérisent par l'infiltration des tissus avoisinants. L'équipe belge à l'origine du projet suppose que la masse tumorale la plus agressive pour

le patient est celle dont l'activité métabolique est la plus intense. En irradiant cette zone, ils espèrent affaiblir la tumeur et améliorer ainsi l'efficacité des traitements complémentaires comme la chimiothérapie.

Pour mener à bien ce programme, le service de neurochirurgie de l'hôpital Erasme s'est associé au service de radiothérapie de l'Institut Jules Bordet. Ensemble, ils cou-

plent deux technologies de pointe: le Gamma Knife, un appareil de radiochirurgie du cerveau, et le Pet Scan, un procédé d'imagerie médicale capable de visualiser l'activité métabolique d'une tumeur.

La technique du Gamma Knife consiste à irradier les lésions par un faisceau convergent de rayons gamma, la cible étant localisée par imagerie médicale (scanner ou imagerie par résonance magnétique). Elle permet déjà d'opérer des lésions vasculaires et des tumeurs bénignes du cerveau, à crâne fermé, sans anesthésie générale et avec une précision millimétrique. Le Pet Scan, seul, est un

CNRI

outil de diagnostic. Ces deux procédés sont utilisés en neurochirurgie depuis une dizaine d'années, mais c'est la première fois qu'ils sont combinés pour opérer des tumeurs malignes du cerveau.

Si une dizaine de patients ont déjà subi cette opération, il est cependant encore trop tôt pour juger de son efficacité. « Tout ce que l'on peut dire pour l'instant, c'est que les cellules tumorales sont toujours anatomiquement visibles, mais qu'elles semblent quiescentes – c'est-à-dire au repos – ou en passe de mourir », explique le professeur Marc Levivier, le neurochirurgien responsable du projet.

Les premiers résultats sont prévus pour la fin 2000, mais il faudra attendre plusieurs années avant de juger des bienfaits de ce traitement pour le patient. V. N.S.

TOXICOLOGIE

Ecstasy et dommages cérébraux

Une étude épidémiologique réalisée par des scientifiques de l'université de Hambourg (Allemagne) vient encore de confirmer la neurotoxicité de l'Ecstasy (voir *Science & Vie* n° 992, p. 102 et n° 994, p. 48). Menée sur cent sept consommateurs réguliers de cette drogue et cinquante-deux témoins, l'étude a mis en évidence des baisses de performance à des tests d'intelligence chez 60 % des usagers ainsi que des dérangements psychiques (hallucinations, crises d'angoisse) chez 25 % des consommateurs. P. R.

CHIRURGIE

J'AI RÉTRÉCI TES AMYGDALES

■ L'ablation des amygdales reste douloureuse et les patients ont des difficultés pour avaler pendant quinze jours.

La société californienne Somnus Medical Technologies affirme que ces désagréments peuvent être évités en réduisant les amygdales au lieu de les enlever complètement.

L'opération consiste à insérer dans les deux organes deux électrodes délivrant un courant qui tue les cellules, brûle les tissus et les racornit. Ce procédé minimise la douleur et les saignements. L'opération dure moins d'une heure et peut être effectuée sous anesthésie



locale ; les patients peuvent reprendre leur travail dès le lendemain. Pour l'instant, cette solution, appelée "sommoplastie", a été testée uniquement sur des adultes (alors que les enfants constituent les quatre cinquièmes de la population concernée).

Elle devrait surtout

être préconisée pour certains déficients respiratoires ou des personnes souffrant d'apnées du sommeil ou de ronflements. Il restera cependant à vérifier que les amygdales ne repoussent pas par la suite, et à maîtriser parfaitement les effets des radiofréquences émises juste contre la carotide. D. B. B.

IMMUNOLOGIE

Vaccin antisida en Afrique

ors du 13^e Sommet international sur le sida, à Durban (Afrique du Sud), l'Initiative internationale pour le vaccin antisida (Iavi), un organisme dépendant de l'Onu, a donné son feu vert pour les premiers essais cliniques d'un vaccin contre le VIH de sous-type A, la souche la plus répandue en Afrique. D'après les ré-

sultats préliminaires obtenus en laboratoire, ce vaccin, mis au point par le Pr Andrew McMichael de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) et le Pr J. J. Bwayo de l'université de Nairobi (Kenya), stimulerait suffisamment le système immunitaire pour qu'il détruisse les cellules infectées par le virus. Selon l'Iavi, la vaccination est le seul moyen de

lutter rapidement contre le sida, dans un continent où 90 % des séropositifs ne peuvent se payer les traitements, trop chers. A condition qu'elle soit efficace... P. R.

Le vaccin pourrait être opérationnel dans cinq ans.

CHALASANI/SIPA





OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE

Des gommes contre les otites

Selon le pédiatre finlandais Matti Uhari, les personnes souffrant d'otites à répétition pourraient être soignées en mâchant des gommes sucrées au xylitol. Deux études réalisées auprès d'un millier d'enfants et publiées dans le *British Medical Journal* et le journal *Pediatrics* sont éloquentes : chez les enfants qui prennent du xylitol cinq fois par jour, la fréquence des otites ou des infections auriculaires est réduite de 40 %.

Extrait du bouleau, le xylitol inhibe la croissance du *Streptococcus pneumoniae* (un des agents majeurs des otites) et empêche une autre bactérie, l'*hemophilus influenzae*, de s'attacher aux cellules de la muqueuse nasale ou de la gorge. Alan Greene, pédiatre à l'université de Stanford, recommande également le xylitol, à raison de 8 grammes par jour, sous forme de gomme ou en sirop. Par ailleurs, une firme américaine commercialise au Etats-Unis un spray nasal diffusant ce même composé.

Cette "protection" pourrait être bienvenue à l'heure où les germes bactériens responsables des otites

sont de plus en plus résistants aux antibiotiques. Néanmoins, parce qu'il est peu cher et non breveté, le xylitol n'intéresse pas l'industrie pharmaceutique. Pire, les centres américains pour le contrôle des maladies n'ont consenti aucun budget à Jérôme Klein, professeur de pédiatrie à l'université de Boston et leader des recherches sur les otites, qui souhaiterait étudier son mode d'action.

D. B. B.

CANCÉROLOGIE

Première faille dans le tout-génétique

Un groupe d'experts réunis sous l'égide de l'Inserm vient d'établir qu'aucune preuve décisive ne permet d'instituer un lien entre prédisposition génétique et cancer professionnel (développé pendant l'exercice de l'activité professionnelle). Pour parvenir à ce constat, les experts se sont basés sur l'analyse de quelque trois cents publications scientifiques traitant de ce sujet. Commandée par l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail (INRS), cette étude inquiétait les syndicats qui craignaient l'utilisation des tests génétiques à l'embauche. La conclusion de l'Inserm est donc rassurante. P. R.

COMPORTEMENT

PRUDENT, LE CANNABIS AU VOLANT?

■ Une étude commanditée par le Département britannique de l'environnement, du transport et des régions (DETR) vient de montrer qu'il fallait davantage se méfier de la fatigue ou de l'alcool que du cannabis au volant. Un résultat que les militants antidrogue, promoteurs de cette investigation, apprécient peu. L'expérience a consisté à suivre quinze utilisateurs habituels de cannabis, recrutés par cooptation, lors de tests sur simulateurs de conduite

pendant quatre semaines. L'analyse de leur temps de réaction et de leur niveaux de conscience a révélé que le cannabis rend les conducteurs plus prudents et moins enclins à prendre des risques. Il n'empêche que la conduite en état d'ivresse, cannabique ou autre, est fortement déconseillée. On remarque en effet que les drogues étaient impliquées dans 3 % des accidents graves il y a vingt ans, contre 18 % aujourd'hui. D. B. B.

Quand vos articulations sont à rude épreuve... Bandages Hansaplast.



Hansaplast®

Bandage
Genou
Kniebandage

NOUVEAU

Ajustable
Aanpasbaar

- Maintient et chauffe
- Taille unique
- Ondersteunt en verwarmt
- Unieke maat



Hansaplast. Et ça va déjà mieux.

La patate qui vaccine

Des biologistes américains viennent de prouver qu'on pouvait se vacciner en croquant des pommes de terre. Ils se sont en effet attaqués au virus de Norwalk, un virus alimentaire qui infecte chaque année plus de 23 millions de personnes aux Etats-Unis, provoquant nausées, diarrhées, crampes d'estomac. Leur idée : faire produire à une pomme de terre génétiquement modifiée des antigènes viraux capables d'immuniser les populations. Les premiers essais cliniques sont probants : dix-neuf des vingt volontaires qui ont ingéré les tubercules vaccinants ont développé une réponse immunitaire contre le virus de Norwalk. «Ce vaccin par les plantes pourrait être le premier à être accepté dans les pays développés», s'enthousiasme Charles Arntzen, président de l'Institut Boyce Thompson de recherche sur les plantes de l'université Cornell, qui a réalisé la construction transgénique. Il ajoute que ces travaux, menés en coopération avec l'école de médecine de l'université de Maryland, «peuvent déboucher rapidement sur le premier produit vaccinal issu de biotechnologies végétales».

D. B. B.



ENDOCRINOLOGIE

Le Viagra au secours des diabétiques

L. GREENFIELD/SYGMA

La petite pilule bleue va-t-elle porter secours aux diabétiques ? Il semble que le Viagra, remède de l'impuissance, facilite aussi la communication entre l'estomac et l'intestin, qui est perturbée chez 75 % des diabétiques. Cette action du Viagra sur le tractus digestif a été mise en évidence par des chercheurs de l'école de médecine de l'université Johns Hopkins.

Le rôle du Viagra sur la digestion n'a pas été étudié par hasard. Les chercheurs savaient que l'incapacité du pylore (muscle impliqué dans la vidange de l'estomac) est corrélée à un déficit en oxyde nitrique. Or, le Viagra combat ce dé-

ficit responsable de la réduction du flux sanguin nécessaire à l'érection. Démontré sur des souris diabétiques, «cet effet apparaît tellement prometteur que des essais cliniques pilotes sont déjà lancés», indique Christopher Ferris, gastro-entérologue, responsable de l'étude. Le traitement est testé avec trois prises, trente minutes avant chaque repas. Par ailleurs, le Viagra pourrait aussi être bénéfique aux personnes qui ont des spasmes de l'œsophage ou des troubles pour avaler.

Si ces effets sont confirmés, il faudra revoir le dosage et le prix actuel de la pilule, qui est rédhibitoire pour un tel usage. D. B. B.

GALÉNIQUE

UN SPRAY ANTIGRIPPE

■ Une simple pulvérisation nasale pourrait bientôt nous immuniser contre le virus de la grippe. Le vaccin – mis au point par la société canadienne BioChem Pharma – est composé d'antigènes du virus grippal qui devraient être produits sur des

œufs en culture, puis formulé dans des microbilles (système Biovector-light) pour être administré par spray nasal. La firme toulousaine Biovector Therapeutics, qui développe ce procédé, effectue aujourd'hui les derniers essais cliniques.

D. B. B.



DEMAIN LES HOMMES DEVRONT ÊTRE CONNECTÉS.

ILS LE SONT DÉJÀ.

**ET LA CONNECTIQUE
Y CONTRIBUE.**

Aujourd'hui, tout est communication.

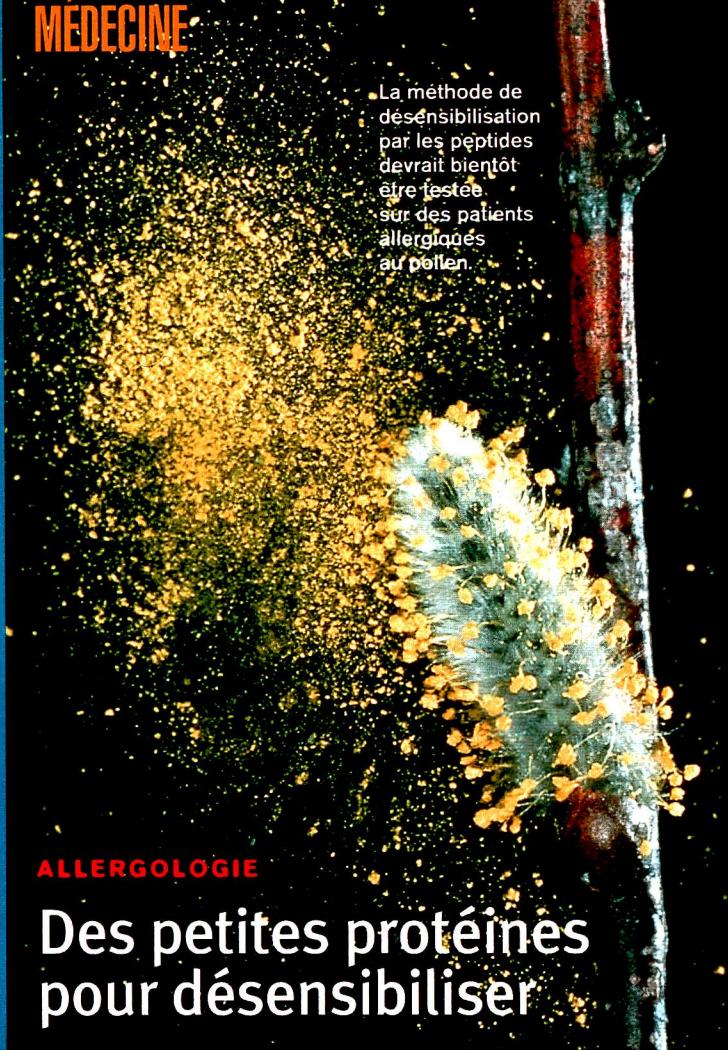
Pour parler, voir, comprendre, produire, échanger, il est nécessaire de se connecter. Connecter les gens et les réseaux entre eux, connecter les outils aux systèmes.

Transmettre et relier. Avec Framatome, la connectique est présente dans tout ce qui permet le passage de l'électricité, des données et de la voix, de la carte à puce au câblage haute tension, en passant par Ariane, votre portable, et même votre voiture. Produits numériques (DVD, mini disc, agenda électronique...), systèmes de navigation, aéronautique, défense, industrie et bien sûr communication, tous ces secteurs et tous leurs utilisateurs ont besoin de connectique.

**Un secteur d'activité essentiel au futur
Dont Framatome, avec FCI, est leader mondial.**

FRAMATOME
The Real Future*

La méthode de désensibilisation par les peptides devrait bientôt être testée sur des patients allergiques au pollen.



ALLERGOLOGIE

Des petites protéines pour désensibiliser

J. WEXLER/PHR/JACANA

Désensibiliser des personnes sujettes à des allergies peut provoquer des effets secondaires d'une gravité variable. En effet, pour augmenter la tolérance du patient, des doses croissantes de l'allergène, l'agent responsable de l'hypersensibilité, lui sont administrées. Le risque d'une réaction allergique n'est donc jamais totalement exclu.

Pour limiter ces accidents, des chercheurs de l'Institut national pour le cœur et le poumon de Londres (NHLI) développent une nouvelle technique. Ils utilisent des fragments de protéines allergènes, des peptides, supposés être mieux tolérés que la protéine complète. « Notre approche réduit le risque

d'effets secondaires, nous pouvons donc prescrire des doses plus élevées », souligne Mark Larché, chercheur au NHLI. La désensibilisation est ainsi plus efficace, car elle s'accroît avec les doses prescrites.

De plus, ces peptides sont sélectionnés pour leur capacité à réagir avec le système immunitaire de différents patients. Si les résultats sont concluants, cette technique ouvre la perspective de traitements standardisés.

En Grande-Bretagne, des essais cliniques ont déjà commencé sur des patients allergiques aux chats. « Nous avons l'intention de continuer avec d'autres allergènes comme les acariens ou les pollens », conclut Mark Larché.

V. N'S.

SANTÉ PUBLIQUE

Sida : la Chine ferme les yeux

Les experts s'inquiètent de la progression de l'épidémie en Chine, due à l'inconscience des autorités. Epargné il y a dix ans, le pays compte au moins 600 000 personnes infectées aujourd'hui. Or, le budget alloué à la prévention s'élevait seulement à 2 millions de dollars en 1999, un montant dérisoire étant donné le nombre d'habitants en Chine (1 milliard 259 millions environ).

De peur de découvrir des taux élevés de contamination, les officiels préfèrent ne faire aucune évaluation et les panneaux d'information sur la prévention ont été déclarés indécent et détruits dans plusieurs grandes villes. « Si nous ne nous réveillons pas, ce sera un désastre national », assène Zeng Yi, éminent chercheur chinois en matière de sida.

Les scientifiques estiment que le nombre de cas augmente de 30 % par an. Personne n'est incité à se faire tester, car aucun traitement n'est proposé. Les produits thérapeutiques occidentaux sont chers, sans licence en Chine, et la médecine traditionnelle n'a pas prouvé son efficacité.

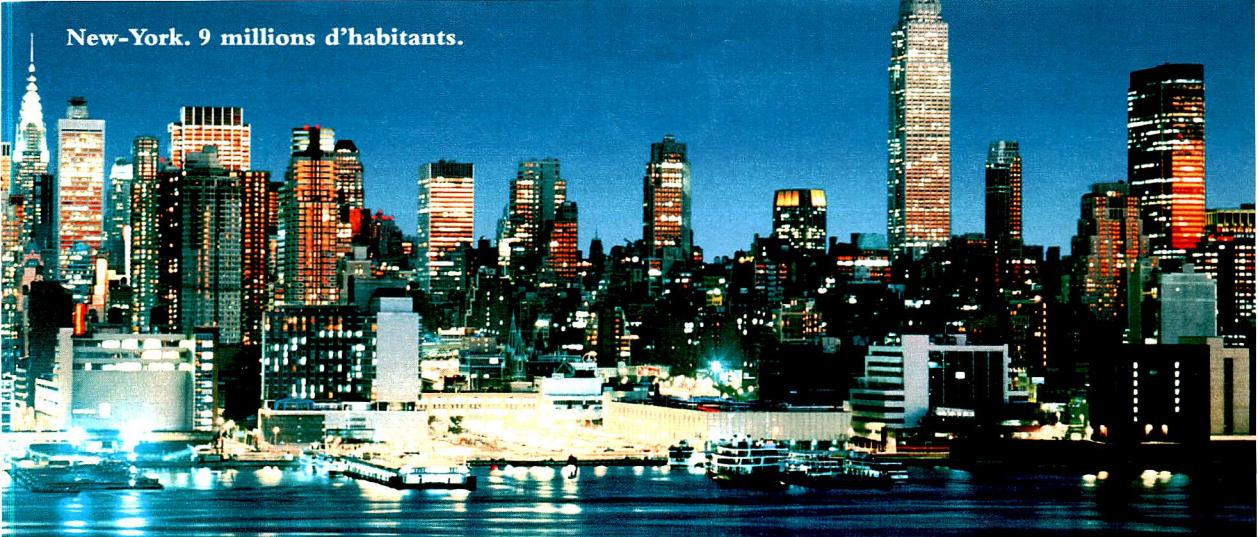
D. B. B.

Ont collaboré à cette rubrique :

Dorothée Benoît Browaeys,

Victoire N'Sondé, Pierre Rossion.

New-York. 9 millions d'habitants.



DEMAIN LES ÉNERGIES DEVONT ÊTRE PROPRES.

CERTAINES LE SONT DÉJÀ.

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
EST L'UNE D'ENTRE ELLES.

Aujourd'hui, elle couvre 7% des besoins mondiaux en énergie et produit 17% de l'électricité.

Des besoins qui doubleront d'ici à 2020 et que les énergies fossiles ne pourront satisfaire :

les réserves en charbon, gaz et pétrole, inégalement réparties sur la planète, s'épuisent.

Parce qu'elle apporte massivement de l'énergie dans des villes toujours plus peuplées, l'énergie nucléaire est une réponse aux besoins de la planète.

Parce que produire davantage d'énergie ne doit pas se faire au détriment de notre environnement menacé par l'effet de serre, l'énergie nucléaire est une solution d'avenir. L'énergie nucléaire, c'est **zéro rejet de gaz carbonique** et aucune autre émission à effet de serre.

Une énergie essentielle pour le futur
Dont Framatome est leader mondial.

**FRAMATOME**
The Real Future*

*Le futur, c'est concret.

www.framatome.com

INNOVATION

COLOR FITNESS

GEL RECOLORANT RESULTAT NATUREL
SANS AMMONIAQUE.

Vous faites ce qu'il faut pour vous sentir bien.

Et pour vos cheveux ? COLOR FITNESS :

1 - Efface les 1ers cheveux blancs avec un résultat 100% naturel.

2 - Application express en 10 minutes.

3 - Protège vos cheveux grâce au ginseng fortifiant.

Vos cheveux sont en pleine forme.

Un résultat garanti 6 semaines.

Avec COLOR FITNESS vous vous sentez bien sans cheveux blancs.

En vente dans les grandes surfaces de votre région.



L'ORÉAL
PARIS

Parce que je le voux bien.

É

A

L

PARIS



Plus un seul cheveu blanc...
et des cheveux en pleine forme.

David Ginola a utilisé la nuance n°40 châtain.

www.lorealparis.com

CONCORDE

Ce n'était pas la première fois!

En 1979 déjà, l'éclatement de pneus a bien failli coûter la vie des passagers d'un Concorde d'Air France. A l'époque, les experts avaient conclu qu'un incident de ce type ne pouvait, à lui seul, percer l'aile du supersonique. La tragédie du 25 juillet vient de prouver le contraire...

Le couperet est tombé le 16 août dernier. La Direction générale de l'aviation civile en France (DGAC) et son homologue britannique, la Civil Aviation Authority (CAA), ont décidé de retirer à Concorde son certificat de navigabilité. Il s'agit là d'un événement exceptionnel dans l'histoire de l'aviation civile.

Cette décision est d'autant plus lourde que, finalement, elle condamne le Concorde à rejoindre le musée de l'aviation. Non que la suspension du certificat soit définitive. Mais la reprise des vols sup-

pose une amélioration de la sécurité du supersonique, qui pourrait porter sur une nouvelle conception des pneus, un blindage des ailes ou un déplacement des trains d'atterrissage, dont le coût paraît hors de proportion au regard de l'intérêt économique d'une flottille de douze appareils seulement.

MOUVEMENT DE RÉVOLTE

D'où le mouvement de révolte de tous ceux qui ont participé à l'"aventure Concorde", industriels, navigants ou cadres commerciaux qui voient dans cette sentence un désaveu vis-à-vis de ceux qui, il y

a un quart de siècle, lui ont accordé son certificat de navigabilité.

Dans la réalité, il s'agit moins d'un désaveu que d'un rattrapage après la catastrophe qui a fait 113 morts, le 25 juillet dernier, sur la commune de Gonesse. Car le risque était connu. En effet, le 14 juin 1979, les pneus d'un Concorde d'Air France avaient éclaté au décollage, sur l'aéroport de Washington Dulles, aux États-Unis. Un morceau de jante de roue avait troué l'aile sur 1,50 mètre et perforé le réservoir, laissant fuir près de 8 tonnes de kérosène. C'est un miracle que l'avion n'ait pas pris feu. Il a réussi à se poser après vingt-cinq minutes de vol. Le risque d'éclate-

Un drame évité de justesse

14 juin 1979, aéroport de Washington Dulles, Etats-Unis. Transpercés à la suite de l'explosion de pneus au décollage, les réservoirs de ce Concorde d'Air France laisseront échapper près de 8 tonnes de kérósène. Ce jour là, l'avion n'a pas pris feu. Un miracle...

ment des pneus fut dès lors pris en considération. Une nouvelle règle obligea à installer un détecteur chargé de signaler au pilote la défaillance de tel ou tel pneu, en lui laissant la possibilité d'interrompre le décollage. On conseilla aussi de faire appel à des pneus à structure renforcée, ainsi qu'à des jantes plus résistantes, capables de supporter sans se briser le roulement direct sur le béton d'une pis-

te en cas d'éclatement des pneus.

Mais la gravité des conséquences possibles de l'éclatement d'un pneu fut, quant à elle, sous-estimée, comme l'a montré l'accident de Concorde à Roissy. Selon les constatations du Bureau enquêtes-accidents de la DGAC, c'est un morceau de pneu de 4,3 kg qui, jouant le

rôle d'un projectile sur l'aile, a perforé un réservoir. L'éclatement d'un pneu est, de fait, assez banal. Le CAA déclarait, le 16 août dernier, qu'il y en avait déjà eu sept rien que pour le Concorde. Le plus grave étant celui de 1979. Mais, à

l'époque, l'examen des incidents de ce type, déjà répertoriés, avait conduit les techniciens à conclure que des débris de pneus à eux seuls ne pouvaient percer l'aile et endommager les réservoirs. Il fallait un morceau de métal issu d'une jante. Il n'y avait donc pas lieu de remettre en cause le certificat de navigabilité du fleuron de l'aéronautique franco-britannique, mais de renforcer la sécurité des pneus et des roues. Ce qui fut fait.

Le certificat de navigabilité est un document qui autorise l'exploita-

tion commerciale d'un appareil après que celui-ci a fait la démonstration de sa sécurité aérienne en respectant un ensemble d'exigences réglementaires. Celles-ci ont été spécifiées au fil du temps après la Seconde Guerre mondiale, essentiellement sous la houlette de la Federal Aviation Administration (FAA) américaine, autorité de tutelle de l'aviation civile outre-Atlantique. Les Etats-Unis se posaient alors en leaders incontestés, et la France ainsi que la Grande-Bretagne se contentaient d'adap-

ter, ou d'adopter, les normes définies outre-Atlantique.

Elaborées pour les avions subsoniques, ces règles ne pouvaient s'appliquer à un avion aussi innovant que le Concorde. Le premier appareil commercial supersonique obligeait à définir des normes de sécurité et des règlements particuliers. Britanniques, Français, mais aussi Américains, ont travaillé de concert pour établir un certificat de navigabilité qui puisse être reconnu en Grande-Bretagne, en France, mais aussi aux Etats-Unis, puisque l'avion était destiné à assurer, notamment, des liaisons transatlantiques. Ainsi que le rappelle André Turcat, premier pilote d'essais de Concorde (1), les services aéronau-

tiques officiels avaient dénombré 10000 cas de pannes possibles, correspondant à autant de points de certification. Huit mille d'entre eux purent être traités de manière satisfaisante au moyen d'un simulateur. Mais les deux mille autres ont dû faire l'objet de démonstrations en vol. Pas moins de mille heures de vol, sur les cinq mille que comportait le programme général d'essais!

DOUZE ANS POUR OBTENIR LE CERTIFICAT DE NAVIGABILITÉ

Il aura fallu douze ans, depuis les premières ébauches dans les bureaux d'étude jusqu'à la délivrance finale, pour établir le certificat de navigabilité (en 1976). Les experts se sont appuyés sur leurs connaissances des avions militaires. Le moteur du Concorde est, par exemple, dérivé de celui du bombardier britannique TSR2. L'aile est une extrapolation des ailes delta qui sustentent, entre autre, les Mi-

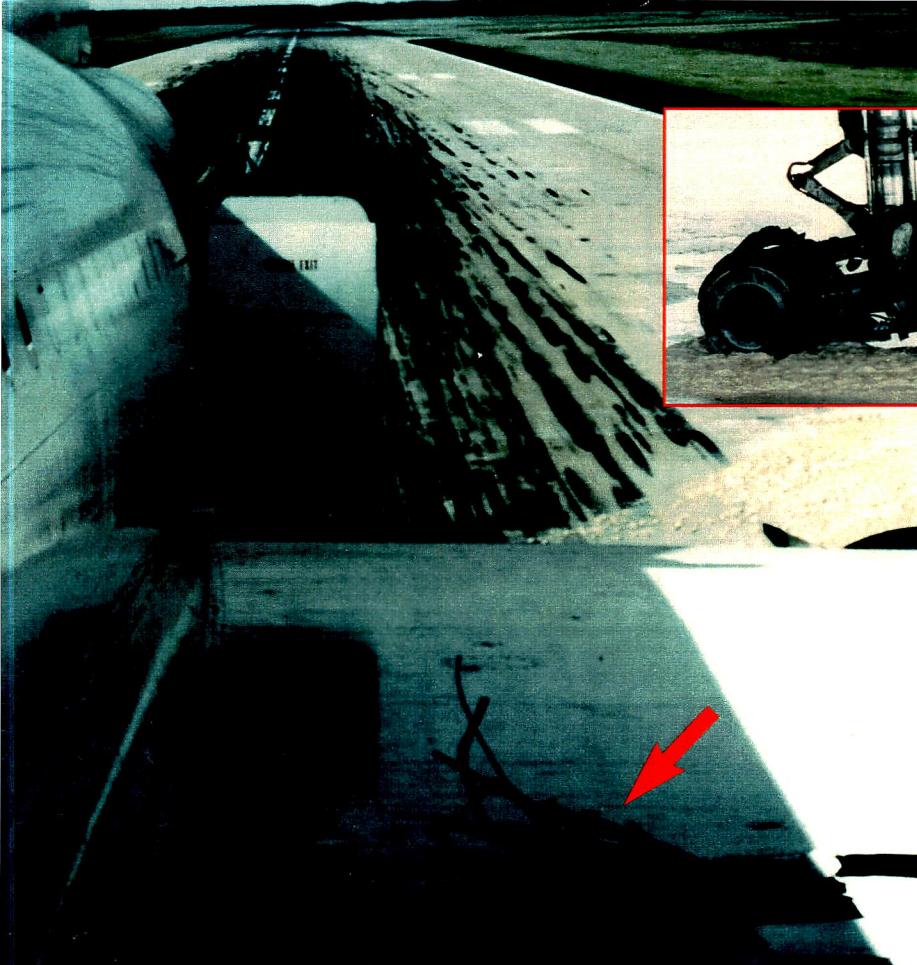
SOUPÇONS SUR LE BOEING 737

Trois mille de ces appareils sont en circulation.



■ Un autre avion – le biréacteur Boeing 737 – se trouve sous la menace d'une interdiction durable de vol, à cause de sa gouverne de direction. Depuis son premier décollage en 1967, le braquage intempestif en vol de la gouverne du 737 serait à l'origine d'au moins deux catastrophes aux Etats-Unis, à Colorado Springs, en 1991, et Pittsburgh, en 1994, ainsi que de plusieurs dizaines d'incidents graves. Les pilotes n'étant parvenus à atterrir que par chance, ou en faisant preuve d'une habileté hors pair. A tel point que, en 1997, le National Transportation Safety Board (NTSB), équivalent du Bureau enquêtes-accidents français, soulignait que si Boeing demandait aujourd'hui un certificat de navigabilité pour son biréacteur, il lui serait certainement refusé, compte tenu des soupçons qui pèsent sur cette gouverne de direction. Boeing a alors changé, sur les versions les plus récentes de l'avion, la conception des gouvernes. Des modifications ont également été effectuées sur

certains des modèles les plus anciens. Mais les soupçons demeurent. Le constructeur américain a d'ailleurs toujours su "jouer" avec les règlements. Ainsi préfère-t-il réaliser de nouvelles versions d'un modèle ancien, qui peuvent ainsi être certifiées selon les normes moins contraignantes, en vigueur au moment de la sortie du modèle de base. Et non selon les critères appliqués aux nouveaux avions, plus pointilleux sur la sécurité. Tel est le cas du Boeing 737. Il est vrai aussi que près de trois mille appareils de ce type sont en service dans le monde, et que leur interdiction de vol paralyserait une bonne partie du transport aérien international. Ce qui n'est pas le cas avec le Concorde, dont treize exemplaires seulement volaient sous les couleurs d'Air France et de British Airways...



L'aile gauche transpercée

Des roues arrière du train d'atterrissage gauche, qui ont transpercé l'aile (flèche rouge), il ne reste que des fragments de jantes. Cela n'a pas empêché le supersonique de revenir se poser sur l'aéroport Dulles, à Washington. Pour éviter l'incendie, la piste a été recouverte de mousse carbonique.

M. YOUNG/CORBIS-SYGMA

rage III. Celle-ci a été optimisée pour voler plusieurs heures à deux fois la vitesse du son. Mais c'est surtout dans l'agencement des systèmes que la filiation militaire se manifeste, notamment dans la position des trains d'atterrissage et la juxtaposition des réacteurs. Avec les faiblesses révélées par le drame du 25 juillet dernier.

D'ailleurs, un expert français, qui préfère conserver l'anonymat, estime qu'aujourd'hui « aucun avion commercial ne pourrait obtenir son certificat de navigabilité avec deux réacteurs accolés et fixés directement sous chaque aile ». S'ils permettent de s'adapter à la faible envergure de la voilure, ils augmentent le risque qu'une avarie, telle qu'une explosion, sur l'un des moteurs se répercute sur l'autre. Le fait que les réacteurs soient pla-

qués sous l'aile, au lieu d'en être séparés par un pylône de suspension, accroît le risque qu'un dommage se propage à l'aile, donc aux réservoirs de carburant qui en occupent la majeure partie. Affirmations que conteste le porte-parole de la DGAC pour qui la certifica-

augmente les risques de voir un dommage subi par les pneus et les roues provoquer des dégâts sur les réacteurs. Ou, on l'a vu, sur les réservoirs de carburant eux-mêmes.

En 1979, les autorités aériennes ont péché par optimisme en ne tirant pas les leçons de l'incident du

On a péché par optimisme en ne tirant pas les leçons du 14 juin 1979

tion visé justement à prouver que de telles conséquences sont rendues impossibles, compte tenu de la structure de l'avion. Ce qui a été fait pour Concorde en son temps. Nul ne peut nier, en revanche, que la position de chaque train d'atterrissage principal, situé à proximité des entrées d'air des réacteurs,

14 juin. Leur prise de conscience rétrospective des risques encourus, à la suite de la catastrophe de juillet dernier, les a conduites à édicter la mesure radicale de suspension du certificat de navigabilité. Selon les critères de sécurité, Concorde ne peut plus être autorisé à transporter de passagers.

Plus vite que

Les nouvelles expériences qui défient Einstein

Deux équipes de chercheurs, l'une italienne et l'autre américaine, viennent d'observer de la lumière filant plus vite que la lumière.

Albert Einstein nous avait pourtant garanti que cela n'arriverait jamais. Toute la physique moderne menace maintenant de s'écrouler....



la lumière



Einstein s'est-il trompé ? Va-t-il falloir réécrire tous les livres de cours ? Sommes-nous au bord d'un fantastique bouleversement qui va changer le visage de la physique du xxi^e siècle ? *Nature* et *Physical Review Letters*, deux des plus prestigieuses revues scientifiques mondiales, viennent de publier deux expériences dont les conséquences pourraient être révolutionnaires : on vient de voir de la lumière filer plus vite que la lumière !

La première expérience a été décrite en mai dans la revue *Physical Review Letters* (1). Trois chercheurs italiens de l'Institut de recherche sur les ondes électromagnétiques de Florence y expliquent comment ils ont vu un signal lumineux leur passer sous les yeux à la vitesse de 600 000 kilomètres par seconde (600 000 km/s) ! Ce qui est deux fois plus rapide que la lumière, dont la vitesse ne peut théoriquement pas dépasser 300 000 km/s...

La seconde expérience, publiée en juillet par la revue *Nature* (2), est plus impressionnante encore. Trois chercheurs de l'institut de recherche de NEC, à Prin-

ceton (New Jersey, Etats-Unis), ont en effet chronométré un signal lumineux à la vitesse de 99 millions de km/s ! Le record est pulvérisé...

Pourtant, ces deux expériences semblent tout ce qu'il y a de plus classique. Pour observer leur phénomène supralumineux, les Italiens Daniela Mugnai, Anedio Ranfagni et Rocco Ruggeri ont simplement posé en face d'un miroir arrondi une lampe à micro-ondes munie d'un cache ne laissant passer qu'un fin anneau de lumière. « Idéalement, notent les chercheurs dans leur publication, chaque point de la fente se comporte comme une source de lumière que le miroir transforme en ondes planes, se déplaçant suivant un même angle autour de l'axe central. » (Voir page suivante Expérience n° 1). Ces ondes réfléchies interfèrent alors entre elles pour former un cône dont le sommet se trouve sur l'axe central. Au fur et à mesure que les ondes planes avancent, ce cône lumineux se déplace le

.....
(1) Vol. 84, p. 4830.

(2) Vol. 406, p. 277.

long de l'axe en rétrécissant, pour disparaître un mètre plus loin environ. En plaçant un récepteur à différents endroits sur cet axe central, les chercheurs mesurent alors la vitesse de déplacement du sommet du cône. Et cette vitesse est largement supérieure à celle de la lumière...

Les Américains Lijun Wang, Alexander Kusmich et Arthur Dogariu ont, eux, envoyé une impulsion lumineuse à l'intérieur d'une cellule cylindrique qui contient un milieu gazeux à base d'atomes

de césum (voir page ci-contre Expérience n° 2). L'intensité de cette impulsion dessinant une forme de cloche, les chercheurs mesurent le temps que met le sommet de cette "cloche" pour traverser le cylindre. Rien de plus classique, en somme!

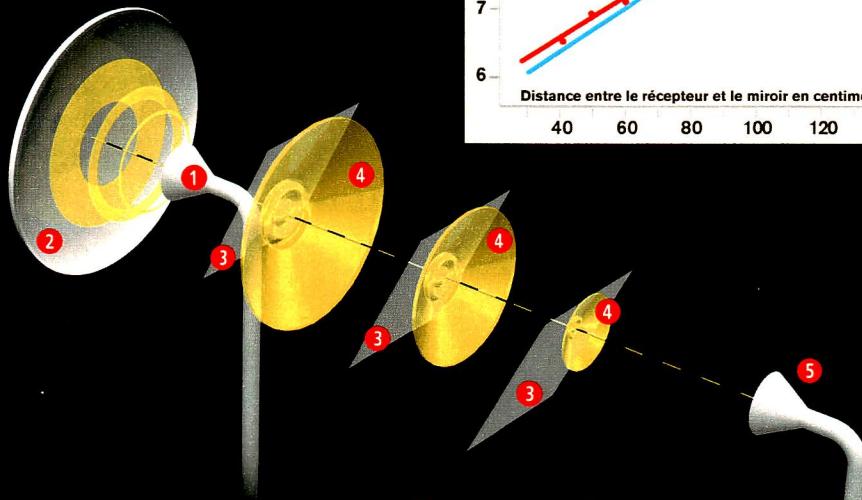
Le résultat, pourtant, l'est moins... Le sommet de l'impulsion a en effet parcouru les 6 cm de la cellule en 330 fois moins de temps qu'il ne faudrait à la lumière dans le vide pour le faire...

UN SIGNAL QUI REMONTE LE TEMPS

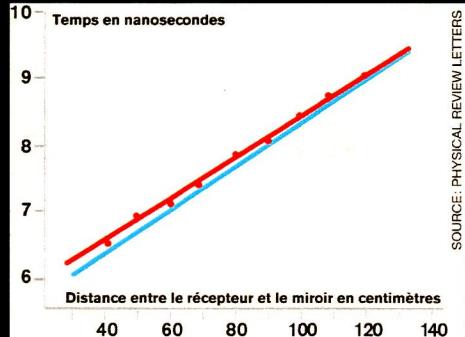
Les courbes publiées par *Nature* (voir Expérience n° 2) comparant le temps d'arrivée de l'impulsion envoyée à travers la cellule avec celui d'une impulsion de référence qui voyage dans le vide sont élo-

EXPÉRIENCE N° 1

Le cône des Italiens



Un fin anneau de lumière est émis par une lampe 1 vers un miroir 2 de telle façon que chaque point lumineux de cet anneau se transforme, après réflexion, en une onde plane 3 qui se déplace suivant un plan incliné par rapport à l'axe de l'expérience. Ces ondes planes interfèrent entre elles en un cône 4 qui glisse le long de l'axe. Un récepteur 5, placé à différentes distances du miroir, mesure les temps d'arrivée du sommet de ce cône (figurés sur le graphique ci-dessus par la droite rouge). En comparant ces chronométrages avec ceux d'une onde lumineuse classique (droite bleue), il n'y a pas de doute possible: le sommet du cône va plus vite que la lumière...

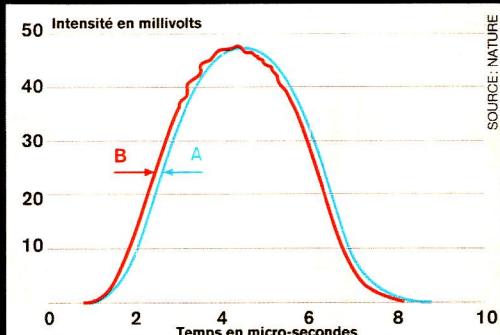


SOURCE: PHYSICAL REVIEW LETTERS

EXPÉRIENCE N° 2

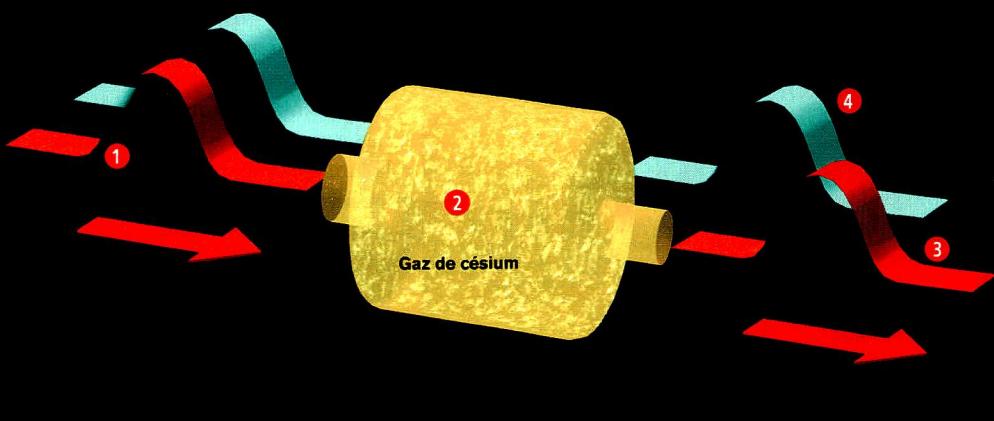
L'onde des Américains

Une impulsion lumineuse dont l'intensité dessine une forme de cloche (1) est envoyée au travers d'une cellule (2) qui contient du gaz de césum. En comparant le temps que prend l'impulsion lumineuse pour sortir de la cellule (3) et courbe B, ci-contre) avec le temps que prendrait une impulsion de référence voyageant à la vitesse de la lumière pour faire le même parcours (4) et courbe A), on constate que l'impulsion lumineuse est allée plus vite que la lumière. Sa vitesse atteint même 99 millions de km/s!



SOURCE: NATURE

G.M.



quentes: la lumière a indubitablement filé plus vite que la lumière.

Il est facile de ralentir la lumière: il suffit de la plonger dans l'eau pour qu'elle ne voyage plus qu'à 225 000 km/s. Une physicienne danoise a même récemment réussi à lui imposer un train de tortue de 1,6 km/h. Mais, d'après les sacro-saintes lois de la relativité restreinte, gravées au début du xx^e siècle par le jeune génie allemand et scrupuleusement respectées jusqu'à aujourd'hui, la vitesse de la lumière ne peut en aucun cas dépasser celle qu'elle a dans le vide, lorsque rien ne ralentit sa course. Cette vitesse limite est notée c , et aucun objet, aucune particule, aucun signal, aucune information ne peut théoriquement aller plus vite.

« Les manuels affirment que rien, même la lumière, ne peut aller plus vite que la lumière, commente le chercheur britannique Jon Marangos, dans son article ac-

compagnant la publication de *Nature*. Les nouvelles expériences montrent que cela n'est plus vrai aujourd'hui. »

Le commentaire est laconique, mais les conséquences sont révolutionnaires: d'après les équations de la relativité, qui entremêlent l'espace et le temps (voir p. 71), un signal qui file plus vite que la lumière peut être vu par certains observateurs comme remontant le temps. « En

Une expérience des plus classiques, un résultat sidérant

pratique, écrit dans *Nature* Lijun Wang, responsable de l'équipe américaine, cela signifie que l'impulsion lumineuse arrive tellement tôt à la sortie de la cellule que le sommet de l'impulsion semble sortir avant d'y être entré. » L'effet (la sortie du

Plus vite que la lumière



signal de la cellule) paraît donc précédé la cause (son entrée à l'autre bout). Le principe de causalité est violé. Le futur peut modifier son passé, et le fils peut tuer ses aieux avant sa propre naissance... Ces dramatiques paradoxes spatio-temporels font trembler toute la physique.

Pire: les résultats de ces expériences

restreint... qui interdit toute infraction supraluminique. La physique est confrontée à de terribles contradictions.

Les chercheurs, pourtant, n'osent affronter les paradoxes engendrés par leurs propres expériences: « La propagation supraluminique observée n'est pas en contradiction avec la causalité », note ainsi Lijun Wang. « La question de savoir si la vitesse que l'on a mesurée correspond ou non à la vitesse du signal est un point délicat », souligne quant à elle Daniela Mugnai, responsable de l'équipe italienne. Alors? La révolution est-elle ou non à l'horizon?

En fait non. Il n'y a pas de révolution. Les deux phénomènes paradoxaux ne sont que des tours de prestidigitation dissimulés, avec plus ou moins de finesse et de bonne foi, derrière la complexité d'un dispositif expérimental. Aucune particule de lumière ne s'est réellement déplacée plus vite que la lumière. Aucun signal, aucune énergie, aucune information. On voit certes "quelque chose" bouger, mais ce n'est justement pas une chose. Ce n'est rien. Rien de physique. Juste une illusion.

ILLUSION N° 1

Pour déterminer la vitesse des vagues, il suffit de mesurer la distance entre deux crêtes dans la direction du déplacement de l'onde ①. Si la mesure est faite suivant un autre axe ②, la distance est plus grande, donc la vitesse apparaît supérieure. C'est ce dernier type de mesure illusoire qu'ont réalisé les Italiens...



P. BOURRELLER/ALTIITUDE

étaient prédits par la théorie! Les équations électromagnétiques prévoient en effet l'apparition du cône lumineux des Italiens – phénomène connu depuis la fin des années 80 sous le nom de "rayon de Bessel" – qui ne peut théoriquement se déplacer qu'à une vitesse supérieure à c . Pour l'expérience américaine, la vitesse du sommet du paquet de lumière est déterminée par l'indice de réfraction du milieu qu'il traverse. Or, l'indice de la cellule a été soigneusement ajusté par les chercheurs de façon que, théoriquement, le sommet se déplace à 310 fois c ... Aux erreurs expérimentales près, les résultats sont donc en accord avec la théorie électromagnétique, elle-même en symbiose avec la théorie de la relativité

UN EFFET GÉOMÉTRIQUE

L'astuce du tour de prestidigitation des Italiens est un peu grossière. Les seuls objets physiques qui se déplacent lors de leur expérience sont en effet les ondes planes réfléchies par le miroir. Ces ondes ne vont qu'à la vitesse de la lumière, mais se déplacent en biais par rapport à l'axe central. L'effet est donc purement géométrique: chronométrer le déplacement du sommet du cône le long de cet axe revient à mesurer la vitesse des vagues suivant un axe placé en biais par rapport à la plage (voir l'illustration ci-contre). La vitesse mesurée peut être énorme, mais elle ne correspond à la vitesse d'aucune goutte d'eau.

Richard Ziolkowski, de l'université d'Arizona, avait travaillé sur ce phénomène à la fin des années 80. Interrogé par *Science & Vie*, il n'est pas surpris par les résultats des Italiens: « Le pic d'interférence voyage réellement plus vite que c , explique-t-il. C'est comme s'il surfait sur les ondes. Malheureusement – ou heureusement – les ondes planes arrivent au détecteur avant le pic d'interférence... Aucune information n'a

donc réellement voyagé plus vite que c . » Les chronométrages de l'expérience le confirment (voir Expérience n° 1) : l'interférence (droite rouge) va plus vite que la lumière (droite bleue), mais elle arrive toujours en retard. De même, un message dans une bouteille jetée à la mer n'atteindra pas le rivage plus vite s'il se déplace de travers par rapport aux vagues.

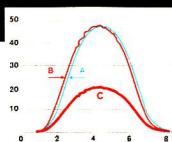
À LA LIMITÉ DU TOUR DE MAGIE

« L'expérience de Wang et de ses collègues américains est plus subtile, considère le physicien Michel Brune, de l'Ecole normale supérieure de Paris. Leurs résultats sont contraires à l'intuition, mais ils ne prétendent pas faire autre chose que de l'électromagnétisme normal. Ils tentent juste de se mettre le plus près possible de la frontière où ça pourrait paraître mystérieux. » Une astuce leur permet alors de faire passer leur tour de prestidigitation pour un tour de magie...

Cette astuce est discrètement révélée au milieu de la publication : seuls 40 % de l'impulsion lumineuse sont en fait passés au travers de la cellule, le reste étant absorbé par le gaz de césum. « En comparant à la même échelle l'impulsion envoyée à travers la cellule avec l'impulsion de référence qui a voyagé dans le vide, explique Michel Brune, l'illusion se dissipe immédiatement : il n'y a pas eu de propagation supraluminique. » Lorsqu'elle passe à travers la cellule, l'impulsion lumineuse se transforme en effet en une impulsion plus petite dont le centre se trouve décalé par rapport à celui de l'impulsion de référence, comme si c'était principalement la première partie du message lumineux qui était passée. Le sommet du paquet de lumière est logique-

J. FREUND/JACANA

La lumière est en partie absorbée dans l'eau, comme à l'intérieur de la cellule des Américains. Sur le graphique publié par *Nature* (voir p. 63), l'impulsion représentée par la courbe B semble aller plus vite que la lumière. L'astuce a consisté à changer l'échelle de cette courbe. La vraie mesure est la courbe C (ci-dessous), qui ne viole aucune loi.



ge pas la forme globale de l'impulsion qui la traverse. Et leur grande malice (ou celle de la revue *Nature*) a été de représenter sur un même tableau, mais à des échelles différentes, l'impulsion réduite et l'impulsion de référence... Mais n'est-ce pas le propre des illusionnistes que de cacher leur truc ?

Le propre d'une illusion, c'est aussi de disparaître une fois dévoilée. Ces deux expériences ne feront donc pas la révolution. « En dépit de tous les efforts pour prouver qu'il a tort, constate Richard Ziolkowski, Einstein a encore raison. » Le motif de cette limitation universelle de vitesse est le plus souvent mal compris par les physi-

ILLUSION N° 2



cens eux-mêmes (voir p. 71), mais cette limitation est profondément inscrite dans la structure de l'Univers. Einstein et la vitesse de la lumière ne sont pas dépassables.

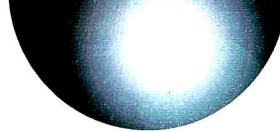
Ces expériences devraient toutefois pousser les rédacteurs des manuels de physique à plus de précision lorsqu'ils affirment que « rien ne peut aller plus vite que la lumière ». Le « rien » est un peu vague : le cône des Italiens ou le sommet de la cloche des Américains sont des objets mesurables, dont la vitesse excède réellement c . Mais (et c'est ce qui permet de distinguer ces objets chimériques des objets physiques classiques), personne ne peut utiliser leur déplacement pour envoyer un message supraluminique.

Force est de constater qu'Einstein a encore raison

ment mesuré à une vitesse supraluminique, mais comme on le voit en observant la courbe C dans l'illusion n° 2, rien n'a réellement été plus vite que la lumière.

Le grand talent des chercheurs a consisté à mettre au point une cellule qui ne chan-

Plus vite que la lumière



Impossible en effet d'envoyer un message supraluminique en utilisant le cône d'interférence, puisque ce cône arrive toujours après les ondes lumineuses qui l'engendrent. Impossible aussi d'utiliser le sommet de la cloche comme messager puisque son décalage lors de la traversée de la cellule ne correspond, au bout du compte, qu'à l'absorption d'une partie de l'intensité lumineuse. Afin d'éviter les confusions, il serait donc mieux d'écrire qu'« aucune information ne peut voyager plus vite que la lumière ».

CRUELLE DÉCEPTION

Cette limitation de vitesse est une cruelle déception pour l'humanité. La lumière de l'étoile la plus proche met plus de quatre ans pour venir jusqu'à nous. Rien ne pouvant aller plus vite, seule la proche banlieue de la Terre est à notre portée. Les voyages dans l'Univers, dont l'immensité ne pourrait se parcourir qu'à des vitesses supraluminiques, nous sont-ils à jamais interdits? Pas obligatoirement. Si on ne peut filer plus vite que la lumière, on peut peut-être

A QUI LA FAUTE ?

PUBLICATIONS ABUSIVES

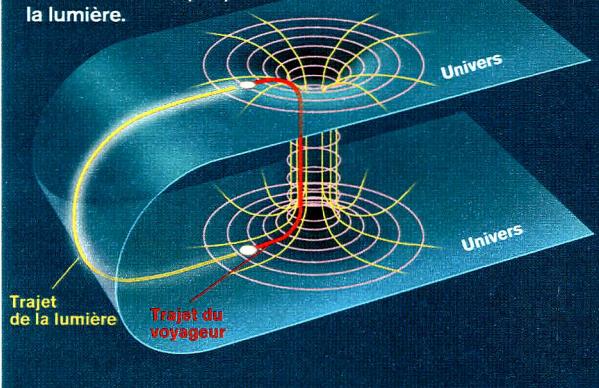
■ "Escroquerie", "supercherie", "piège à journaliste", le jugement des physiciens interrogés sur les deux expériences est sans appel. Quelles étaient donc les réelles motivations des chercheurs?

Daniela Mugnai s'étonne de la question: « Nous sommes des chercheurs et notre seule motivation est de chercher, rien de plus et rien de moins. » Lijun Wang, lui, est fâché contre les journalistes qu'il accuse de n'avoir rien compris à l'objet de son travail: son but n'était pas la propagation supraluminique, affirme-t-il, mais la transformation des longueurs d'ondes d'un rayon de lumière, un problème particulièrement intéressant pour les télécommunications, mais qui ne remet en cause

aucune loi de la physique. Ce malentendu, qui a fait la une du *Washington Post* et du *Sunday Times*, est-il à mettre sur le compte des journalistes, alors que Lijun Wang parle lui-même de « propagation supraluminique de lumière » dans le titre de sa publication et cache ensuite consciencieusement les explications de son illusion? Les responsables de ce malentendu sont plus probablement les prestigieuses revues *Nature* et *Physical Review Letters*. Les arguments scientifiques ne sont pas seuls en jeu lors de la publication de ces articles. Il est tout simplement important pour une grande revue d'être citée dans les médias. Et il est fascinant pour les médias de jouer avec la vitesse de la lumière...

En prenant un raccourci...

Une forte densité de matière peut créer un trou qui relie deux points éloignés de l'Univers. Un courageux voyageur qui oserait s'y aventurer atteindrait sa destination en moins de temps que la lumière.



tout de même arriver avant elle à destination... en prenant un raccourci. Selon la théorie de la relativité générale, écrite dix ans après la théorie de la relativité restreinte par le même Albert Einstein, l'Univers n'est en effet pas plat, mais plié en permanence par la présence de matière. Ces déformations de la structure de l'Univers, si elles sont assez profondes, peuvent engendrer un trou. Un trou qui relie deux lieux éloignés de l'espace (voir figure ci-contre). Celui qui traverserait ces trous se retrouverait immédiatement à une distance que la lumière ne peut parcourir qu'en plusieurs milliards d'années. Les plans d'audacieuses machines supraluminiques respectant les lois de la relativité peuvent ainsi être échafaudés. Il faut bien garder quelques illusions... ■

Petit tour d'horizon des illusions lumineuses

Méfiez-vous des apparences ! Comme le montrent les deux expériences récentes décrites dans les pages précédentes, de nombreux phénomènes naturels filent réellement plus vite que la lumière. Pourtant, ils ne sont pas en contradiction avec les lois de la relativité d'Einstein puisqu'ils ne correspondent au déplacement d'aucun objet physique. En pratique, aucun de ces phénomènes ne peut être utilisé par un individu situé en un point A pour envoyer une information vers un point B à une vitesse supraluminique. Si vous voyez "quelque chose" aller plus vite que la lumière, ne soyez pas dupe : c'est juste une illusion ! .



L'ILLUSION DES ÉTOILES

Couchez-vous la nuit sur le sol et observez les étoiles.

Puisque la Terre tourne sur elle-même, les étoiles vont sembler bouger dans le ciel.

Mathématiquement, celles qui sont situées à plus de 5 milliards de kilomètres vont donner l'impression de se déplacer plus vite que la lumière.

Cela étant, attention : vous ne pouvez mesurer une vitesse en étant vous-même en rotation.

Si le mouvement de la Terre par rapport aux étoiles vous est imperceptible, il n'en fausse pas moins votre calcul.

Plus vite que la lumière



L'ILLUSION DES ÉQUATIONS

Contrairement à ce qui est affirmé ici – et dans tous les manuels de physique –, les équations de la relativité restreinte autorisent l'existence de particules supraluminiques, les tachyons... Leur vitesse est même toujours supérieure à 300 000 km/s, la vitesse limite théorique appelée c ! Seul problème, le carré de la masse de ces particules doit être un nombre négatif.

Cela signifie que la masse d'un tachyon n'est pas un nombre réel, mais un nombre imaginaire. S'il existe, le tachyon à masse "imaginaire" peut alors avoir un niveau d'énergie infiniment bas. Par conséquent, il serait théoriquement possible d'y puiser une énergie infinie. Or, il ne peut exister une telle source inépuisable d'énergie dans l'Univers. La plupart des physiciens considèrent donc que le tachyon ne peut pas exister.

Mais même s'il existait, il ne ferait que confirmer la théorie de la relativité...

L'ILLUSION DU TUNNEL

L'effet tunnel est l'une des plus étranges prédictions de la théorie quantique. Il permet à une particule d'apparaître de l'autre côté d'une barrière d'énergie qu'elle n'aurait jamais pu franchir selon les lois classiques. Ainsi, un ballon envoyé contre un mur peut éventuellement passer au travers!

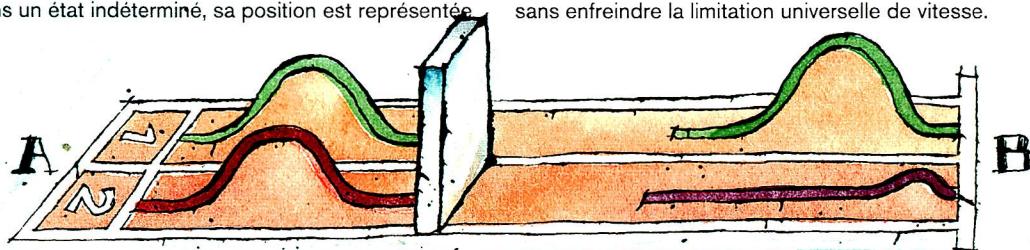
Au début des années 90, le physicien américain Raymond Chiao et son équipe de l'université de Californie, à Berkeley, se demandent à quelle vitesse le ballon traverse le mur. Les ballons étant trop gros pour être régis par les lois quantiques, les chercheurs utilisent des particules de lumière.

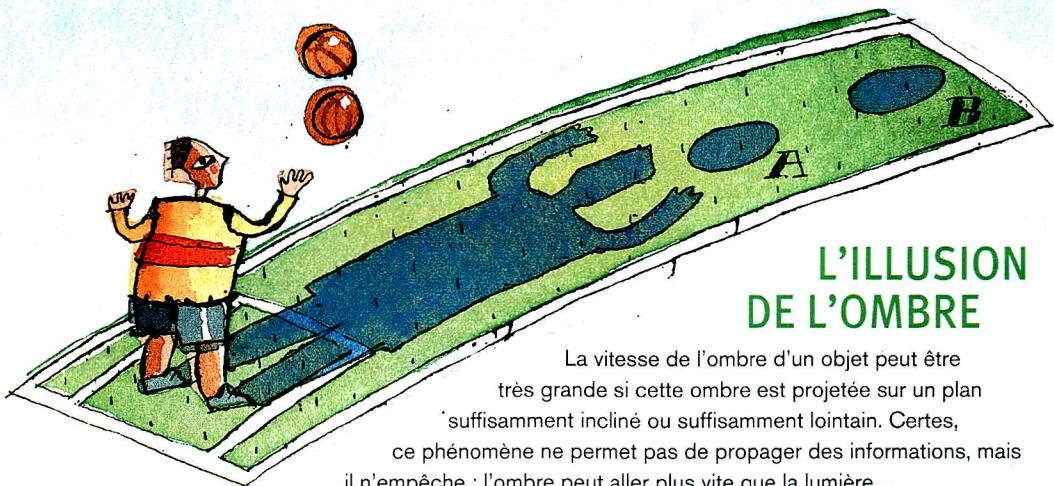
Pendant plusieurs jours, ils organisent des courses entre deux photons sur un coin de table. Le premier file à l'air libre, tandis que le second a un miroir sur son chemin. Cependant, grâce à l'effet tunnel, le second passe au travers du miroir environ une fois sur cent... et gagne alors généralement la course. La vitesse moyenne de traversée du miroir mesurée par les chercheurs américains est en effet supérieure à 500 000 km/s!

Ici, l'astuce est d'ordre quantique. Le photon étant dans un état indéterminé, sa position est représentée

par une onde de probabilité figurée par une courbe en forme de cloche. Il a davantage de chances de se retrouver au sommet de la cloche, mais il peut aussi être localisé sur les bords. Si l'on compare les ondes de probabilité des deux photons à la fin de la course, l'illusion se dissipe immédiatement: la *photo-finish* montre que les fronts des deux ondes franchissent la ligne d'arrivée exactement en même temps. Néanmoins, l'onde qui a traversé le miroir étant réduite à cause de l'effet tunnel, son sommet est effectivement en avance par rapport à celui de sa concurrente.

«Tout se passe comme s'il fallait du temps au photon pour se rendre compte qu'il y a un miroir...», explique le physicien français Michel Brune. La partie avant de la cloche profite de ce court temps d'inattention du photon pour passer de l'autre côté du miroir. Seul le photon potentiellement en avance par rapport au sommet de la courbe a donc effectivement traversé le tunnel, les autres ont été renvoyés par réflexion. Ce photon en avance au départ arrive logiquement en avance à l'arrivée... Et gagne la course sans enfreindre la limitation universelle de vitesse.





L'ILLUSION DE L'OMBRE

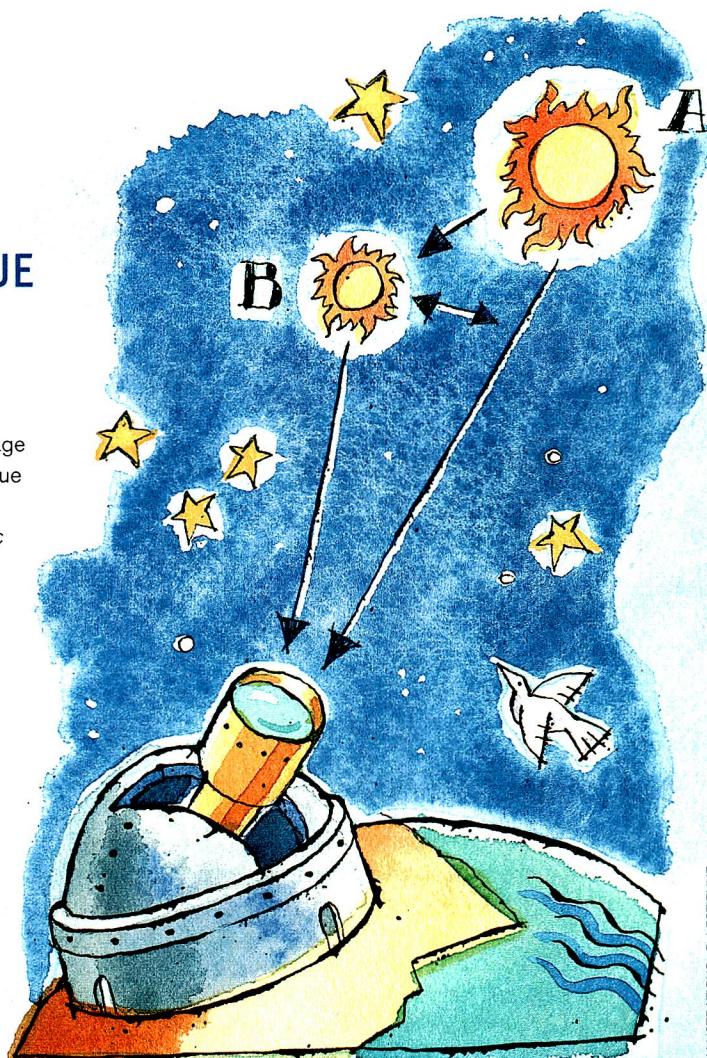
La vitesse de l'ombre d'un objet peut être très grande si cette ombre est projetée sur un plan suffisamment incliné ou suffisamment lointain. Certes, ce phénomène ne permet pas de propager des informations, mais il n'empêche : l'ombre peut aller plus vite que la lumière...

L'ILLUSION DU NUAGE GALACTIQUE

En 1969, des astronomes observent un nuage de gaz filant plus vite que la lumière. Rien de grave cependant, cette illusion a été prévue par calcul trois ans auparavant. En effet, ce nuage de gaz, expulsé par un objet galactique quelconque, voyage en direction de la Terre à une vitesse proche de c (mais évidemment inférieure).

Au fur et à mesure qu'il se rapproche, la lumière qu'il émet a besoin de moins en moins de temps pour nous parvenir. En conséquence, vues de la Terre, les images du nuage de gaz et de l'objet galactique qui l'a expulsé sont reçues en même temps, mais attention : en réalité, l'image du nuage de gaz a été émise après celle de l'objet galactique.

Ce décalage fausse les calculs. C'est pourquoi la vitesse du nuage de gaz apparaît supérieure à c .



ILLUSTRATIONS : P. LESTIENNE

Plus vite que la lumière

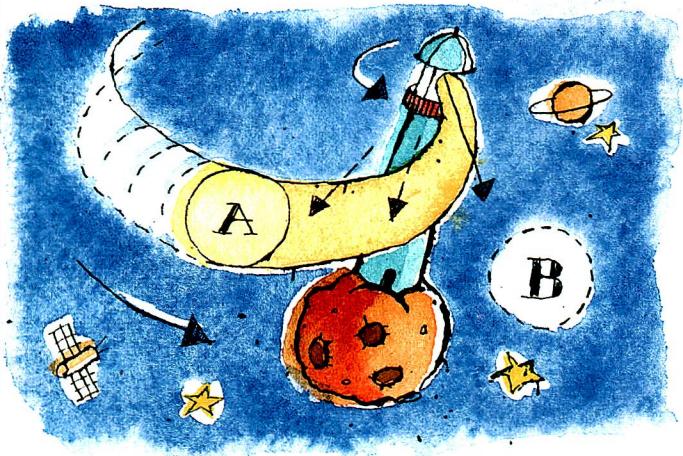
L'ILLUSION DES PARTICULES JUMELLES

En 1935, les chercheurs Albert Einstein, Boris Podolsky et Nathan Rosen remarquent que la physique quantique permet de produire des particules jumelles qui, malgré la distance, restent intimement corrélées : toute mesure effectuée sur l'une est immédiatement "ressentie" par l'autre, quelle que soit la distance qui les sépare... C'est le paradoxe EPR.

Il est ainsi possible de générer deux particules dont les *spins* – propriétés quantiques comparables à la direction de rotation d'une particule – sont opposés. Si un individu mesure le *spin* d'une des deux particules selon un certain axe, alors le *spin* de la particule jumelle mesuré selon le même axe est



immédiatement déterminé en sens inverse. Une information semble donc se propager instantanément entre les deux particules. Pourtant, en pratique, il est impossible d'utiliser ce système pour diffuser une information plus vite que la lumière. En effet, le premier individu ne peut connaître à l'avance dans quel sens il va mesurer le *spin*, il ne peut donc pas contrôler l'information qu'il souhaiterait envoyer. En réalité, aucune information n'a eu besoin de se propager entre les deux particules : quelle que soit la distance qui les sépare, elles ne forment qu'un seul et même objet quantique.

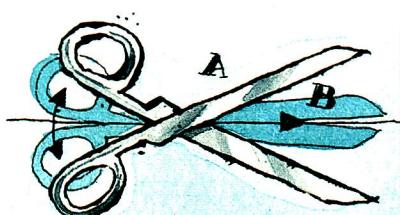


L'ILLUSION DU PHARE

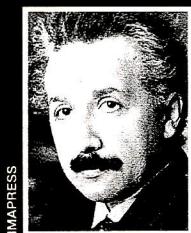
Imaginez un phare cosmique juché sur un astéroïde qui éclaire l'Univers. La trace tournoyante de ce signal projetée sur les lointaines galaxies atteint des vitesses qui dépassent aisément c . Pourtant, aucune loi de la relativité n'est violée. En effet, les seuls objets qui se déplacent réellement sont les particules de lumière qui jaillissent en ligne droite du phare à la vitesse de la lumière. Les lointaines galaxies éclairées par le flux lumineux sont comme les ampoules des guirlandes de Noël, dont les allumages successifs donnent l'impression de mouvement.

L'ILLUSION DES CISEAUX

Lorsque vous refermez violemment une paire de ciseaux, la vitesse du point d'intersection des deux branches, qui se déplace le long de l'axe des ciseaux, est liée à la force avec laquelle vous effectuez ce geste. Elle peut même être supérieure à c . Ce point d'intersection en mouvement ne correspond à aucun objet physique, sa vitesse potentiellement supraluminique ne viole donc aucune loi.



Tout est relatif, absolument tout !



IMAPRESS

Réussira-t-on un jour à dépasser Einstein et la vitesse de la lumière ? Cette question révèle un profond malentendu. La théorie de la relativité restreinte, née au début du siècle, n'a toujours pas trouvé la place qui lui revient au cœur de la physique. Le xx^e siècle est finalement passé à côté d'Einstein.



Pourquoi la vitesse de la lumière ne peut-elle être dépassée ? Pourquoi tant de physiciens sont-ils persuadés que jamais personne ne verra un objet se déplacer plus vite ? Certes, la théorie de la relativité restreinte d'Einstein l'affirme, mais qu'est-ce qui nous garantit que le génial physicien ne s'est pas trompé ? Il n'y a pas de certitude en physique. Toutes les affirmations peuvent un jour être invalidées par une observation contradictoire. Certains physiciens refusent d'ailleurs d'accepter ce dogme et tentent de dé-

passer la vitesse déclarée limite absolue (voir articles précédents). Si jusqu'à maintenant, ils ont tous échoué dans leur tentatives supraluminiques, pourquoi ne réussiraient-ils pas, un jour, à dépasser Einstein et la vitesse de la lumière ? En fait, il s'agit d'un malentendu. Un malentendu véhiculé par la plupart des manuels de physique et la majorité des physiciens eux-mêmes. Un malentendu né au début du siècle et qui, depuis, ne s'est toujours pas dissipé, comme le montrent les récentes expériences supraluminiques.

Plus vite que la lumière

La théorie de la relativité restreinte n'est pas ce que l'on croit. Elle n'est pas qu'une théorie, mais beaucoup plus que cela.

Ce malentendu trouve directement son origine dans l'article écrit par Albert Einstein en 1905 dans la revue *Annalen der Physik*. Le physicien de 26 ans y dresse en effet les plans de sa théorie de la relativité restreinte en admettant un insolite postulat : il part du principe que la vitesse de la lumière dans le vide est constante, quelle que soit la vitesse de l'observateur qui la mesure. Il ne justifie pas cette étrange propriété, mais s'appuie sur elle pour construire l'ensemble de sa théorie. Celle-ci, qui à l'origine ne concerne que les phénomènes électromagnétiques, prend rapidement de l'ampleur pour finalement régir l'ensemble des phénomènes physiques, des interactions nucléaires à la gravité, des atomes aux étoiles.

La situation est un peu gênante. La lumière est un phénomène électromagnétique particulier, il serait donc étonnant que les effets de sa vitesse se fassent sentir

E. HIRONAKA/IMAGE BANK



Hypothèse ou conclusion ?

Selon les lois de la relativité, la lumière des phares est toujours mesurée à la même vitesse, que les voitures s'éloignent ou se rapprochent de l'observateur. Mais cette propriété de la lumière est-elle une hypothèse de la théorie d'Einstein, ou une conclusion ?

partout, même là où elle n'intervient pas... Mais, surtout, les principes sur lesquels se fondent les théories physiques sont généralement des propriétés de la nature que tout le monde s'accorde à ne pas remettre en cause. C'est loin d'être le cas du postulat d'Einstein...

En effet, comment accepter l'idée que la vitesse de la lumière dans le vide soit invariante ? Normalement, les vitesses varient en fonction de la façon dont elles sont mesurées. Ainsi, lorsque les gendarmes mesurent, grâce à un radar embarqué, la vitesse d'une automobile en train de les doubler, ils sont obligés de prendre en compte la vitesse de leur propre véhicule. La vitesse de l'automobile, que les gendarmes vont calculer à partir des informations communiquées par le radar, n'est évidemment pas la même selon qu'ils sont à l'arrêt ou à 130 km/h...

Et pourtant, le jeune Albert nous affirme que quelles que soient la vitesse de l'observateur et celle de la source lumineuse qui l'émet, la lumière dans le vide a toujours la même vitesse ! Difficile de croire en la vérité d'une si étrange hypothèse. Difficile d'accepter qu'une théorie basée sur un postulat aussi surréaliste



1^{er} PRINCIPE

Relativité

« Il existe des référentiels équivalents dans lesquels les lois de la nature s'expriment de la même façon. » Selon ce premier principe, il n'y a donc pas de référentiel absolu. Autrement dit, lorsque des pommes sont lâchées dans des conditions similaires, elles chutent toutes de la même façon.

puisse prétendre régir tout notre Univers.

Mais, et c'est justement là qu'est le malentendu, l'hypothèse qui dérange n'est pas nécessaire. Toute la théorie d'Einstein peut se reconstruire sans utiliser ce doux postulat. Elle peut s'édifier en partant de principes beaucoup plus profonds

Reconstruire logiquement la théorie d'Einstein

et, dans cette théorie de la relativité restreinte reconstruite, l'invariance de la vitesse de la lumière n'est plus une hypothèse, mais une conclusion...

« La théorie de la relativité d'Einstein continue à être présentée par les manuels de physique telle qu'Einstein l'avait construite, explique le physicien français Jean-Marc Lévy-Leblond. Il est temps d'abandonner cette présentation chrono-logique, source de malentendus, pour privilégier une présentation plus logique. » Reconstruisons donc logiquement la théorie d'Einstein.

Le premier principe sur lequel repose la relativité restreinte est le principe de... relativité. Il affirme que sous certaines conditions, les mêmes phénomènes sont régis par les mêmes lois. Appelé principe de relativité puisqu'il met en "relation" les phénomènes équivalents de la nature, il aurait aussi pu être baptisé "principe d'absolu", puisqu'il cherche à définir ce qui est immuable.

UN PUR ACTE DE FOI

Prenez, par exemple, une pomme dans la main, suspendez-la immobile à la verticale de vos pieds, et lâchez-la. Que va-t-il se passer ? Intuitivement, vous le savez : la pomme va venir s'écraser sur vos pieds. Mais d'où vient cette certitude ? Comment pouvez-vous prévoir une telle chute, alors que vous n'avez jamais laissé tomber cette même pomme en ce même endroit et à ce même instant ?



2^e PRINCIPE Homogénéité

« Les lois de la nature ne dépendent ni de l'endroit, ni du moment où elles s'expriment. » Selon ce second principe, il n'y a pas de position ni de moment absolus. Autrement dit, si les mêmes conditions sont reproduites un peu plus loin et un peu plus tard, la chute de la pomme sera exactement la même.

Vous le pouvez car vous admettez le principe selon lequel la nature obéit à des lois. Lorsque sous certaines conditions, vous lâchez des pommes sur Terre, elles tombent systématiquement sur les pieds. Vous ne pouvez pas le démontrer. Croire en cette chute systématique des pommes est un pur acte de foi, une question de principe. C'est le principe de relativité qui, depuis longtemps, s'est révélé particulièrement efficace pour prédire les mouvements des pommes.

Acceptons donc ce principe. Admettons que la pomme lâchée va se comporter comme toutes les autres pommes lâchées dans des conditions similaires. Pour que ce principe soit réellement efficace, il faut définir précisément quelles sont ces « conditions similaires ». Dans quelles conditions pouvez-vous prévoir que la pomme va, à coup sûr, vous tomber sur les pieds ?

Avant toute chose, la chute d'une pomme ne semble dépendre ni de l'endroit, ni

Plus vite que la lumière

■ Lorsqu'il conçoit, en 1905, sa théorie de la relativité restreinte, Einstein ne l'applique qu'aux phénomènes électromagnétiques. Mais cette théorie étant censée régir le temps, l'espace, et tout ce qui existe dans l'espace et le temps, elle devrait concerner tous les phénomènes. Einstein tente donc immédiatement de l'appliquer à la gravitation. En 1915, il réussit enfin à étendre le champ d'application de sa théorie. Pour "relativiser" les vieilles équations de Newton, il généralise son principe de relativité en supposant que tous les référentiels sont équivalents, même ceux qui sont accélérés. Ce principe heurte le sens commun : l'accélération d'un bateau influence de façon évidente les phénomènes qui se passent à son bord. Mais dans cette "relativité générale", ce ne sont pas les lois qui varient en fonction de l'état du référentiel, mais l'espace-temps lui-même qui se déforme sous l'accélération. Einstein assimile cette déformation de l'espace-temps à la gravitation. La gravité n'est donc plus une force qui nous attire, mais un trou dans lequel on a tendance à tomber. La gravitation est devenue relativiste.

Outre l'électromagnétisme et la gravitation, les physiciens du début du siècle ont aussi prouvé l'existence des forces nucléaires faibles et fortes qui assurent la cohésion des atomes et qui sont régies par la mécanique quantique. Celle-ci n'est pas, à l'origine, relativiste : l'équation quantique fondamentale de Schrödinger,

LA PLUS UNIVERSELLE DES THÉORIES

écrite en 1926 et qui décrit le comportement des particules, est une équation galiléenne où les vitesses des particules s'additionnent classiquement. Mais, en 1928, le théoricien britannique Paul Dirac élabore la première théorie relativiste de l'électron qui permet de découvrir de nouvelles particules dont l'existence est rapidement confirmée par l'expérience. La relativité triomphe. « On peut faire un bout de chemin dans le monde quantique sans utiliser la théorie de la relativité restreinte, résume Thibault Damour, physicien à l'Institut des hautes études scientifiques. Mais on s'est rapidement aperçu qu'il y avait une profonde communion

d'âmes entre la relativité restreinte et la mécanique quantique. Et cela a rendu la théorie quantique relativiste merveilleuse. » Cette fusion concerne uniquement la relativité restreinte : la relativité générale et la mécanique quantique restent incompatibles. « Le seul espoir de réunir ces deux théories est, pour l'instant, la théorie des cordes, poursuit le chercheur français. Et cette future théorie unifiée qui s'ébauche intègre sans l'ombre d'un désaccord la théorie de la relativité restreinte. » La théorie d'Einstein qui a influencé toute la physique du XX^e siècle est donc bien partie pour sous-tendre la physique du III^e millénaire...



du moment où on la lâche. Outre le principe de relativité, il faut donc admettre un second principe, celui d'homogénéité de l'espace et du temps. Il énonce que les phénomènes se comportent de la même façon lorsque des conditions identiques

Sur Mars, les pommes tombent aussi

sont reproduites un peu plus tard dans le temps ou un peu plus loin dans l'espace. Sur Mars, les pommes tombent aussi.

On admet également un troisième principe, le principe d'isotropie, selon lequel les propriétés de l'espace sont identiques dans toutes les directions : même si tout le système physique concerné – vous, la pomme et la Terre qui l'attire – change d'orientation, la pomme continue de tomber sur vos pieds. D'ailleurs cette isotropie est constamment vérifiée puisque la Terre n'arrête pas de tourner sur elle-même...

Ces principes d'isotropie et d'homogénéité précisent les conditions d'application du principe de relativité. Ils définissent un ensemble de référentiels équivalents dans lesquels les lois de la nature s'expriment de la même façon. Les trois principes sont nécessaires à toute démarche scientifique et garantissent que les résultats obtenus en laboratoire sont reproductibles à une autre époque et à un autre endroit, avec des appareils disposés différemment.

Au XVII^e siècle, Galilée découvre une nouvelle classe de référentiels équivalents, dont l'existence est moins évidente. Le savant italien explique qu'un bateau qui file à vitesse constante en pleine mer est soumis aux mêmes lois que lorsqu'il est immobile dans le port. Effectivement, dans les deux cas, les pommes lâchées à bord tombent sur les pieds. Par conséquent, deux référentiels qui ont des vitesses constantes l'un par rapport à l'autre sont équivalents (1).

Mais attention, tous les référentiels ne le sont pas. Si vous prenez un bateau puis-



sant et que vous lâchez le fruit lors du démarrage, l'accélération du navire va influencer la trajectoire de la pomme qui, cette fois, vous tombera sur le ventre. La loi de la chute de la pomme sur un bateau qui accélère est différente. Deux référentiels accélérés l'un par rapport à l'autre ne sont donc pas équivalents.

L'INTUITION DU GENDARME

Ainsi, grâce aux trois principes admis, on sait que les référentiels "translatés" dans le temps et l'espace, tournés dans une autre direction ou bougés à vitesse constante sont équivalents. Mais connaître les référentiels équivalents n'est pas suffisant pour fonder une physique : il faut encore que ces référentiels soient connectés entre eux.

Reprendons l'exemple des gendarmes qui roulent à vitesse constante V_1 par rapport à la route et qui voient un automobiliste les doubler. Le radar embarqué leur indique que la vitesse de cette automobile par rapport à eux est constante et égale à V_2 . Les trois principes fondamentaux admis jusqu'ici permettent aux gendarmes de savoir que les deux voitures sont des référentiels équivalents. Certes. Mais cela est insuffisant pour espérer infliger une quelconque contravention ! Pour éventuel-

3^e PRINCIPE

Isotropie

« Les lois de la nature ne dépendent pas de la direction dans laquelle elles s'expriment. » Selon ce troisième principe, il n'y a donc pas d'orientation absolue. Autrement dit, la chute de la pomme est la même aux antipodes.

(1) Il est cependant inutile d'admettre ici un quatrième principe pour cette équivalence, car elle se démontre à partir des principes déjà admis.

Plus vite que la lumière

lement dresser un procès-verbal, les gendarmes doivent en effet calculer la vitesse V_3 de l'automobile par rapport à la route. Pour ne pas être enfermé dans un seul point de vue, il faut connaître ces règles de passage entre référentiels équivalents.

Intuitivement, les gendarmes additionnent les deux vitesses : $V_3 = V_2 + V_1$ (la vitesse de l'automobile par rapport à la route est égale à la vitesse de l'automobile par rapport aux gendarmes ajoutée à la vitesse des gendarmes par rapport à la route). C'est ainsi que Galilée conseillait de composer les vitesses. Mais même si cette méthode est conforme à notre intuition et à notre expérience courante, il n'est pas évident, *a priori*, qu'il faille utiliser l'addition classique pour composer deux vitesses. Pourquoi ne serait-ce pas autre chose ? Ici, ce n'est pas une question de principe.

QUAND LE PROBLÈME DEVIENT MATHÉMATIQUE

La nature ne peut cependant pas composer deux vitesses de n'importe quelle façon. La formule choisie ne doit pas induire de contradictions avec les principes fondamentaux admis. Le problème devient donc mathématique : comment composer V_1 et V_2 pour que soient respectés les trois principes ?

Ce problème essentiel a été résolu à plusieurs reprises depuis le début du siècle, mais, étrangement, la démonstration est à chaque fois retombée dans l'oubli (voir encadré p. 80). Redécouverte en 1976 par Jean-Marc Lévy-Leblond (2), elle n'a toujours pas eu l'écho qu'elle mérite. Pourtant, de cette démonstration émerge toute la théorie de la relativité restreinte.

.....
(2) *American Journal of Physics*, vol.44, mars 1976.

L'étude mathématique montre que les contraintes imposées par les trois principes sont très fortes : une seule forme de composition de vitesse respecte les sacro-saints principes de relativité, d'homogénéité et d'isotropie. Cette formule de composition (voir encadré p. 77) dépend d'un paramètre, noté c , qui s'exprime en kilomètres par seconde et qui a donc la dimension d'une vitesse. Selon la valeur de cette constante, une infinité de compositions de vitesses sont possibles. Mais dans notre Univers, une seule est valable. Pour

Une structure surréaliste à quatre dimensions

connaître cette composition, il faut donc connaître la valeur de c . Cette constante est universelle.

D'après la formule, la durée et la longueur d'un phénomène varient en fonction de la vitesse à laquelle on se déplace par rapport à lui. L'espace et le temps s'entremêlent et se confondent donc en

4^e PRINCIPE

Causalité

« La cause doit toujours précéder l'effet. » Selon ce dernier principe, le passé et le futur sont des absous. Autrement dit, jamais nous ne verrons une pomme tombée à terre remonter dans l'arbre.



une nouvelle structure surréaliste à quatre dimensions : la structure d'espace-temps.

Pourtant, cette union de l'espace et du temps pose un problème : le carré de c paraît dans la formule de composition des vitesses, mais on ne sait pas, *a priori*, si ce nombre c^2 est positif ou négatif. Bien sûr, tout nombre réel élevé au carré est obligatoirement positif, mais la constante c n'est peut-être pas un nombre réel. Elle pourrait en effet être un nombre complexe, avec un carré négatif... Or, dans cette hypothèse, tous les phénomènes deviennent paradoxaux : la formule mélange tellement les notions d'espace et de temps qu'il est toujours possible de choisir un référentiel dans lequel les phénomènes sembleront remonter le temps. On verrait alors la pomme écrasée remonter dans le pommier...

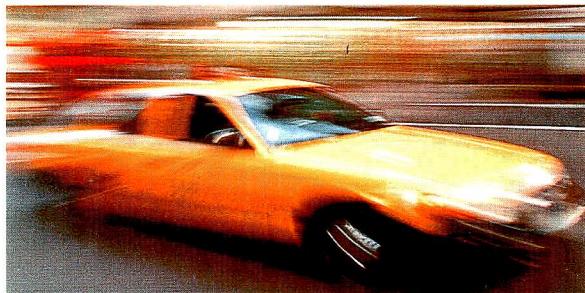
LA CAUSE PRÉCÈDE TOUJOURS L'EFFET

Par principe, de tels paradoxes spatio-temporels doivent être interdits. Il faut alors admettre un quatrième (et dernier) principe, le principe de causalité. Il affirme que la cause doit toujours précéder l'effet, quel que soit le référentiel choisi pour observer le phénomène. D'après ce principe, c^2 ne peut plus être négatif. La constante c est donc un nombre réel et correspond bien à une vitesse.

Cependant, un autre problème subsiste : les formules prédisent qu'un objet qui a une vitesse supérieure à c semblera à certains observateurs remonter le temps... Cela contredit une nouvelle fois le principe de causalité. Pour sauver la logique, il est donc interdit à tout objet d'avoir une vitesse supérieure à c . La constante universelle devient ainsi vitesse limite absolue.

La démonstration mathématique est terminée. La théorie de la relativité restreinte est reconstruite sur les seuls principes de relativité, d'homogénéité, d'isotropie et de causalité. De ces quatre principes émerge toute la trame de l'espace-temps. Les équations obtenues sont évidemment identiques à celles d'Einstein, mais les

LES GENDARMES EXAGÈRENT (UN PEU)...



■ Hypothèse : des gendarmes roulent à la vitesse

$V_1 = 100$ km/h et leur radar embarqué indique qu'une automobile les double à une vitesse $V_2 = 50$ km/h par rapport à V_1 .

Pour établir une éventuelle infraction au Code de la route, ces gendarmes doivent connaître la vitesse V_3 de l'automobile par rapport à la route. Intuitivement, ils additionnent les deux vitesses : $V_3 = V_2 + V_1 = 150$ km/h.

Mais la réalité n'est pas intuitive : en fait, $V_3 = \frac{V_2 + V_1}{1 + \frac{V_2 \times V_1}{c^2}}$ avec $c \approx 300\,000$ km/s.

La valeur de c est tellement énorme comparée aux vitesses V_1 et V_2 que le rapport $V_2 \times V_1 / c^2$ est très proche de zéro, et V_3 est donc très légèrement inférieur à $V_2 + V_1$. V_3 est égal à 149,99999999999936 km/h. Les gendarmes ont donc l'habitude de (très, très légèrement) surévaluer la vitesse des automobiles qu'ils verbalisent... En pratique, cette formule n'est utilisée que pour les très grandes vitesses.

Si les gendarmes roulent à $V_1 = 100\,000$ km/s et qu'ils mesurent avec le radar qu'une automobile les double à la vitesse $V_2 = 250\,000$ km/s, ils ne peuvent plus ajouter classiquement V_1 et V_2 (V_3 serait égal à 350 000 km/s, ce qui est interdit), ils sont obligés d'appliquer la formule. V_3 est alors égal à 274 000 km/s... Enfin, si $V_2 = c$, alors, quelle que soit la vitesse V_1 , un calcul simple montre que $V_3 = c$. Une automobile dépassant les gendarmes à la vitesse c est donc mesurée à une vitesse invariante, quelle que soit celle des gendarmes.

fondements de cette reconstruction lui confèrent l'universalité.

C'est maintenant aux physiciens de travailler pour déterminer la valeur de c qui est valable dans notre univers. Si cette constante universelle est un nombre infini, alors la formule de composition de vitesse

Plus vite
que la lumière

Et la lumière fut !

■ Les premiers soubresauts annonciateurs de la future révolution "einsteinienne" apparaissent dès le début du XIX^e siècle : en 1800, l'Anglais Thomas Young effectue les premières expériences de diffraction de la lumière. Contrairement à ce qu'avait pensé le grand Isaac Newton, la lumière ne semble donc pas se comporter comme une particule, mais comme une onde. Or, une onde est une perturbation qui a besoin d'un milieu pour se propager : le son se propage dans l'air, et la vague dans l'eau. Si la lumière est une onde qui peut voyager jusqu'à nous depuis la plus lointaine étoile, il faut donc supposer qu'un milieu de propagation existe dans tout l'espace. Une telle substance avait déjà été pressentie par les Grecs antiques qui l'avaient baptisée "éther". Le milieu de propagation de la lumière est logiquement appelé "éther lumineux". En ce début de XIX^e siècle, apparaissent aussi les éthers électrique et magnétique, nécessaires pour diffuser l'électricité des piles et le magnétisme des boussoles, abondamment étudiés à cette époque. En 1820, le Danois Hans Christian Oersted tente une simple et curieuse expérience : en faisant circuler un courant à l'intérieur d'un fil enroulé, il fait dévier une aiguille aimantée. Réciproquement, on se rend rapidement compte que faire bouger un aimant près d'un fil conducteur crée de l'électricité. Electricité et

magnétisme forment donc un seul et même phénomène.

En 1868, James Clerk Maxwell réussit à formaliser cette unité en quatre lignes historiques. Ces quatre équations fondent la théorie électromagnétique, qui sera brillamment confirmée en 1887 par les expériences d'Heinrich Hertz, et sans laquelle télégraphe, téléphone ou télévision n'auraient jamais pu voir le jour... Le théoricien écossais est toutefois troublé par une constante qui apparaît dans sa quatrième équation. Notée c^2 , cette constante correspond au carré d'une vitesse et sa valeur semble proche de celle de la vitesse de la lumière dans le vide, mesurée quelques années auparavant par le Français Hippolyte Fizeau. Les équations de Maxwell affirment ainsi que les phénomènes électromagnétiques sont des ondes qui se déplacent à la vitesse de la lumière...

Pour Maxwell, cela ne peut être un hasard : la lumière est une onde

électromagnétique. Boussoles, piles et ampoules sont maintenant régies par les mêmes lois. Il n'y a donc plus qu'un seul éther, l'éther électromagnétique, dans lequel tout notre Univers baigne.

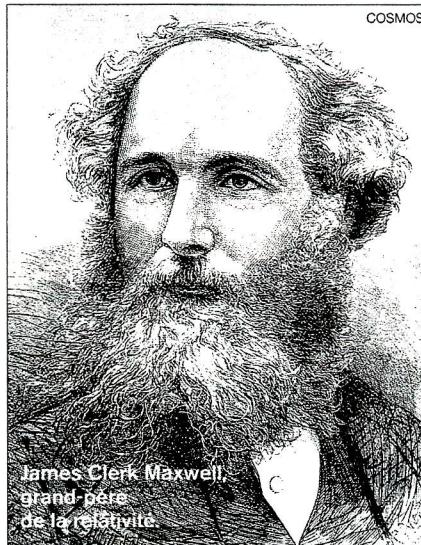
Mais de nombreuses questions demeurent sans réponse.

Comment cet éther interagit-il avec la matière classique ? Est-il entraîné par le mouvement de la Terre dans l'espace, ou reste-t-il immobile ? Dans les années 1890, le physicien Hendrik Antoon Lorentz démontre que toutes les expériences réalisées jusqu'à présent sont compatibles avec l'hypothèse d'un entraînement partiel de l'éther par le mouvement de la Terre. Mais, alors qu'il publie ses travaux, une nouvelle expérience contredit immédiatement sa conclusion : celle d'Albert Michelson et d'Edward Morley.

Ces deux Américains ont en effet

comparé la vitesse de la lumière dans l'éther lorsqu'elle se déplace dans le même sens que le mouvement de la Terre avec sa vitesse quand elle se déplace dans une direction perpendiculaire. Et les vitesses qu'ils ont mesurées sont parfaitement égales.

Or, si l'éther est légèrement entraîné par le mouvement de la Terre, comme le propose Lorentz, la vitesse de la lumière propagée dans cet éther et mesurée par un observateur immobile sur Terre devrait varier selon la direction d'où vient la lumière : elle devrait être maximale lorsque la lumière se déplace dans le sens





BOYER-VOLLET

Dans les années 1880, le génial expérimentateur américain Albert Michelson, prix Nobel de physique en 1907, constata, à sa grande surprise, que la vitesse de la lumière est toujours constante... .

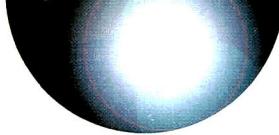
opposé au mouvement de la Terre. Apparemment, ce n'est pas le cas. Aucun "vent d'éther" n'est détecté. Le résultat de l'expérience de Michelson et Morley signifie *a priori* que l'éther, immobile par rapport à la Terre, est totalement entraîné par le mouvement de la matière. La théorie de Lorentz s'écroule. Ce dernier replonge donc dans ses calculs. Il suggère que la longueur d'un objet varie avec sa vitesse : l'appareil de mesure utilisé par Michelson et Morley se contracte dans la direction du mouvement de la Terre, juste assez pour égaliser les temps de déplacement de la lumière. L'hypothèse semble audacieuse, mais personne en ce début de XX^e siècle n'est prêt à abandonner l'éther électromagnétique, considéré comme une "nécessité intellectuelle". Le mathématicien français Henri Poincaré, qui soutient

le point de vue de Lorentz, cherche ainsi à généraliser cette contraction pour en dégager les principes fondamentaux. Finalement, au début de l'année 1905, les deux chercheurs obtiennent un ensemble d'équations cohérentes, les équations de Lorentz, qui décrivent tous les phénomènes électromagnétiques connus, mais laissent les propriétés physiques de l'éther toujours aussi insondables.

La révolution viendra d'un jeune expert technique de troisième classe à l'Office des brevets de Berne, en Suisse. Dans un article publié en mai 1905 dans la revue *Annalen der Physik*, Albert Einstein redéfinit les lois de la cinématique. Il part du principe de relativité que Poincaré a explicité quelques années auparavant et d'un autre postulat qui deviendra célèbre : « Nous allons introduire le postulat selon lequel la lumière se propage

dans l'espace vide toujours avec une vitesse bien déterminée, indépendante de l'état du mouvement du corps émetteur », écrit le jeune physicien allemand. Einstein ne connaît pas les équations de Lorentz écrites quelques semaines auparavant, mais il les retrouve en partant de ses lumineux principes. « L'introduction d'un "éther lumineux" se révélera superflue », note-t-il un peu plus loin. C'est la fin d'un concept vieux de plusieurs millénaires... Dans un autre article envoyé à la même époque à la même revue, le physicien reprend aussi l'idée newtonienne de particule lumineuse, qu'il nomme *quantum* de lumière. Newton n'avait pas totalement tort : la lumière peut être considérée à la fois comme une onde et une particule. Ce sont les premiers pas de la mécanique quantique. Le XX^e siècle peut commencer. La lumière a éclairé toute la physique.

Plus vite que la lumière



se simplifie et l'on retrouve l'addition habituelle : $V_3 = V_2 + V_1$. Nous vivons alors dans un monde galiléen, conforme à l'intuition et où les calculs des gendarmes sont tout à fait exacts. Mais si c est un nombre fini, alors l'addition des gendarmes est fausse et notre monde classique s'écroule !

Un moyen simple permet de déterminer cette valeur. D'après la formule de composition des vitesses (voir encadré p. 77), si l'on conjugue c avec n'importe quelle autre vitesse, le résultat est toujours égal à c . Cela signifie qu'un objet filant à la vitesse limite par rapport à un observateur précis sera mesuré à la même vitesse par tous les autres observateurs situés dans des référentiels équivalents (3). La vitesse limite a donc l'étrange propriété d'être invariante. Il suffit ainsi de repérer dans l'Univers un phénomène ayant une vitesse invariante, quel que soit le référentiel depuis lequel on la mesure. Cette vitesse sera obligatoirement la vitesse limite.

LA QUATRIÈME DIMENSION

Or, il existe un objet physique, facile à observer, dont la vitesse dans le vide a toujours été mesurée invariante : la lumière. Les chronométrages sont tous tombés sur la même valeur, 299 792,458 km/s. Kenneth Brecher, de l'université de Boston, a même récemment affiné les résultats en montrant que cette vitesse est constante à un centième de milliardième de milliardième près ! Puisqu'aucun calcul physique n'aura jamais besoin de davantage de précision, on peut en toute confiance donner à c la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide.

Cette vitesse limite est tellement énorme par rapport aux vitesses des mouve-

(3) On ne peut faire de mesures justes que si l'on se place dans un référentiel équivalent à celui dans lequel se passe le phénomène étudié. L'illusion des étoiles (voir article précédent, p. 67) en montre la nécessité.

UNE DÉMONSTRATION VOUÉE À L'OUBLI

■ Qui se souvient des travaux de Woldemar Vladimir Ignatowsky tentant, en 1910, de faire reposer la démonstration de la théorie de la relativité restreinte sur le seul principe de relativité ? Qui se souvient des tentatives comparables de Wiechert ou de Frank et Rothe en 1911 ? De Pars, en 1921 ? D'Esclangon ou de Le Roy, en 1936 ? De Drake, en 1966 ? De Lee et Kalotas, en 1973 ? Ces démonstrations étaient incomplètes, voire partiellement fausses, mais à chaque fois, elles ont été oubliées, pour être ensuite redécouvertes, comme si elles n'avaient jamais existé.

« C'est Lalan qui, en 1936, fit la première démonstration complète dans laquelle tous les postulats de base étaient explicités », souligne Jean-Pierre Lecardonnal, en 1979, alors qu'il soutenait sa thèse

de physique sur ce sujet. La démonstration de Lalan, oubliée elle aussi, est redécouverte et épurée par Jean-Marc Lévy-Leblond en 1976. Aujourd'hui encore, malgré son importance, la reconstruction logique de la théorie de la relativité restreinte n'est toujours pas intégrée aux manuels de physique, qui continuent à présenter la théorie de la relativité telle qu'Einstein l'avait conçue. Curieuse amnésie !



D. RUNACHERI

ments usuels sur Terre que les gendarmes peuvent continuer à additionner leurs vitesses de façon classique : l'erreur de calcul est inférieure à un milliardième de mètre par heure. Leurs procès-verbaux sont donc valables. Mais aussi grande soit-elle, la valeur de cette vitesse limite n'est pas infinie. Adieu monde classique et bienvenue dans notre nouvel Univers à quatre dimensions...

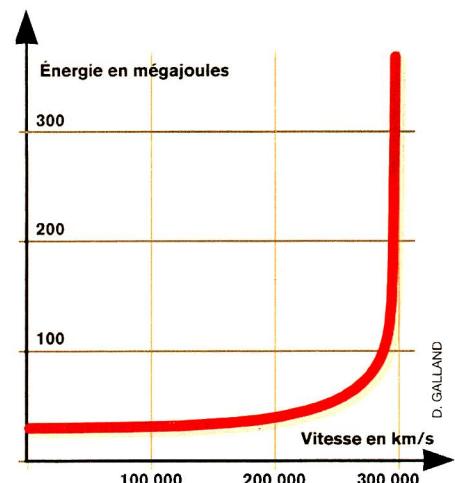
Maintenant, les physiciens peuvent définir les notions de masse, de charge électrique, d'énergie... Mais sauf à refuser d'ad-

mettre l'un des quatre principes fondateurs, ils doivent tisser leurs équations sur la traîne définie par la théorie. Il leur est donc difficile d'imaginer un jour voir quelque chose filer plus vite que c .

Ces arguments mathématiques ont beau être convaincants, ils ne permettent pas de comprendre pourquoi 300 000 km/s est une vitesse impossible. En fait, la notion même de vitesse est source de malentendus. Comme le montre la complexe formule de composition, cette notion n'est pas adaptée à un univers relativiste. Ainsi, la limitation universelle de vitesse s'appréhende mieux en faisant intervenir la notion d'énergie. Reprenez la pomme précédemment lâchée sur les pieds et essayez de lui donner un maximum de vitesse. Pour qu'elle atteigne 90 % de la vitesse limite, vous devez lui fournir une énergie d'au

Énergie sans limite

L'énergie qu'il faut donner à une pomme pour augmenter sa vitesse est de plus en plus importante au fur et à mesure que l'on se rapproche des 300 000 km/s. Puisqu'il faudrait une énergie infinie pour qu'elle atteigne la vitesse limite, jamais aucune pomme ne pourra aller plus vite.



L'horizon correspond à une rapidité limite infinie

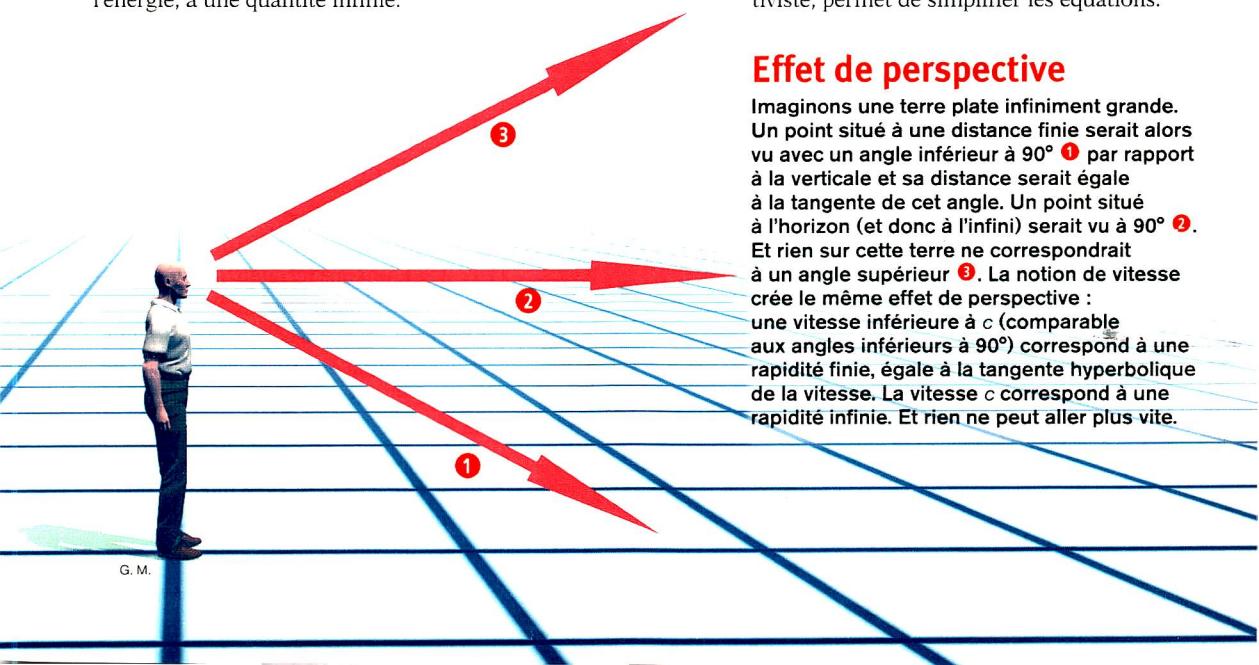
moins 2 millions de milliards de joules. Mais si vous voulez lui faire atteindre 99 % de c , il faut dix fois plus d'énergie. Et il en faudrait mille fois plus pour atteindre 99,99 % de c (voir schéma ci-dessus)... Vous ne pourrez jamais lui fournir assez d'énergie pour lui faire atteindre la vitesse c , qui correspond donc, par rapport à l'énergie, à une quantité infinie.

Ce paradoxe est un effet de perspective classique. Imaginez-vous sur une terre infiniment grande et plate en train de regarder un point situé à l'horizon. Ce point est à une distance infinie, et pourtant, la hauteur à laquelle vous le voyez est limitée... A une hauteur finie correspond donc une distance infinie (voir schéma ci-dessous). La notion de vitesse crée un effet d'horizon tout à fait comparable.

Pour rétablir la perspective, certains théoriciens proposent de remplacer la notion de vitesse par celle de rapidité. La rapidité est définie en fonction de la vitesse, tout comme la distance d'un point peut être définie en fonction de la hauteur à laquelle on le voit. Cette nouvelle notion, parfaitement adaptée au nouvel univers relativiste, permet de simplifier les équations.

Effet de perspective

Imaginons une terre plate infiniment grande. Un point situé à une distance finie serait alors vu avec un angle inférieur à 90° ① par rapport à la verticale et sa distance serait égale à la tangente de cet angle. Un point situé à l'horizon (et donc à l'infini) serait vu à 90° ②. Et rien sur cette terre ne correspondrait à un angle supérieur ③. La notion de vitesse crée le même effet de perspective : une vitesse inférieure à c (comparable aux angles inférieurs à 90°) correspond à une rapidité finie, égale à la tangente hyperbolique de la vitesse. La vitesse c correspond à une rapidité infinie. Et rien ne peut aller plus vite.



Plus vite que la lumière



Pour composer deux rapidités, il suffit de les additionner ($R_3 = R_2 + R_1$). L'horizon qui correspondait à une vitesse limite égale à c , correspond maintenant à une rapidité infinie. Et les malentendus se dissipent...

La notion de vitesse n'est cependant pas la seule qu'il serait bon de remplacer pour éviter les malentendus ; en fait, tout le vocabulaire de la théorie de la relativité restreinte est particulièrement mal choisi.

Tout d'abord, contrairement à ce que la plupart des manuels et des physiciens affirment, c n'est pas la "vitesse de la lumière dans le vide". La notion de masse étant définie, il est en effet possible de démontrer que seuls les objets de masse nulle peuvent atteindre cette vitesse limite. « Or, souligne Jean-Marc Lévy-Leblond, on sait que la masse des grains de lumière est très faible, mais il est expérimentalement impossible de prouver que cette masse est nulle. On ne peut donc prouver que c est bien la vitesse de la lumière dans le vide... »

Et s'il s'avère un jour que la masse des photons n'est pas exactement égale à zéro, alors la lumière dans le vide n'ira plus à la "vitesse de la lumière dans le vide", mais à une vitesse inférieure à c . On ferait donc mieux de nommer c "vitesse limite", ou mieux, "constante d'Einstein". » Les mêmes propositions de changement de vocabulaire s'entendent outre-Atlantique. Ainsi, l'Américain Kenneth Brecher milite aussi pour l'appellation "constante d'Einstein" qui ferait, selon lui, élégamment écho à la "constante de Newton" de la gravitation et à la "constante de Planck" de la mécanique quantique.

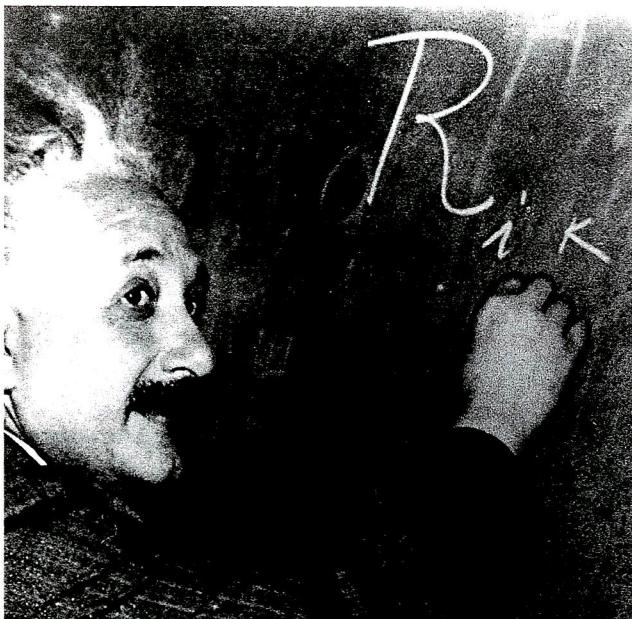
UNE TERMINOLOGIE À REVOIR

On a déjà évoqué le terme "relativité", qui ne reflète pas la quête d'absolu et la recherche des lois immuables de la nature qu'est le contenu profond de la théorie. Mais le mot le plus choquant est probablement l'adjectif "restreinte". Pourquoi restreinte ? Les principes sur lesquels la théorie est fondée sont les plus généraux possibles. Elle est la plus générale de toutes les théories physiques, plus générale que la théorie de la mécanique quantique, plus générale que la théorie de la relativité générale... Finalement, même le mot "théorie" n'est pas approprié. « Plus qu'une théorie particulière, c'est un cadre, insiste Jean-Marc Lévy-Leblond. Le cadre de tout théorie physique. » (Voir encadré p. 74).

Il n'est donc pas étonnant qu'Einstein soit si difficile à comprendre : en dépit de son appellation, la théorie de la relativité restreinte n'est pas restreinte, elle ne parle pas de relativité et elle est plus vaste qu'une théorie... Jean-Marc Lévy-Leblond propose de la rebaptiser "chronogéométrie". Bien sûr, ces mots que l'on envisage de modifier ont été choisis par Einstein lui-même. Mais, il l'a lui-même reconnu, ils entraînent confusions et malentendus. Pourquoi ne pas parler de chronogéométrie plutôt que de théorie de la relativité restreinte, de constante d'Einstein plutôt que de vitesse de la lumière dans le vide, et de rapidité plutôt que de vitesse ? La compréhension est peut-être à ce prix. Et le plus bel hommage que l'on puisse rendre à Einstein, c'est bien de comprendre sa théorie. ■

Ambiguïté

Génie des équations, Albert Einstein était moins doué pour les mots. Le vocabulaire qu'il a choisi pour décrire sa théorie est source d'innombrables malentendus. La physique du XX^e siècle a pourtant gardé sa terminologie, au risque de ne pas comprendre ses équations.



**Le moins que l'on puisse dire
c'est qu'elle n'a pas que son physique.**



Alfa 156

**4 airbags. Climatisation. Volant et pommeau cuir.
ABS avec EBD. Intérieur velours. Accoudoir avant.
Exceptionnellement pour moins de 2 110 francs par mois*.**

Modèle présenté : Alfa 156 1.6 T.S. 126 500 F. (19 284,80 €) avec options peinture métallisée et projecteurs anti-brouillard. 4 400 F. (670,78 €) = 130 900 F. (19 955,58 €).
*Offre valable du 01 septembre au 31 octobre 2000 sur les modèles de la gamme Alfa 156 (tarifs au 01/06/2000). Crédit classique au TEG de 7,90% l'an (0,66% mensuel) sans condition d'apport sur une durée de 12 à 60 mois. Exemple de financement pour un crédit de 130 900 F. remboursé en 48 mois : échéances mensuelles de 2 700 F. (2 670,78 €) et frais d'agence de 120 F. (117,78 €).

cément pour une Alfa 156 1.6 T.S. au tarif conseillé de 130 900 F. (16 955,58 €) au 01/06/2000 avec un apport initial de 45 815 F. (6 984,45 €), montant emprunté de 85 085 F (12 971,12 €) remboursable en 48 mensualités de 2 107,43 F. (321,28 €) hors assurances facultatives. Cout total de l'achat à crédit : 146 971,64 F. (22 405,68 €) hors assurances facultatives. Offre réservée aux particuliers dans les

concessions participant à l'opération. Sous réserve d'acceptation de votre dossier par FIAT CREDIT France S.A. au capital de 71 000 000 F. RCS Versailles 592 033 591. Alfa Romeo recommande ~~SELENIA~~ www.alfa-romeo.tfm.fr

Alfa Romeo 
FINANCIEMENT



Coeur Sportif

Des îles habitées sous la mer

Poissons-pêcheurs, araignées sanguines,
coquillages nacrés, requins nomades...

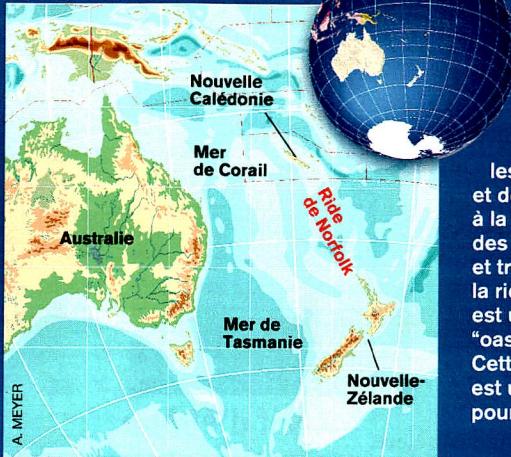
Dans le Pacifique sud,
à plusieurs milliers
de mètres sous
l'océan, les volcans
sous-marins abritent
une vie animale
d'une diversité
insoupçonnée. Un vrai trésor
pour les océanographes.



Les bigoudens du Pacifique

Si la lumière éclairait les abysses, tel serait le paysage sous-marin du Sud de la Nouvelle-Calédonie (ici, en vue d'artiste). Dans un désert marin presque sans vie, ces colonnes de lave durcie (guyots) abritent des communautés animales exceptionnelles. Très casanier, le poisson-pêcheur ne quitte pas les pentes abruptes de son guyot natal.

Une eau encre noire baigne les profondeurs marines du Pacifique sud-ouest. A plusieurs milliers de mètres sous l'océan, des volcans entièrement érodés surgissent des dorsales. Seules subsistent leurs gigantesques cheminées de lave figée, semblables à de longues colonnes sculptées dans la masse rocheuse, distantes les unes des autres de plusieurs dizaines de kilomètres. Rehaussées par les éruptions successives, ces grandes aiguilles appelées guyots projettent leurs sommets aplatis vers la surface sans l'atteindre. Cinq cents mètres d'eau séparent les plus élevés de l'air libre. Privés de lumière et isolés dans un désert glacé où la vie se raréfie, ces spectres de volcans sont de véritables oasis marines. Pour les océanographes, ils constituent de formidables viviers



Un monde oublié

Chaîne de montagnes située entre les mers de Corail et de Tasmanie, à la transition des climats tempéré et tropical, la ride de Norfolk est une véritable "oasis animale". Cette région de l'océan est un sanctuaire pour ses habitants.

qui abritent plusieurs centaines d'espèces différentes et de tout genre, toutes plus colorées les unes que les autres. Des crevettes zébrées rouge et blanc côtoient des coquillages nacrés, des araignées sanguines, des étoiles de mer aux multiples rayons ou des palmiers des profondeurs d'un blanc éclatant. Le poisson-

pêcheur est un membre typique d'une de ces communautés sous-marines : recouvert de boutons, cette étrange créature arbore fièrement un pédoncule en guise de canne à pêche, au bout duquel pend unurreur.

Outre leur diversité exceptionnelle, c'est également la sédentarité des espèces colonisant ces îles

sous-marines qui ne manque pas d'étonner. Ici, chacun reste chez soi et ignore tout ce qui se passe sur les volcans voisins. Chaque guyot est un royaume bien distinct qui abrite sa propre faune depuis l'ère secondaire, entre - 225 et - 65 millions d'années. Le taux d'endémisme, c'est-à-dire le nombre d'espèces qui sont apparues uniquement en ces lieux, y est très fortement élevé. Les chercheurs qui ont exploré les fonds marins au large de la Nouvelle-Calédonie viennent d'en apporter une éclatante confirmation.

UNE PÊCHE MIRACULEUSE

A bord du chalutier l'*Alis*, ils ont passé au crible le sommet de vingt-quatre guyots en mers de Corail et de Tasmanie, traînant derrière eux des chaluts pélagiques, immenses filets de pêche rétrécis à leur extrémité. Ils ont

KAREN GOWLETT-HOLMES/CSIRO MARINE RESEARCH



Récif d'Ebène

Le corail noir qui tapisse les pentes des guyots pourrait faire l'objet d'une exploitation destructrice.

aussi utilisé des dragues remorquant des engins sur câble sur plusieurs centaines de kilomètres. La ride de Norfolk, une chaîne de montagnes qui prolonge le Sud de la Nouvelle-Calédonie, ne porte que six des dix mille guyots disséminés dans le bassin pacifique. Mais, à eux seuls, ces six îlots de vie recèlent 60 % des espèces ac-

tuellement recensées dans cette région du monde : huit cent cinquante au total, dont deux cent cinquante inconnues auparavant.

En choisissant d'explorer cette région de l'océan, les équipes française de l'Institut de recherche et de développement (IRD) et australienne du Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) et du Muséum de

Victoria ont eu de l'intuition, mais aussi beaucoup de chance. Depuis le début des explorations Musostrom (de l'IRD, ex-Orstrom), lancées en 1976 au nord de la Tasmanie, jamais de tels résultats n'avaient été obtenus sur un point précis de l'océan. Les mers de Corail et de Tasmanie abritent une biodiversité d'une richesse insoupçonnée.

« Ce qu'ils ont découvert à Norfolk dépasse les rêves les plus fous », s'enflamme Philippe Bouchet du Muséum national d'histoires

Un improbable plateau de fruits de mer

Cachée dans l'obscurité abyssale, la faune des îlots sous-marins du Pacifique sud-ouest devient de plus en plus riche et spécifique. Chaque volcan recèle sa propre faune.

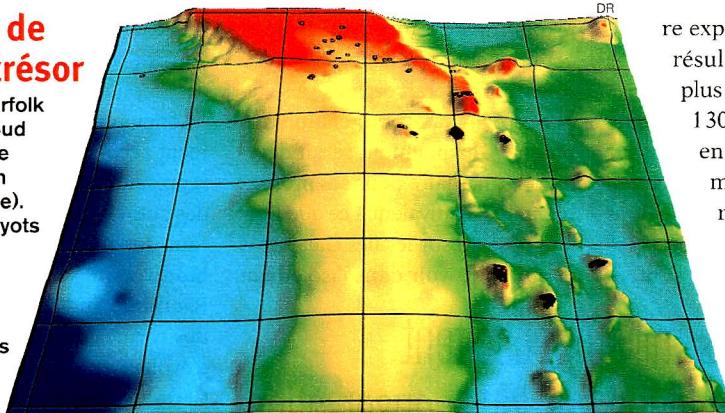
DÉCAPODE DU GENRE *GASTROPTYCHUS*

PENTACRINE
OU PALMIER
DES
PROFONDEURS

PHOTOS : PIERRE LABOUE/
IRD/KAREN GOWLETT-HOLMES/
CSIRO MARINE RESEARCH
ILLUSTRATION : G. M.

La carte de l'île au trésor

La ride de Norfolk prolonge le Sud de la Nouvelle Calédonie (en rouge et jaune). A l'est, les guyots abritent de nombreuses espèces groupées en communautés uniques.



re naturelle, qui a lui-même participé à des campagnes semblables. Il considère cette dorsale comme le « point culminant de la découverte » : un tiers des espèces de poissons et d'invertébrés répertoriées n'avaient jamais été observées jusqu'ici.

UNE MINE D'OR SOUS-MARINE

Mais l'exploration n'est qu'une première étape. Ensuite intervient le taxinomiste, qui détermine à quelle espèce appartient chaque

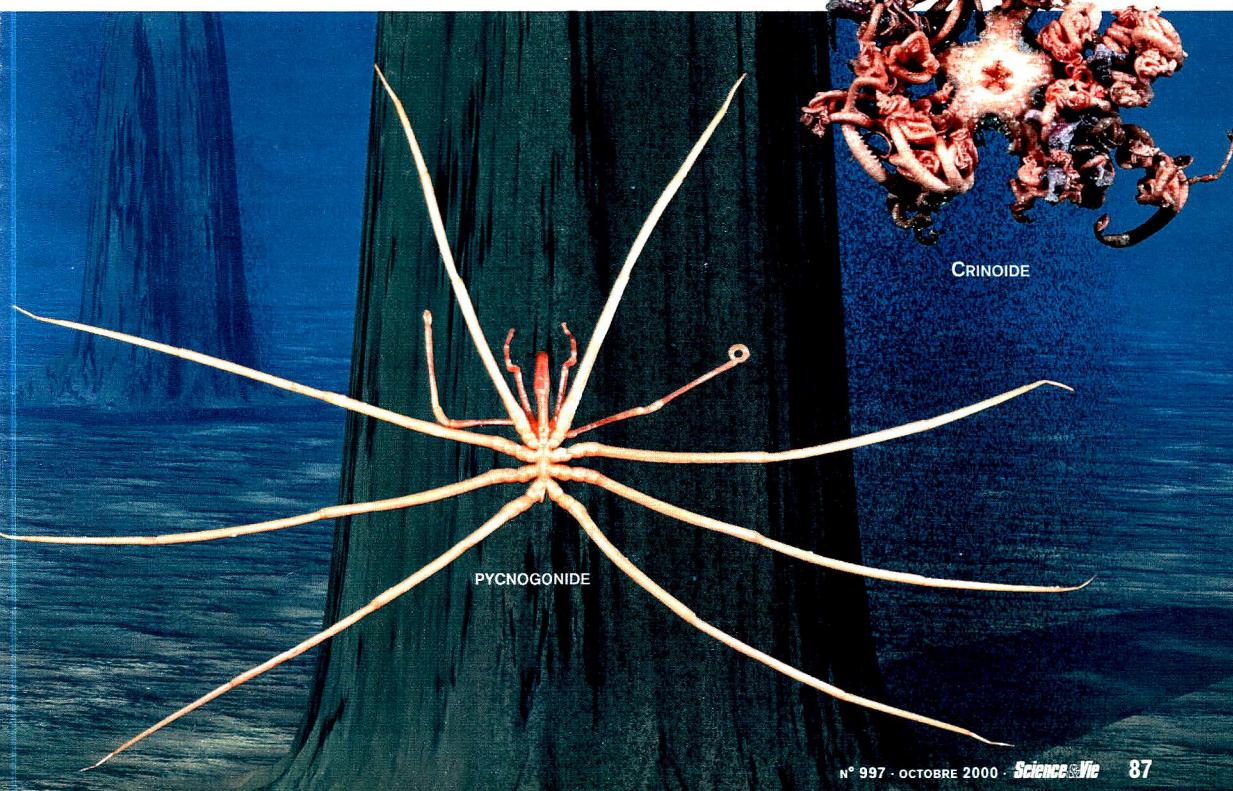
forme de vie recensée ou qui, au besoin, en crée une... Il met de l'ordre dans les données que lui transmettent les chercheurs « sur le terrain » et classe les animaux dans des catégories selon des critères de ressemblance : les espèces sont groupées par genres, qui eux-mêmes appartiennent à des familles. Pas moins de 181 spécialistes de la taxinomie dans le monde entier se sont ainsi attelés à classifier la faune abyssale du Pacifique sud-ouest depuis la premiè-

re exploration en 1976. Les résultats sont éloquents : plus de 4500 espèces dont 1300 nouvelles, groupées en 126 genres et 7 familles ont été répertoriées. La toute dernière campagne, qui vient de s'achever, a fourni à elle seule trente nouveaux genres.

« C'est une mine d'or, estime Bernard Séret, spé-

cialiste des sélaciens au Muséum national d'histoire naturelle, enchanté par la présence de nouvelles espèces de requins dans ces profondeurs. Ces animaux ont leur esprit de clocher, et c'est sans doute le plus étonnant. »

En effet, les espèces observées restent très casanières ; en conséquence, elles n'évoluent que dans leur environnement d'origine.



gine, comme sur une île isolée du reste de la planète, alors que ces volcans sous-marins sont entièrement immergés. Ces reliefs joueraient un rôle déterminant sur leur comportement. L'explication serait d'ordre géophysique : dans la région sud-ouest de l'océan Pacifique, le fond de la mer s'enfon-

proximité de leur guyot. Isolé et communautaire, chaque ensemble d'espèces se serait organisé à sa façon, créant sa propre chaîne trophique. Chaque mont serait devenu un sanctuaire pour ses propres habitants, équivalent à ce que Darwin observa sur les îles Galapagos et qui lui fit voir dans l'isolement

sence de groupes réputés éteints, considérés aujourd'hui comme des "fossiles vivants".

Longtemps délaissé car difficilement accessible, l'océan Pacifique représente aujourd'hui l'eldorado des océanographes. Alors que partout dans le monde, le degré de biodiversité semble diminuer, le Pacifique sud-ouest recèle donc des formes de vie qui ne cessent d'évoluer en de nouvelles espèces. Certaines régions figurent encore en blanc sur la carte, qui prend forme et se précise à mesure que les recherches avancent. Mais cet engouement ne va pas sans entraîner des risques d'ordre écologique.

DES PROTECTIONS S'IMPOSENT

En effet, ces milieux de petite taille, particulièrement fragiles, suscitent des interrogations sur leur conservation, d'autant que les organismes vivants concentrés sur ces reliefs recèlent des espèces à forte valeur économique. C'est le cas du corail noir exploité à Taïwan et Hawaï pour la bijouterie, ou encore des crinoïdes pédunculés, plus rares, porteurs de molécules potentiellement actives, utiles en pharmacologie. Certains monts en Tasmanie ont déjà fait l'objet d'une protection contre la pêche, la capture de poissons au chalut détruisant la faune benthique en raclant les sommets des guyots. Ici, les risques sont minimes. Peu abondant en poissons, ce site ne semble pas justifier une pêche industrielle.

L'exploitation minière est également interdite dans cette première réserve de faune de profondeur. Reste à savoir si elle concernera l'important gisement de gaz qui vient d'être découvert par l'Ifremer sur la ride de Lord Howe, voisine de celle de Norfolk. Cette dernière serait aussi propice à la présence d'hydrocarbures. Ce site, inviolé jusqu'ici, pourrait rapidement susciter des convoitises... ■

Fragiles, ces milieux suscitent des interrogations sur leur conservation

ce progressivement. Ce mouvement tend à écarter les chaînes montagneuses les unes des autres, entraînant avec elles les espèces qui leur sont attachées. Ainsi, la faune présente sur chaque série de guyots depuis plus de 200 millions d'années aurait continué à se développer et à s'enrichir isolément. De ce fait, une série d'écosystèmes distincts se sont créés, séparés par quelques dizaines de kilomètres seulement, protégés en outre par la quasi-absence de courants marins.

Même les poissons, y compris les espèces de requins nomades, ne semblent pas assoiffés d'aventures et de grands espaces : ils se contentent de croiser à

d'une communauté l'un des ressorts de l'évolution. L'hypothèse semble plausible aux yeux de Bertrand Richer de Forges, qui dirigea les recherches de l'IRD de Nouméa. Pour l'étayer, une nouvelle campagne est prévue dans deux ans avec des spécialistes de la génétique des populations. Les chercheurs s'intéresseront particulièrement à la ride de Norfolk où le taux d'endémisme – ou d'évolution isolée – est particulièrement élevé. En effet, située à la transition des climats tempéré et tropical, elle reste à l'abri des forts courants marins et connaît un isolement extrême. Cette situation expliquerait peut-être la pré-

IRD - G.M.

Danseur de nacre

Ce mollusque gastéropode fait partie de la moisson récoltée lors de la dernière campagne d'exploration Musorstrom.

22:22

Changez vos habitudes,
lisez l'heure au plafond.



Prix public indicatif : 299 F

Points de vente :
Spécialistes et Grands magasins.
Détails des points de vente sur
demande au 01 43 48 00 22

Réveil
Projecteur au Plafond

Imaginez un réveil original avec projection lumineuse de l'heure.
Sans faire d'effort, vous pouvez savoir l'heure à tout moment de la nuit.



OREGON
SCIENTIFIC

www.oregonscientific.fr

Oscillation nord-atlantique

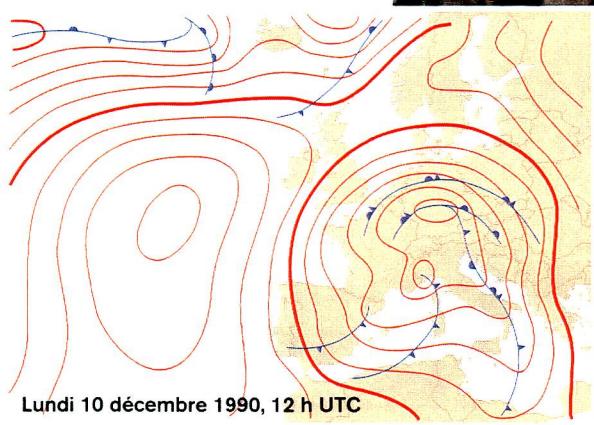
Le Yo-Yo météo

Les hivers en Europe sont gouvernés par un jeu de va-et-vient de la pression au-dessus des Açores et de l'Islande. Les scientifiques traquent comment il se forme et fluctue, avec l'idée de mieux prévoir les frimas.

C'est le chef d'orchestre clandestin d'une foule de phénomènes naturels aux conséquences économiques parfois considérables. Il gouverne secrètement les tempêtes hivernales en Bretagne, l'enneigement des stations de sport d'hiver, la production d'électricité hydraulique en Norvège, la qualité des récoltes de blé en Angleterre, les amours des rennes de Scandinavie, les précipitations en Turquie et en Espagne, la pêche en Islande, les rrigueurs de l'hiver canadien... Ce phénomène climatique ignoré du public, mais qui intéresse de plus en plus les scientifiques, a pour nom "oscillation nord-atlantique", ou ONA. Bien moins célèbre que son turbulent cousin d'Amérique, El Niño (perturba-

tion océanique cyclique, qui touche les pays d'Asie du Sud-Est et d'Amérique du Sud), l'ONA nous concerne pourtant beaucoup plus directement, puisqu'elle étend son influence sur l'Europe, l'Afrique du Nord et le nord-est de l'Amérique.

J. E. PASQUIER/RAPHO

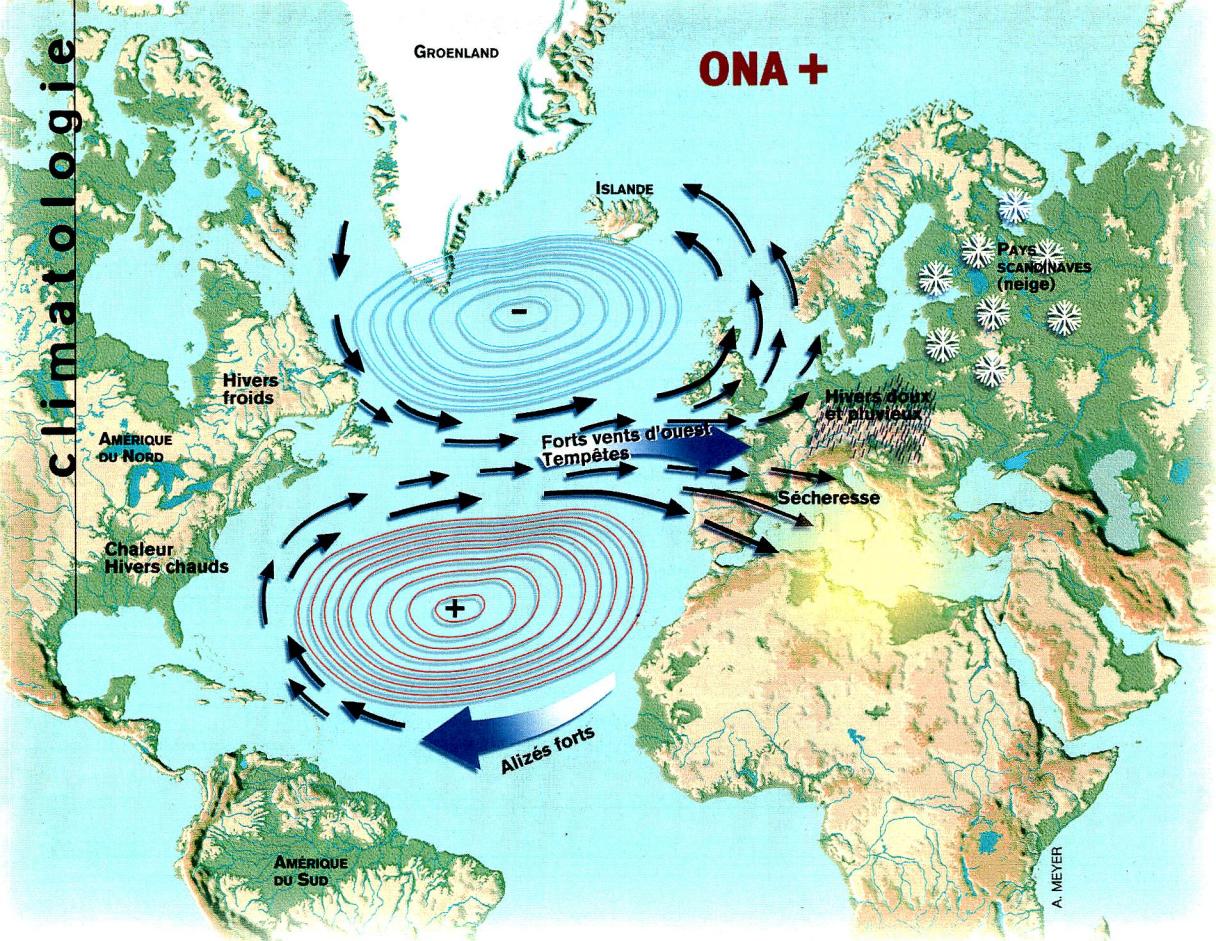


A. MEYER - SOURCES METEO-FRANCE



Paris sous la neige

Même dans les années où l'oscillation nord-atlantique conduit à des hivers doux et humides, il arrive que les queues de dépressions apportent un air maritime froid venant du nord qui conduit à des épisodes de neige. Sur la carte météorologique ci-contre, le tracé de la dépression montre qu'il a neigé ce jour-là sur l'Europe.



Deux scénarios pour l'hiver...

Plus la différence de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande est marquée, plus les vents soufflent d'ouest en est, apportant sur l'Europe la douceur du climat océanique (ONA+). En revanche quand l'écart de pression entre ces deux points est réduit, l'air froid et sec de l'Arctique déferle sur l'Europe (ONA-).

L'ONA n'est pas tout à fait une nouveauté pour les météorologues. Mais les recherches se multiplient, depuis quelques années, avec l'espoir de résoudre une question capitale : l'oscillation nord-atlantique obéit-elle à des cycles réguliers ? Si c'est le cas, on peut espérer comprendre et prévoir son évolution d'une année sur l'autre, ce qui serait de la plus haute importance pour les pêcheurs islandais, les électriciens norvégiens, les agriculteurs espagnols, les professionnels de l'hôtellerie en montagne, etc. Et aussi, bien sûr, pour les scientifiques qui cherchent à déchiffrer les rouages du climat.

En un sens, l'ONA est un phénomène étonnamment simple dans un environnement climatique aussi complexe que la région de

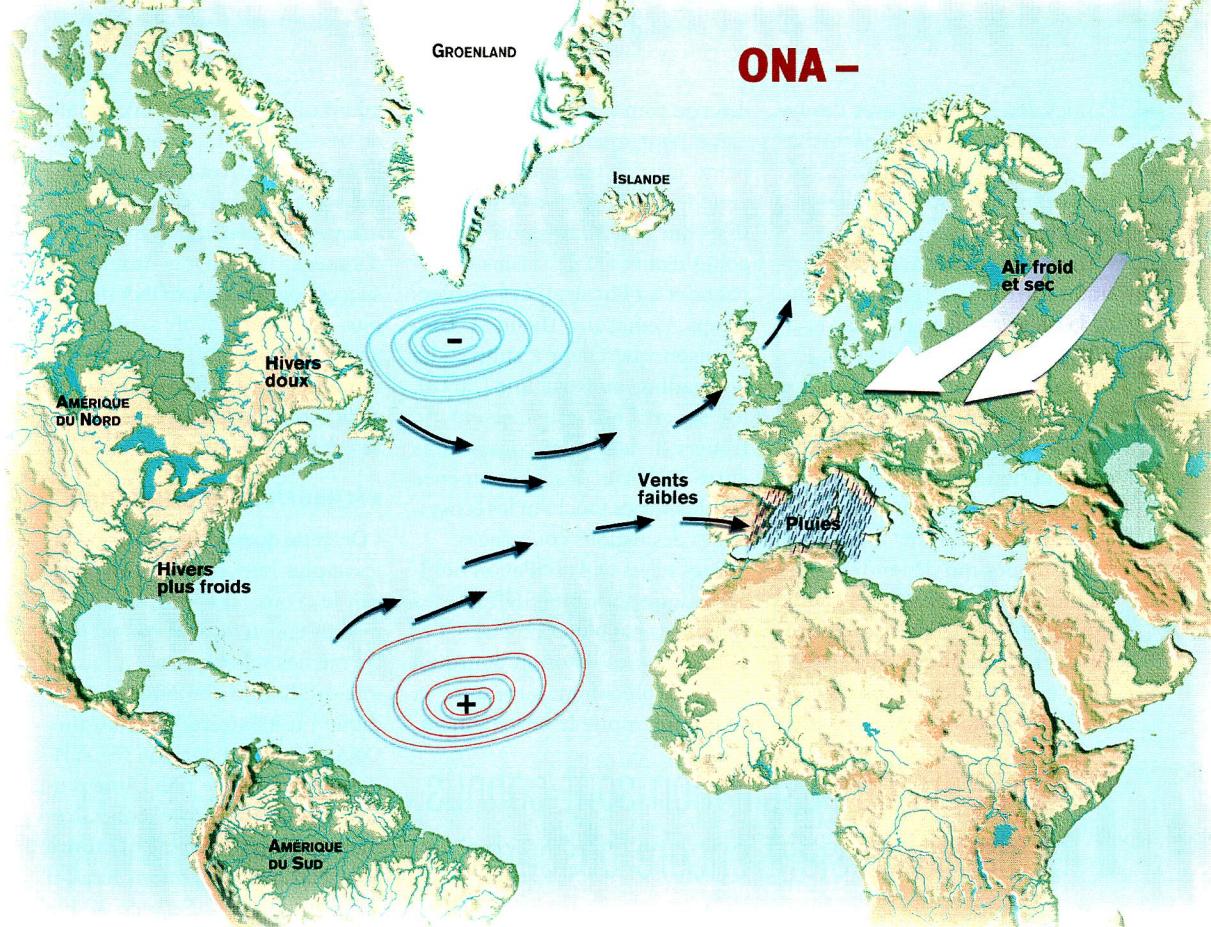
l'Atlantique nord. Si simple qu'il a été remarqué dès le XVIII^e siècle par un missionnaire nommé Hans Egede Saabye.

ENTRE LISBONNE ET REYKJAVIK

« Au Groenland, tous les hivers sont rigoureux, mais ils ne le sont pas tous autant l'un que l'autre, notait-il dans son journal. Les Danois ont remarqué que quand l'hiver est rigoureux au Danemark, au sens où nous l'entendons, il est doux, à sa manière, au Groenland et vice versa. » C'est en 1920 que deux météorologues, l'Autrichien Friedrich Exner et l'Anglais Gilbert Walker, cherchant à repérer les

centres de haute et de basse pression les plus importants, découvrent l'oscillation nord-atlantique.

Le temps qu'il fait en Europe résulte le plus souvent des effets conjoints d'un centre de haute pression, le très populaire anticyclone des Açores, et d'un centre de basse pression, la dépression d'Islande. Or, ces phénomènes sont liés : quand les pressions sont très élevées aux Açores, elles sont très faibles en Islande. De même, lorsque l'anticyclone des Açores est faible, la dépression islandaise se trouve, elle aussi, peu prononcée. D'où le terme d'oscillation, qui décrit bien ce déplacement de masses



ONA -

d'air d'un centre vers l'autre.

Cette oscillation peut être quantifiée par un index simplement défini à partir de la différence de pression entre Lisbonne et Reykjavik – capitales du Portugal et de l'Islande – moyennée sur un hiver (1). L'ONA se ramène ainsi à un chiffre compris entre -5 et +5. Quand cet index est positif, la différence de pression est maximale, les hautes et basses pressions sont accentuées; un index négatif correspond au contraire à un anticyclone des Açores et une dépression islandaise faibles. Statistiquement, on constate bien que l'index ONA est le plus souvent nettement positif ou fran-

chement négatif et qu'en revanche il est rarement nul ou très faible.

Ces deux états de l'oscillation nord-atlantique correspondent aux deux grands types de climats hivernaux que nous connaissons en Eu-

aussi des tempêtes et des précipitations fréquentes sur le nord de l'Europe. Plus au sud, en Espagne, en Turquie, dans le nord du Maroc, le temps est doux et sec. L'ONA se fait également sentir de l'autre

Un phénomène étonnamment simple dans un environnement complexe

rope occidentale. Un index ONA positif, avec ses pressions hautes aux Açores et basses en Islande, se manifeste par des vents forts et rapides d'ouest-sud-ouest balayant l'océan Atlantique. Isolant l'Europe du nord des masses d'air polaire ou continental, ils apportent un climat d'influence océanique, avec des températures douces, mais

côté de l'Atlantique, où un index positif se traduit par des hivers plus rigoureux au Canada et plus chauds en Floride.

Quand l'index ONA est négatif, ces effets sont inversés. Avec une différence de pression réduite entre le Portugal et l'Islande, les vents d'ouest sont faibles et l'Europe du nord tombe sous influence de

.....
 (1) L'index NAO est très précisément la différence des anomalies de pression (écart à la moyenne) de Lisbonne à Reykjavik, moyennée de janvier à mars et normalisée.

l'anticyclone sibérien, avec des hivers froids et secs. Les perturbations s'engouffrent plus au sud, apportant des pluies sur les régions méditerranéennes.

Ainsi l'oscillation nord-atlantique suffit-elle à rendre compte de la plus grande part de la variabilité climatique hivernale en Europe et étend-elle son influence bien au-delà, jusqu'à l'océan Arctique, l'Afrique du Nord, la côte est de l'Amérique du Nord et la Sibérie. Rien d'étonnant, dans ces conditions, si de très nombreux phénomènes qui dépendent plus ou moins directement des conditions météorologiques sont étroitement corrélés avec l'index ONA.

Par exemple, les coups de vent en Bretagne sont beaucoup plus

dinavie toujours, un index ONA élevé peut avancer l'arrivée du printemps de vingt jours. En revanche, les années d'ONA négative sont bénéfiques pour les récoltes d'olives et de raisins en Espagne et au Portugal. Ces derniers temps, remarque David B. Stephenson, chercheur à l'université de Reading, au Royaume-Uni (3), les scientifiques ne cessent de trouver de nouvelles corrélations entre l'ONA et les phénomènes les plus variés touchant les écosystèmes des régions concernées.

Si les effets de l'oscillation nord-atlantique sont bien définis, ses causes restent plutôt obscures. Les climatologues ignorent pourquoi un mode prédomine sur l'autre, et ce qui provoque le basculement.

gurent une périodicité décennale de l'oscillation. Il se peut aussi que la variabilité décennale soit apparue seulement récemment, depuis une trentaine ou une cinquantaine d'années. Quand on observe la succession des index ONA depuis plus d'un siècle (voir schéma ci-dessous), la réponse n'apparaît pas évidente, et l'étude statistique de cette évolution laisse place à différentes interprétations.

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Or, cette question de la périodicité est plus importante qu'on pourrait le croire. D'abord, les mécanismes en jeu ne sont pas du tout les mêmes selon qu'on a affaire à une oscillation climatique périodique ou aléatoire. Ensuite une ONA présentant quelque régularité serait en partie prévisible plusieurs mois à l'avance, contrairement à un phénomène aléatoire (voir l'article "Quel temps fera-t-il dans six mois?" *Science & Vie* n° 969, p. 60). Enfin, dans la perspective du changement climatique dû à l'effet de serre, comprendre la variabilité de l'ONA permettrait de mieux distinguer le réchauffement d'origine humaine des fluctuations naturelles du climat. Ces enjeux expliquent la récente prolifération d'articles et de colloques sur l'ONA.

Toute la question est de savoir si les oscillations de pression entre l'Islande et le Portugal ne répondent qu'à des variations de l'atmosphère, ou bien si l'océan y joue un rôle – et dans ce cas, lequel. Si l'ONA n'est commandée que par l'atmosphère seule, alors la succession d'une année sur l'autre est

(2) Les tempêtes de la fin décembre 1999 sont atypiques, et ne semblent pas directement liées au phénomène NAO.

(3) David Stephenson s'occupe d'un site internet consacré au phénomène NAO : <http://www.met.rdg.ac.uk/cag/NAO/>
Autre site sur le même sujet : <http://www.ldeo.columbia.edu/NAO/>

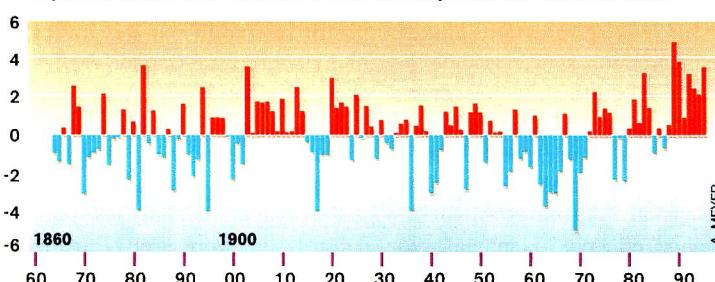
Les effets de l'oscillation sont connus, les causes restent encore obscures

nombreux pendant les hivers à index ONA positif (2). Les pays scandinaves reçoivent des précipitations neigeuses plus abondantes, ce qui a de fortes incidences sur les réserves d'électricité hydrolique, mais aussi sur la flore et la faune de ces régions. Ainsi chez les rennes, où les mâles dominants ne sont plus aussi grands... En Scan-

Comprendre l'origine de ces oscillations représente l'un des grands défis du moment, avec une question primordiale : les oscillations se produisent-elles avec une certaine régularité, ou leur rythme obéit-il au hasard ? La réponse n'est pas claire. Certains scientifiques penchent pour des fluctuations aléatoires, d'autres distin-

Pas aussi aléatoire qu'il y paraît

L'index ONA, qui donne l'écart de l'oscillation par rapport à la moyenne, s'inscrit sur une échelle de - 5 (ONA négatif) à + 5 (ONA positif). L'analyse de son évolution, à première vue aléatoire, met en relief une variabilité décennale avec une tendance croissante au mode ONA positif depuis le milieu des années 60. Une conséquence de l'effet de serre ?



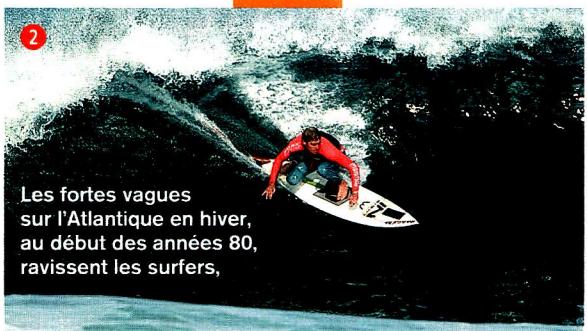
ONA +



Tempêtes et inondations en Grande-Bretagne en mars 1990.

Tous sous influence de l'ONA

Les chercheurs n'en finissent pas d'établir de nouvelles corrélations entre les événements climatiques et biologiques et l'index ONA. 1 2 3 sont imputables à un index ONA positif. En revanche 4 est lié à un index ONA négatif.



Les fortes vagues sur l'Atlantique en hiver, au début des années 80, ravissent les surfeurs.

J.-P. LENFANT/VANDYSTADT



En 1989, l'avancée du printemps en Norvège a modifié la période du rut des rennes.

T. SCHANDY/BIOS



Quand la terre est bien arrosée pendant la floraison des arbres, les récoltes d'olives en Andalousie sont meilleures.

C. SAPPA/HOQUI

ONA -

préfèrent d'ailleurs la dénomination d'ENSO, pour El Niño Southern Oscillation, soulignant l'interaction entre l'oscillation austral, phénomène atmosphérique, et l'inversion des courants dans l'océan Pacifique qui caractérise El Niño).

ATMOSPHÉRIQUE AVANT TOUT

Ainsi pour reproduire un El Niño virtuel dans un modèle climatique faut-il faire varier la température de l'océan; si celle-ci restait constante, El Niño n'existerait pas. A l'inverse, les climatologues parviennent à simuler sur ordinateur une ONA qui a une variabilité proche de la vraie en ne tenant compte que des fluctuations de l'atmosphère et des variations saisonnières d'ensoleillement, avec un océan constant. L'oscillation nord-atlantique est donc avant tout un phénomène atmosphérique. Mais rien ne prouve qu'il est purement atmosphérique.

« En caricaturant un peu, explique David Stephenson, on peut repérer deux points de vue : celui des météorologues, qui privilient l'atmosphère et les fluctuations aléatoires, et celui les océa-

re des échanges de chaleur entre l'air et les eaux de surface.

Si l'on observe l'évolution des index ONA, on peut en effet remarquer depuis cinquante ans une phase de ONA négative entre 1953 et 1974 (marquée en France par quelques hivers particulièrement froids, ceux de 1956 et de 1963, par exemple) et une phase de ONA positive et élevée, depuis les années 80 jusqu'à 1995. Cette variabilité paraît plus marquée qu'avant les années 50 et on y décèle une certaine périodicité, de huit à onze ans (même si certains, parmi lesquels David Stephenson, trouvent qu'on manque un peu de recul statistique). Quoi qu'il en soit, si cette périodicité existe, elle reste à expliquer.

Plusieurs théories proposent certes des mécanismes d'interaction entre l'océan et l'atmosphère, mais il n'existe aujourd'hui aucun consensus sur le rôle de l'océan dans l'oscillation nord-atlantique. Les couplages océan-atmosphère sont des phénomènes complexes qui peuvent impliquer des échelles de temps très variées, allant de quelques jours pour les échanges thermiques avec la surface de

1996, le climatologue américain Jim Hurrell, du National Center for Atmospheric Research, à Boulder (Colorado), a publié une analyse montrant que les hivers doux de ces dernières années en Europe, liés à des index ONA très positifs, comptaient pour plus de la moitié du réchauffement mesuré dans l'hémisphère nord. Cet article a fait très plaisir au lobby américain anti-effet de serre, composé de firmes pétrolières et charbonnières toujours à l'affût d'arguments tendant à réduire la responsabilité humaine (et le rôle des combustibles fossiles) dans le changement climatique.

LE MYSTÈRE DEMEURE

Or, si le réchauffement est imputable à l'ONA (phénomène naturel s'il en est), le CO₂ d'origine humaine est innocenté, et nous pouvons ainsi tranquillement continuer à brûler pétrole et charbon... Enthousiasmée, une grande firme automobile a même proposé un poste de consultant à un collègue de Hurrell!

Mais les chercheurs voient les choses autrement : l'effet de serre pourrait avoir modifié les variations naturelles du climat, en particulier la variabilité de l'ONA, en favorisant les modes positifs. Certains modèles climatiques montrent d'ailleurs que le réchauffement global accroît les vents d'ouest et augmente l'indice ONA. Bien entendu, il ne s'agit pas de prévisions, et ces études doivent être poursuivies.

Les caprices de l'oscillation nord-atlantique restent encore bien mystérieux. Mais les progrès en climatologie et en océanographie incitent à l'optimisme. D'ici à quelques années, peut-être saurons-nous six mois à l'avance si nous devons nous préparer à un hiver doux et tempétueux, ou, au contraire, froid et sec.

Fluctuations aléatoires ou périodiques : les points de vue divergent

nologues, qui ont tendance à voir partout l'influence de l'océan, donc des périodicités. » Aux yeux de ces derniers, la succession des index ONA montre que chaque hiver n'est pas complètement indépendant de l'hiver précédent. Comme l'atmosphère seule ne peut garder le "souvenir" de l'hiver passé, il faut bien que l'océan le lui rappelle. En d'autres termes, l'océan pourrait exercer sur l'atmosphère une influence à moyen ou à long terme, par l'intermédiai-

l'océan à des mois ou des années si l'on fait intervenir des couches plus profondes, voire à des décennies si l'on tient compte des variations de l'océan très profond. Les modèles numériques simulant ces interactions océan-atmosphère n'en sont encore qu'à leurs débuts.

La tendance qui se dessine, depuis plusieurs décennies, d'une ONA franchement positive, conduit à s'interroger sur un lien éventuel avec le réchauffement global dû à l'effet de serre. En

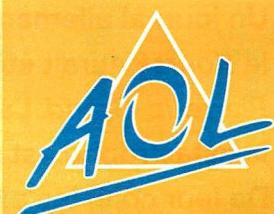
CONNECTEZ-VOUS À AOL, GRÂCE AU CD ROM JOINT À VOTRE MAGAZINE.
SI VOUS NE L'AVEZ PAS, TÉLÉPHONEZ AU 0 825 12 12 12 (0,99 F / MIN) OU WWW.AOL.FR



À QUOI ÇA SERT L'ACCÈS GRATUIT À INTERNET SI C'EST PAYANT ?

AOL EST LE SEUL À VOUS PROPOSER UN ACCÈS
À INTERNET ILLIMITÉ POUR 99 F/MOIS.
TOUS LES COÛTS SONT INCLUS Y COMPRIS LES
TÉLÉCOMMUNICATIONS.

En vous abonnant avant le 31.10.00 pour une période de 24 mois, vous êtes sûr de ne pas avoir de mauvaise surprise en fin de mois. Ni de la part d'AOL, ni sur votre facture téléphonique. (Offre mono-poste strictement réservée aux particuliers, conditions disponibles au 0 825 12 12 12 - 0,99 F/min).





KOURSK

Tombé sous les armes russes

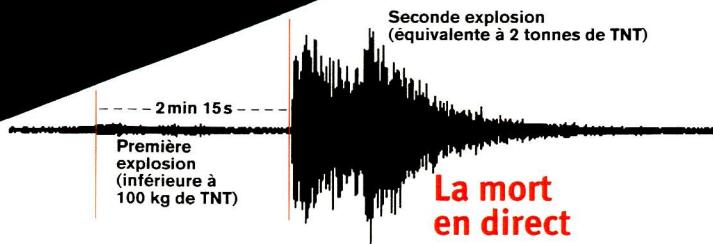
Un journal allemand, citant un rapport de l'ex-KGB, rapporte que le *Koursk* aurait été coulé par un missile du croiseur nucléaire *Pierre-le-Grand*. La marine et le gouvernement russes affirment que la catastrophe est due à une collision avec un sous-marin inconnu. De leur côté, les experts occidentaux favorisent la thèse de l'accident lors des essais d'une arme secrète : la torpille à supercavitation.



Pour sa première mission, toute la Russie est là

Le sous-marin d'attaque *Kursk*, construit en 1994, était l'une des unités les plus modernes de la flotte russe. Il avait été inauguré pour sa première mission à la mer, en 1998, par toutes les autorités civiles, militaires et religieuses, selon les traditions russes.

PHOTOS: CAPITAL'S EYE/MAXPPP



La mort en direct

Cet enregistrement sismique, recueilli par l'institut norvégien de sismologie Norstar, montre qu'une explosion inférieure à 100 kg de TNT s'est produite à 7h28 GMT, suivie, deux minutes quinze secondes plus tard, d'une autre, équivalente à 2 tonnes de TNT.

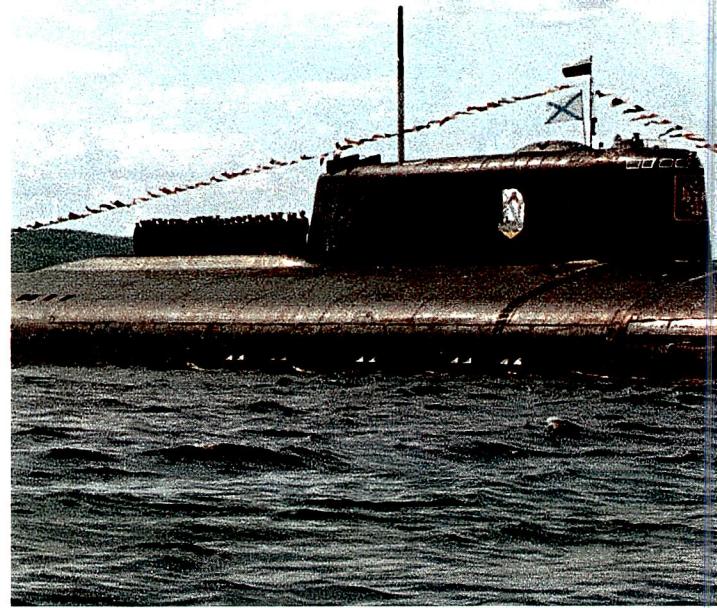
Au-delà de l'insupportable que représente la mort brutale des 118 marins, la catastrophe du *Kursk* pointe un éclairage cruel sur l'état de délabrement de l'armée russe, l'inadaptation et l'inefficacité de ses méthodes de commandement. Le *Kursk* appartient à une série de dix sous-marins. Conçus par le constructeur général Igor Baranov, du bureau de construction Rubin, ils ont été fabriqués dans le cadre du programme Antée 949A

(alias Oscar II pour l'OTAN). Sorti en 1994 des chantiers de Severodvinsk, le *Kursk* était l'un des bâtiments les plus modernes et les plus performants de la flotte russe: 154 m de long, 18,2 m de diamètre, double coque, 18300 t en plongée, cent sept membres d'équipage dont cinquante-deux officiers. Son autonomie de cent vingt-deux jours le destinait à la chasse et à la destruction des porte-avions. Ses deux réacteurs nucléaires OK 650 B de troisième génération à eau pressurisée développent chacun

190 MW pour alimenter deux turbines à vapeur de 50000 ch chacune, qui procurent au bâtiment puissance et souplesse de déplacement et de manœuvre. En surface, il développe 30 noeuds (56 km/h) et en plongée, 28 noeuds (52 km/h). Officiellement, il peut descendre jusqu'à 500 m (en réalité, probablement plus). Son armement est puissant: vingt-quatre missiles de croisière P-700 Granit, six tubes lance-torpilles de 533 mm et deux bombes anti-sous-marines de gros calibre. Son compartiment peut contenir jusqu'à vingt-huit torpilles.

Les manœuvres les plus importantes depuis quinze ans devaient annoncer au monde que la Russie allait reprendre sa place sur les mers, notamment en Méditerranée, où elle estime avoir des intérêts à défendre. Au programme: exercices de tir de missiles de croisière Granit, tirs de torpilles, et, ironie du sort, exercice de sauvetage d'un sous-marin nucléaire échoué sur le fond... Et, comme d'habitude depuis des décennies (rappelant les plus beaux jours de la guerre froide), Américains et Britanniques avaient envoyé leurs bâtiments dans les eaux internationales de la mer de Barents pour recueillir des informations. Deux sous-marins, un américain et un britannique, étaient présents. Un navire de surface américain, le *Loyal* faisait de l'intelligence électronique (des écoutes, au moyen d'un sonar) à 400 km de là au nord-nord/ouest du *Koursk*. Sans parler des satellites américains *Elint* d'écoute électronique.

Le 12 août, à bord du croiseur nucléaire *Pierre-le-Grand* (le centre de commandement des manœuvres), il n'était question que du banquet officiel qui devait clore le soir la "recette" – comme disent les militaires – des nouveaux systèmes d'armes: missiles et torpilles. Le *Koursk* avait ainsi embarqué deux spécialistes civils d'une usine militaire de production de torpilles et, semble-t-il, un spécialiste chinois. Le *Pierre-le-Grand* devait effectuer des tirs de missiles et le *Koursk* procéder au lancement sous-marin d'un missile de croisière Granit et de torpilles d'un nouveau type. A 14 heures GMT, le *Koursk* lance avec succès son missile. Dans la soirée, le *Pierre-le-Grand* reçoit l'ordre de rechercher le *Koursk*...



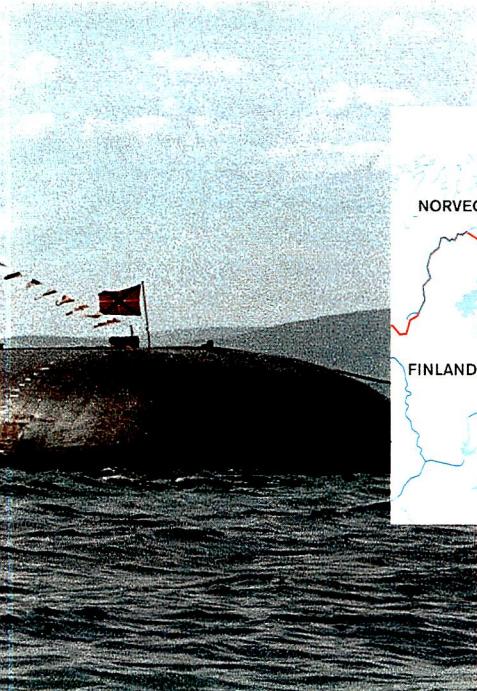
Ultimes manœuvres

Le 30 juin dernier, le *Koursk* partait en mission. Les manœuvres prévues visaient à démontrer au monde que la Russie comptait reprendre sa place de grande puissance marine en Méditerranée.

Il sera localisé le lendemain, à 0h 35 GMT, par les navires de surface russes à 37°35' de longitude est et 69°40' de latitude nord, posé avec une gîte de 20° par 108 m de fond, dans une zone de forts courants. Un premier sous-marin de poche est mis à l'eau à 18 heures locales (14 heures GMT). Allait s'ensuivre, pendant une semaine, une longue série de mensonges adressés à l'opinion publique russe et internationale, laissant croire qu'un contact avait été établi avec le sous-marin, qu'il y avait des survivants, qu'un approvisionnement en oxygène avait été établi... Pendant le week-end du 19 août, la marine russe et la Russie tout entière allaient connaître l'une des plus grandes humiliations de leur histoire, lorsque l'équipe de plongeurs norvégiens parvint à ouvrir une écoutille de secours. Ils avaient réussi à faire, en vingt-quatre heures, ce que la marine russe n'avait pas été capable d'effectuer en une semaine!

MONSTRUEUSE DÉCHIRURE

Grâce aux images prises par les robots sous-marins, on découvrit une monstrueuse déchirure le long des deux premiers compartiments et des ballasts du *Koursk*, qui ne laissaient aucun doute sur le sort de l'équipage. Les 118 marins ne furent déclarés officiellement morts que le 22 août par



REUTERS/MAXPPP



l'amiral Popov, visiblement ému, demandant le pardon de la nation.

Que s'est-il donc vraiment passé le 12 août au large de la presqu'île de Kola? Une chose apparaît certaine: c'est qu'il y eut, dans la mer de Barents, à l'endroit où était localisé le *Koursk*, deux explosions, espacées de deux minutes quinze secondes. Les enregistrements effectués ce jour-là par l'institut de sismologie norvégien Norstar montrent (voir p. 99) qu'une première explosion de faible puissance, inférieure à 100 kg de TNT et d'une intensité de 1,5 sur l'échelle de Richter, a été suivie d'une seconde, beaucoup plus importante, de 1 à 2 t d'équivalent TNT et de magnitude 3,5 sur l'échelle de Richter, survenue à 7 h 30 GMT. La marine russe dit avoir enregistré l'onde de choc à 11 h 38, heure locale (07 h 38 GMT).

Les diverses expéditions des sous-marins de poche montrent que les réacteurs nucléaires ont été arrêtés et que le periscope du sous-marin était sorti, ce qui laisse suggérer que le bâtiment était en immersion périscopique, et qu'il s'apprêtait peut-être à plonger, ce que semble confirmer la position des barres de plongée. Naturellement en pareil cas, les hypothèses fleurissent de toutes parts pour expliquer l'origine de la catastrophe. La commission d'enquête russe en retient une dizaine, allant d'un acte

terroriste à une chute de météorite.

Une première hypothèse fut émise par l'état-major de la flotte du Nord dès le 13 août. Les militaires, lors des premières déclarations à la presse, évoquèrent une collision avec un objet sous-marin inconnu de la taille du *Koursk*. Ce que semble indiquer le fait que le compartiment à torpilles à l'avant du bâtiment ait été gravement endommagé. La première explosion aurait provoqué une ouverture dans la coque de pression et les ballasts, qui auraient embarqué 80 t d'eau, précipitant le bâtiment très rapidement vers le fond, sur lequel il glisse avant de s'arrêter. Quelque chose se serait ensuite passé dans le compartiment avant du sous-marin, provoquant la deuxième explosion fatale.

POUR LES RUSSES, UNE TERRIBLE HUMILIATION

Le ministre de la Défense, Igor Serguiev, déclare que l'objet a été localisé, mais pas identifié. Pour les militaires et le gouvernement russe, c'est l'hypothèse numéro un. Le maréchal Serguiev précise qu'au cours des trente dernières années, onze collisions (dont dix avec des sous-marins américains) ont eu lieu dans les zones de manœuvres de la flotte du Nord et du Pacifique. Il est vrai que les manœuvres, qui se déroulaient en partie dans les eaux internationales étaient suivies par trois sous-marins et un bâtiment d'écoutes électroniques de l'OTAN, faits que le Pentagone et le ministère bri-

La mer de Barents comme sépulture

Le *Koursk* repose à plat, à 108 m de profondeur, par 37°35' de longitude est et 69°40' de latitude nord, dans une zone de forts courants de la mer de Barents. Les Russes ont décidé de récupérer les corps, une opération qui devrait durer tout le mois d'octobre, après quoi ils remonteront le sous-marin.

tannique de la Défense ne démentirent pas, tout en gardant une grande réserve. En revanche, ils s'opposèrent avec la plus grande énergie aux allégations des Russes montrant des objets (une bouée et un élément de protection d'un pont de sous-marin), possiblement arrachés lors de la collision, qui impliqueraient un bâtiment étranger. Les militaires russes ont inspecté minutieusement le fond dans la zone d'échouage du *Koursk* dans l'espoir de trouver quelque chose. Mais, si on considère les effets mécaniques de la collision prétendue du *Koursk* et les simples lois de la physique, on

bilité d'une collision avec un submersible britannique, car la catastrophe s'est produite dans la zone habituelle de surveillance des sous-marins britanniques. Le choc avec un navire de surface, civil ou militaire (le *Pierre-le-Grand*), constitue une variante de cette hypothèse. Aucune preuve flagrante n'a été fournie: où est le bâtiment? Quels sont les dégâts? Là aussi, tous les navires qui étaient présents dans la zone de manœuvres sont examinés à la loupe. Pour sa part, l'amiral norvégien *Erinar Skorgen*, qui a commandé l'équipe de secours, estime qu'une « violente explosion de gaz » est probablement à l'origine du naufrage du sous-marin. Selon lui, la thèse du choc avec un autre navire « n'est pas à prendre au sérieux ». Si la cause de la première détonation reste inconnue,

la deuxième détonation, « violente », peut être attribuée, selon l'amiral, à l'inflammation d'un mélange explosif d'oxygène et d'hydrogène, deux gaz transportés en grande quantité à bord du submersible russe. Ce que les plongeurs norvégiens ont vu atteste en tout cas d'un incendie...

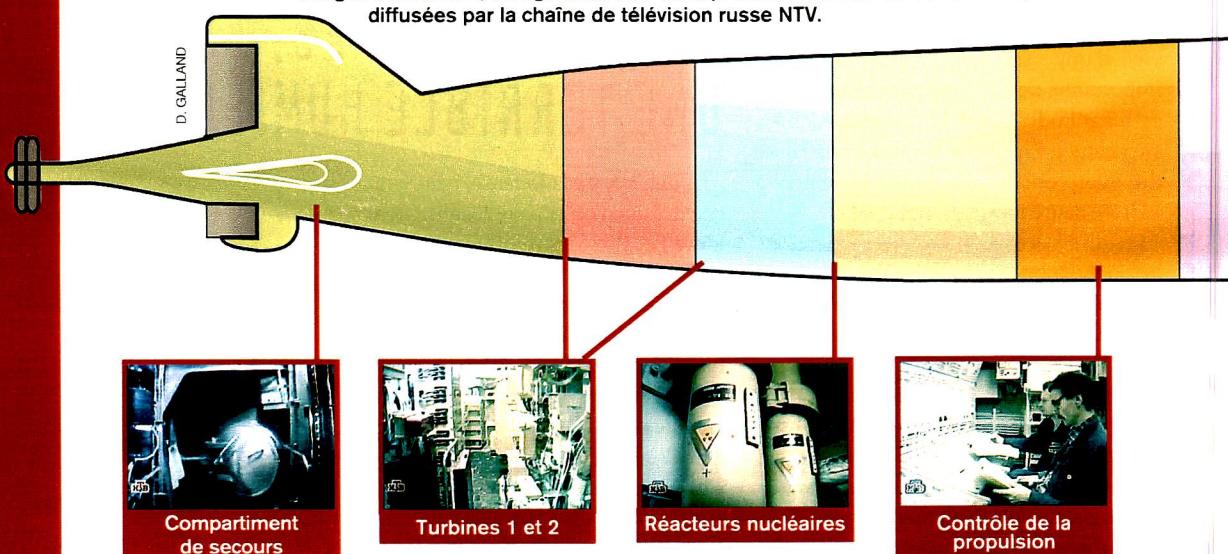
Le choc avec une mine de la Seconde

L'EX-KGB ÉVOQUE LA PISTE DES TCHÉTCHÈNES!

voit mal comment l'autre bâtiment n'aurait pas subi, lui aussi, d'importants dégâts. Ce qui aurait inévitablement été détecté. Or, dans la zone en question, on ne trouve aucune trace d'une telle collision. Le nom de *Memphis*, un sous-marin américain ayant fait relâche à Bergen (Norvège), a circulé un temps. On a également évoqué la possi-

Dans les entrailles du monstre

Longueur: 154 m. Diamètre: 18,2 m. Poids: 18 300 t. Divisé en neuf compartiments, le *Koursk*, qui pouvait atteindre 28 noeuds en plongée, était le dernier-né d'une série de dix sous-marins de chasse. Puissamment armé, il emportait vingt-quatre missiles de croisière *Granit* et vingt-huit torpilles. Les images ci-dessous, enregistrées lors de la première mission du sous-marin, ont été diffusées par la chaîne de télévision russe NTV.



Guerre mondiale a été évoqué la première fois par l'amiral Mikhail Motsak. Il pourrait expliquer la première détonation. Au cours de cette dernière décennie, neuf mines ont été trouvées par la flotte russe dans la mer de Barents. La dernière a été neutralisée en décembre dernier. On ne peut donc totalement éliminer cette hypothèse.

DEUX SPÉCIALISTES DAGHESANAIS

Une autre piste est apparue sur le site internet des combattants de Tchétchénie! Selon Movladi Oudounov, le porte-parole des combattants tchétchènes, l'explosion initiale aurait été provoquée par Sirajoudine Ramazov, un membre daghestanais de l'équipage acquis à la cause tchétchène. Le problème, c'est que personne de ce nom n'apparaît dans la liste des victimes. Cette hypothèse, aussi folklorique qu'elle puisse paraître, a quand même été suffisamment prise au sérieux pour que Nicolas Patrouchev, directeur du FSB (l'ex-KGB), mène l'enquête. Effectivement, le *Koursk* avait embarqué huit musulmans, dont l'ingénieur Maslan Islamovitch Gadjev et l'enseigne de vaisseau Arnold Yourievitch Borissov, deux spécialistes de la propulsion



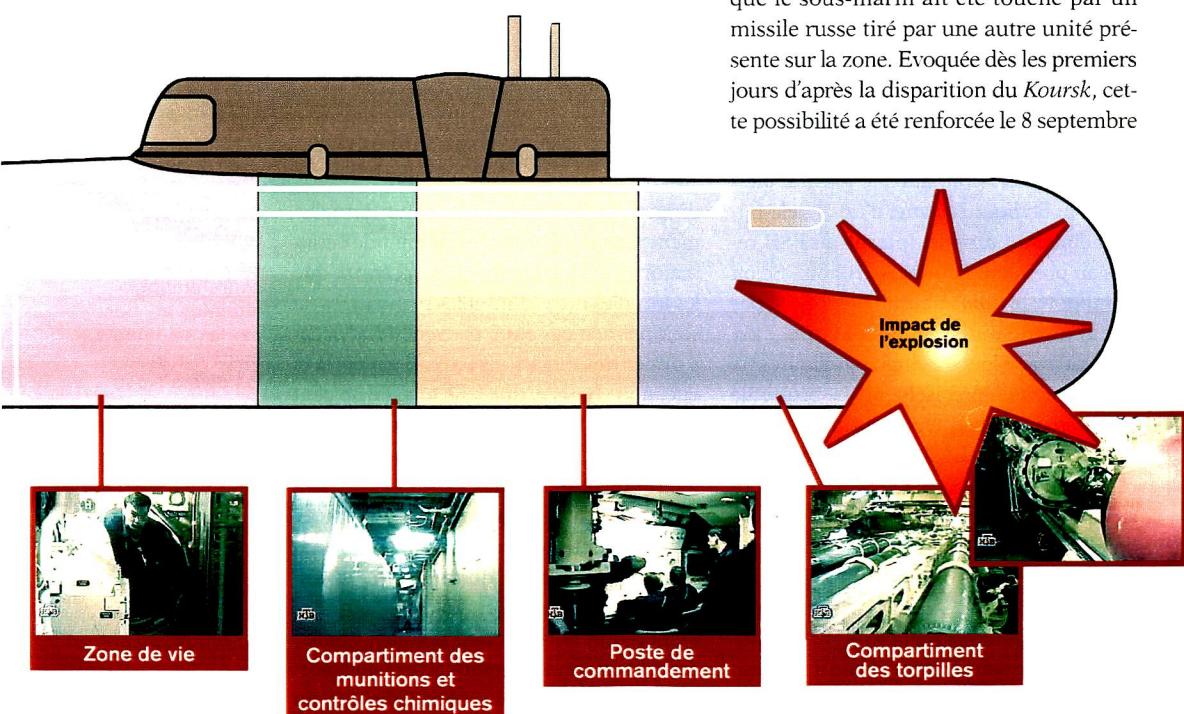
ITAR-TASS

L'hypothèse que refusent les militaires

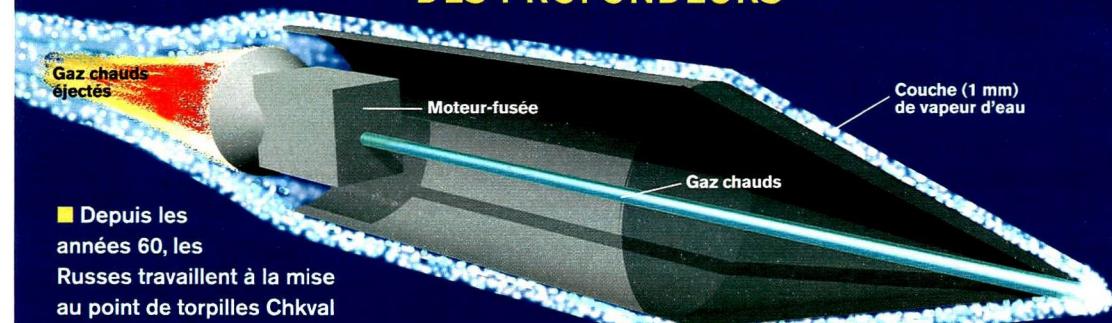
Selon un article d'un journal allemand, citant un rapport de l'ex-KGB, ce serait un missile tiré depuis le croiseur russe *Pierre-le-Grand* qui aurait causé la disparition du *Koursk*.

des torpilles. On voit mal comment ces spécialistes auraient pu introduire dans le sous-marin des charges explosives, ou saboter le fruit de leur travail. Navrotski, le porte-parole de la flotte du Nord, précise: « Gadjev est un excellent ingénieur et il a fait plusieurs plongées ». Si Patrouchev, au moment où nous écrivons, dit ne rien avoir à reprocher aux deux spécialistes daghestanais, le fait qu'il ait déclenché une enquête montre qu'aucune piste n'est négligée. D'autant plus qu'il suggère qu'il y en a d'autres très sérieuses qui n'ont pas été citées par la presse...

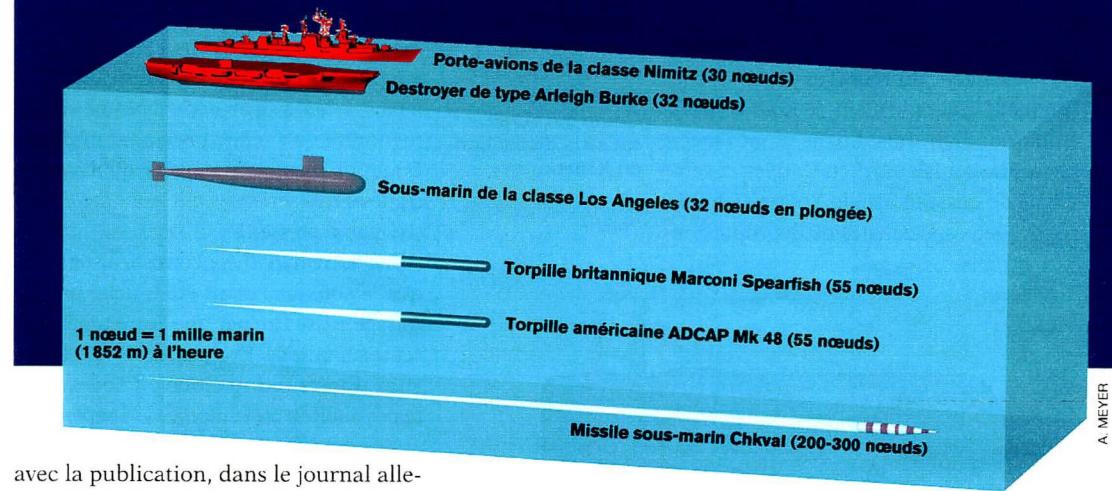
Une autre hypothèse consiste à supposer que le sous-marin ait été touché par un missile russe tiré par une autre unité présente sur la zone. Evoquée dès les premiers jours d'après la disparition du *Koursk*, cette possibilité a été renforcée le 8 septembre



CHKVAL, REDOUTABLE "BOURRASQUE" DES PROFONDEURS



■ Depuis les années 60, les Russes travaillent à la mise au point de torpilles Chkval (bourrasque) à supercavitation. Si la mise en œuvre est complexe, le principe est simple: une partie du jet de gaz chauds du moteur-fusée destiné à la propulsion est détournée pour enrober la torpille et transformer la couche d'eau de mer en vapeur. Le projectile se déplace ainsi dans une bulle, ce qui a pour effet de réduire la traînée de 40 %. Les vitesses atteintes sous l'eau sont considérables, de l'ordre de 300 à 400 km/h.



A. MEYER

avec la publication, dans le journal allemand le *Berliner Zeitung*, d'un article faisant état d'un rapport interne au FSB remis au président Poutine le 31 août. Selon ce rapport, le *Koursk* aurait été touché par une roquette antisubmersible tirée d'un vaisseau russe lors d'exercices militaires; le *Pierre-le-Grand*, précisément! Le projectile aurait parcouru une vingtaine de kilomètres dans les airs avant de plonger. Le rapport précise que, à 400 m près, les positions du missile et du *Koursk* coïncidaient, et ajoute qu'il s'en suivit deux explosions, perceptibles depuis le pont du *Pierre-le-Grand*. Le rapport n'indique pas les raisons pour lesquelles un missile aurait touché le sous-marin. Mais s'il s'avérait exact, ce scénario finirait de discréditer les

dirigeants de l'armée russe. Il fut formellement démenti par le chef adjoint de l'état-major et le gouvernement au prétexte que les torpilles tirées durant les manœuvres ne sont pas armées et ne peuvent donc occasionner des dégâts sérieux. Il est certain que, non chargée, une telle torpille ne peut pas trouver la double coque en acier du *Koursk*, stationné à une bonne dizaine de mètres de profondeur.

C'est une autre hypothèse encore qui retient l'essentiel de l'attention des spécialistes du Pentagone, du ministère britannique de la Défense et de la très sérieuse association norvégienne Bellona, qui accomplit un travail remarquable d'analyse et d'information sur les conséquences du

Ce schéma reproduit les vitesses couramment atteintes en mer par les bâtiments militaires et les divers types de torpilles. La suprématie du Chkval est éclatante.

désarmement en Russie. Les experts pensent que les marins russes se livraient à des essais secrets de deux nouveaux types d'armement: le missile de croisière Granit "à changement de milieu" (lancé du sous-marin, il sort de l'eau puis replonge pour atteindre sa cible sous la mer) et un nouveau type de torpille que les Russes décrivent comme une fusée sous-marine. L'accident serait survenu avec la torpille: à la suite d'une mauvaise mise à feu du système de propulsion de la torpille dans son tube, les carburants se seraient enflammés, engendrant l'explosion de la charge militaire, qui aurait provoqué le trou dans la coque. L'eau se serait engouffrée avec une telle rapidité que l'équipage n'a pas eu le temps de fermer les portes étanches des compartiments. De même, la fermeture automatique des compartiments n'a pas fonctionné parce que le système était détruit.

DE NOUVEAUX TUBES LANCE-TORPILLES DE 533 mm DE DIAMÈTRE!

Effectivement, des informations insistantes laissent supposer que le *Koursk* procédait bien au lancement d'un nouveau type de torpilles à propulsion liquide, dites à cavitation – ce qui expliquerait la présence de civils à bord et le surnombre des victimes. Le fait que son périscope soit sorti laisse penser qu'il était en immersion périscopique, attitude normale pour lancer des torpilles. Des torpilles d'un type très particulier. Les anciens tubes lance-torpilles du *Koursk* avaient été changés aux chantiers navals de Severodvinsk, en 1998, au profit de nouveaux tubes de 533 mm de diamètre! Or, on sait que les Russes ont mis au point, ces dernières années, une arme sous-marine entièrement novatrice, de 533 mm de diamètre, qui n'a pas d'équivalent dans les marines occidentales, le *Shkval* (bourrasque), traduit par *Chkval* en français. Il s'agit de véritables fusées sous-marines capables de propulser à 12 km des charges pisciformes à la vitesse de 300-360 km/h, soit de neuf à vingt fois plus rapidement que les torpilles conventionnelles à propulsion électrique. Ils peuvent également atteindre une cible à 400 m qui se déplace à près de 100 km/h.

C'est le phénomène de la cavitation qui

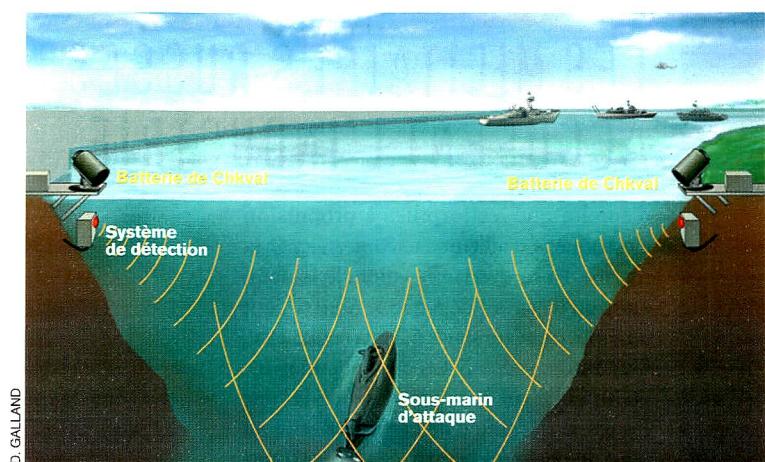
permet d'atteindre ces performances extraordinaires: il réduit en effet considérablement la traînée qui s'oppose au déplacement du projectile. On dit qu'il y a cavitation lorsqu'un corps qui se déplace dans l'eau parvient à réduire la pression qui s'exerce sur toute sa surface en transformant l'eau en une fine enveloppe de vapeur d'eau (en fait, des bulles microscopiques). En créant et en conservant pendant un cer-

UNE ARME NOUVELLE, SANS ÉQUIVALENT EN OCCIDENT

tain temps une très fine enveloppe (1 mm) de gaz autour de la charge, on parvient à réduire de l'ordre de 40 % les forces de frottement qui s'opposent au déplacement. Le tout est donc de créer et d'entretenir cette enveloppe de vapeur d'eau. La charge se trouve dans une sorte de bulle qui se déplace à toute vitesse dans l'eau. Diverses solutions (voir illustration ci-contre) ont été envisagées depuis les années 60 au sein du département des systèmes hydro-aérospatiaux de l'Institut d'aviation Sergo Ordjonikidzé de Moscou. La plupart font appel au moteur de fusée à réaction qui, seul, présente l'avantage d'assurer la source de gaz chauds nécessaires à la production de la vapeur autour de l'objet, mais également la propulsion à réaction pour le déplacement. Traditionnellement, la propulsion peut être assurée par des blocs solides qui se consument, ou comme dans les fusées, par des

Défense portuaire

Grâce à leurs performances exceptionnelles, des batteries de *Chkval* peuvent être utilisées pour des missions d'interdiction telles que la défense des ports.



carburant et comburant liquides. Les Russes ont choisi cette dernière version. La torpille VA-111 a un diamètre de 533 mm pour une longueur de 8,2 m. Elle a une portée de 6 à 12 km. Le Chkval E (anti-navire) porte une charge explosive de 250 kg à une distance de 9000 m, au terme d'une propulsion de quatre-vingt-dix secondes. Les Russes ont présenté ces armes pour la première fois officiellement à l'exportation en 1995. Et les Chinois en auraient acheté un certain nombre. (Fait qui pourrait expliquer la rumeur faisant état d'un Chinois au nombre des victimes.)

Le défaut de ces armes est qu'elles sont extrêmement bruyantes, donc aisément repérables par un sonar, ce qui en limite l'utilisation à des attaques ou en combat rapproché. Il est parfaitement concevable qu'un bâtiment du type du *Koursk*, auquel les deux réacteurs nucléaires et les turbines confèrent une (relative) maniabilité, soit équipé de Chkval à carburant liquide. Les militaires considèrent ce genre de bâtiment comme un chasseur sous-marin spécialisé dans l'attaque. Une salve de plusieurs Chkval peut ainsi permettre au commandant d'opérer une manœuvre de retrait. Vu leur principe de fonctionnement, les Chkval sont difficilement manœuvrables. Pour l'instant, ils sont utilisés pour des tirs tendus, la ligne droite étant conservée grâce à une plate-forme inertielle. L'utilisation de ces torpilles à carburant liquide, jugées plus dangereuses



Centrale nucléaire sous la mer

Pour l'instant, la radioactivité des deux réacteurs nucléaires du *Koursk* est contrôlée. Les réacteurs seront récupérés lors du relevage du sous-marin, l'année prochaine.

dinaire, en forme d'aveu, s'en prenait au complexe industriel qui avait contraint le *Koursk* à se douter de nouvelles torpilles jugées trop dangereuses: « Les sous-mariniers ont résisté autant qu'ils pouvaient en disant que les nouvelles torpilles étaient beaucoup trop compliquées à stocker et dangereuses à mettre en œuvre. Leur source d'énergie n'est pas une batterie à l'argent forcément chère, mais plutôt un moteur à carburant liquide, plus économique. De plus, la torpille est éjectée du tube non pas avec de l'air comprimé, mais par un jet de gaz produit par la combustion d'une cartouche pyrotechnique spéciale... On ne peut pas exclure l'éventualité qu'une torpille reste coincée dans le tube pendant son lancement et qu'elle explose dans le tube. »

La première détonation enregistrée par les Norvégiens pourrait bien correspondre soit à la destruction du compartiment à torpille et des ballasts par un missile fou ou une torpille soit à l'explosion de la charge d'un Chkval dans son tube à la suite d'une défaillance de la capsule d'éjection. L'eau s'engouffrant dans les ballasts et les compartiments avant entraîne rapidement le bâtiment vers le fond, où le reste des torpilles Chkval, et les autres, explosent. On ignore si les réacteurs se sont arrêtés automatiquement ou si, pendant ce court moment de confusion, des membres d'équipage auraient trouvé le temps de stopper les deux réacteurs nucléaires (1) pour qu'il n'y ait pas de fuites radioactives, ce qui a fait dire au général Manilov, numéro deux des forces armées de la fédération de Russie, que les marins du *Koursk* étaient morts en héros. Tombés sous leurs propres armes, celles du *Pierre-le-Grand*, ou celles du *Koursk*. Seul l'examen de la partie avant du sous-marin permettrait de savoir à coup sûr si elle a été perforée de l'intérieur ou de l'extérieur. On risque d'attendre longtemps... ■

LES MILITAIRES RUSSES ACCUSENT L'INDUSTRIE

d'emploi que les torpilles à propulsion électrique, a d'ailleurs été contestée par la marine. Hasard, ou accusation: le 14 août, alors qu'on savait déjà que le *Koursk* était au fond, un texte signé A. Gavrilenko et V. Gundarov, spécialistes des sous-marins, était publié sur le site internet de l'*Etoile Rouge*, le quotidien de l'armée. Retiré au bout de quelques heures, ce texte extraor-

(1) Les problèmes techniques et environnementaux liés aux réacteurs nucléaires du *Koursk* feront l'objet d'un prochain article.

MÊME SI ELLE ROUGIT,



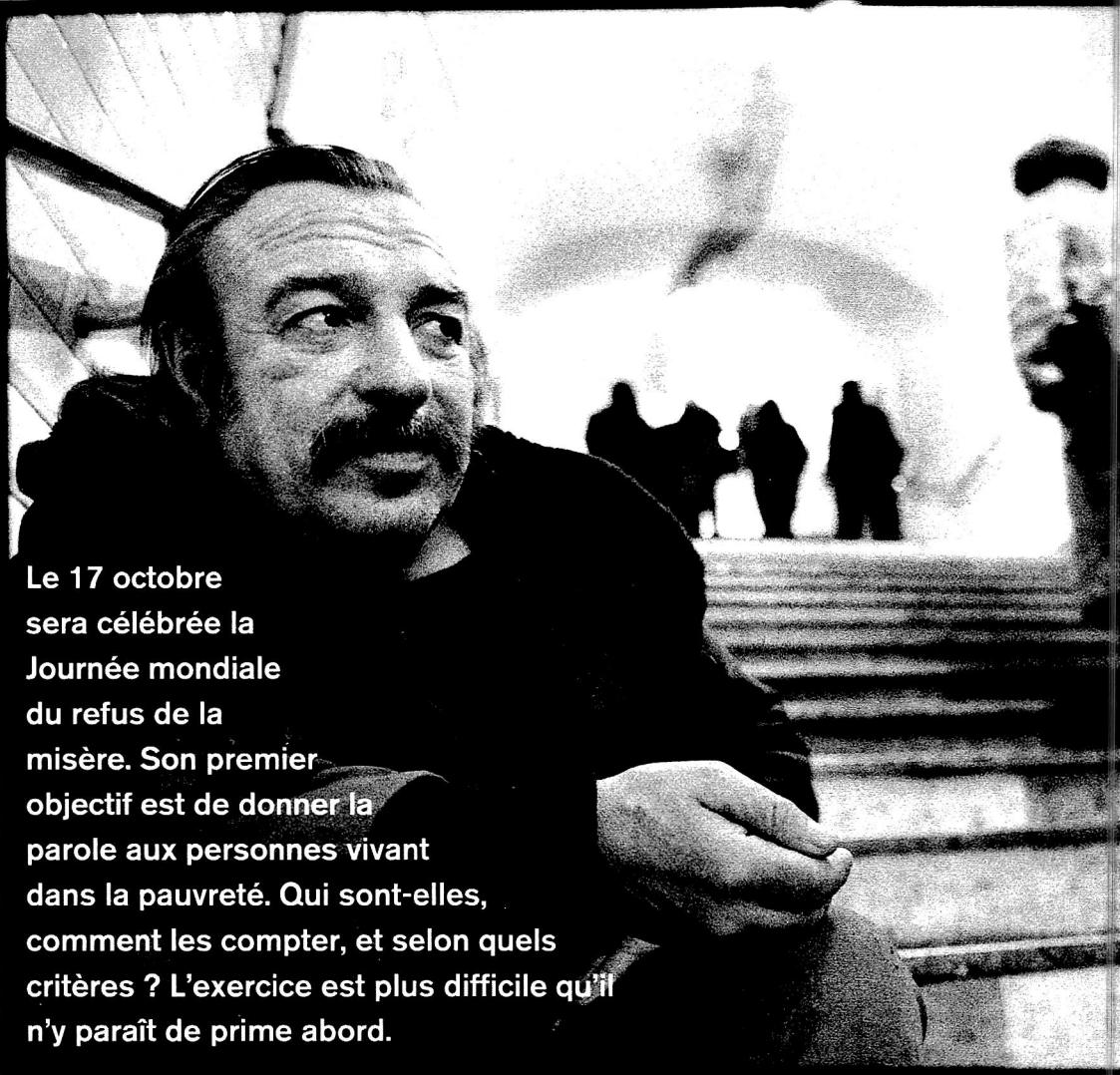
VOUS CONTRÔLEZ LA SITUATION.

Le nouveau ContiPremiumContact.

LE PNEU DE TECHNOLOGIE ALLEMANDE

Continental 

L'arithmétique



Le 17 octobre sera célébrée la Journée mondiale du refus de la misère. Son premier objectif est de donner la parole aux personnes vivant dans la pauvreté. Qui sont-elles, comment les compter, et selon quels critères ? L'exercice est plus difficile qu'il n'y paraît de prime abord.

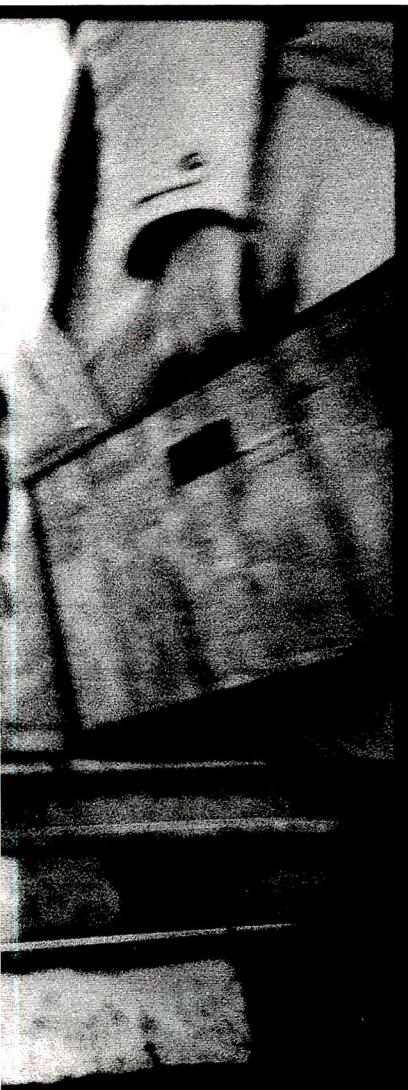
J.-F. JOLY/EDITING

On les a appelés, selon les époques et les lieux, gueux, indigents, mendians, pauvres, "olvidados", "have not"... Ceux qui manquent, qui n'ont pas assez pour vivre ont leur place dans notre histoire et dans notre géographie.

A l'opposé, aujourd'hui les grandes fortunes mondiales font recette : quand *Forbes*, *Fortune* ou *le Nouvel Economiste* en publient un classement annuel, l'ensemble de la presse écrite et audiovisuelle reprend l'information et la commente. La bataille pour les premières places fait rage. Et les évo-

lutions d'une année sur l'autre sont scrutées avec attention par les analystes. La chute de l'action Microsoft a-t-elle entamé la fortune de Bill Gates, comment se répercute la fusion Seagram-Vivendi sur le patrimoine des Bronfman, Liliane Bettencourt demeure-t-elle toujours la femme la plus riche du

de la misère



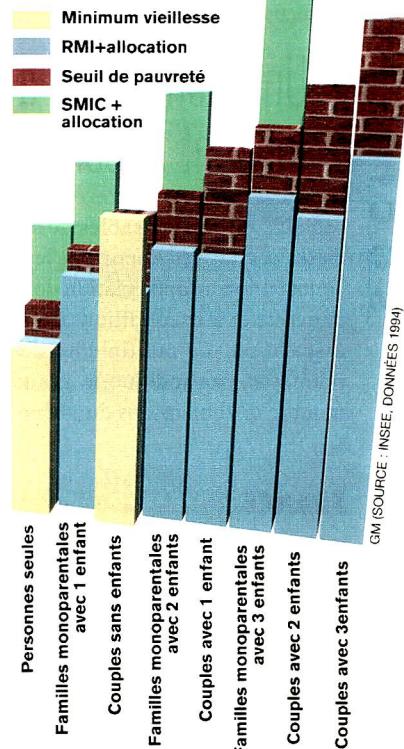
monde ? Compter l'accumulation paraît plus porteur de rêve et plus médiatique que de discourir sur le manque. De fait, les pauvres semblent faire moins parler d'eux. Même si mère Teresa, sœur Emmanuel ou l'abbé Pierre ne sont pas ignorés des médias : ils se sont attachés, leur vie durant, à être des

porte-paroles et des défenseurs des laissés-pour-compte, à en faire parler et à faire avancer leur cause.

L'observation des deux extrêmes de la richesse pose le débat de la répartition. Ce débat ne peut pas faire l'économie de l'analyse de la pauvreté, tant au niveau national, qu'international, que l'on se situe en période de morosité économique ou dans une phase de forte croissance. Ainsi, en 1995, la fracture sociale a occupé une place importante de la campagne présidentielle française, favorisant la prise de conscience des phénomènes de marginalisation. En 1988, toujours en France, s'est déroulé un débat important autour de l'accompagnement des phénomènes de nouvelle pauvreté (victimes du chômage de longue durée). Ce débat a abouti à la mise en place du RMI.

OPTIONS CONTRADICTOIRES

Au début d'année 2000, l'évaluation et l'affectation de l'excédent budgétaire (la trop fameuse "cagnotte") a donné lieu à d'abondants commentaires contradictoires. Ce différend opposait les partisans du désendettement public aux tenants de la redistribution fiscale vers les plus défavorisés sous forme de réduction d'impôts. Les uns proposaient de réduire la part du budget dédiée à la rémunération de la dette publique (avec un effet attendu sur les taux d'intérêt), les autres d'accroître les dépenses à destination des populations pauvres et de les faire bénéficier des fruits de la croissance retrouvée. Encore faut-il savoir de quels "pauvres" on



GM (SOURCE : INSEE, DONNÉES 1994)

A chacun son seuil

Il ne suffit pas de connaître le revenu d'un ménage pour savoir s'il est en deçà du seuil de pauvreté (*le mur en briques*). Un couple, sans enfant, bénéficiant du SMIC et d'une allocation logement (revenus totaux : 5 400 F) est "pauvre"; une personne seule avec le même SMIC et une allocation logement (revenus totaux : 5 200 F) ne l'est pas.

parle. Moins porteuse de rêve, moins médiatique, la pauvreté est également plus complexe à approcher. Comment compter ce qui manque ? Et ceux qui manquent ?

De nombreuses disciplines scientifiques se sont, depuis toujours, intéressées à décrire et à comprendre la pauvreté : nutritionnistes, médecins, historiens, anthropologues, spécialistes de

psychologie sociale, psychanalystes, économistes, statisticiens, sociologues proposent leurs définitions de la pauvreté en se référant au "manque de" ou à l'insuffisance.

Des responsables et des théoriciens politiques, des partenaires

mène ("multidimensionnalité de la définition", disent les spécialistes) et sa complexité.

Trahissant des difficultés de définition, les incertitudes sur les comptes de la pauvreté – même au sein des pays développés – sont un

pectivement les méthodes de l'Institut statistique européen (Eurostat) ou celles de l'INSEE français. Quant aux populations des "sans domicile", qui échappent en grande partie à l'outil statistique (phénomène qui caractérise aussi la grande pauvreté), leur évaluation est soumise, en France, à un facteur 4 (entre 100 000 et 400 000 personnes, selon les chiffrages). Mais avant d'évaluer la pauvreté, il a bien fallu la définir. L'exercice est d'autant plus ardu que la pauvreté est inobservée en elle-même.

Tout au plus peut-on chercher à en exhiber des indicateurs. Malnutrition et dénutrition, absence de soins médicaux et faible taux de médicalisation, présence dans un logement précaire ou insalubre, manque d'éducation et de formation, difficultés d'accès au marché de l'emploi sont quelques-uns des nombreux repères des situations de pauvreté. Cependant, l'observation isolée de ces variables ne traduit pas nécessairement une situation de pauvreté. Mais la probabilité d'une situation de pauvreté s'accroît avec l'observation cumulée de plusieurs de ces variables sur une même population. De même, la faible insertion dans l'environnement social immédiat, l'absence d'accès aux loisirs et à la culture

Un phénomène à plusieurs dimensions rendant le comptage incertain

sociaux, des responsables de sociétés caritatives apportent leur contribution à l'appréciation de la pauvreté et aux conditions de sa disparition. La multiplicité des points de vue indique le grand nombre de dimensions du phéno-

des révélateurs de cette complexité. Ainsi en Europe, où l'appareil statistique est certainement l'un des plus performants, on dénombrait en France, 7,6 millions de "pauvres" en 1993, ou 8,5 millions, en 1994, selon que l'on retient res-

FRANCE



Les mesures de la pauvreté "relative"

Une manière de comptabiliser la pauvreté consiste à "isoler" les individus disposant du moins de ressources. Ainsi, en France, on décrète que les 10% les moins fortunés sont en deçà du seuil de pauvreté. Ailleurs en Europe, c'est la moitié du revenu moyen (ou médian) qui définit ce seuil.



LES ARITHMÉTIQUES DE LA PAUVRETÉ RELATIVE

■ Mesurer la pauvreté relative revient à passer par trois étapes : choix d'un (ou plusieurs) indicateur, définition d'un seuil et mesure de la population située en deçà. Avant d'entreprendre la mesure, il est nécessaire de respecter un certain nombre de conditions et d'opérer des choix de méthodes.

1. Les conditions générales de mesure

L'observation de la pauvreté (et la mesure qui en découle) doit être conduite dans une optique dynamique (tendance à la marginalisation, difficultés transitoires, pauvreté "stable"...).

2. Quels choix sur le revenu ?

Plusieurs définitions du revenu peuvent être retenues.

Revenu monétaire annuel : somme des revenus monétaires sur douze mois. Ce revenu ne tient pas compte des ressources du patrimoine, du temps libre, des solidarités...

Revenu élargi : revenu monétaire annuel plus revenus en nature (loyers fictifs, prestations sociales en nature, production domestique...). Sa prise en compte est fondamentale pour effectuer des comparaisons internationales (prise en compte des mécanismes de prestations sociales).

Revenu pluriannuel : notion intermédiaire entre revenu courant et revenu permanent. Le revenu annuel est déjà une première forme intermédiaire de solution.

Autres solutions :

- étude longitudinale à partir de données de panel ;
- prise en compte du patrimoine dans ses formes plus ou moins liquides.

Revenu permanent : il tient compte des économies, des aides de l'entourage et de la capacité d'emprunt, c'est la somme actualisée des ressources perçues au long d'une partie ou de la totalité du cycle de vie. *Nota bene* : cette approche est peu opérationnelle, car en univers incertain, des revenus futurs ne peuvent pas compenser entièrement une trop forte pauvreté actuelle.

Richesse totale : somme actualisée du revenu présent, des espérances de revenus futurs, et de l'équivalent du patrimoine actuel sous forme de rente viagère.

Une fois choisie la variable de revenu, la méthode relative privilégie le choix du revenu moyen ou du revenu médian ;

- la moyenne est influencée par les revenus les plus élevés ;
- la médiane est plus stable dans le temps.

3. Les échelles d'équivalence entre ménages

Le niveau du seuil de pauvreté dépend évidemment de la composition du ménage. Il faut calculer des échelles d'équivalence en fonction des âges de la vie, pour tenir compte des économies d'échelle dans les ménages de plusieurs personnes.

Au cours des années 50, l'échelle dite d'Oxford proposait de compter le premier adulte pour 1, les suivants de plus de 14 ans pour 0,7 et l'enfant de moins de 14 ans pour 0,5.

Le changement des modes de vie (travail des femmes, entrée plus tardive des enfants dans la vie active, allongement de l'espérance

de vie...) a nécessité le réexamen de cette échelle d'équivalence. Cette échelle peut être estimée selon deux méthodes :

- la première retient un modèle de consommation dit de Prais-Houthakker, qui distingue biens collectifs (bénéficiant d'économie d'échelle comme l'automobile, le logement...) et biens individuels.

Le degré de "collectivité" du bien est apprécié sur une échelle d'élasticité comprise entre 0 et 1 (= 0 si le bien est totalement partagé par le ménage ; 1 dans le cas d'un bien individuel "pur"). On obtient ainsi 0,4 pour le logement, 0,6 pour les transports

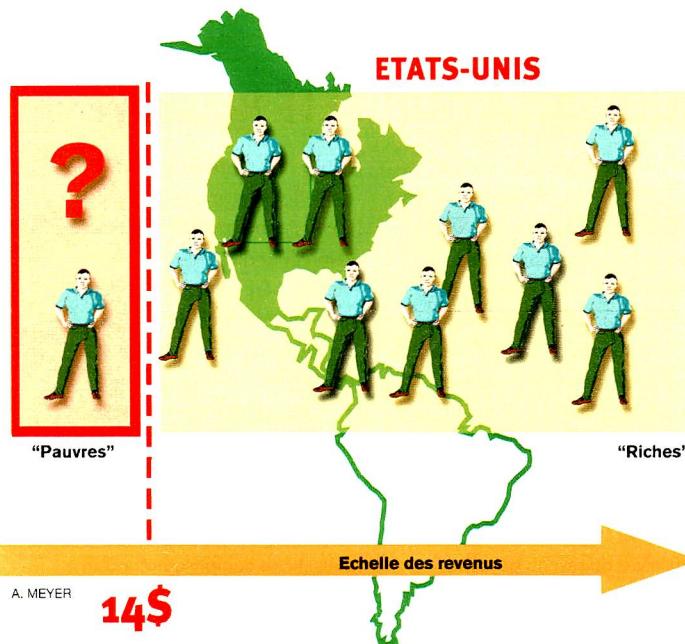
et télécoms, 0,9 pour les loisirs ;

- la seconde est fondée sur des questions qualitatives mesurant le degré d'aisance : questions sur l'aisance financière du ménage (questions indirectes) et qualification du niveau de vie (questions directes). Moins lourde à mettre en œuvre, cette seconde méthode évite les écueils normatifs, c'est-à-dire la conception du bien-être selon le statisticien.

Les deux méthodes modifient les poids des membres du ménage dans des proportions identiques :

- le premier adulte compte pour 1 unité de consommation ;
- les adultes suivants pour 0,5 (> 14 ans) ;
- et les enfants pour 0,3 (< 14 ans).

Cette requalification des coefficients de pondération montre à quel point la réalité est changeante : avec le temps, mais aussi dans l'espace. C'est pourquoi la recherche sur les approches subjectives privilégient la réalité de chacun et relativisent la place du statisticien.



sont également des indicateurs d'une situation de pauvreté éventuelle, même si ces critères peuvent aussi être repérés auprès de populations largement insérées. Inobservables, en tant que telle, la pauvreté est qualifiée de variable "latente" par les statisticiens.

SELON L'ÉPOQUE ET LE LIEU

A cette première difficulté s'en ajoute une autre. Dans les campagnes, les sociologues constatent ainsi une forte corrélation entre célibat masculin et faible rentabilité de l'exploitation agricole : les jeunes hommes ne parviendraient-ils pas à trouver une compagne quand leur exploitation est jugée non-viable ou l'absence de cellule familiale contribue-t-elle à ralentir le développement de l'exploitation agricole ? Ainsi les indicateurs de la pauvreté ne parviennent-ils pas à isoler causes et conséquences du phénomène lui-même.

Enfin, la pauvreté rend compte de réalités différentes selon l'époque et le lieu. C'est pourquoi le PNUD (Programme des Nations unies pour le développement, voir encadré) fixe comme seuil de pauvreté 1 dollar par personne et par

ETATS-UNIS

La mesure de la pauvreté "absolue"

Aux Etats-Unis, on mesure la pauvreté en fixant préalablement un seuil monétaire correspondant à la satisfaction de besoins jugés élémentaires (14 dollars). En deçà de ce seuil, on est "pauvre" ; au-delà, on ne l'est pas, indépendamment de la répartition des autres revenus.

mode de comptabilisation retenu que seront définies les mesures de lutte contre la pauvreté et que les autorités publiques définiront leurs priorités d'action.

Quelle que soit la méthode retenue pour compter la pauvreté, une démarche en trois étapes est incontournable. Il faut d'abord choisir des indicateurs (et s'assurer de leur pertinence), puis définir un seuil de ces indicateurs séparant pauvres et "non-pauvres" (on touche ici à une première limite propre à l'analyse de la pauvreté : en quoi le "dernier pauvre" comptabilisé, celui qui se trouve juste en deçà du seuil, est-il plus pauvre que celui qui se trouve au voisinage supérieur du seuil?). Enfin, il s'agit de comptabiliser, à intervalle régulier, le nombre d'individus se trouvant en deçà du seuil retenu (et leur dispersion en deçà de ce seuil pour mesurer l'intensité de la pauvreté).

Mais ces étapes peuvent être au

L'INDICATEUR DU DÉVELOPPEMENT HUMAIN

- Pour les pays en voie de développement, à côté d'une approche absolue sur un seuil de consommation par habitant et par jour, le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD) propose l'IDH, indicateur du développement humain. C'est un indicateur composite (formé lui-même de plusieurs indicateurs) : il synthétise la longévité (espérance de vie), les connaissances (taux d'analphabétisme et durée moyenne de scolarisation) et le niveau de vie (pouvoir d'achat réel). L'IDH est compris entre 0 et 1 : plus il se rapproche de 1, plus il correspond à une réalité de pays riche.

DES CRITÈRES QUI INSPIRENT L'ACTION

| | Approche absolue (Amérique du Nord et pays du tiers monde) | Approches relatives (Europe) |
|----------------------------------|--|--|
| Principes de base | <p>Approche objective</p> <p>Analyse initiale : détermination d'un seuil absolu de survie (minimum biologique)</p> <p>Analyse complémentaire : prise en compte des besoins nécessaires pour mener "une vie décente".</p> | <p>Approche objective</p> <p>Détermination d'un seuil de revenu correspondant à :</p> <ul style="list-style-type: none"> la fraction la plus pauvre de l'ensemble des ménages une fraction du revenu moyen ou médian (50 % en général). |
| Rôle de l'action publique | <p>Approches subjectives alternatives : enquête auprès des ménages sur leur aisance financière par rapport à un foyer comparable (évaluation par les individus de leur propre situation matérielle).</p> | <p>Assurer l'atteinte du seuil/Combler l'écart entre le seuil et les revenus des pauvres.</p> <p>Mise en place d'actions de politique économique et sociale et de mesures d'efficacité sur les actions entreprises (observation inter-temporelle – en particulier sur les panels).</p> |

développés en Amérique du Nord. L'autre approche, davantage utilisée en Europe, repose sur la notion de pauvreté relative. Ainsi, on est "pauvre" non plus en fonction de son incapacité à satisfaire ses besoins élémentaires mais selon la place que l'on occupe dans l'échelle des revenus (voir "De la mesure

moyen. Une variante de cette approche, fréquemment utilisée en France, consiste à établir le revenu correspondant au revenu maximum des 10 % les plus pauvres de la population (dans le cas de la France, on aboutit sensiblement au même résultat). La plupart des auteurs et des instituts des pays industrialisés européens optent pour l'une de ces deux approches relatives (INSEE, Eurostat...).

Clairement différentes, ces deux approches n'orientent pas l'action publique dans les mêmes directions. En Europe, on veillera à renforcer la cohésion sociale, à faire en sorte que les 10 % des plus pauvres "collent" au plus près du reste de la population. Aux Etats-Unis, on s'efforcera de distribuer de manière volontariste le "néces-

service de démarches d'inspirations théoriques différentes. De manière schématique, deux méthodes s'opposent. L'une, la plus utilisée aux Etats-Unis, se fonde sur une approche absolue de la pauvreté. Les statisticiens y ont opté depuis longtemps pour l'adoption d'un seuil de survie. Elle trouve son origine dans les travaux des nutritionnistes américains de la fin du XIX^e siècle : ils ont fixé une valeur à ce seuil, en établissant la valeur monétaire du menu journalier d'un travailleur manuel.

MINIMUM SOCIAL OBJECTIF

Cette approche s'est progressivement affinée pour proposer un minimum social objectif, prenant en compte des besoins autres qu'alimentaires. Ce minimum s'obtient par estimation du poids de l'alimentation dans le budget total des ménages. L'application au panier alimentaire de base de l'inverse de ce poids – déterminé par catégorie de ménage – permet de calculer une batterie de seuils de pauvreté. Aux Etats-Unis, il en existe aujourd'hui une cinquantaine, fonctions de la taille et de la composition de la famille. En deçà de ce seuil on est "pauvre", au-delà on ne l'est pas. Il s'agit bien d'un concept de "pauvreté absolue". Le fait que certains s'enrichissent ne rend pas nécessairement les pauvres plus pauvres ou plus nombreux. Cette méthode s'applique également

Une méthode inspirée des travaux des nutritionnistes de la fin du XIX^e

dans de nombreux pays en voie de développement où l'alimentation occupe une place importante dans le revenu des ménages. En outre, l'appareil statistique des organisations internationales s'inspire largement des concepts théoriques

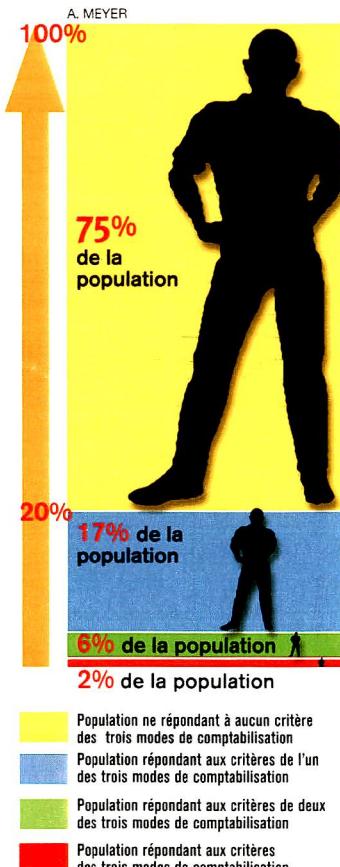
de la pauvreté relative", p. 110). Les statisticiens des pays de l'Union européenne dénombrent les individus dont le revenu monétaire annuel est inférieur à la moitié du revenu médian (actuellement, en France, un peu moins de 4000 F), ou

saire à survie" auprès de ceux qui en sont privés. Mais elles ont en commun d'être criticables sur des points identiques.

Primo, elles se fondent exclusivement sur la richesse monétaire. Or, elle ne suffit pas à appréhender la pauvreté. D'autres composantes, en effet, telles que l'existence ou non d'un patrimoine, d'un réseau relationnel, d'une production domestique, sont déterminantes dans le diagnostic de pauvreté.

Secundo, elles reposent sur l'action normative du démographe, du statisticien, de l'économiste du développement. Comment et au nom de quoi fixent-ils le contenu et la quantité de ce qui convient pour vivre ? Par exemple, dans les enquêtes de condition de vie en France, ni tabac ni alcool n'entrent dans la définition du minimum social : le statisticien estime que ces pratiques ne recueillent pas un consensus social. La question se pose également pour la régularité des pratiques sexuelles ; ainsi en Allemagne, certaines définitions de minima sociaux prévoient-elles la distribution de tickets d'entrée dans les Eros Centers... Bref, ces approches renseignent sans doute sur la pauvreté, mais posent la question sur le statut (et le rôle) de l'auteur de la mesure.

Ce sont ces critiques qui sont à



Un quart de la population française concernée

A eux trois, les différents modes de comptabilisation (relatif, subjectif, ou subjectif "par les conditions de vie") rassemblent un quart de la population française. Seuls 2 % de la population apparaissent "pauvre" au sens des trois critères. Il s'agit du "noyau dur" de la pauvreté.

Qui est pauvre ? Après tout, pourquoi ne pas le demander aux intéressés...

l'origine d'une troisième méthode, subjective, qui confine le statisticien à un rôle de technicien de l'analyse d'opinion. Le principe en est on ne peut plus simple : puisqu'il est si difficile de définir ce seuil de pauvreté, pourquoi ne pas se borner à questionner les individus sur leur propre situation face au sentiment de pauvreté ? L'en-

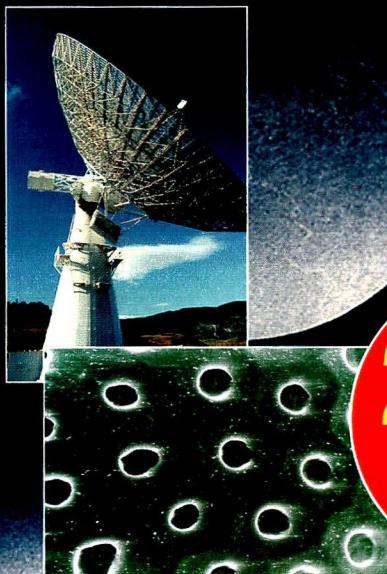
quêteur propose à la population interrogée (échantillon représentatif de la population totale) de s'exprimer sur son éventuelle pauvreté. Les critères retenus dans le questionnaire se concentrent sur la facilité à faire face aux dépenses de consommation d'une part, et sur les retards éventuels de paiement d'autre part.

En France, cette méthode, dite subjective, isole près de 11 % de l'ensemble des ménages. L'un de ses grands mérites est d'être à l'écoute de la réalité vécue et de ses évolutions. Mais elle présente l'inconvénient, majeur, d'accorder du crédit à des témoignages victimes de subjectivité, précisément (l'un pourra se dire "pauvre" en raison de lourds remboursements d'emprunt pour l'acquisition d'un appartement cossu, l'autre à son aise dans un logement délabré).

LE RÔLE DE L'OBSERVATEUR

Alors, les "pauvres", combien sont-ils "réellement" ? En France, on dénombre 10 % de "pauvres relatifs" (par définition), 11 % de "pauvres subjectifs", alors qu'une variante de la méthodologie subjective, dite "par les conditions de vie" (pour laquelle un panel européen de 19000 personnes issues de 7300 ménages est suivi depuis 1994) isole 13 % de la population. De cette façon, l'INSEE obtient trois ensembles d'individus dont le recouvrement n'est que partiel : 25 % sont dans l'un des trois, 6 % dans deux d'entre eux et 2 % dans les trois ensembles simultanément. En d'autres termes, l'intersection des ensembles portant respectivement 10 %, 11 % et 13 % nous donne un sous-ensemble ne concernant que 2 % de la population. Ce dernier score paraît traduire le "noyau dur de la pauvreté". On y trouve en particulier des ménages sans diplôme, des familles monoparentales ou des hommes seuls faiblement insérés sur le marché du travail, des étrangers, des handicapés de santé, tous étant dépourvus ou faiblement dotés en capital. Pour autant, un quart de la population française est – ou se déclare – confronté à une situation de pauvreté. En cette matière aussi, le point de vue de celui qui observe pèse lourd dans le résultat final.

Pour comprendre le sens de la vie comme le sens de l'univers... Abonnez-vous à SCIENCE & VIE.



229
francs
seulement



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 **229 francs*** seulement.

Nom _____

Prénom

Codes postaux

Téléphone

Je choisis de régler par :

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

— POUR LAISSEZ-FAIRE —

expire à fin mois année

expire à fin [] mois [] année

Date et signature obligatoires

◀

www.english-test.net

⁶ Au lieu de 276 francs, prix normal de vente des magazines, chez votre marchand de journaux.

AU LIEU DE 276 FRANCS PRIX NORMAL DE VENTE DES MAGAZINES CHEZ VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX

OFFRE VALABLE JUSQU'À FIN MARS 2000 ET RESERVÉE À LA FRANCE METROPOLITaine.
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone

Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 17 ou Minitel : tapez 36 15 ABON,

par internet : <http://www.abomag.com> SV 9

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 lettre, vous nous demandez l'accès à ces données et l'autorisez à communiquer d'autres modalités de communication. Si vous ne souhaitez pas d'être contacté, merci de nous le faire savoir.

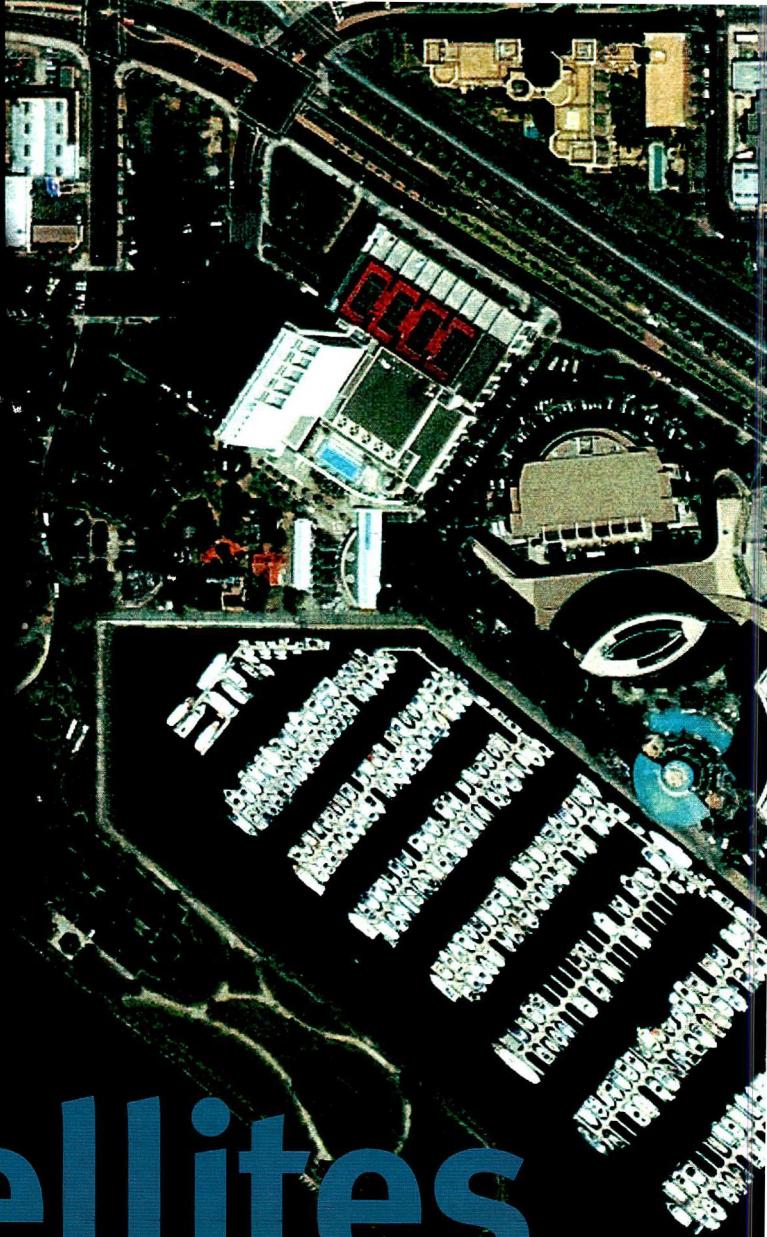
notre intermédiaire. Vous pouvez être assuré à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous faire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

Redacted content

PHOTOS CORE

Sur le front des images spatiales, la bataille commerciale fait rage. Forts de leur avance technologique, les Américains cherchent à s'assurer définitivement le monopole mondial de l'imagerie spatiale en cassant à n'importe quel prix les efforts européens...

PAR MARTIN CRAG



Satellites La guerre des images



Haute définition

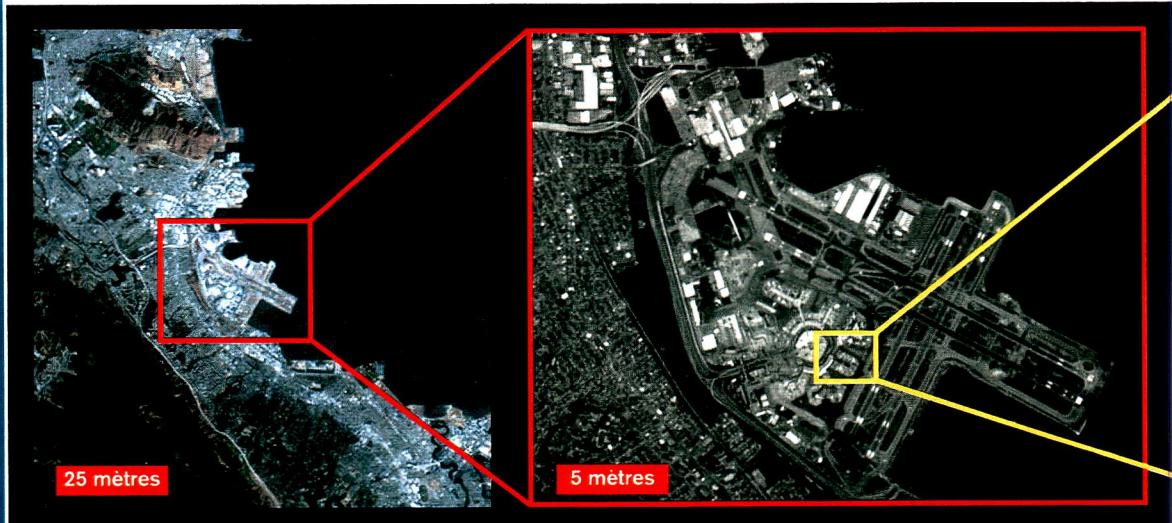
Pour la première fois, des images permettant de distinguer des détails de 1 mètre, prises par le satellite américain de haute définition *Ikonom*, sont offertes sur le marché commercial. Ici, le port de San Diego, en Californie.

Au mètre près

Ces trois images (ci-dessous) illustrent bien les formidables progrès accomplis par l'imagerie satellitaire commerciale. A gauche, une photo prise par le satellite civil américain *Landsat*, d'une génération ancienne, offre une vision de San Francisco avec une définition de 25 m.

Le 24 septembre 1999, la firme privée Space Imaging lançait avec succès le premier satellite commercial de haute définition (1 mètre), *Ikonos*, qui offre depuis, sur le marché international des images d'une qualité semblable à celle d'*Hélios*, le satellite-espion français. Hasard et loi du marché ? Pas vraiment... Les "mères" de cette nouvelle société créée en 1994 ne sont autres que deux sociétés très au fait des technologies d'observation spatiale : Lockheed – contractant majeur du National Reconnaissance Office (NRO), fabricant des KH-11, KH-12 et Improved Crystal, entre autres – et E-Systems, une filiale de l'un des autres fleurons du complexe militaro-industriel américain, Raytheon. Coup de chance, l'année même de la création de Space Imaging, Bill Clinton décidait de libéraliser soudainement la vente des images satellitaires, jusqu'alors inimaginable avec une définition aussi précise. Et encore un miracle : l'administration décidait d'offrir un

peut acheter des images à Space Imaging. Et les organisations non gouvernementales (ONG) s'y mettent ! En mai dernier, la FAS (Federation of American Scientists) et le CDI (Center for Defense Information) ont rendu publiques des images des préparatifs militaires chinois contre Taïwan. Surtout, les images d'*Ikonos* offrent des possibilités bien supérieures à celles des satellites civils antérieurs pour des quantités d'applications en agriculture, en environnement, en climatologie, voire même en fiscalité : il est déjà possible pour la Communauté européenne, en utilisant des images du satellite *Spot*, de vérifier que les mises en jachère qu'elle ordonne sont bien appliquées. Et Washington s'intéresse à l'utilisation des images d'*Ikonos* pour vérifier la conformité des constructions aux permis délivrés. Moins agréable pour le gouvernement américain, la FAS a publié des images de la base secrète de Nellis, dans le Nevada, où des millions d'Américains croient dur comme fer que l'on tripotouille des ca-



Au milieu, une vue de la même ville, prise par le satellite d'observation indien *ERS* avec une définition de 5 m. A droite, image d'une définition de 1 m, due au satellite *Ikonos* : saisissants détails de San Francisco.

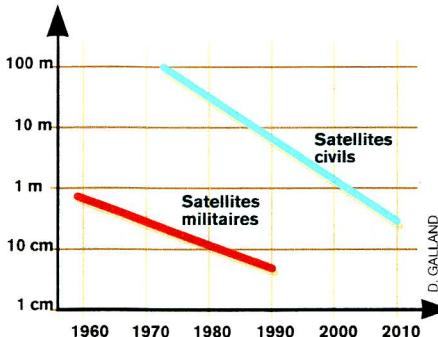
contrat mirifique à la jeune société, conclu avec une nouvelle agence du Pentagone chargée justement d'exploiter les images spatiales : la NIMA (National Imagery and Mapping Agency). Depuis cette année, n'importe quel gouvernement étranger, ou n'importe quelle entreprise qui en reçoit l'autorisation (on conçoit que Saddam Hussein puisse avoir du mal !)

davres d'extraterrestres depuis cinquante ans. Les publications sont incessantes, puisqu'on a vu aussi des images des bases nucléaires nord-coréennes : rien qui puisse blesser cette fois le Pentagone. Mais les Européens ne peuvent plus compter que sur la qualité de leurs analystes pour faire la différence. Et ils réfléchissent aux solutions. La première consistera pour les

Français, qui travaillent d'arrache-pied sur leur futur satellite *Hélios-2* (il doit être lancé en 2003), à le doter de capacités très supérieures à celles d'*Hélios-1*. Il sera donc capable d'aller un peu fouiller dans l'infrarouge, et surtout verra lui aussi des détails de dix centimètres.

ACCORD ENTRE PARIS ET BONN

Pour l'instant, Paris n'a pas trouvé d'Etat d'accord pour partager la facture de 11 milliards de francs, mais cela devrait changer assez rapidement. Surtout, les gouvernements français et allemand ont annoncé lors du sommet de Mayence, en mai 2000, que Paris et Bonn sont désormais d'accord pour un "gentlemen's agreement" : échanger les productions d'*Hélios-2* et du futur système *SAR-Lupe*, dont Bonn vient de décider le financement pour environ 500 millions d'euros. Et c'est là que l'Europe pourrait tirer son épingle du jeu, en disposant à la fois de photographies "optiques" de précision décimétrique fournies par les Français et



Mise en vente

On peut voir sur ce schéma que les militaires américains ont pu dès les années 60 disposer d'images d'une définition de 1 m. Et de 10 cm dès le début des années 80. Puis quand les Français ont mis sur orbite leur premier satellite militaire d'une résolution de 1 m, *Hélios-1A* en 1995, Washington a autorisé la vente commerciale d'images de cette définition-là.

un radar spatial du même type, *Horus*. Ils y ont renoncé en 1999 pour des raisons budgétaires, et se sont prononcés, l'année suivante, pour un nouveau programme. Pourquoi ce choix? Parce que *SAR-Lupe*, dont on sait encore très peu de chose, est un système d'une autre nature, reposant sur une constellation de deux ou trois petits satellites, beaucoup moins cher que le défunt *Horus*. Le Pentagone voit rouge. Depuis plusieurs années, il mène avec le NRO et la DARPA (Defense Advance Research Agency) un lobbying discret, mais intense, auprès des autorités françaises et allemandes pour qu'elles acceptent de participer à un nouveau programme de satellites-radar de nouvelle génération, baptisé *Discoverer 2 Starlite*, qui permettrait d'obtenir une couverture permanente de l'ensemble de la Terre avec une constellation de 24 satellites. Que nenni, ont répondu de concert les deux leaders de l'Union européenne, qui entendent bien se débrouiller tout seuls. Car les Allemands ont déjà été

échaudés par les Américains, qui leur avaient proposé, au début des années 90, d'acquérir un satellite-espion optronique "clés en main", selon la formule consacrée. Le problème, pourtant, était justement celui des clés. Washington entendait conserver la haute main sur la distribution des images, en s'arrogant le droit de fermer le robinet quand bon lui semblerait.



des images radars du *SAR-Lupe*. Car l'un des gros problèmes actuels, c'est que les Américains sont – encore! – les seuls à pouvoir observer la Terre par tous les temps avec leurs satellites radars *Lacrosse*. Sa précision serait de l'ordre du mètre, et quatre exemplaires ont été lancés depuis 1998, le dernier le 17 août 2000. Initialement, les Allemands travaillaient sur

rait, en fonction des évolutions de la situation internationale ! La leçon a porté, mais les Américains ont désespérément besoin de partenaires pour le programme *Discoverer-2*. Il est vrai que le Pentagone a placé la barre très haut : il demande 25 milliards de dollars pour son nouveau système d'espionnage. C'est exactement la raison pour laquelle la Chambre des représentants a annulé ce projet, le jugeant hors de prix. Même le financement de la phase de définition, s'élevant à 130 millions de dollars, n'a pas été accepté...

IMAGES SPATIALES

SECRETS MILITAIRES

■ Aux Etats-Unis, mais c'est la même chose en Russie ou en France, qui possède avec les deux satellites *Hélios* ses espions de l'espace, les productions des engins spatiaux sont mieux protégées que les bijoux de la Couronne. Il s'agit de documents d'une sensibilité extrême, dont la communication est impossible pour plusieurs raisons. D'abord, parce qu'elle démontrerait, notamment à des gouvernements ou à des fonctionnaires étrangers, la nature exacte de la connaissance que l'on peut avoir de leurs activités. Ensuite, parce que ces derniers n'ont pas à connaître les outils les plus précieux de leur partenaire. Enfin, parce que cela ne se fait pas. Durant la guerre des Malouines, en 1982, le Premier ministre britannique, Margaret Thatcher, sans doute plus "reaganienne" que le président américain Ronald Reagan lui-même, eu un mal de chien à obtenir des services secrets américains qu'ils lui fournissent des informations sur les activités militaires argentines observables depuis l'espace. Autre exemple : durant la crise des euromissiles, le chancelier allemand Helmut Schmidt eut connaissance par le gouvernement américain de photographies spatiales du territoire de l'Allemagne de l'Est montrant plusieurs zones de déploiement de missiles SS 20 soviétiques. Mais les images étaient charcutées de telle sorte que seuls les engins étaient visibles, et aucun élément de leur environnement. François Mitterrand, à la veille du déclenchement de la guerre du Golfe, fit l'expérience d'une humiliation similaire, lorsque l'officier général américain venu lui présenter, dans son bureau, des images des objectifs irakiens repartit avec, au motif que ces images concernaient la sécurité nationale américaine... En fait, seul le président américain est destinataire de l'intégralité de ces images, mais lors du briefing quotidien préparé par le National Security Council, ce sont essentiellement des analyses et des synthèses qui lui sont présentées, pas des images !

Cette guerre des images à laquelle se livrent les nations ne date pas d'hier. Elle n'est qu'un des aspects modernes de cette priorité qu'a eue depuis le fond des âges le renseignement, notamment lorsqu'il s'est agi de préparer, et *a fortiori* de mener, une guerre. Aujourd'hui, il demeure primordial pour les dirigeants des Etats, pour les entreprises, voire même pour certains particuliers, de disposer d'informations que leurs concurrents, ennemis ou partenaires veulent leur cacher, afin d'obtenir sur eux un avantage. Dans la terminologie actuelle, il est convenu de distinguer le recueil d'informations accessibles sans que le droit soit violé – que l'on appelle le renseignement "ouvert" – de l'espionnage, par nature illégal. L'observation directe d'un terrain quelconque, surtout si elle se mène depuis l'espace, se situe entre les deux, appartenant de ce fait à l'information "grise". A la différence de ce qui se passe dans le cas des avions, n'importe quel satellite peut survoler sans restriction un quelconque pays, en temps de paix ou en temps de guerre. Un gouvernement pourra empêcher que l'on pénètre dans une zone particulière, ou que l'on photographie depuis une route voisine une installation protégée. Il pourra en interdire le survol par avion, avec d'autant plus de facilité s'il dispose de moyens militaires d'interdiction, avions de chasse ou missiles. Pour les satellites, c'est autre chose : chacun y opère sans restriction.

LES ESPIONS D'ABORD

Il était normal que les espions, avides de nouvelles technologies, soient les premiers à s'intéresser à l'aventure spatiale, et ils ont de fait cherché très tôt à satelliser des appareils photographiques, d'abord rudimentaires, puis de plus en plus perfectionnés. Leur précision, surtout, s'est progressivement améliorée, au point qu'il est désormais possible de distinguer depuis l'espace des détails de l'ordre de dix centimètres ! Les autres améliorations des systèmes les plus modernes, généralement américains, concernent la numérisation des images, la rapidité de leur transmission, et tous les moyens informatiques d'analyse qui leur



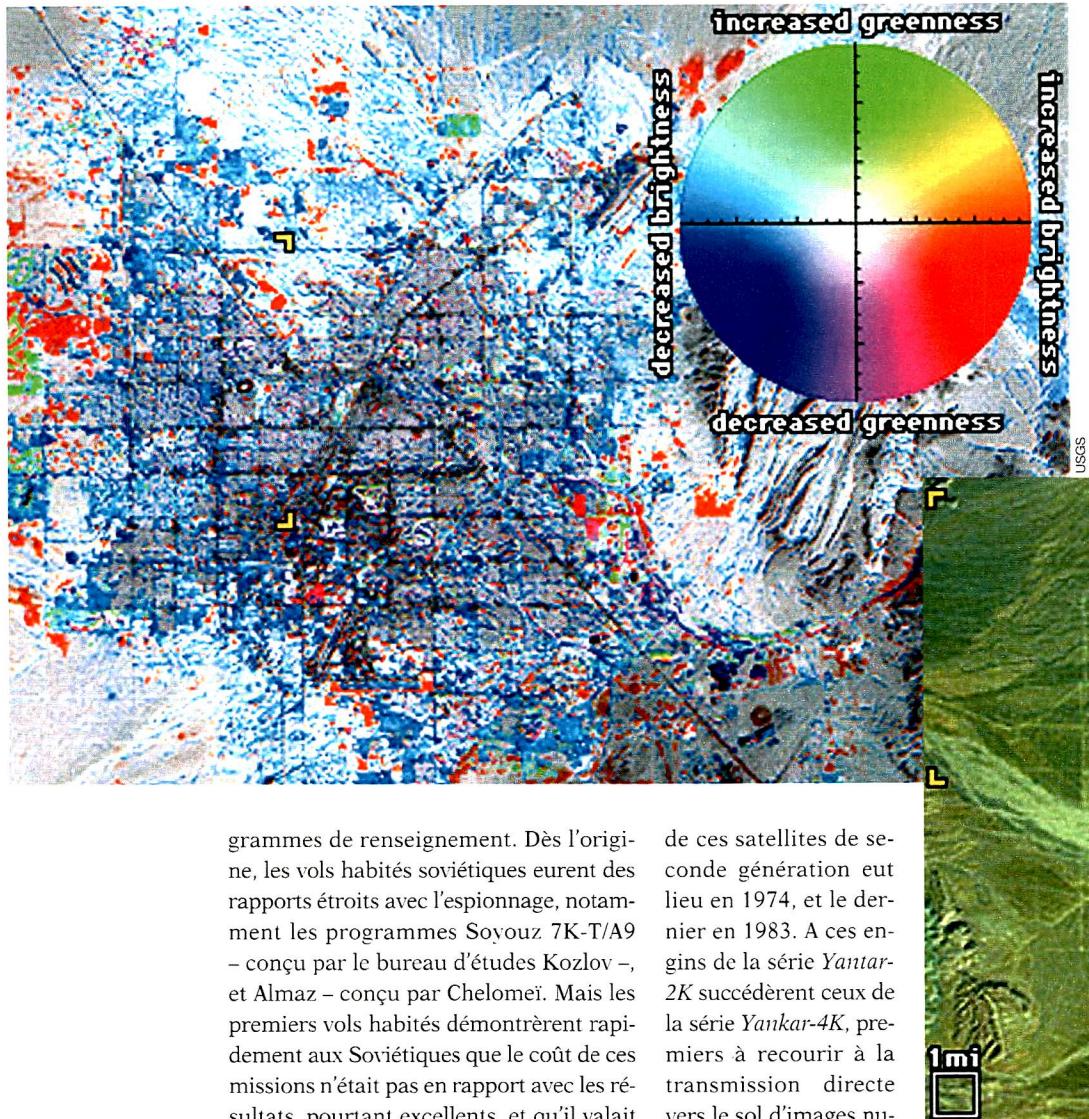
SPACE IMAGING sont associés. L'extrême sensibilité de ces informations recueillies par les services secrets en a fait durant près de quarante ans une production destinée exclusivement aux cercles dirigeants les plus fermés, mais des évolutions majeures sont en cours : désormais, les militaires et les espions ne sont plus les seuls utilisateurs de ces images recueillies depuis l'espace. Des satellites "civils" sont en orbite, leurs capacités techniques égalant souvent, et surpassant parfois, celles des engins destinés au renseignement stratégique.

Les deux premiers Etats qui se sont lancés dans la mise en œuvre de satellites

artificiels, la Russie et les Etats-Unis, ont très vite cherché à placer en orbite des satellites-espions. Les Soviétiques, qui avaient pris un avantage psychologique considérable en lançant le premier satellite artificiel, le *Spoutnik*, le 4 octobre 1957, puis en envoyant le premier homme dans l'espace, Youri Gagarine, le 12 avril 1961, ont également mis en œuvre rapidement des moyens spatiaux d'observation de la Terre. Ils développaient, simultanément, une trentaine de systèmes spatiaux différents au début des années 60, et ils en ont finalement retenu quatorze, dont nombre d'entre eux liés à des pro-

Rome, vue du ciel

Si les voies du Seigneur sont impénétrables, la Ville Sainte n'a plus de secret pour qui veut s'offrir une image prise à 200 km d'altitude. A condition qu'il fasse beau, les détails révélés par le satellite *Ikos* sont saisissants.



grammes de renseignement. Dès l'origine, les vols habités soviétiques eurent des rapports étroits avec l'espionnage, notamment les programmes *Soyouz 7K-T/A9* – conçu par le bureau d'études *Kozlov* –, et *Almaz* – conçu par *Chelomeï*. Mais les premiers vols habités démontrent rapidement aux Soviétiques que le coût de ces missions n'était pas en rapport avec les résultats, pourtant excellents, et qu'il valait mieux dépendre en priorité de vols non habités pour mener des missions de renseignement. Ces dernières visaient principalement à repérer, à localiser et à cartographier des objectifs pour les missiles stratégiques.

Les engins utilisés à cette fin furent les satellites photographiques *Zenit-2*, mis au point par le bureau d'études *Korolev*, puis *Zenit-4*, *Zenit 2M* et *Zenit 4M*, dont la conception et la mise au point revinrent à *Koslov*. Ces satellites étaient d'ailleurs très proches de ceux de la série *Vostok*. Puis ce même bureau d'études se lança dans les années 70 dans la mise au point des satellites *Yantar*. Le premier lancement d'un

de ces satellites de seconde génération eut lieu en 1974, et le dernier en 1983. A ces engins de la série *Yantar-2K* succédèrent ceux de la série *Yantar-4K*, premiers à recourir à la transmission directe vers le sol d'images numériques, via un satellite-relais *Potok*. Selon les informations disponibles, vingt-deux engins de ce type ont été lancés entre 1984 et 1998, tous de la base de Baïkonour.

FILMS À IMAGE ARGENTIQUE

Leur durée de vie moyenne n'était que de deux cent quarante jours, bien meilleure toutefois que celle des engins précédents, et leur orbite elliptique les amenait, tout comme les engins des séries antérieures, à un périgée de 200 km, nécessaire pour obtenir des images de bonne définition. Malgré ce recours à l'imagerie numérique, les difficultés de l'industrie

Une ville en mutation

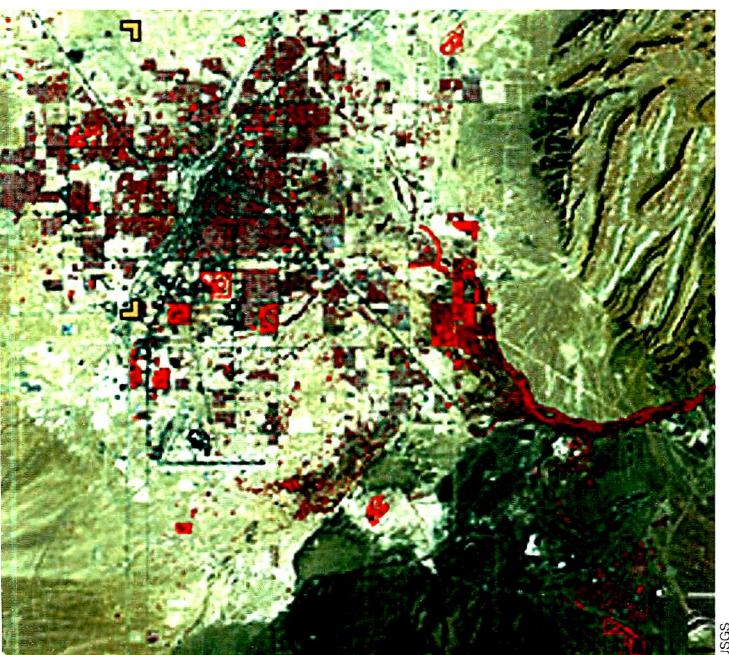
Il est possible de suivre l'évolution d'un paysage ou d'une ville – ici Las Vegas, depuis 1972 – en jouant avec la gamme chromatique, et aussi l'intensité lumineuse, sur des images fournies par satellite.

électronique russe ont conduit l'armée à continuer de recourir jusque dans les années 90 à la très rustique technologie de l'éjection de cartouches photographiques, utilisant des films à image argentique développés sur Terre. Les premiers satellites disposaient d'une seule cartouche, offrant dans les années 60 une résolution de 10 à 15 mètres. Chaque film permettait de prendre 1 500 vues d'une zone représentée par un carré de 60 km de côté. Puis les engins emportèrent deux capsules, larguées successivement. Enfin, conçus sur la base des *Yantar*, la dernière série de satellites photographiques russes, les

rable. Car non seulement les satellites permettent de se renseigner sur une situation géopolitique, mais ils permettent en outre de recueillir des informations relevant de l'une des priorités essentielles des armées : la cartographie et l'information géographique. Aujourd'hui numérique, l'information spatiale permet de dresser des cartes, et surtout de préparer des modèles numériques de terrain indispensables aux armements modernes, tels que les missiles de croisière et les avions de chasse, qui peuvent caler leurs radars de suivi de terrain sur les cartes numériques chargées dans leur mémoire de bord et atteindre ainsi leur cible automatiquement ou presque. Les commandos et les forces spéciales ont également massivement recours aux informations numériques transmises depuis l'espace : les détails sont si précis qu'il est parfaitement possible – et cela se fait – de modéliser un objectif et ses approches au cœur d'une ville ou dans n'importe quel environnement complexe, puis de préparer une simulation d'opération sur un ordinateur qui reproduira fidèlement toutes ses caractéristiques. Aucune arme moderne ne saurait se priver de ces atouts.

PELICULE LARGUÉE DEPUIS L'ESPACE

Après l'échec des premiers essais d'un satellite expérimental, le *Samos*, le premier engin opérationnel que les Américains ont satellisé est le KH-1 *Corona* (KH pour Key Hole, "trou de serrure"), dont le premier exemplaire fut lancé en juin 1959. On en était alors à la préhistoire de l'espionnage spatial, et *Corona* ne transportait qu'un vulgaire appareil photographique, fonctionnant exactement comme celui d'un touriste sur la plage, avec des pellicules argentiques qu'il fallait récupérer pour les développer dans des bains de révélateur. Cette mission revenait à des avions Fairchild C-119 Flying Boxcar, ou C-130 Hercules qui remorquaient une sorte de grand câble destiné à attraper la pellicule larguée depuis l'espace dans une capsule accrochée à un parachute. Les images produites par les missions *Corona* menées par les satellites des séries KH-1 à KH-4B, mais aussi celles des missions



Orlets-1 et *Orlets-2*, dont huit exemplaires furent lancés entre 1989 et 1994, emportèrent chacun huit capsules, placées autour de l'engin et autorisant une durée de vie de soixante jours. Mais une ultime version, mise au point à la fin des années 80 et équipée de vingt-deux capsules, ne vit pas le jour. L'URSS avait alors vécu, et avec elle la gloire de l'espace russe. On sait très peu de choses aujourd'hui des capacités des systèmes d'espionnage russes en orbite, ni même si ces capacités subsistent dans des conditions opérationnelles.

Pour les Russes, l'absence de renseignement spatial est un handicap considé-

Argon (KH-5) et Lanyard (Satellites KH-6) qui les ont suivies ont été, au moins en partie, déclassifiées à partir de 1995 à la demande du président Bill Clinton, qui publia à cette occasion son Executive Order n° 12951. Elles sont partiellement disponibles sur le site web du NRO (<http://www.nro.odci.gov/corona.html>) de même qu'une impressionnante liste de documents accessibles, qui concernent les premières années d'activité de l'espionnage photographique spatial américain, dont la simple nomenclature ne fait pas moins de 142 pages! 860 000 documents photographiques ont été numérisés et sont désormais proposés dans une base de données publique, libre d'accès (<http://edc.usgs.gov/Webglis/glisbin/search.pl?DISP>), qui permet de chercher les images d'une zone particulière, pour peu que l'on dispose de ses coordonnées précises. Les clichés disponibles montrent qu'il fallait tout le talent des photo-interprétateurs de l'US Air Force, spécialistes de l'analyse des photographies aériennes, pour tirer la substantifique moelle de ces documents flous, imprécis et dont la localisation était extrêmement difficile. La difficulté à recueillir des cartouches et la nécessité de les faire revenir rapidement sur Terre impliquaient en ces temps héroïques de l'aventure spatiale que les missions des satellites soient courtes, même si cela faisait de ces engins les appareils-photos les plus chers que l'industrie ait jamais produits.

DES MISSIONS TRÈS SPÉCIALES

Il arrivait même souvent que des documents trop peu explicites exigent que des engins soient lancés pour aller photographier une seule zone d'intérêt, afin d'en préciser les observations. Les lancements réguliers des centaines de satellites soviétiques mis en orbite durant la guerre froide s'expliquent pour une large part de cette manière, mais les Américains eurent également recours à cette méthode. Les trois missions des satellites KH-6 lancés entre mars et juillet 1963 visaient ainsi à vérifier les travaux de construction d'un site de lanceurs balistiques intercontinentaux, non loin de Tallinn.

LES SATELLITES

| Système | Pays | Agence | Mission | Premier tir |
|------------------|------------|---------|----------|-------------|
| KH-1 | Etats-Unis | DARPA | Corona | 21-01-59 |
| Samos | Etats-Unis | USAF | | 11-10-60 |
| KH-2 | Etats-Unis | USAF | Corona | 26-10-60 |
| KH-5 | Etats-Unis | US Navy | Argon | 17-01-61 |
| KH-3 | Etats-Unis | USAF | Corona | 30-08-61 |
| ZENIT-2 | URSS | | | 11-12-61 |
| KH-4 | Etats-Unis | USAF | Corona | 27-02-62 |
| KH-6 | Etats-Unis | USAF | Lanyard | 18-03-63 |
| KH-7 | Etats-Unis | USAF | Gambit | 12-07-63 |
| KH-4A | Etats-Unis | USAF | Corona | 25-08-63 |
| ZENIT-4 | URSS | | | 16-11-63 |
| KH-8 | Etats-Unis | USAF | Gambit | 29-06-66 |
| KH-4B | Etats-Unis | USAF | Corona | 15-07-67 |
| ZENIT-2M | URSS | | Gektor | 21-03-68 |
| ZENIT-4M | URSS | | Rotor | 23-01-69 |
| ZENIT-4MK | URSS | | | 23-12-69 |
| KH-9 | Etats-Unis | USAF | Big Bird | 15-06-71 |
| YANTAR-2K | URSS | | Feniks | 23-05-74 |
| FSW | Chine | | | 05-11-74 |
| ZENIT-6 | URSS | | Argon | 24-11-76 |
| KH-11 | Etats-Unis | USAF | Kennan | 19-12-76 |
| ZENIT-4MKM | URSS | | | 12-07-77 |
| YANTAR-4K1 | URSS | | Oktan | 04-79 |
| YANTAR-1KFT | URSS | | Komet | 18-02-81 |
| YANTAR-4KS1 | URSS | | Terilen | 26-12-82 |
| ZENIT-8 | URSS | | Oblik | 29-06-84 |
| ALMAZ-T | URSS | | Mech | 29-06-86 |
| ORLETS-2 | URSS | | | 22-10-86 |
| Lacrosse | Etats-Unis | NRO | | 02-12-88 |
| ORLETS-1 | URSS | | Don | 18-07-89 |
| KH-12 | Etats-Unis | USAF | | 28-02-90 |
| OFEQ | Israël | | | 05-04-95 |
| Hélios-1 | France | DRM | | 01-07-95 |
| Improved Crystal | Etats-Unis | NRO | | 05-12-95 |
| ARKON-1 | Russie | GRU | | 06-06-97 |

Sources du tableau: Encyclopedia Astronautica, Astronautical Society of American Scientists.

DE SURVEILLANCE DANS LE MONDE

| Dernier tir | Durée de vie | Résolution | Type | Nombre de tirs |
|-------------|----------------|------------|------------------------------------|--------------------|
| 13-09-60 | | 12 m | Photo, éjection cartouche | 16, dont 7 échecs |
| 11-11-62 | | 1,5 à 30 m | Photo, éjection cartouche | 12, dont 3 échecs |
| 04-08-61 | | 9 m | Photo, éjection cartouche | 7, dont 3 échecs |
| 21-08-64 | | 140 m | Photo, éjection cartouche | 12, dont 5 échecs |
| 01-01-62 | | 7,6 m | Photo, éjection cartouche | 10, dont 1 échec |
| 12-05-70 | 8 jours | | Photo, éjection cartouche | 101, dont 3 échecs |
| 21-12-63 | | 162 m | Photo, éjection cartouche | 26, dont 2 échecs |
| 31-07-63 | | 1,80 m | Photo, éjection cartouche | 3, dont 1 échec |
| 04-06-67 | 7 jours | 0,46 m | Photo, éjection cartouche | 38, dont 2 échecs |
| 22-09-69 | | 2,7 m | Photo, éjection cartouche | 52, dont 2 échecs |
| 07-08-70 | 8 jours | | Photo, éjection cartouche | 76, dont 4 échecs |
| 17-04-84 | 50 jours | | Photo, éjection cartouche | 52, dont 1 échec |
| 25-05-72 | | 1,80 m | Photo, éjection cartouche | 15, dont 1 échec |
| 12-08-79 | 12 jours | | Photo, éjection cartouche | 99, dont 4 échecs |
| 25-07-74 | 14 jours | | Photo, éjection cartouche | 60, dont 4 échecs |
| 22-06-77 | 13 jours | | Photo, éjection cartouche | 79, dont 2 échecs |
| 25-06-84 | 275 jours | 0,6 m | Photo, éjection cartouche | 20 |
| 28-06-83 | 60 jours | | Photo, éjection cartouche | 30, dont 4 échecs |
| 20-10-96 | | | Photo, éjection cartouche | 18, dont 1 échec |
| 19-06-84 | 13 jours | | Photo, éjection cartouche | 92, dont 1 échec |
| 06-11-88 | | 0,15 m | Optronique, transmission numérique | 9, dont 1 échec |
| 10-10-80 | 14 jours | | Photo, éjection cartouche | 39, dont 1 échec |
| | 60 jours | | | |
| 17-02-98 | 40 jours | 2 m | Optronique, transmission numérique | 18, dont 1 échec |
| 25-6-98 | 49 à 418 jours | | Optronique, transmission numérique | 22 |
| 07-06-94 | 25 jours | | Photo, éjection cartouche | 101, dont 1 échec |
| | | 12 m | Radar, transmission numérique | 3, dont 1 échec |
| 26-08-94 | | | Photo, éjection cartouche | 3, dont 2 tests |
| 17-08-2000 | | | Radar, transmission numérique | 5, dont 1 échec |
| 15-05-97 | | | Photo, éjection cartouche | 6 |
| 20-12-96 | | 0,15 m | Optronique, transmission numérique | 3 |
| 22-01-98 | | 1 m | Optronique, transmission numérique | 2, dont 1 échec |
| 03-12-99 | | | Optronique, transmission numérique | 2 |
| 22-05-99 | | 0,10 m | Optronique, transmission numérique | 2 |
| 06-06-97 | | de 2 à 5 m | Optronique, transmission numérique | 1 |

Western Australia, Organisation des Nations Unies, National Reconnaissance Office, Russian Aerospace Guide, NASA, Federation of

Après deux échecs, le troisième tir a réussi et les missions ont été annulées...

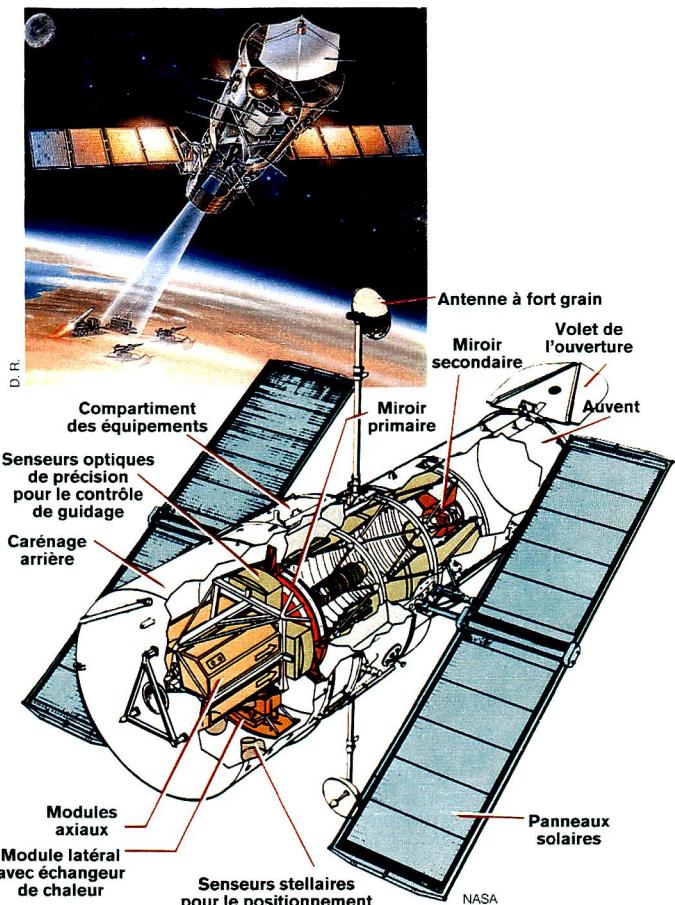
Mais on n'en est plus, désormais, à ces époques, et les satellites modernes d'observation ne fonctionnent plus du tout de la même manière. Dès que les progrès de la numérisation des images, de leur transmission électronique mais aussi de la production d'énergie électrique dans l'espace ont été suffisants, les Américains ont pu envisager de transmettre directement les prises de vue vers la Terre, grâce à des caméras de télévision embarquées. Les premières de ces missions ont été celles du satellite KH-11, un monstre de plus de 13 tonnes lancé par une fusée *Titan 3B*, dont le premier exemplaire a été mis en orbite dans les derniers jours de 1976. Les services secrets et le Pentagone ont dès lors disposé d'un double avantage stratégique majeur sur l'URSS, garanti à la fois par la transmission immédiate des images vers des stations au sol et par leur extrême précision. Six mois avant le lancement du KH-11 "tête de série", l'US Air Force avait procédé, le 2 juin 1976, au lancement d'un satellite de transmission SDS, suivi d'un second en août, destiné à transmettre en direct les images du KH-11 vers le sol américain.

POUR PLUS DE TROIS ANS EN ORBITE

Cette innovation supprimait alors les contraintes du recueil des cartouches photographiques et permettait d'envisager un maintien en orbite de plus de trois ans, qui fut en fait largement dépassé, la seule contrainte pratique pesant sur la durée de vie de l'engin étant celle de ses réserves de carburant permettant des corrections d'orbite. A ce premier atout s'en ajoutait un second : la précision des images. Le pixel (Picture Element) du KH-11 était en effet de quinze centimètres, c'est-à-dire qu'il pouvait distinguer depuis l'espace des détails de cette dimension. C'était un peu juste pour lire les plaques minéralogiques des voitures passant sur la place Rouge, mais suffisant pour distinguer si une personne lit un quotidien ou un magazine ! Et parfaitement efficace pour analyser avec la plus grande précision les évolutions d'une situation tactique.

KH-11

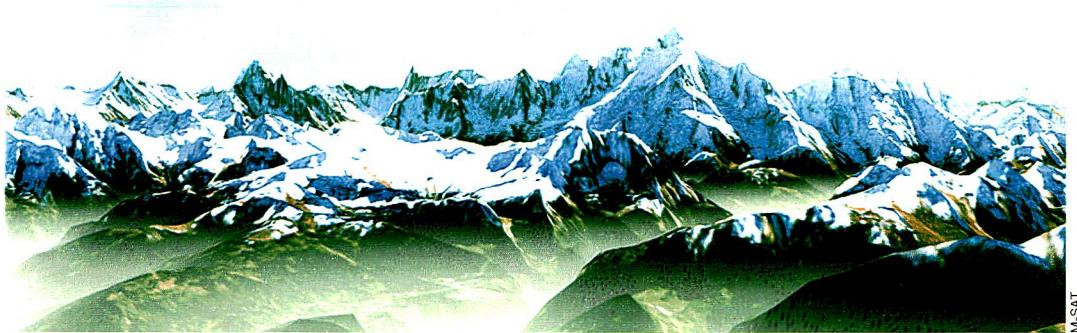
COMPARABLE À HUBBLE



■ Selon toute vraisemblance, le système optique du KH-12 est très proche de celui du KH-11, dont l'architecture générale est bien connue puisqu'il s'agit tout simplement de celle du télescope spatial *Hubble*,

avec cette différence que le satellite-espion tourne ses yeux vers la Terre, et non vers les profondeurs de l'espace. La taille du miroir est comparable (2,3 m pour le KH-11, contre 2,5 pour *Hubble*).

Durant la guerre du Golfe, les deux derniers satellites KH-11 étaient encore en orbite. Et le premier de ses successeurs, le KH-12 (près de 20 tonnes !) avait été lancé un an plus tôt par la navette spatiale. Comme toujours, lorsqu'il s'agit des programmes d'espionnage, les détails manquent. Mais l'on sait tout de même que l'augmentation du poids du KH-12 par rapport à son prédecesseur est due



pour une bonne part à l'emport de carburant supplémentaire, et de nouveaux sensseurs lui permettant d'opérer dans des bandes spectrales plus larges, et notamment dans le proche infrarouge. Ce que les observateurs savent des KH-11 et KH-12 repose essentiellement sur l'analyse technique de leurs paramètres de vol, observables par des amateurs avertis depuis la Terre. Ceux-ci fonctionnent en réseau grâce à l'internet, déterminent assez rapidement la fonction d'espionnage de satellites photographiques dont le périgée se doit d'être très bas (entre 100 et 300 km), et photographient même parfois leur passage dans l'espace. Ces "satellites watchers" sont si performants qu'ils analysent et publient les orbites et les heures de passage des satellites-espions. C'est ainsi que les Indiens ont pu cacher tous les préparatifs des six explosions nucléaires simultanées auxquelles ils ont procédé en juin 1998, faisant subir à la communauté américaine du renseignement, qui ne sut pas les prévoir, l'un de ses plus graves camouflets de la décennie.

UN CERTAIN IMPROVED CRYSTAL...

Pour le reste (charges utiles, capacités exactes des systèmes embarqués), c'est souvent le flou absolu. Même leur nom exact est mal connu, et si les experts penchent pour *Kennan* pour le KH-11, et pour *Crystal* pour le KH-12, ils n'en savent pas plus. De toute façon, dans l'hypothèse où le véritable nom serait divulgué, le NRO, qui gère la flotte de satellites-espions américains, en changerait aussitôt... C'est ainsi que personne ne sait rien, ou presque, de la toute dernière génération de satellite-espion américain, appelé

pour l'instant, faute de mieux, *Improved Crystal*. Un exemplaire de cet engin a été lancé de la base de Vandenberg le 5 décembre 1995 et il est très probable qu'un autre lancement de cette même base, le 22 mai 1999, concernait également un *Improved Crystal*. On sait seulement qu'il doit lui aussi être bâti sur l'architecture de *Hubble*, et que son poids gigantesque (26 tonnes) doit lui donner des capacités inégalées de manœuvre en orbite. Y compris pour échapper à des attaques de satellites-tueurs russes. S'ils existent... John Pike, chercheur à la Federation of American Scientists, estime que la définition des images est très proche de dix centimètres, et que ses capacités de prises de vue obliques sont très supérieures à celles des autres satellites d'observation. Il est également possible, selon d'autres sources, que les capteurs CCD de cet engin aient de bonne capacité en intensification de lumière pour pouvoir continuer d'opérer la nuit. Mais comme tous les autres satellites photographiques, *Improved Crystal* devient aveugle si une couverture nuageuse recouvre l'objectif, même si ses bonnes capacités dans l'infrarouge lui offrent quelques compensations.

S'il a fallu un demi-siècle ou presque pour que le pouvoir exécutif américain accepte de rendre publiques les images du programme Corona, il y a fort à parier que ce ne sera pas de si tôt le cas pour les images de qualité "décimétrique" des derniers-nés de l'arsenal technologique américain. En matière d'espionnage photographique, on est dans le domaine du secret absolu. L'existence même de l'agence américaine chargée de la conduite des programmes d'observation militaire, le

Grande illusion

Ce n'est pas une photographie de montagnes, mais une reconstitution en 3 D réalisée à partir de photos prises de l'espace. Chaque élément de cette image est défini par sa longitude, sa latitude et son altitude. A chacun de ses passages, le satellite prend des vues légèrement décalées, ce qui permet de reconstituer l'effet stéréoscopique. Voilà le résultat.

National Reconnaissance Office (NRO), créée au début des années 60, a été tenue secrète durant plus de trente ans, puisque son existence n'a été connue qu'en 1992.

On aura compris que, pour ce qui concerne le renseignement spatial, il y a d'un côté les Américains et – depuis que les Russes n'ont plus guère les moyens de poursuivre cette compétition –, le reste du monde de l'autre. Dans le club de l'espionnage spatial photographique, seule l'Amérique dispose actuellement, et depuis vingt-cinq ans, de la capacité "décimétrique". Mais d'autres pays ne sont pas complètement aveugles. Les Chinois disposent avec leurs satellites FSW, qu'ils lancent régulièrement depuis 1974, d'une petite capacité mal connue à la technologie ancienne (cartouches photographiques). Deux autres acteurs sont entrés récemment dans ce club très fermé : Israël d'abord, qui a lancé en avril 1995 son premier satellite d'espionnage, OFEQ-3, lui fournissant des images d'un pixel de 1 mètre. En juillet de la même année, les Français ont lancé leur satellite *Hélios-1A*, suivi en décembre 1999 du satellite *Hélios-1B*.

EFFICACE, MAIS INSUFFISANT

Ces deux engins optroniques, financés partiellement par l'Italie et l'Espagne, qui disposent donc d'un "droit de tirage" sur les images produites, sont de très bonne qualité puisqu'ils fournissent des images d'une définition de 80 cm.

Jusqu'alors, la France n'était pas complètement démunie, car les photo-interprétateurs des armées et des services de renseignement utilisaient abondamment les images des satellites civils *Spot*, d'une définition maximale de 5 m, qui se sont avérées très utiles à de nombreuses occasions. Mais très discrètement, le premier satellite *Hélios*, puis le second ont fait changer la posture stratégique de la France : elle dispose désormais d'une source autonome d'informations stratégiques, exploitées par la Direction du renseignement militaire (DRM), installée sur la base de Creil, et la Direction générale de la sécurité extérieure (DGSE). Cet outil a déjà permis des avan-

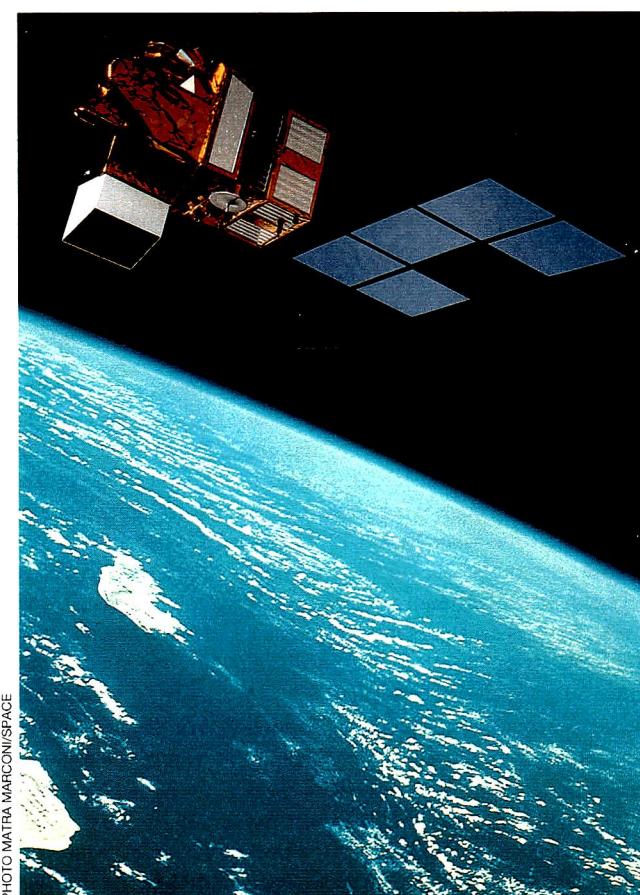


PHOTO MATRA MARCONI SPACE

Vingt ans après...

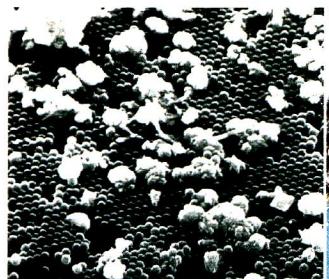
Le futur satellite militaire français *Hélios-2* verra lui aussi des détails de 10 cm, à l'instar de ce qu'observent déjà les satellites américains KH-11 et KH-12. Vingt ans plus tard, toutefois.

cées significatives vis-à-vis des Américains, qui ont vu souvent contester, notamment dans les multiples crises ayant suivi la guerre du Golfe, leurs arguments sur les menaces militaires qu'aurait fait peser l'Irak à plusieurs reprises. La France est également beaucoup mieux placée lors des échanges d'informations entre services de renseignement des pays de l'OTAN, dès lors que les partenaires sont d'autant plus enclins à offrir des "tuyaux" qu'on vient soi-même avec ses propres analyses et des informations exclusives sous le bras.

Tout ceci s'est révélé particulièrement efficace lors des crises et des guerres successives dans les Balkans. Mais ce n'est pas suffisant. Car avec l'offre du satellite *Ikonos*, l'avantage stratégique français sur les autres pays qui ne disposent pas de satellites d'observation militaire a pris au début de cette année un sacré coup dans l'aile... ■

Parure diaprée

Couleurs irisées et changeantes pour l'opale, qui réfléchit la lumière selon sa longueur d'onde et son angle d'incidence grâce aux minuscules billes de silice qui la composent. En médaillon, vue au microscope électronique de la surface d'une opale (en plus clair, des débris).



DR



H. BERTHOULE/JACANA

obtenir une cage microscopique d'où la lumière ne peut plus s'échapper, puisqu'elle ne peut pas se propager dans le cristal. Et si l'on retire toute une rangée de mailles, on fabrique un micro-tunnel parfaitement étanche qui guide le rayonnement à travers le cristal sans aucune perte d'intensité.

L'idée de piéger des photons en utilisant une structure cristalline remonte à 1987. Elle revient à deux chercheurs : Eli Yablonovitch, de l'université de Californie, à Los Angeles, et Sajeev John, de l'université de Toronto, au Canada. Dès 1991, Yablonovitch fabrique le premier cristal photonique capable de piéger des ondes radio. A l'aide d'une perceuse mécanique et d'un morceau de Plexiglas, il façonne un réseau dont la maille avoisine le centimètre. Il perce son bloc dans trois directions bien précises de manière à reproduire la structure cristalline du diamant – le piège parfait. Ce procédé de fabrication de cristaux photoniques est d'ailleurs resté dans le langage des spécialistes comme la yablonovite (voir encadré page de gauche). La démonstration est convaincante, et les physiciens pensent immédiatement à fabriquer des cristaux photoniques pour manipuler de la lumière infrarouge, qui circule aujourd'hui dans toutes

les fibres optiques.

Mais là, tout se complique, car il n'existe aucune perceuse dont la fraise mesure un micromètre de large ! Dès lors, le défi consiste à trouver des astuces pour construire des cristaux photoniques tou-

agglomérant des petites billes de silice (voir encadré page de gauche).

David Cassagne est l'un des premiers chercheurs français à avoir travaillé sur les cristaux photoniques dès 1994 : « Au début des an-

Dans ces circuits, les informations circuleront à la vitesse de la lumière

jours plus fins. Les Etats-Unis, le Canada, le Royaume-Uni, la Russie, le Japon et, bien sûr, la France entrent dans la course. Certains empilent de minuscules barres de silicium ou d'arsénure de gallium (semi-conducteurs) à la manière d'un tas de bois, comme l'équipe de Susumu Noda. D'autres choisissent de copier les opales naturelles en

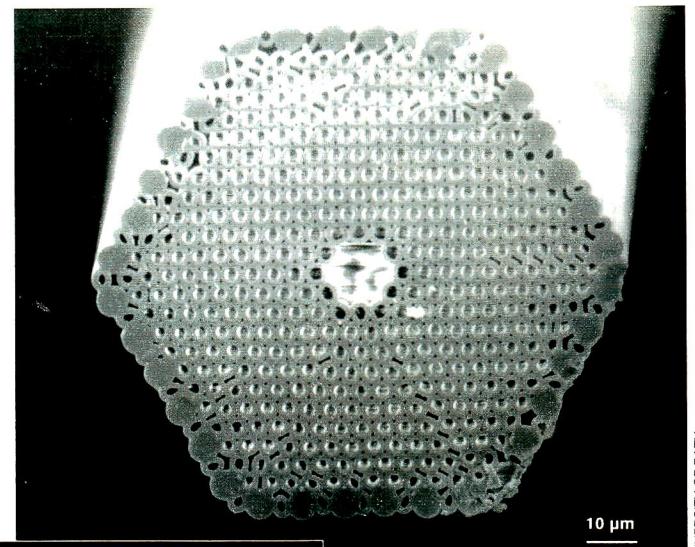
nées 90, les cristaux photoniques étaient encore considérés comme un rêve de théoriciens. Mais depuis deux ans, les résultats et les publications scientifiques se succèdent à un rythme effréné. En 1998 et 1999, la revue *Science* a classé les cristaux photoniques parmi les principaux domaines scientifiques porteurs, et les industriels, comme

Siemens, Thomson, ou encore Corning – l'un des leaders mondiaux des fibres optiques – s'y intéressent sérieusement. » Quand verrons-nous apparaître les premiers circuits intégrés entièrement optiques, où les informations circuleront à la vitesse de la lumière ?

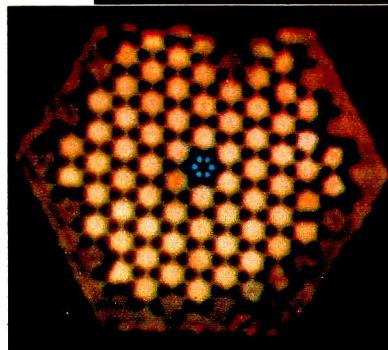
« LE XXI^e SIÈCLE SERA CELUI DE LA PHOTONIQUE »

Jean-Michel Lourtioz, directeur du groupement de recherches « cristaux photoniques et microcavités », qui rassemble des chercheurs appartenant à une vingtaine de laboratoires français d'électronique ou d'optique, préfère rester prudent. « Il faut toujours faire attention avec ce genre de prévisions, déclare-t-il. Néanmoins, je pense que les premiers circuits intégrés entièrement optiques devraient arriver d'ici à cinq ans environ ».

En attendant, les spécialistes de la photonique ne se privent pas de ponctuer leurs conférences de grandes formules lyriques. Ainsi, il n'est pas rare, dans les colloques spécialisés, d'entendre que « le xx^e siècle a été le siècle de l'électronique, et le xx^e sera celui de la photonique ». John Joannopoulos, qui dirige un groupe de recherche sur les cristaux photoniques au Massachusetts Institute of Technology (MIT), prétend même que « la seule limite à ce que nous pouvons faire avec les cristaux photoniques est notre imagination ». La photonique va-t-elle réellement jeter l'électronique aux oubliettes ? Pour Jean-Michel Lourtioz, il est encore un peu tôt pour le dire : « Les cristaux photoniques sont les objets les plus fascinants pour les opticiens, et l'optique est le domaine d'avenir du xx^e siècle. Mais il est aujourd'hui impossible de savoir si la suprématie de l'optique sur



UNIVERSITY OF BATH



Cœur de lumière

Cette fibre photonique, formée de tubes de dioxyde de silicium, a été mise au point à l'université de Bath (Grande-Bretagne). La lumière circule en son cœur, c'est-à-dire dans l'air (ci-contre, le passage d'une lumière bleue). Avec une fibre optique classique, il est impossible de guider la lumière dans de l'air, car l'indice de réfraction de celui-ci est trop faible.

l'électronique sera totale. Contrôler les photons est bien plus difficile que contrôler les électrons, car ils n'ont pas de charge électrique et n'interagissent pas entre eux. Tout n'est pas encore joué. »

En attendant l'arrivée des premières puces optiques, les physiciens ont d'ores et déjà trouvé des

pables de transporter des faisceaux de lumière mille fois plus puissants que les fibres optiques traditionnelles. Plus près de notre vie quotidienne, les cristaux photoniques pourraient changer le visage de l'éclairage public et domestique, en se glissant dans les diodes électroluminescentes, ces petites lampes

Ces cristaux pourraient protéger des rayonnements des téléphones mobiles

applications aux cristaux photoniques. Certains chercheurs utilisent leur capacité à confiner la lumière pour fabriquer de minuscules cavités laser (voir encadré « Le plus petit laser du monde »). D'autres mettent au point des fibres de cristaux photoniques ca-

rouges, jaunes ou vertes que l'on trouve sur les chaînes hi-fi, dans les feux de circulation ou sur certains panneaux publicitaires. En effet, ces diodes ont un grand défaut : la lumière qu'elles émettent a tendance à se propager non pas à l'extérieur, mais à l'intérieur de leur sup-

Dans un futur proche...

Les cristaux photoniques, tel celui que tient Shawn Lin, chercheur aux laboratoires Sandia à Albuquerque (Nouveau-Mexique), pourraient bien remplacer les composants électroniques dans quelques années.

port électronique. Les cristaux photoniques, en empêchant les rayons lumineux de revenir se perdre à l'intérieur des diodes, permettraient de décupler leur luminosité. « Aujourd'hui, nous savons faire des diodes dans tout le spectre des couleurs, y compris le bleu, ce qui signifie que nous pouvons obtenir de la lumière blanche, commente David Cassagne. Si nous arrivons à fabriquer des diodes blanches de bonne qualité et peu chères, elles pourraient bien remplacer nos ampoules domestiques. » En effet, les diodes sont non seulement plus solides que les ampoules classiques, mais elles sont aussi bien plus efficaces: alors que le rendement d'une ampoule standard se situe aux alentours de 10 % (seulement



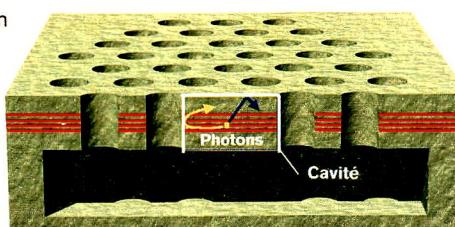
SANDIA NATIONAL LABORATORIES

10 % des électrons qui entrent dans l'ampoule sont transformés en photons), et celui d'une lampe fluorescente aux environs de 25 %, les physiciens pensent pouvoir mettre au point, d'ici à quelques années, des diodes dont le rendement flirterait avec les 50 %.

Et ce n'est pas tout: les cristaux photoniques pourraient aussi augmenter l'autonomie des téléphones portables, tout en protégeant la tête de leurs utilisateurs. Comme les diodes, les antennes des téléphones portables émettent leur rayonnement dans toutes les directions (dans le cas des téléphones, il s'agit de rayonnement micro-onde). Placés à la base de l'antenne, les cristaux photoniques pourraient canaliser ce rayonnement: ils augmenteraient ainsi sa puissance (et donc l'autonomie du téléphone), et surtout l'empêcheraient de passer à travers notre crâne.

LE PLUS PETIT LASER DU MONDE

■ Pour fabriquer un faisceau laser, il faut tout d'abord enfermer de la lumière dans une cavité, de manière à l'amplifier et à la rendre cohérente (tous les photons sont alors en phase). En utilisant des cristaux photoniques, Oskar Painter et ses collègues de Caltech (California Institute of Technology), à Pasadena, ont réussi à fabriquer la plus petite cavité laser du monde: un cube de 0,03 millième de millimètre de côté! Sur les futures puces



Grâce à un cristal photonique (dont on voit les trous), les photons restent enfermés dans une cavité de 0,03 μm de côté.

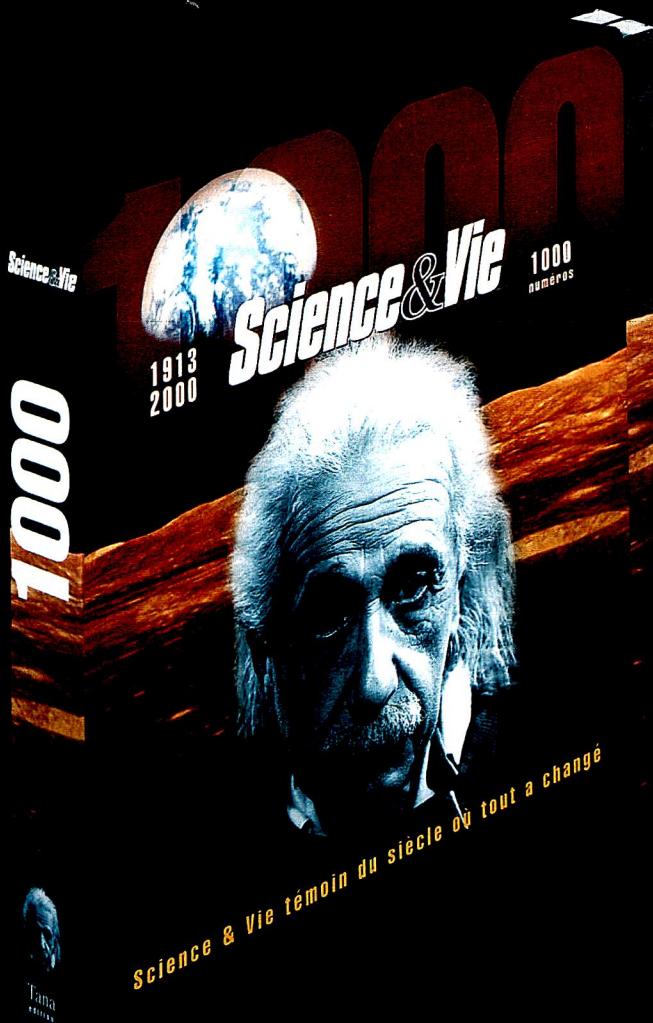
optiques, de telles cavités lasers constitueront des sources de lumière idéales. Reliées entre elles, elles pourraient même servir de portes logiques, c'est-à-dire d'interrupteurs qui laisseraient passer le signal ou l'arrêteraient.

TRACTATIONS INDUSTRIELLES

Eli Yablonovitch, le père des cristaux photoniques, a déjà mis au point des antennes de ce type, et serait à l'heure actuelle en pleine tractation avec de grands industriels. Mais il ne souhaite pas en dire plus, du moins pas avant l'année prochaine. « Aujourd'hui, la technologie est prête, commente Jean-Michel Lourtioz. Maintenant, il s'agit d'une affaire économique, car les antennes actuelles de nos portables ne coûtent pas cher... » ■

Science & Vie

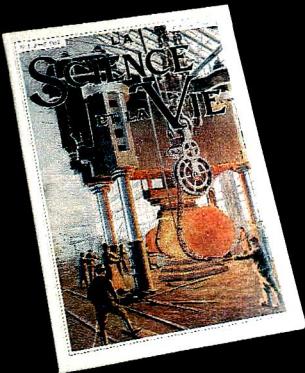
L'histoire des grands bouleversements
techniques



Le livre événement de la rentrée
480 pages - 2 volumes
700 photos et illustrations
249 F

Science & Vie témoin du siècle où tout a changé

sements scientifiques et ques d'un siècle qui s'achève.



Réservez dès à présent votre exemplaire et recevez-le chez vous en avant-première, dans un magnifique coffret. Pour vous lecteur de Science & Vie, un cadeau exclusif : la réédition originale du tout premier numéro de La Science et la Vie d'avril 1913.

BON DE COMMANDE

à compléter puis à retourner, accompagné de votre règlement à l'adresse suivante :
SCIENCE & VIE - Service VPC - 1, rue du Colonel-Pierre-Avia 75503 Paris Cedex 15 - France.

OUI

Je commande en exclusivité le livre de Science & Vie (2 volumes) au tarif préférentiel de 249 frs TTC + 30 frs de frais de port pour la France métropolitaine ou 50 frs pour l'étranger *. Je recevrai en cadeau la réédition originale du n° 1 de La Science et la Vie *

Mme Mlle Mr

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Pays _____

* Je choisis de régler la somme (frais de port inclus) de 279 frs ou de 299 frs par chèque libellé à l'ordre de Science & Vie par :

chèque bancaire ou postal carte bancaire N° _____

à l'ordre de Science & Vie Expire le : _____

Si vous êtes abonné, merci de nous indiquer votre numéro _____

Service après vente France : 0 800 91 32 91

Date et signature obligatoires

Attention : la présente offre est limitée aux seuls stocks existants du Livre et du cadeau. Délais de livraison : 8 semaines. Offre valable jusqu'au 31/03/2001. Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données personnelles vous concernant. Les renseignements que nous vous demandons sont nécessaires au traitement de votre commande. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amenés à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous le signaler en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et si possible votre numéro d'abonné. RCS Paris B576134773

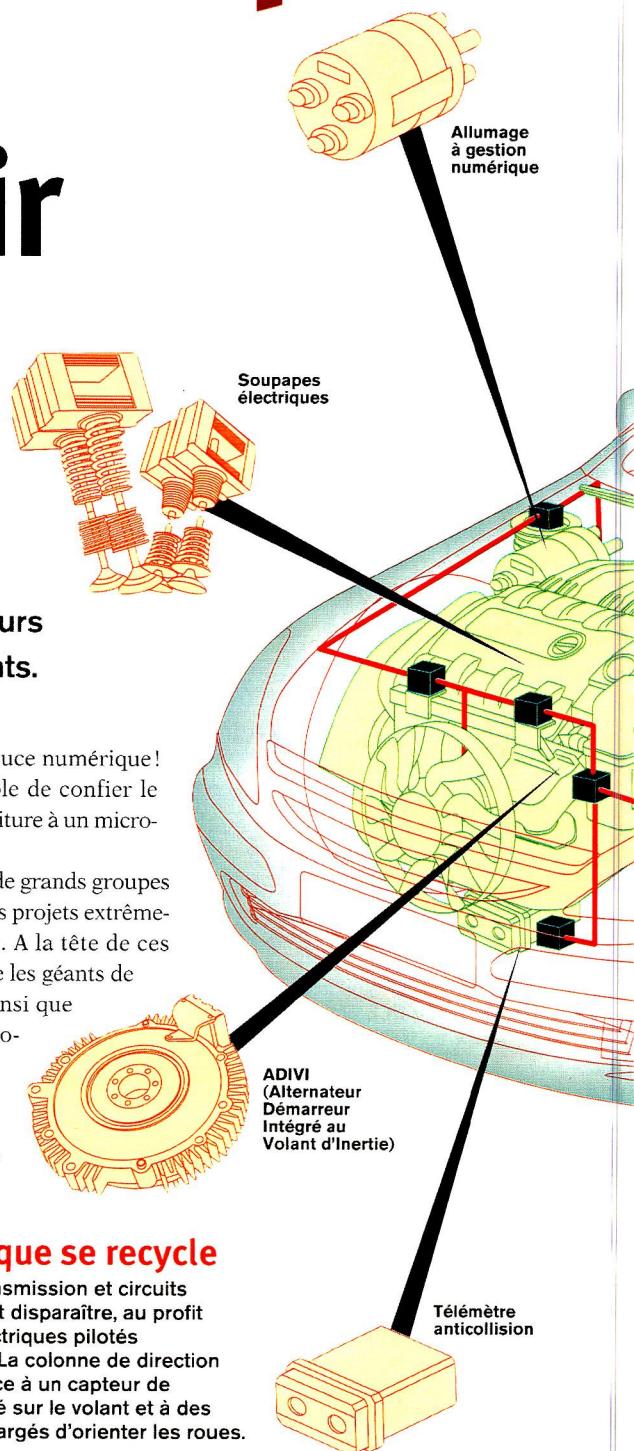
Le numérique prend le pouvoir

Laisserons-nous des microprocesseurs conduire nos voitures ? Les puces numériques vont détrôner de nombreuses pièces mécaniques – jusqu' dans le moteur – et interviendront sur les commandes. Plus fiables, nos futurs véhicules seront aussi moins polluants.

Dans l'industrie automobile, les éléments mécaniques coûtent cher à fabriquer, ils requièrent d'être entretenus et nécessitent des réglages réguliers. Les constructeurs tentent donc, dans la mesure du possible, de leur trouver des équivalents électroniques. Cette tendance n'est pas nouvelle. Elle a déjà touché, notamment, la haute-fidélité et la vidéo. Aujourd'hui, les réglages mécaniques du volume, de la couleur ou du contraste ont disparu des téléviseurs. Les potentiomètres (bouts rotatifs) ont cédé la place à des poussoirs qui commandent des circuits électroniques. La même tendance s'empare de nos véhicules. Pourtant, on peut s'interroger sur l'avantage de remplacer une colonne de direction ou un arbre à

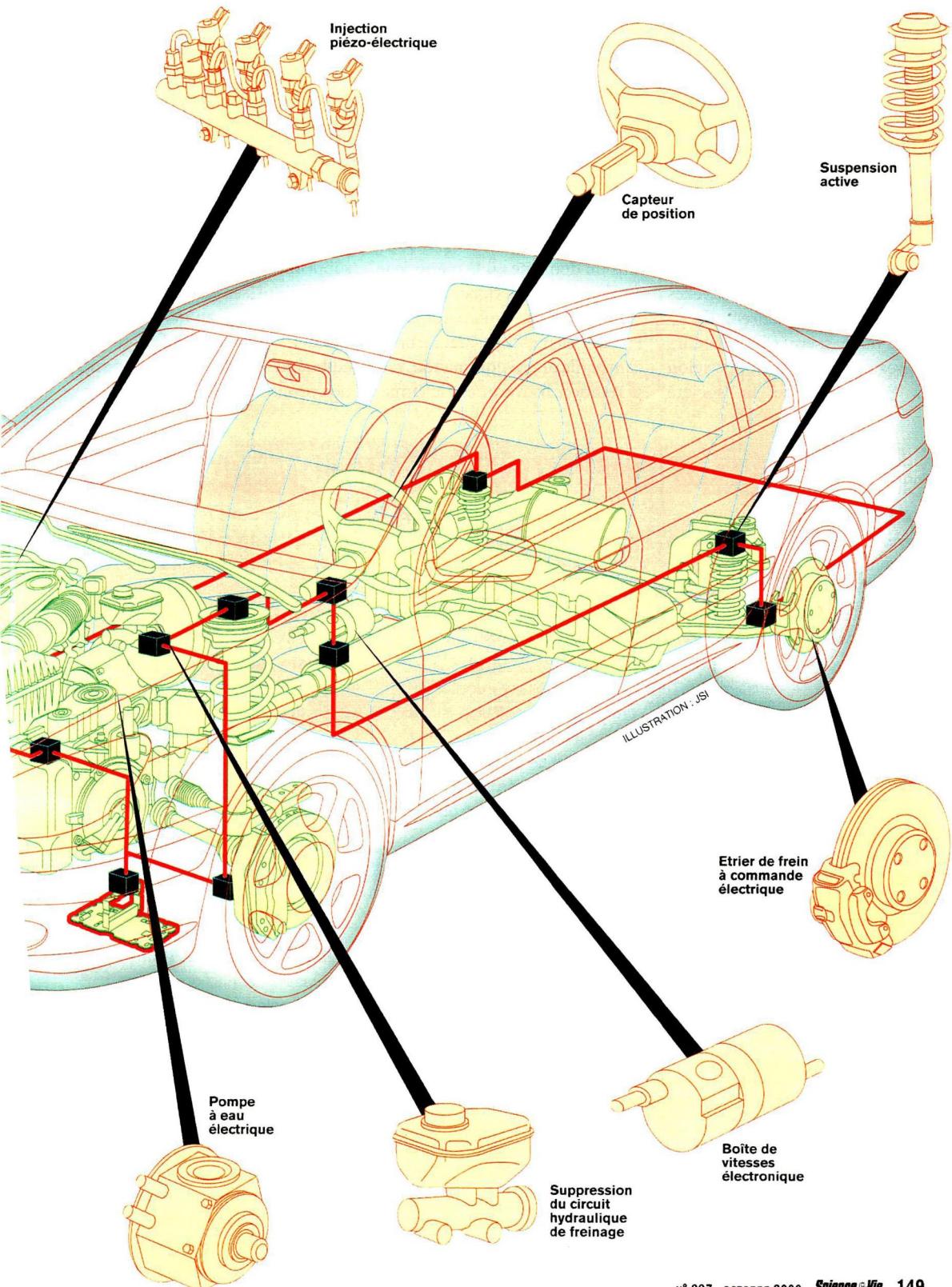
cames par une puce numérique ! Est-il raisonnable de confier le freinage d'une voiture à un microprocesseur ?

D'ores et déjà, de grands groupes placent sur des projets extrêmement ambitieux. A la tête de ces études, on trouve les géants de l'électronique ainsi que ceux de l'automobile. L'américain Motorola et l'allemand Siemens, entre



La mécanique se recycle

Courroies de transmission et circuits hydrauliques vont disparaître, au profit de systèmes électriques pilotés numériquement. La colonne de direction pourrait faire place à un capteur de mouvements logé sur le volant et à des servomoteurs chargés d'orienter les roues.



autres, ont déjà mis au point des puces électroniques spécialisées – ou des éléments électromécaniques – adaptés aux besoins de cette mutation. Du côté des constructeurs automobiles, BMW, Daimler-Chrysler, General Motors, Volkswagen, Ford, Renault ou des équipementiers tels que Valeo travaillent sur les modifications mécaniques et ergonomiques indispensables pour introduire le numérique dans l'automobile. Avant que ces nouvelles technologies se banalisent, d'ici à 2007, on passera par plusieurs phases industrielles. Mais, selon les prévisions de la société

d'études Dataquest, dès 2002, le marché de l'électronique embarquée sur les véhicules devrait dépasser 13 milliards de dollars. Bien qu'il soit en grande partie peu visible par l'utilisateur, ce passage au numérique va constituer un bouleversement.

LE MOTEUR N'EST PLUS LE ROYAUME DE LA MÉCANIQUE

Le moteur, par exemple, n'est plus un domaine où la mécanique est reine. Le numérique va l'amputer d'un certain nombre d'organes. Premier élément sacrifié: l'arbre à cames (l'axe qui commande, par sa rotation, l'ouverture et la ferme-

ture des soupapes). Un système d'electroaimants (voir schéma page ci-contre) sera chargé d'actionner les soupapes. Baptisé *camless* (moteur sans came), ce procédé technique possède de nombreux avantages. En premier lieu, il diminue le nombre de pièces mobiles, et simplifie ainsi la fabrication du moteur, entraînant une réduction du coût de fabrication. D'autre part, cette solution supprime les contraintes de positionnement des soupapes. Expliquons-nous. Sur un moteur traditionnel, l'arbre à cames et les culbuteurs imposent une disposition précise dans le groupe moteur

L'AÉRONAUTIQUE, PIONNIÈRE DU NUMÉRIQUE

■ Le consortium européen Airbus Industrie a joué un rôle de pionnier dans l'introduction des commandes de vol électriques sur les appareils commerciaux. Sur les avions de précédente génération, c'est un système de câbles ou de tringleries qui transmet les ordres des commandes du poste de pilotage aux gouvernes. A partir de l'Airbus A320, ils sont acheminés par des impulsions électriques. Un mini-manche à balai latéral

(joystick) remplace l'encombrant volant monté sur un tube vertical entre les jambes du pilote. D'où, au total, un gain de poids appréciable, et une maintenance plus facile, donc moins onéreuse. Mais aussi et surtout, la possibilité de faire transiter ces ordres par des calculateurs, qui gèrent les automatismes de conduite et de navigation. Ils sont aussi programmés de manière que le pilote humain ne puisse en aucun cas outrepasser les

normes de sécurité relatives à la vitesse à respecter, l'inclinaison de l'avion, l'angle de piqué, etc. S'il commet une erreur, les calculateurs refusent d'obéir. Bien mieux: ils commandent la manœuvre de secours qui empêchera l'avion de dépasser ses limites. Les gouvernes, qui servent à manœuvrer l'avion, commander la sortie et la rentrée du train d'atterrissement, ou celles des volets sur les ailes ainsi que le réglage des moteurs sont commandés de cette manière. Cependant, les manœuvres sont encore effectuées par des vérins hydrauliques, seuls capables de fournir les efforts nécessaires sur les gouvernes, par exemple, ou pour rentrer et sortir le train d'atterrissement. L'étape suivante consistera à remplacer les vérins hydrauliques par des vérins électriques. Toujours dans le but de réduire le poids des équipements et de simplifier la maintenance.

Germain Chambost



A. UPTIS/THÉ IMAGE BANK

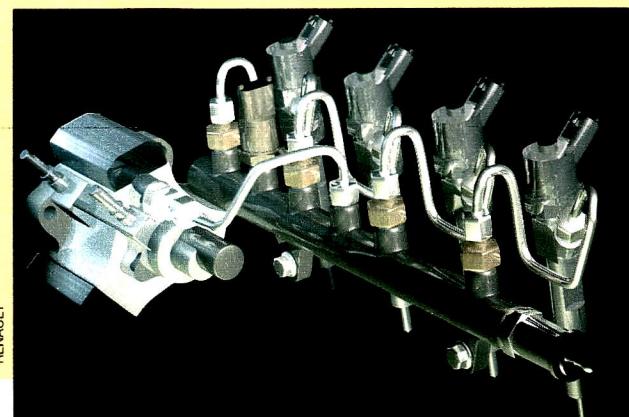
par rapport aux chambres de combustion. La commande électrique offre une plus grande liberté, car elle permet de changer leur forme et d'optimiser ainsi les trajets de circulation des gaz. L'idéal étant d'obtenir un trajet droit pour l'admission et pour l'échappement.

Autre avantage: le temps d'ouverture et de fermeture des soupapes électriques est très bref et indépendant du régime du moteur. Autant de points qui permettent d'optimiser encore les caractéristiques du moteur et son rendement (puissance mécanique réelle par rapport au volume d'essence consommé), donc de diminuer la consommation et la pollution. Le tout électronique simplifiera aussi l'entretien. Les actes habituels de révision mécanique tels que le réglage du jeu des soupapes ou le remplacement de la courroie de distribution sont appelés à disparaître.

L'injection bénéficie, elle aussi, d'une cure de jeunesse. Des injecteurs électroniques se substituent à leurs homologues mécaniques. Les constructeurs parlent de dispositifs piézo-électriques. Ces éléments ne comportent pas de pièce mobile, au sens traditionnel du terme. Une pastille de céramique se dilate, ou se rétracte, sous l'effet



SIEMENS



RENAULT

Electro-aimants pour soupapes

Deux électro-aimants assurent le fonctionnement des soupapes avec une grande précision, éliminant tout réglage et améliorant le rendement du moteur.

Injecteurs piézo-électriques

Les injecteurs piézo-électriques n'utilisent pas de pièces mobiles. Très précis, ils optimisent le dosage air-carburant, et réduisent les émissions polluantes.

Tous les "périphériques" du moteur tels que la pompe à eau ou le turbocompresseur seront aussi déclinés en version électrique. Ainsi, pour la pompe à eau, la courroie n'aura plus lieu d'être. Dans le cas du turbo, le modèle

un retard entre la mise en route du turbo et les besoins du moteur en cas d'accélération. En version électrique, le démarrage du turbo est quasiment instantané, d'où sa pleine efficacité à la moindre sollicitation du conducteur (voir *Science & Vie* n° 981, p. 32).

Mais, sous le capot, le moteur n'est pas le seul élément touché. Autre disparition majeure: la colonne de direction. La version numérique héritera d'un volant mécaniquement dissocié des roues. Cette surprenante innovation est due à un capteur qui mesure en permanence la position du volant, puis la traduit en une valeur numérique. Une technique inspirée des volants qui équipent certaines

Un marché qui dépassera 13 milliards de dollars en 2002

de la tension que lui applique le système de commande électrique. Comme dans le cas des soupapes électriques, le temps de réaction est beaucoup plus rapide. Un élément supplémentaire qui améliore le rendement.

électrique peut anticiper les besoins du moteur. Nous allons voir comment. Sur un turbocompresseur classique, ce sont les gaz d'échappement qui fournissent l'énergie nécessaire à la montée en régime de la turbine. Il s'ensuit



Un moteur pour freiner

Un moteur électrique remplace les vérins qui serrent les plaquettes de frein. La voiture se débarrasse ainsi du circuit hydraulique de freinage. La compatibilité avec les systèmes antiblocages (ABS) est complète.

consoles de jeu vidéo. Les données recueillies par le capteur servent à piloter un servomoteur électrique chargé d'orienter les roues. L'absence de lien mécanique permet d'envisager une nouvelle ergonomie du poste de pilotage. Il n'est rien de plus facile, par exemple, que d'y installer un volant réglable aussi bien en hauteur qu'en inclinaison.

DEUX MICROPROCESSEURS AUX COMMANDES

Prudents, les constructeurs apportent d'eux-mêmes un bémol à cette technologie révolutionnaire, car ils craignent qu'elle n'effraie les usagers. Afin de familiariser les consommateurs à cette solution radicalement novatrice, ils ont prévu une phase de transition avant de l'adopter sur leurs véhicules. La colonne de direction traditionnelle sera conservée. Dans ce cas, le système électronique se limiterait à remplacer le dispositif traditionnel de direction assistée. Cette transformation libérera le véhicule de tout le système hydraulique d'assistance à la direction. Durits, vérins et compres-

seurs vont céder la place à un moteur électrique et à un capteur.

Dans le même esprit, l'ensemble du circuit de freinage subira une profonde refonte. Ici encore, des servomoteurs électriques remplaceront les vérins des étriers de frein. Outre que, comme précédemment, ce système simplifie les circuits de la voiture, il offre une meilleure compatibilité avec les systèmes antiblo-
cage (ABS) ou anti-patinage. Ceux-ci sont tous basés sur un micro-ordinateur embarqué qui traite des données numériques. Les instructions fournies par l'électronique du système antiblo-
cage sont ainsi directement appliquées au circuit de freinage. Les électrovannes, qui convertissent les instructions en variations de pression (seuls ordres que puisse "exécuter" le circuit hydraulique du système de freinage classique), ne sont plus nécessaires.

Tous les câbles ou tringles ont également fait leur temps. La pédale d'accélérateur, l'embrayage et la boîte de vitesses commandé. Par exemple, un câble re-
lie l'interrupteur du Commodo à l'ampoule d'un phare. Or, les fils électriques coûtent cher. En outre, leur raccordement nécessite des borniers ou des connec-

Démarreur antipollution

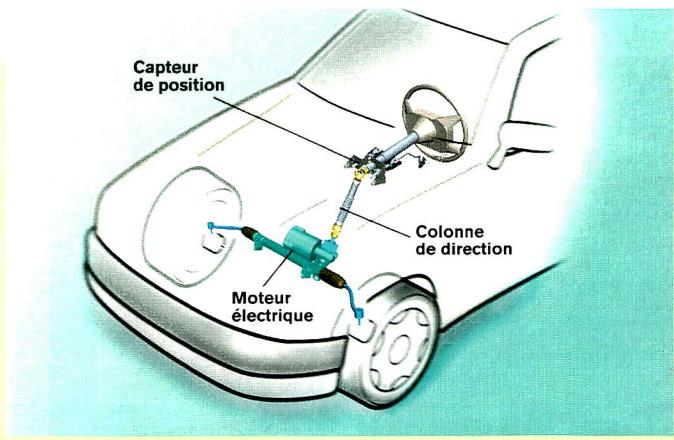
A la fois démarreur et alternateur, l'ADIVI étudié par Renault et Valeo délivre une tension de 42 volts. La puissance, de 5 kW, est suffisante pour assurer le fonctionnement du moteur en "start and stop" (arrêt complet à un feu rouge, puis redémarrage immédiat). A terme, il pourrait remplacer le moteur dans les embouteillages.



deront

des liaisons électriques, ou dépendront d'elles. On pourrait penser que ce passage au "tout électrique" compliquera à l'extrême le faisceau électrique des voitures. En réalité, il le simplifiera. Un câble unique, baptisé bus numérique, reliera les divers éléments électriques de la voiture. Grâce à une puce numérique, chacun de ces modules sera capable de reconnaître les "ordres" qui lui sont destinés.

Le circuit électrique (qu'on appelle "faisceau électrique") d'une automobile est constitué d'une inextricable ramifications de fils. Pour en résumer le fonctionnement, on peut considérer que chaque fil relie un dispositif de commande à un élément commandé. Par exemple, un câble re-
lie l'interrupteur du Commodo à l'ampoule d'un phare. Or, les fils électriques coûtent cher. En outre, leur raccordement nécessite des borniers ou des connec-



SIEMENS

Comme un volant de jeu vidéo

Dans une première phase, des moteurs électriques vont se substituer aux vérins d'assistance à la direction. Ensuite, ils pourraient remplacer intégralement la colonne de direction. Le volant fonctionnera alors comme celui d'une console de jeu vidéo : il enverra des "ordres" numériques aux servomoteurs.

teurs. Autant de sous-ensembles qui allongent le temps d'assemblage de la voiture sur les chaînes de fabrication.

Avec le bus numérique, des puces électroniques remplacent les ramifications du faisceau électrique. Reprenons l'exemple de notre commande de phare. Dans un système numérique, la douille de l'ampoule contient une puce. Celle-ci possède une adresse numérique, une sorte de numéro d'appel qui lui est propre. L'interrupteur est également doté d'une puce du même type. Le calculateur embarqué scrute en permanence l'ensemble des adresses et questionne les puces sur leur état, ou bien il leur transmet un ordre. Lorsque le conducteur passe en position "feux de route", par exemple, dès que le calculateur présente sur le bus l'adresse de la puce du Commodo, elle lui "répond" que l'interrupteur est enclenché. Aussitôt, par l'intermédiaire du bus, le calculateur répercute à la puce de l'ampoule de phare l'ordre d'allumer la lampe. Ainsi, la commande s'effectue sans aucun lien électrique direct entre le Commodo et l'ampoule. En dehors

de ces fonctions de commande, les puces transmettent des comptes rendus sur le bon déroulement de l'opération. Ainsi, dans cet exemple, le calculateur serait immédiatement averti si l'ampoule était grillée. Tous les éléments électromécaniques du véhicule conversent ainsi sur le bus. Direction, embrayage, freinage, etc., dialoguent avec le calculateur, qui questionne tour à tour chaque puce. On appelle ce système un bus multiplexé : les puces ne parlent jamais en même temps, mais successivement. La durée de communication avec une puce étant extrêmement brève, le

cours font appel à un calculateur composé de deux microprocesseurs de type Power PC, qui travaillent conjointement. Cette architecture à double processeur n'est pas liée à une nécessité de puissance de calcul très élevée, elle répond simplement à un impératif de sécurité. En cas de déficience de l'un des processeurs, l'autre prend automatiquement le relais et assure la gestion de la voiture.

Cependant, multiplier les dispositifs électromécaniques (servomoteurs, calculateurs et puces en tout genre) augmente la consommation électrique. On peut s'interroger sur le rendement global d'une telle architecture alors que c'est le carburant qui fournit au véhicule l'intégralité de l'énergie, qu'elle soit mécanique ou électrique. A cette question, les ingénieurs répondent qu'un compresseur de circuit hydraulique (destiné à la direction assistée ou au freinage) consomme lui aussi de l'énergie.

DOPER LA BATTERIE

D'autre part, le fait d'optimiser le fonctionnement du moteur et du système de freinage compensera largement cette surconsommation. Le rendement global d'une voiture en version "numérisée" devrait ainsi être au moins égal à celui de son équivalent en technologie traditionnelle.

Les constructeurs craignent que cette technologie n'effraie les usagers

calculateur scrute l'ensemble des puces plusieurs centaines de fois par seconde.

Enfin, ce bus numérique permettra un auto-diagnostic extrêmement précis. Les informations sur le fonctionnement de la voiture sont toutes disponibles au niveau du calculateur. Les projets en

Mais l'accroissement de la consommation électrique nécessite toutefois de modifier l'alternateur et la batterie. Comme on le sait, la puissance électrique disponible dépend de la tension et de l'intensité, conformément à la loi : $P = U \times I$, où P est la puissance exprimée en watts, U la tension en volts et I l'in-

tensité en ampères. On peut en déduire que, pour une puissance donnée, plus la tension est faible plus l'intensité est élevée. Or, l'acheminement de fortes intensités implique d'utiliser des fils conducteurs de diamètre important. Il serait regrettable que la simplification du faisceau électrique entraîne une augmentation du prix des câbles: le cuivre est en effet un métal cher.

TROIS FOIS MOINS COÛTEUX

Pour résoudre ce problème, les constructeurs se sont mis d'accord pour augmenter à terme la tension des batteries et des alternateurs. Elle passera à 42 volts, soit trois fois plus (14 volts) que celle qui est en usage aujourd'hui. Ce qui signifie que pour convoyer une même puissance, le fil de cuivre pourra avoir une section trois fois moindre (il sera donc trois fois moins coûteux). Dans ce domaine, Renault et Valéo travaillent sur un procédé qui ne se limite pas à un rôle d'alternateur 42 volts. Son nom de baptême (ADIVI, abrégé d'Alternateur Démarreur Intégré au Volant d'Inertie) résume bien ses fonctions. Il est réversible, et peut être utilisé soit comme alternateur soit comme moteur. Sa puissance (5 kW) permettrait d'éteindre le moteur lors d'un arrêt à un feu rouge, par exemple, et d'assurer le redémarrage immédiat au feu vert. Dans les embouteillages, lorsque le véhicule avance par à-coups, l'ADI-



SIEMENS

Une révolution discrète, mais totale

Le contrôle numérique entraîne la modification de nombreux éléments mécaniques (moteur, direction assistée, circuit de freinage, faisceau électrique...). Deux microprocesseurs établiront le dialogue entre les divers éléments. En centralisant les commandes, ils permettront d'effectuer un bilan complet et rapide de l'état de la voiture. Cette technologie ouvrira la voie à des dispositifs de sécurité active. L'avenir est sans doute proche où des véhicules seront capables de s'arrêter automatiquement sur le bord de l'autoroute en cas de défaillance du conducteur.

seurs, etc. Des informations seront mémorisées dans une carte à puce faisant office de clé de contact. Elle mémorisera les réglages des accessoires. Les utilisateurs d'un même

volant, le frein et l'accélérateur par un *joystick* (une manette de jeu), alors qu'une telle évolution serait possible. On utilise déjà cette technologie sur certains avions (voir encadré "L'aéronautique, pionnière du numérique"). En revanche, elle se prête particulièrement bien à l'adaptation de dispositifs de sécurité active: le calculateur peut intervenir sur l'ensemble du véhicule indépendamment du pilote. De nouveaux dispositifs de suivi automatique de trajectoire, de détection d'obstacle ou de maintien de distance sont à l'étude. Ils pourraient être adaptés aux véhicules à contrôle numérique.

De nombreux systèmes de sécurité active naîtront du numérique

VI pourrait se transformer en moteur auxiliaire. Cette traction électrique temporaire réduirait la pollution automobile.

La technologie numérique devrait s'appliquer aux accessoires de l'habitacle tels que sièges, rétrovi-

véhicule posséderont une carte personnelle qui reconfigurera automatiquement le poste de conduite.

Cette mutation se fera progressivement, on l'a vu. Aucun constructeur ne songe, par exemple, à remplacer l'ensemble constitué par le

DÉPASSEMENT DE ROUTINE.


Quand vous êtes au volant d'une Volvo S40, idéalement il faudrait qu'à côté de vous quelqu'un vous répète sans cesse : « Si, si, c'est un diesel ». En effet, la motorisation à injection directe « common rail » a tendance à vous le faire oublier. Ses 115 ch rendent les dépassemens plus faciles et donc plus sûrs. D'ailleurs, au chapitre sécurité la Volvo S40 est plutôt bien

dotée : airbags conducteurs et passagers à déclenchement différencié (Dual Stage)[®], rideaux gonflables de sécurité (IC)[®], et le score maximum au crash test EuroNCAP.

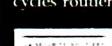
Venez donc l'essayer, cela risque de changer l'idée que vous vous faites du diesel. Construisez votre Volvo sur www.volvocars.fr - Informations et essais : **0 801 40 40 80** (prix d'appel local sauf d'un téléphone mobile). Modèle présenté Volvo S40 1,9 L D 115 ch avec options 146 670 F ou 22 360 €

TTC tarif au 01/06/00 - 115/102 ch = 85/75 kW CEE - consommations en 1/100 km (normes EC 93/116),

cycles routier : 4,2 ; urbain : 7,5 ; Euromix : 5,4 -

S40 1,9 L D 102 ch : 19 850 € 130 207 F

S40 1,9 L D 115 ch : 20 800 € 136 439 F



CO2 rejeté (g/km) : 142 - "Common rail" : rampe commune. *Vivez.

NOUVELLE VOLVO S40
TECHNOLOGIE « COMMON RAIL » 115 CH.

Pierre Varignon

L'inventeur de la vitesse



H. RAGUET

A la fin du XVII^e siècle, deux notions viennent bouleverser la physique du mouvement : la vitesse instantanée et l'accélération. Leur père est un mathématicien normand dont l'histoire a trop vite oublié le nom.

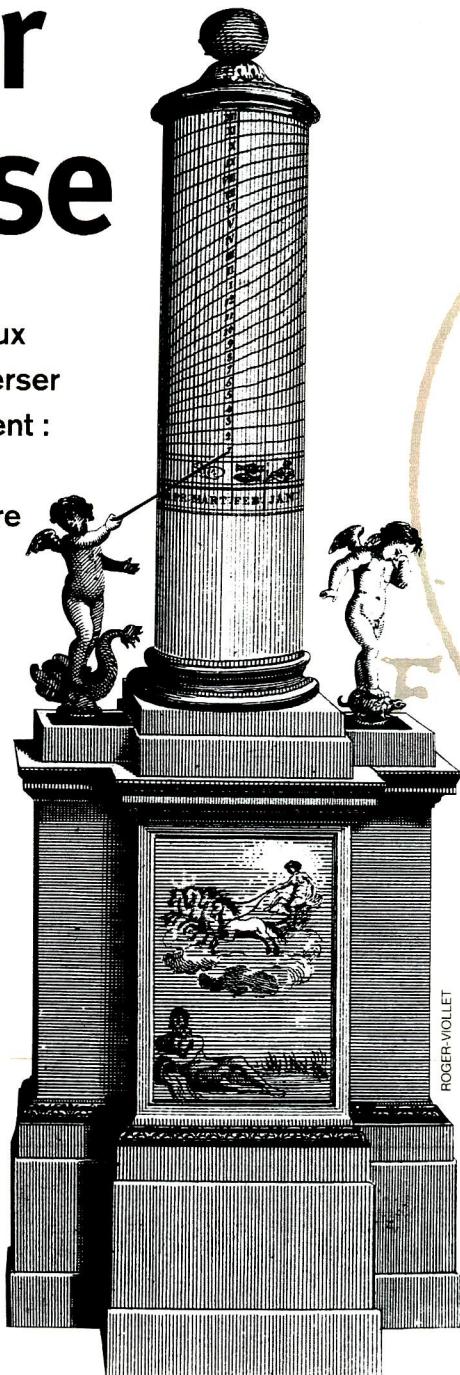
PAR VALÉRIE GREFFOZ

Acôté de celui de Galilée ou de Newton, le nom de Pierre Varignon ne vous évoquera sans doute pas grand chose. Tout au plus rappellera-t-il à quelques anciens professeurs de mathématiques un théorème sans grand intérêt, traitant de composition des forces et de conditions d'équilibre, et aux collégiens d'Hérouville-Saint-Clair, dans le Calvados, la plaque de leur établissement...

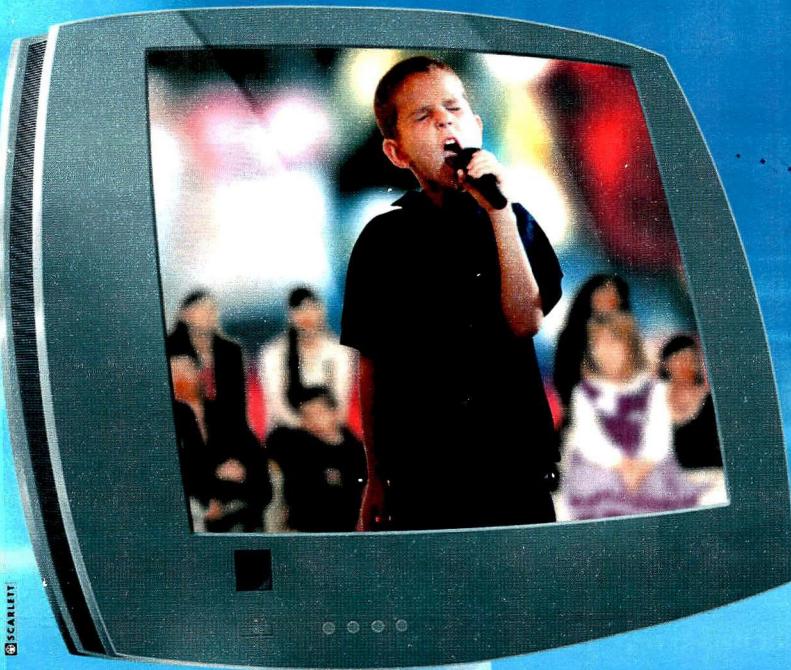
Et pourtant, sans l'intuition et la pertinence de ce mathématicien et ecclésias-tique normand, né à Caen en 1654, les compteurs de vitesse n'existaient peut-être pas, et les ingénieurs auraient bien du mal à concevoir des avions capables de vo-

Dessiner le temps

Après avoir établi la définition mathématique de la vitesse et de l'accélération, Pierre Varignon réussit à calculer la forme des clepsydres (horloges à eau) de façon que l'écoulement d'eau dans le récipient soit parfaitement régulier.



**Avec ASTRA,
même si vous n'êtes pas fan du chanteur
vous avez aussi la FM
en son numérique.**



**ASTRA : recevez la radio
numérique par satellite**

avec un plaisir d'écoute incomparable.

Plus d'une centaine de stations,

soit l'essentiel de la bande FM,

diffusées en qualité numérique et accessibles

sans abonnement, grâce à votre antenne

satellite et à un terminal numérique.



LE NUMÉRIQUE À SA SOURCE

ASTRA®

Les Secrets de la tombe d'un prince saka

Une sépulture gelée depuis plus de deux mille ans, les restes d'un prince, d'une mystérieuse inconnue et de treize chevaux harnachés d'or... Du Kazakhstan à Saint-Pétersbourg, des chercheurs sont partis sur les traces d'une civilisation perdue.

CENTRO STUD RISERCHE LIGABUE

Passionné par l'Asie centrale, chef de la mission archéologique française dans cette partie du monde, directeur de recherche au CNRS, Henri-Paul Francfort s'efforce d'élucider les relations qu'entretenaient, durant l'Antiquité, les nomades scythes orientaux – les mystérieux

Saka –, avec leurs voisins sédentaires perses et chinois. Une manière de ressusciter l'une des franges les plus méconnues de la civilisation scythe.

De l'âge du fer jusqu'à l'aube de l'ère chrétienne, les Scythes dominent l'immense Eurasie, de la mer Noire à la Sibérie, du Danube au fleuve Jaune. A l'ouest, dans la

boucle du Dniepr, les Scythes sédentaires ; plus à l'est, les cavaliers nomades, dont les Saka composent un groupe spécifique. Passionnés d'or, d'armes et de chevaux, aussi redoutés pour leur technique de la guerre que jaloussés pour leurs trésors, les Saka firent trembler les empires sédentaires, combattirent à Marathon



MAFAC
ANDRÉ PELLE
CNRS



MAFAC/ANDRÉ PELLE/CNRS

Ossements et trésors

Ni ville, ni palais, les Saka n'ont laissé que leurs tombes, dans lesquelles ils reposent avec leurs chevaux et leurs trésors. Ces cavaliers nomades scythes, réputés sanguinaires, sont aussi connus pour leur riche répertoire artistique animalier. En témoigne ce griffon-rapace en ronde-bosse (ci-dessus). Au pied des monts gelés de l'Altaï, la fouille d'une tombe princière du III^e siècle av. J.-C. offre de nouveaux éléments sur cette mystérieuse civilisation.

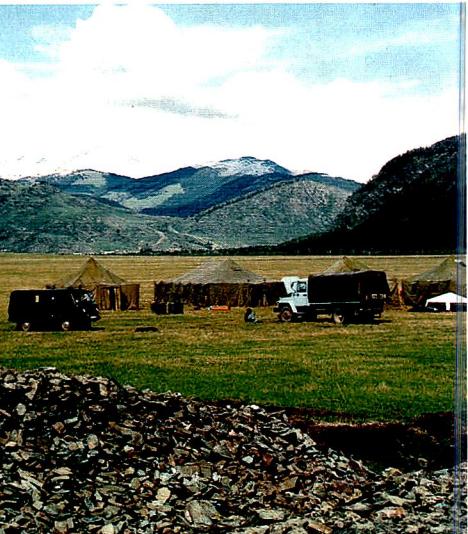
ou à Salamine, lors des plus célèbres batailles qui opposèrent les armées grecque et perse. Devant eux périrent Cyrus et Darius. « Les Scythes Saka écument les steppes d'Asie centrale à l'époque où les Zhou orientaux et les Royaumes combattants dominent la Chine et où les rois achéménides succèdent à Darius. D'ailleurs, fait observer Henri-Paul Francfort, le terme "Saka" provient d'inscriptions perses achéménides. »

Reconstituer le puzzle d'une civilisation

L'essentiel de nos connaissances sur la vie de ces peuples sans écriture provient des témoignages recueillis par Hérodote (480-425 avant J.-C.). « Des gens qui n'ont ni villes, ni murailles construites mais qui sont tous des porte-maisons et

des archers à cheval, qui ne vivent pas du labourage mais de leur bétail, qui ont leurs habitations sur des chariots, comment ces gens-là seraient-ils à l'abri des combats ? », écrit l'historien grec qui consacra le livre IV de ses *Histoires aux Scythes*.

Les recherches archéologiques actuelles donnent un nouvel éclairage sur les anciens maîtres de la steppe, apportant une vision moins réductrice que celle des « barbares sanguinaires aux coutumes étranges » décrits par les textes antiques. La fouille des sépultures dans lesquelles ils reposent avec leurs chevaux et leurs trésors permet aux chercheurs de reconstituer peu à peu le grand puzzle de cette civilisation disparue. Les prairies gelées de l'Altai, au carrefour de la Russie, du Kazakhstan, de la Mongolie et de la Chine, sont



parsemées de ces étonnantes sépultures coiffées de tumuli de pierres que l'on appelle kourganes. Elles sont le seul témoignage direct du glorieux passé des nomades scythes.

Henri-Paul Francfort a choisi de prospecter une nécropole principielle de la vallée de la Bukhtarma, à

A six mètres sous la steppe...

La dépouille du prince saka reposait dans une chambre funéraire faite de planches de bois recouvertes d'écorce et de feutre. A ses côtés, les corps de treize chevaux richement harnachés étaient disposés sur deux niveaux. L'ensemble, recouvert d'un vaste tumulus de pierres de 25 m de diamètre, a été sauvé par le gel.



Fouille en "blocs gelés"

A l'image des nomades saka, les chercheurs ont vécu sous la tente pendant près de deux mois, à proximité du kourgane. Ils ont mis au point une technique de fouille dite en "blocs gelés" pour remonter les précieux vestiges sans briser la chaîne du froid. Ils ont aussi constaté l'œuvre des pillards venus dépouiller le corps de ses atours, peu de temps après l'inhumation.



PHOTOS : MAFAC/ANDRÉ PELLE/CNRS

l'est du Kazakhstan. Ce site, connu des archéologues depuis plus d'un siècle, n'a jamais fait l'objet d'une enquête scientifique. En 1995, l'archéologue lance une expédition dans la région. « Dans l'Altai, explique-t-il, la température descend parfois jusqu'à -40 °C en hiver. La formation de lentilles de glace dans les couches profondes protège le contenu des tombes de la décomposition. » Le contexte géopolitique est alors favorable :



pour le Kazakhstan, né après l'écroulement soviétique, le projet s'inscrit dans la quête d'une identité toute neuve. En 1997, avec son collègue Zainullah Samashev, de l'Institut d'archéologie du Kazakhstan, le spécialiste français

inspecte la vallée, à la recherche du kourgane situé à l'endroit le plus froid. Le paysage est somptueux, immense. Les deux hommes arpencent le terrain, explorent ces étranges tumuli de pierres sous lesquels sont creusées les fosses funéraires. Leur choix se portera sur un kourgane de 25 m de

diamètre, le plus vaste du site, à 1 200 m d'altitude. En juin, ils ont mesuré une température de 0,05 °C à 2,50 m sous le sol. L'année suivante, en septembre-octobre, la première campagne de

recouvertes d'écorce et de feutre – signe de richesse par rapport aux constructions en rondins plus courantes. A l'intérieur, ils ont posé sur des dalles de pierres un grand sarcophage en mélèze. Dans

qué », admet Henri-Paul Francfort. Lors de leur sondage, les scientifiques ont d'ailleurs constaté des traces d'effraction : des pillards ont creusé un étroit tunnel, du sommet du tumulus jusqu'à la chambre funéraire.

La seconde campagne est programmée à la fin de l'hiver, en mai-juin 1999. Elle mobilisera une quarantaine de chercheurs français, italiens et kazakhs : des archéologues et des biologistes, car l'enquête est conçue pour collecter des objets en métal et en bois, mais aussi des chairs et des ossements vieux d'une bonne vingtaine de siècles. Pour ne pas briser la chaîne du froid, le contenu de la fouille ne sera pas examiné sur place ; il sera placé, au fur et à mesure des découvertes, dans un camion réfrigéré, en attendant son transfert en laboratoire.

C'est l'époque du dégel, la température du sol est propice aux fouilles. Le sédi-

fouilles révèle l'intérieur du kourgane. Pour enterrer leur prince, les Saka ont creusé une fosse rectangulaire à 6 m de profondeur, qu'ils ont organisée en deux pièces distinctes. D'abord une chambre funéraire avec des planches de bois

l'autre moitié de la fosse, tapissée d'écorce de bouleau, ils ont empilé en deux couches les chevaux sacrifiés. « Ces sépultures sont rares, et en découvrir une qui n'a jamais été pillée depuis l'Antiquité l'est plus encore. Le pari était ris-



Jeu de patience

Six mois après la fouille, Henri-Paul Francfort tente de reconstituer la parure des chevaux sacrifiés. La pendeloque en or ci-dessus révèle la maîtrise des Scythes en matière d'orfèvrerie.



ment, proche du point de décongélation, ressemble à une sorte de pâte glacée. Il faudra faire vite, car au-delà de 6°C (la température d'une morgue), les tissus biologiques risquent de se décomposer. « Nous étions sur la corde raide, raconte Henri-Paul Francfort. Il a fallu travailler jour et nuit. »

UNE TOMBE EN KIT

Pendant toute la durée de la fouille, les scientifiques ont dû refroidir les précieux vestiges avec des accumulateurs de froid et les protéger avec des couvertures de survie. Pour cette mission, ils ont mis au point une nouvelle méthode, appelée « fouille en blocs gelés ». Avec l'aide d'ouvriers du village proche de Berel, ils parviendront ainsi à remonter tout le contenu de la fosse aux chevaux en sciant des blocs dans les chairs gelées, sans prendre le temps d'observer leurs découvertes. Juste celui de les réperto-



rier, les découper, les emballer et les entreposer dans le camion frigorifique. Une quarantaine de blocs contenant les restes entremêlés de treize animaux richement harnachés seront exhumés. « Des découvertes comme celle-là, il y en a deux ou trois par siècle, s'enthousiasme Henri-Paul Francfort. Mais s'il y avait eu

Investigation funèbre

Les corps gelés des chevaux découpés dans la fosse forment un amas de chairs mêlées. Sébastien Lepetz (troisième à partir de la droite) tente de discerner les restes épars des chevaux.

plus de chevaux, nous n'aurions pas pu terminer avant le dégel. »

Tissus, feutres, bois sculptés, objets en métal précieux... Une partie du matériel trouvé dans la fosse a dû être traitée sur place. Ce minutieux travail, associant des restaurateurs et des dessinateurs, a très rapidement révélé la richesse et la variété du contenu de la sépulture, dont l'une des plus anciennes selles connues au monde, ainsi que des cornes de bouquetin postiches en bois sculpté, recouvertes de feuilles d'or, semblables à celles qui ornent les animaux sur les plus anciennes figures rupestres

du Kazakhstan. « Ces éléments sont très importants pour comprendre les sociétés saka. Le confort des selles et la richesse des harnachements que l'on retrouve dans tout l'Altaï, ici et ailleurs, notamment au nord, dans les kourganes de Pazyryk, témoignent de l'avance considérable de ces éleveurs et cavaliers émérites dans la maîtrise de l'art équestre. Il ne faut pas oublier que le cheval a été domestiqué pour la première fois dans ces steppes, il y a environ

Grecs mais vers la nature. Le passage dans le monde surnaturel de la mort devait s'effectuer par l'intermédiaire d'un animal sauvage. Le mieux pour domestiquer un bouquetin ou un élan, par exemple, est de le faire de façon mythique en ornant un cheval de cornes postiches. » Même le plus modeste des Scythes était enterré dans un kourgane avec un cheval, une tête ou une simple figurine. Si cette partie de la fosse a miraculeusement échappé au pillage,

qué une partie du dégel de la tombe. Des analyses de l'état de décomposition et de la recristallisation de la glace sur le passage des pillards montreront que le pillage a eu lieu quelques années seulement après l'enterrement. Contrairement aux corps richement parés de bijoux et de boucles de ceinture en or retrouvés dans d'autres kourganes, c'est un squelette totalement dépouillé de ses atours que les chercheurs exhumeront. Mais il est entier, parfaitement conservé et tous ses os sont en place. Ce sont les restes d'un homme d'une quarantaine d'années, portant moustaches et nattes. Découverte inattendue, la fouille révélera la présence d'un second corps très abîmé, dont les os du bassin sont ceux d'une vieille femme.

UNE MYSTÉRIEUSE INTRUSE

Entre les deux sujets, Eric Crubézy a retrouvé 45 mm de boue. « Chaque millimètre correspond à une inondation annuelle moyenne provenant de la fonte des glaces et des pluies, explique-t-il. Mais ces données varient d'une année sur l'autre. L'hypothèse la plus probable est que le deuxième sujet a été enterré de quinze à quarante-cinq ans après le premier. » Plusieurs décennies plus tard, d'autres Saka auraient donc utilisé l'ouverture faite par les pillards pour repousser le corps du prince vers le fond du sarcophage et y ajouter le corps de la femme âgée.

Lorsque le mort était un chef de tribu, rapporte Hérodote, ses chevaux l'accompagnaient ainsi qu'une de ses femmes.

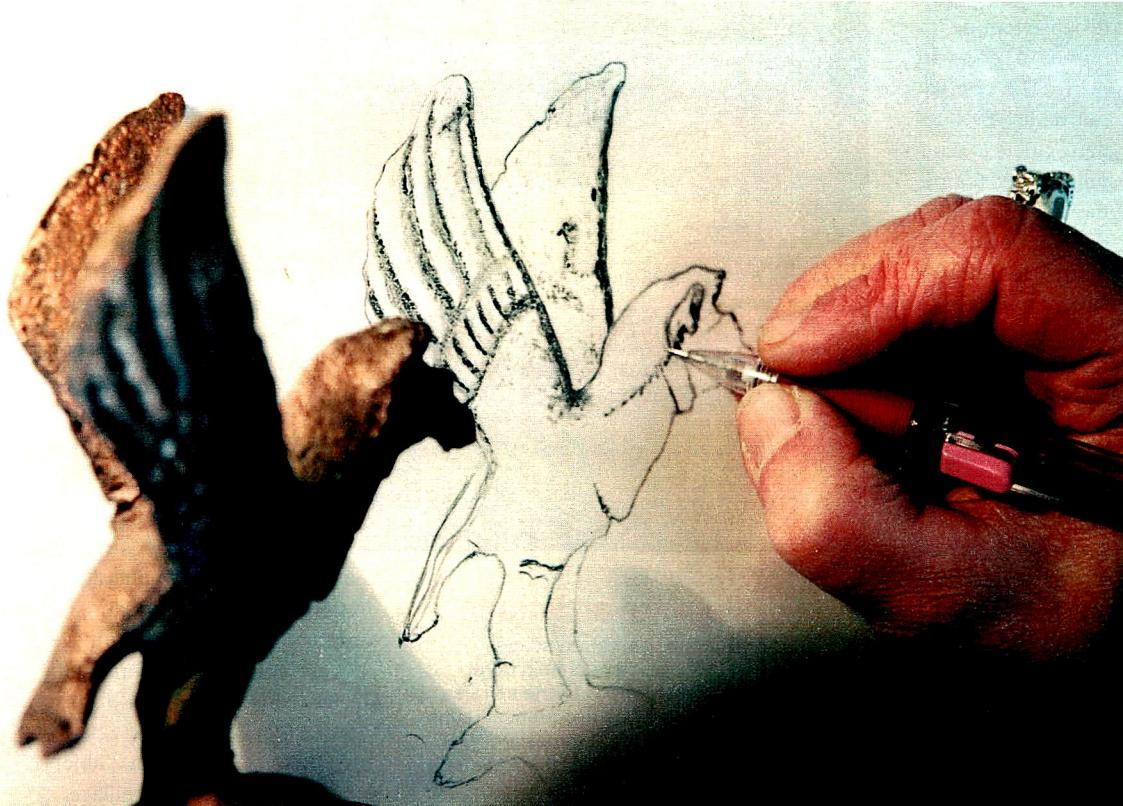
Mais qui fut cette mystérieuse intruse ? « Les femmes scythes semblent bénéficier d'un statut plus émancipé que leurs contemporaines. »

Le corps était vidé, nettoyé, rempli d'herbes aromatiques, puis recousu

quatre mille ans. Or, si l'on s'en tient aux sources écrites, les selles n'apparaîtraient que beaucoup plus tard, vers notre ère, explique le spécialiste français. Les cornes postiches, elles, semblent correspondre à des rites funéraires qui paraissent concentrer l'essentiel des pratiques religieuses scythes – tournées non vers un cortège de dieux, à la manière des anciens

la chambre funéraire révélera un sarcophage au flanc fracturé. « Visiblement, les pillards n'ont pas réussi à ouvrir le couvercle bloqué par le plafond de la chambre, construit à 1,20 m du plancher », constate Eric Crubézy, du CNRS, professeur d'anthropologie à la faculté Paul-Sabatier de Toulouse et spécialisé dans la fouille de sépultures. L'effraction a provo-





PHOTOS : MAFAC/ANDRÉ PELLE-CNRS

raines sédentaires enfermées dans des palais, explique Henri-Paul Francfort. Les textes anciens leur attribuent un rôle guerrier, politique, religieux. » En 1992, dans un autre kourgane de l'Altaï à Ukok, à une centaine de kilomètres de la Bukhtarma, on a retrouvé les restes d'une femme d'une vingtaine d'années, tatouée comme un vieux chef scythe exhumé à Pazyrk.

Fin juin 1999, la mission s'achève. L'équipe lève le camp et le camion frigorifique est conduit à quelque 1 000 km de l'Altaï, à Almaty, la capitale du Kazakhstan, avec sa précieuse cargaison. Tout le contenu de la fouille repose désormais dans un des laboratoires de l'Institut national d'archéologie. Là-bas, l'hiver dernier, l'autopsie du corps n'a pas résisté au scalpel et à la sagacité d'Eric Crubézy. Ainsi l'anthropologue toulousain a-t-il pu reconstituer le rituel au-

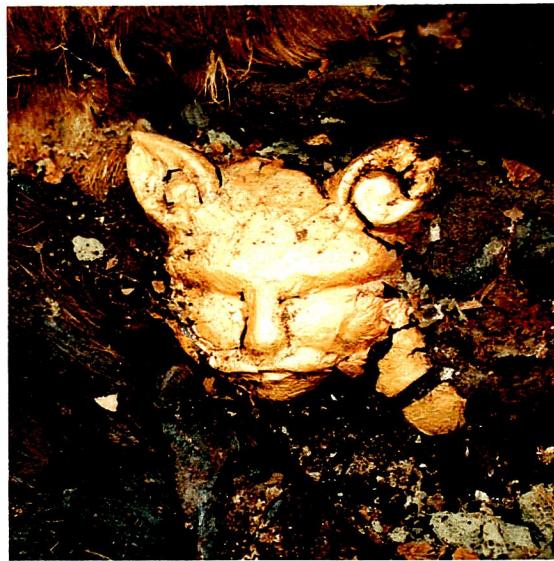
Un monde étrange

Chaque objet retrouvé dans la tombe révèle un univers complexe, d'une grande finesse. Ce monde aurait inspiré certaines légendes grecques : Ulysse aux portes de l'enfer ou Jason et la toison d'or.

quel fut soumis le prince saka avant son enterrement. « L'analyse du crâne montre un énorme coup, cause probable du décès. Pourquoi a-t-il été sacrifié ? Cela reste un mystère. La victime a ensuite été trépanée et son thorax ouvert. Les os montrent de très fines stries de décarénisation indiquant que tous les muscles et les organes ont été retirés. La peau a été enlevée et peut-être recousue : nous avons retrouvé trois morceaux de ficelle assez fine de part et d'autre de la colonne vertébrale. » Les récits d'Hérodote relatent de longues cérémonies funéraires, à deux moments de l'année, impliquant une longue conservation du corps – qui était vidé, nettoyé, rempli d'herbes aromatiques, puis recousu.

L'analyse dendrochronologique (étude du décompte du temps à travers les cernes des arbres) effectuée en Suisse et en Russie a permis de situer l'inhumation vers 294 avant notre ère. Depuis, dans son laboratoire de Toulouse, Eric Crubézy a étudié en détail des échantillons ramenés d'Almaty. Les recherches de l'Altaï qui s'inscrivent dans un autre programme de recherche sur l'origine et l'histoire des maladies lui ont ainsi permis de montrer que le prince avait la tuberculose. Et que ses tissus étaient envahis par des ankylostomes, des parasites présents dans les pays chauds et humides, confirmant ainsi le large rayonnement des Saka. Les mêmes parasites ont été retrouvés sur la mys-

térieuse femme inhumée à côté du prince. La comparaison de l'ADN des deux sujets a, dans un premier temps, montré que 50% de leurs séquences étaient communes, suggérant ainsi qu'il pourrait s'agir de la mère et du fils. « Mais rien n'est encore certain, tempère Eric Crubézy. Nous devrions le confirmer d'ici à la fin de l'année, grâce à l'examen de l'ADN mitochondrial. » Les mitochondries, chargées de produire l'énergie des cellules, contiennent de l'ADN comme le noyau cellulaire. Mais cet ADN mitochondrial n'est transmis, en théorie, que par la mère. L'examen détaillé des blocs gelés contenant les restes des treize chevaux sacrifiés a également été réalisé à Almaty. En analysant les traces d'usure de leur squelette et de leur dentition, Sébastien Lepetz, chargé de recherche au laboratoire d'archéozoologie et d'histoire des sociétés (CNRS) a



Parenté artistique

Miraculeusement rescapé du pillage, ce petit félin doré. La symétrie et la forme spiralée de ses oreilles évoquent certains bronzes des royaumes combattants de la Chine centrale.

Le sacrifice de cet animal devait donc se faire avec mesure, même en l'honneur d'un personnage important.

Enfin, à Almaty, Henri-Paul Francfort et son collègue kazakh Zainullah Samashev sont parvenus à reconstituer les parures qui

lement observé que certains motifs de pendeloque représentent une sorte de dragon à queue de serpent: « Ces motifs sont caractéristiques de l'art moyen-oriental. Ils n'ont pu parvenir dans l'Altaï que par la Perse achéménide. Nous avons par ailleurs retrouvé des petits félin dont l'inspiration serait plutôt chinoise. » Et pour montrer qu'il ne s'agit pas de découvertes isolées, le chercheur

du CNRS s'est rendu à Saint-Pétersbourg, au musée de l'Ermitage, où s'est constituée depuis deux siècles, sous l'impulsion du tsar Pierre 1^{er}, collectionneur éclairé, une fabuleuse collection d'objets en or massif rescapés du pillage.

CONCLUSIONS DÉFINITIVES ATTENDUES EN 2005

Là, en comparant certaines découvertes de la nécropole de la Bu-khtarma avec des pièces issues de régions aussi éloignées que la mer Noire, il n'a pu que confirmer la force des liens culturels et artistiques qui unissaient ces tribus éparses. La synthèse totale de cette recherche ne sera pas achevée avant 2005. D'ici à cette date, une exposition des pièces reconstituées sera organisée à Astana, la nouvelle capitale que le Kazakhstan s'apprête à inaugurer. Dans le musée en chantier, une salle est déjà prévue pour exposer les secrets gelés de l'Altaï. ■

POUR EN SAVOIR PLUS Arte diffusera le 14 octobre la *Tombe du prince scythe*, un documentaire de Marc Jampolsky (durée: 52 minutes, production: Gédon Programmes/la Sept Arte/Discovery Channel/Centro Studi Ricerca Ligabue/MAFAC/CNRS images-média/Institut d'archéologie et de la science de la république du Kazakhstan).

A Saint-Pétersbourg, une collection d'objets en or rescapés du pillage

déterminé qu'il s'agissait de « vieux étalons âgés de 16 à 20 ans. Ces animaux mesuraient environ 1,40 m et ils ont dû être montés toute leur vie ; mais au moment de leur abattage, d'un coup sec sur la tête, ils n'étaient plus utilisés ». De nombreux témoignages montrent que les Scythes avaient le souci d'une bonne gestion économique de leur domaine. Or, la plus grande fortune du Scythe était son cheval, toujours monté, jamais attelé.

ornaient les chevaux. Guirlandes de pendeloques, brides, croupières, cornes postiches... Des harnachements d'une grande richesse, dont la recomposition montre différentes thématiques pour chaque animal: cheval-élan, cheval-mouflon, cheval-griffon, cheval-félin... Tout un escadron censé accompagner le prince dans son trépas. Déchiffrant le style des objets comme autant de messages codés, Henri-Paul Francfort a éga-



www.maisondesbordeaux.com

Bordeaux et Bordeaux Supérieur. Fêtons deux millénaires de millésimes.



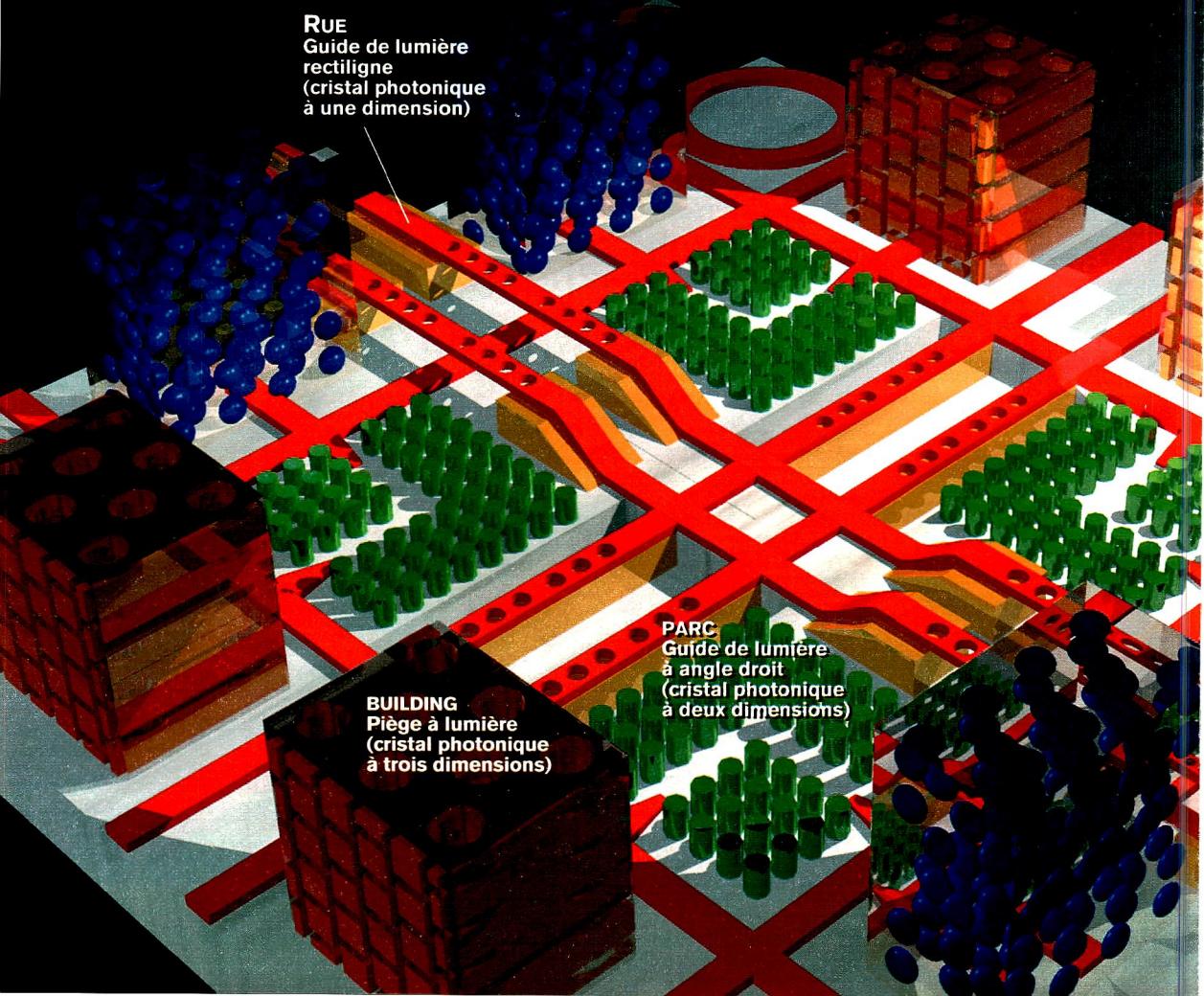
Rouge, Blanc, Rosé, Clairet, Crémant : les Appellations Bordeaux et Bordeaux Supérieur vous offrent l'accès au prestige des grands vins.



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

En route pour Photoniqueville

L'arrivée des premières puces optiques, où les photons remplaceront les électrons, se précise. Des chercheurs japonais viennent de fabriquer un cristal photonique capable de maîtriser de la lumière infrarouge. Les applications de ces fabuleux cristaux sont au cœur de notre quotidien.



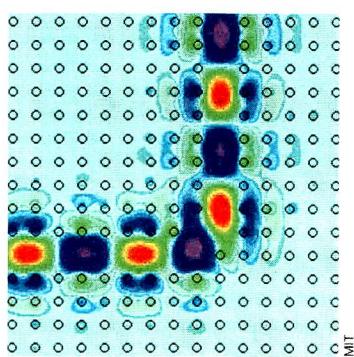
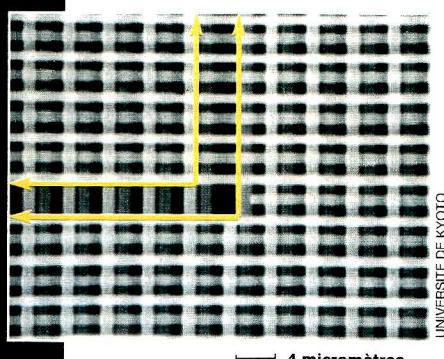
Manipuler la lumière, l'emprisonner dans des cages microscopiques, la guider à travers de minuscules labyrinthes sans jamais l'altérer. Depuis quelques mois, ce rêve de physicien est en train de devenir réalité. Une réalité qui pourrait bien ébranler près d'un demi-siècle de dictature de l'électronique dans les technologies de l'information et de la communication. Car la maîtrise parfaite de la lumière n'est pas un simple défi de scientifiques. C'est aussi et surtout le moyen le plus efficace et le plus rapide de transporter des informations. Dans cette course au contrôle absolu de la lumière qui a com-

mencé voilà une dizaine d'années, une équipe de chercheurs japonais vient de franchir un pas décisif, annoncé au mois de juillet dernier par la revue américaine *Science* (vol. 289). Susumu Noda et ses collègues de l'université de Kyoto ont en effet réussi à fabriquer, à l'intérieur d'un cristal artificiel, un minuscule tunnel de quelques micromètres de large (quelques millièmes de millimètres), capable de guider parfaitement un faisceau de lumière infrarouge semblable à ceux utilisés aujourd'hui dans les télécommunications (dont la longueur d'onde est d'environ 1,5 micromètre). Le guider parfaitement, c'est-à-dire lui faire prendre un virage à angle droit tout en lui conservant plus de 95 % de son intensité. Un résultat époustouflant comparé aux performances d'une fibre optique classique, avec laquelle il est impossible de faire virer un faisceau de lumière à angle droit: si on ne lui laisse pas faire un coude d'au moins 2 mm sur 2 mm, le rayon lumineux n'est pas totalement transmis.

« DES TRAVAUX DE PREMIÈRE IMPORTANCE »

« Les travaux de Susumu Noda sont de première importance, commente David Cassagne, un physicien du Groupe d'étude des semi-conducteurs de l'université Montpellier-6. Ils constituent une avancée significative vers un circuit intégré entièrement optique ». Savoir parfaitement guider, confiner, ou même arrêter les photons (particules de lumière) est en effet la condition indispensable pour qu'ils puissent un jour remplacer les électrons dans les circuits intégrés. Déjà, les premières puces optiques se rapprochent à grands pas.

Le secret de cette réussite a un nom: les cristaux photoniques. C'est grâce à cette nouvelle génération de matériaux imaginés par les



Un guide parfait

Le guide de lumière le plus fin jamais réalisé (en haut, en jaune) fait virer un rayonnement infrarouge à angle droit (simulation ci-dessus). Ci-contre, une vue futuriste de « Photoniqueville » – un circuit intégré entièrement optique – imaginée par des chercheurs américains du MIT.



RECETTES POUR METTRE LES PHOTONS EN CAGE

■ Pour fabriquer des cristaux photoniques, véritables cages à lumière et futurs composants des circuits intégrés optiques, les physiciens copient des structures cristallines naturelles.

LE TAS DE BOIS

Cette méthode consiste à empiler de minuscules bâtonnets de semi-conducteur (du silicium, par exemple) de façon à reproduire la structure du diamant, qui empêche la propagation de la lumière. Pour créer un tunnel où les rayons lumineux pourront circuler, il suffit d'enlever une rangée de bâtonnets. C'est ainsi que l'équipe japonaise de Susumu Noda a

réussi à élaborer le cristal photonique le plus fin à ce jour (la distance entre les bâtonnets est inférieure à un millième de millimètre). Dans le cristal ci-dessous ①, obtenu par les

laboratoires Sandia à Albuquerque (Nouveau-Mexique), les bâtonnets sont distants de quelques millièmes de millimètres.

LA YABLONOVITE

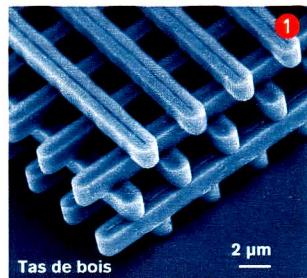
Certains physiciens percent un morceau de plastique ou de résine régulièrement, de manière à reproduire la structure cristalline du diamant. Cette méthode était celle employée par Eli Yablonovitch lorsqu'il a fabriqué le premier

cristal photonique, en 1991. La structure ci-dessous ②, réalisée par Jean-Michel Lourtioz et ses collègues de l'Institut d'électronique fondamentale d'Orsay et du Laboratoire de microstructures et de microélectronique de Bagneux, a été obtenue en perçant une résine à l'aide de rayons X.

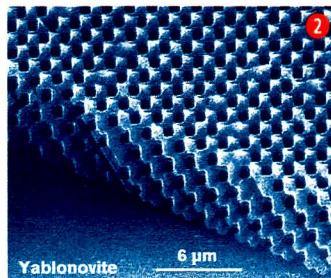
L'OPALE

On peut également fabriquer des cristaux photoniques en laissant sédimer de petites billes de silice larges d'un millième de millimètre dans un colloïde (gel). Les billes s'ordonnent alors spontanément en suivant la structure des opales, qui sont des

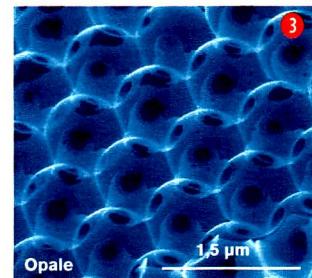
cristaux photoniques naturels : ces pierres doivent en effet leur magnifique aspect irisé au fait qu'elles arrêtent et réfléchissent de façon sélective les diverses longueurs d'ondes de la lumière visible. Le cristal ci-dessous ③, fabriqué par des chercheurs de l'université de Toronto (Canada), est une "opale inverse" : une fois le réseau de billes obtenu, les physiciens ont injecté du silicium entre les billes, puis les ont enlevées. Cette nouvelle structure, qui est, en quelque sorte, l'inverse de la première, possède également toutes les propriétés d'un cristal photonique.



SANDIA NATIONAL LABORATORIES



IEF ORSAY - LMM BAGNEUX

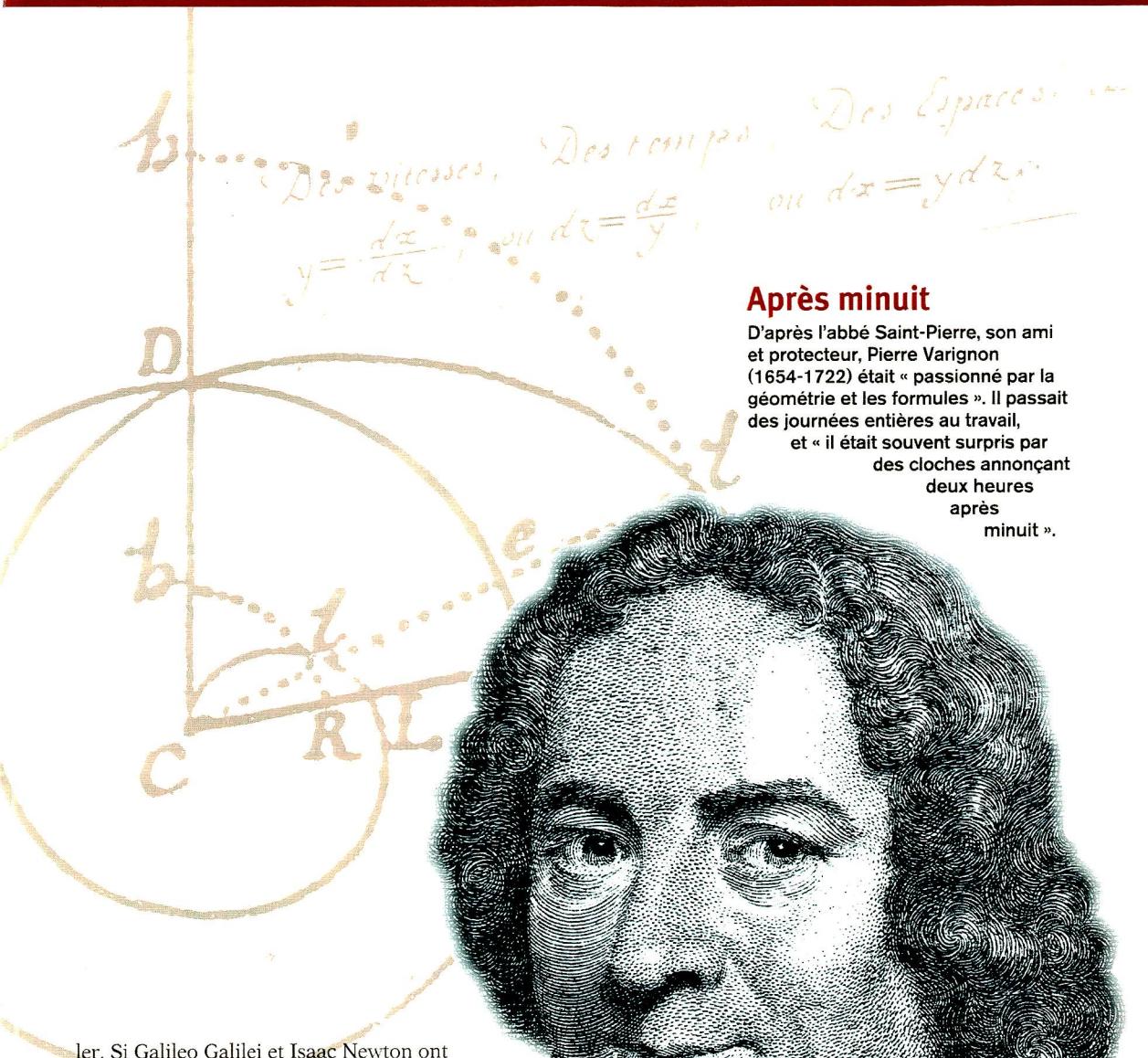


UNIVERSITE DE TORONTO

physiciens à la fin des années 80 que les scientifiques japonais sont parvenus à maîtriser la lumière avec une telle précision. Ces cristaux artificiels sont en effet capables de piéger les photons, de la même manière que les semi-conducteurs, matériaux de base de l'électronique, piègent les électrons. En effet, la structure cristalline régulière des semi-conducteurs, comme le silicium ou le germanium, in-

terdit aux électrons d'une certaine gamme d'énergie (appelée bande interdite, ou "gap") de se propager dans le matériau. C'est d'ailleurs sur ce principe de base que repose toute l'électronique. De la même manière, un réseau cristallin peut interdire la propagation de photons d'une certaine gamme d'énergie (donc d'une certaine gamme de longueur d'onde). Il suffit pour cela que les mailles du réseau soient du

même ordre de grandeur que la longueur d'onde du rayonnement que l'on veut stopper. Ainsi, pour empêcher la propagation des micro-ondes, il faut que cette maille mesure quelques millimètres. Si l'on veut stopper celle de la lumière visible, il faut qu'elle soit inférieure au micromètre (un millième de millimètre). Le piège à lumière est presque prêt : il ne reste plus qu'à enlever une maille du cristal pour



Après minuit

D'après l'abbé Saint-Pierre, son ami et protecteur, Pierre Varignon (1654-1722) était « passionné par la géométrie et les formules ». Il passait des journées entières au travail, et « il était souvent surpris par des cloches annonçant deux heures après minuit ».

ler. Si Galileo Galilei et Isaac Newton ont effectivement établi les grands principes de la physique du mouvement au cours du XVII^e siècle, leurs idées n'auraient certainement pas été aussi largement reprises par les générations de physiciens qui leur ont succédé sans la contribution de Pierre Varignon. Car le scientifique français fut le premier à donner un nom et une définition mathématique à deux concepts essentiels de la physique du mouvement : la vitesse instantanée et l'accéléra-

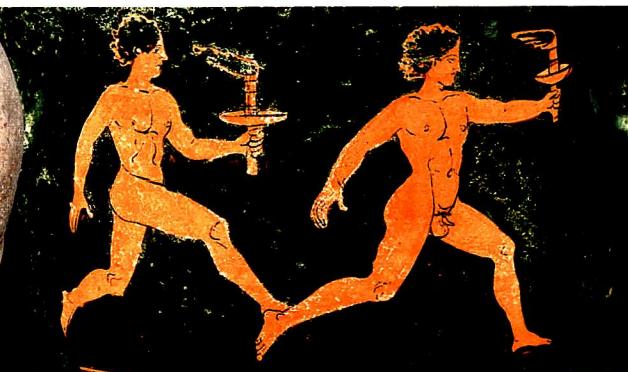
COLLECTION
VIOLET



GIRAUDON

tion. Là où Galilée se contente de comparer des distances parcourues et des temps mis à les parcourir, Pierre Varignon définit la vitesse comme le quotient d'une distance sur un temps. Là où Newton doit noircir des pages de figures d'une complexité inouïe pour étudier le mouvement d'un objet, Varignon n'utilise plus que quelques lignes de calcul. En cette fin du XVII^e siècle, la physique change complètement de visage.

Pour bien comprendre l'importance du pas conceptuel franchi par Varignon, il faut oublier ce que nous savons de la vitesse et de l'accélération. Aujourd'hui, ces notions nous sont parfaitement familières : la vitesse est omniprésente dans tous nos déplacements, nos performances sportives. Mais cela n'a pas toujours été le cas, comme l'explique Christiane Vilain, physicienne à l'Observatoire de Paris-Meudon et spécialiste de l'histoire du mouvement : « Lorsque les anciens Grecs organisaient



E. LESSING/AGENCE FRANCE PRESSE

Sans record à l'arrivée

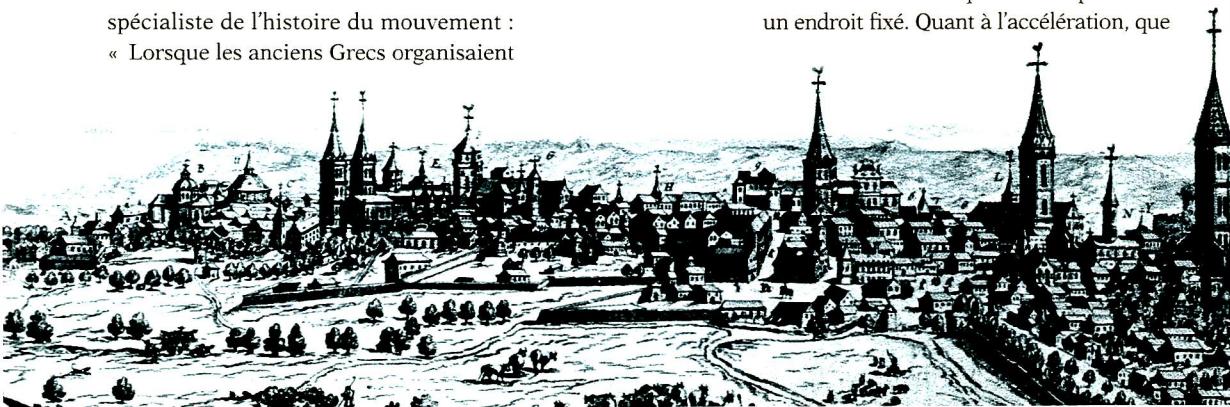
Au V^e siècle avant J.-C., la notion de vitesse n'intéresse pas les Grecs.
Le philosophe Aristote (ci-contre) travaille surtout sur les "lieux de résidence" des corps, et non pas sur leur mouvement. Quant aux coureurs (ci-dessus, un vase à figures rouges), ils n'ont pas besoin de connaître leur vitesse : le vainqueur est tout simplement le premier arrivé.

une course, tous les participants partaient en même temps, et le vainqueur était celui qui arrivait le premier. Personne n'avait besoin de connaître sa vitesse : la notion de record n'existe pas. » Par ailleurs, le philosophe grec Aristote, dont la vision du monde a influencé les scientifiques jusqu'au Moyen Âge, conçoit la vitesse comme faisant partie des caractères d'un corps, au même titre que sa couleur ou sa masse.

LA VITESSE COMME UNE QUALITÉ

Cette vitesse peut varier, comme un caméléon peut changer de couleur, mais elle reste intimement liée au corps, et n'existe pas en elle-même. « Il faut bien voir que la vitesse n'intéresse simplement pas Aristote, commente Christiane Vilain. Pour lui, le mouvement n'est qu'un état transitoire entre un lieu non naturel, où se trouve un corps, et le lieu naturel, où il doit se rendre. Seuls le départ et l'arrivée l'intéressent. »

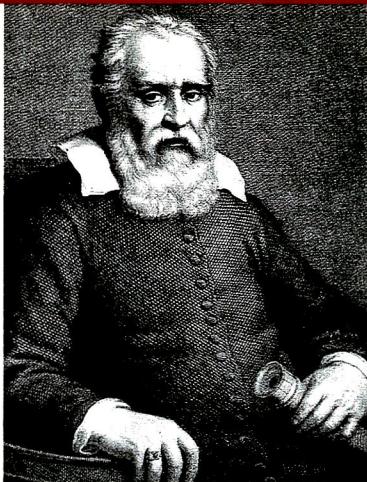
Aristote peut dire qu'un corps va plus vite qu'un autre. Mais il se contente pour cela de lancer les deux corps et de regarder celui qui a parcouru la plus grande distance avant de s'arrêter ou qui arrive le premier à un endroit fixé. Quant à l'accélération, que



nous définissons aujourd'hui comme l'accroissement de la vitesse par unité de temps, Aristote n'a ni les moyens conceptuels de la concevoir ni les moyens pratiques de l'observer dans les phénomènes naturels.

Au Moyen Age, les mathématiciens commencent à utiliser le terme d'"intensité du mouvement" pour parler de la vitesse. Ils utilisent également les termes de "mouvement uniforme" (à vitesse constante), de "mouvement varié" (à vitesse variable), et de "mouvement uniformément varié" (dont la vitesse augmente ou diminue uniformément). Pourtant, la vitesse n'est encore qu'une notion intuitive, qui n'a pas de véritable définition. Ainsi, lorsque Galilée, au début du XVII^e siècle, commence à travailler sur la chute des corps, il est obligé d'utiliser des figures pour faire ses calculs : il trace d'abord une ligne verticale qui représente le temps, puis il ajoute des petits segments horizontaux, dont la longueur représente la vitesse du corps à un instant donné. Il appelle ces petits segments des "degrés de vitesse". En comparant les longueurs des segments, il peut chiffrer l'accroissement de la vitesse en un temps donné, ce que nous appelons aujourd'hui l'accélération. Mais, à aucun moment, il ne donne de définition mathématique de l'accélération, ni de la vitesse. Pour la simple raison que les mathématiques, depuis Euclide, lui interdisent formellement de diviser deux grandeurs non homogènes : on ne divise pas une distance par un temps tout comme on ne diviserait pas des carottes par des choux-fleurs.

Lorsque Galilée veut savoir si un corps va plus vite qu'un autre, il com-



KHARBINE-TAPABOR

La chute des corps

Galilée (1564-1642) passera une grande partie de sa vie à travailler sur la chute des corps sans jamais donner de définition mathématique de la vitesse.

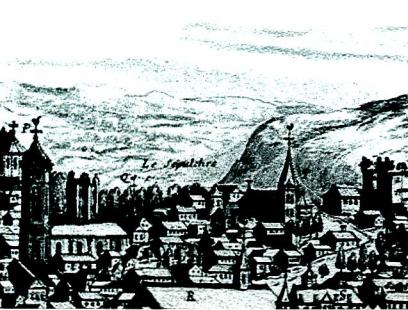
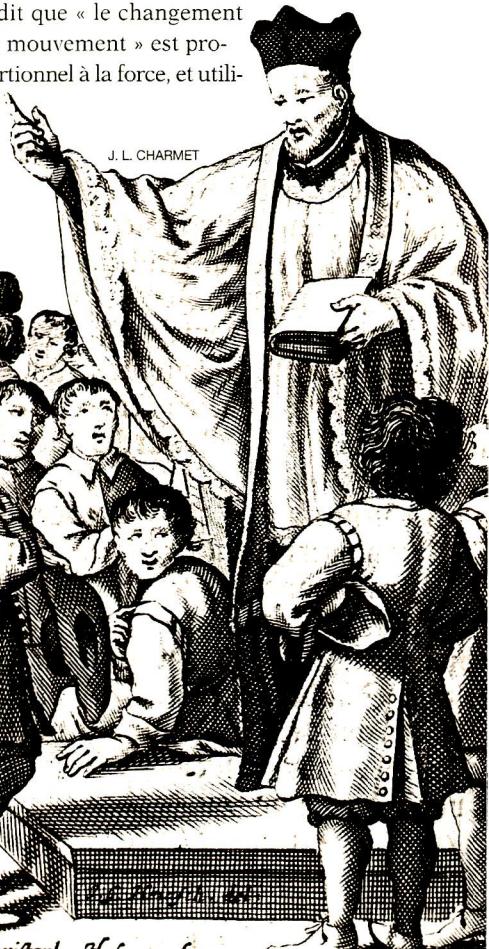
Les jésuites de Caen

Au collège jésuite de Caen, Varignon étudie la théologie et la philosophie. Le prêtre se passionnera pour les mathématiques à son arrivée à Paris, en 1686.

pare les rapports des deux distances parcourues avec le rapport des deux temps mis à les parcourir. En 1687, onze ans avant que Pierre Varignon ne donne la première définition de la vitesse, Newton publie à Londres son œuvre maîtresse, les *Philosophia naturalis principia mathematica*, dans laquelle il énonce les lois de la gravitation universelle, qui régissent aussi bien la chute des corps sur Terre que le mouvement des planètes autour du Soleil.

FORCE ACCÉLÉRATRICE

Aujourd'hui, les lycéens apprennent que « la somme des forces extérieures appliquées à un solide est égale au produit de la masse du solide par l'accélération de son centre d'inertie ». Mais, à l'époque, Newton n'utilise pas le mot "accélération". Il dit que « le changement du mouvement » est proportionnel à la force, et utili-



se parfois le terme de « force accélératrice ». En l'absence de formule mathématique définissant la vitesse et l'accélération, Newton, comme Galilée, est forcé de traiter tous ses problèmes de mécanique des corps célestes en passant par des figures. Très vite, celles-ci deviennent d'une complexité effroyable. La résolution des problèmes de physique du mouvement *via* la géométrie atteint ses limites.

INFINIMENT PETITS ET MAL AIMÉS

C'est alors que Pierre Varignon, jeune professeur de mathématiques au collège Mazarin, à Paris, et membre de l'Académie royale des sciences depuis 1688, a une idée qui va sortir la mécanique de cette impasse : il décide de lui appliquer le calcul différentiel, ce nouveau formalisme mathématique mis au point par le mathématicien et philosophe allemand Gottfried Leibniz en 1684. Depuis quelques années déjà, Pierre Varignon, comme d'autres mathématiciens tels que les frères Jean et Jacques Bernoulli ou encore le marquis de l'Hospital, défend ardemment le calcul différentiel à l'Académie des sciences, où il se heurte à l'hostilité de la majorité des scientifiques.

En effet, ce calcul est basé sur la notion des infiniment petits, infinis que n'aiment guère les mathématiciens. Néanmoins, il est particulièrement efficace pour étudier les courbes, c'est-à-dire calculer leurs minima, leurs maxima et leurs tangentes en

DE LA VITESSE DANS CHAQUE INSTANT...

■ Le concept de vitesse instantanée, ou « vitesse dans chaque instant » apparaît pour la première fois dans un mémoire de Pierre Varignon, lu à la séance de l'Académie royale des sciences le 5 juillet 1698, comme le relate Michel Blay dans *la Naissance de la mécanique analytique* (1) : « [...] les instans seront = dt ; l'espace parcouru dans chaque instant, sera = dx ; et la vitesse avec laquelle dx aura été parcourue sera = v . [...] la notion seule des vitesses uniformes donnera $v = dx/dt$ pour la règle

de tous les mouvements variés comme on voudra, c'est-à-dire quelque rapport d'espace, de temps ou de vitesse, qu'on suppose ; la vitesse de chaque instant étant toujours et partout égale au quotient de l'espace parcouru dans chaque instant divisé par cette même différentielle de temps. »

.....
(1) *La Naissance de la mécanique analytique*, par Michel Blay, Presses Universitaires de France, 1992.

$$v = \frac{dx}{dt}$$

... À LA FORCE ACCÉLÉRATRICE

■ C'est au cours de la séance du 30 janvier 1700 de l'Académie royale des sciences que Pierre Varignon définit la « force accélératrice », que nous appelons aujourd'hui « accélération », et la relie à la « vitesse dans chaque instant » par un simple algorithme de calcul différentiel. Pour cela, il considère que, dans un mouvement accéléré, l'accroissement de vitesse acquis pendant

le temps dt s'écrit sous la forme $dv = ddx/dt$, où ddx est l'accroissement de distance. Puis il transpose les travaux de Newton sur la force accélératrice en langage différentiel : « De plus les espaces parcourus par un corps mû d'une force constante et continuellement appliquée, telle qu'on conçoit d'ordinaire la pesanteur, étant en raison composée de cette force [accélératrice] et des quarrés des temps employés à les parcourir ; l'on aura aussi $ddx = y \cdot dt^2$ [où y est la force accélératrice], ou $y = ddx/dt^2 = dv/dt^2$. »

La loi du père

Philosophe et mathématicien allemand, Gottfried Leibniz (1646-1716) est le père du calcul différentiel, qui servira de base aux travaux de Varignon.

$$1^{\circ} v = \frac{dx}{dt}$$

$$2^{\circ} y = \frac{ddx}{dt^2} \left(\frac{dx}{dt} \right)$$



ROGER-VIOLLET

n'importe quel point. Le principe du calcul différentiel est de couper une courbe en morceaux infiniment petits et de voir comment se comportent ces morceaux infimes, pour ensuite en déduire l'allure globale de la courbe. Déjà, Leibniz et les frères Bernoulli utilisent ce calcul pour résoudre leurs problèmes de physique du mouvement. Toutefois, ils s'obstinent encore à passer par la lourde étape géométrique : ils transposent d'abord leurs problèmes mécaniques en problèmes géométriques, et traitent ensuite les courbes par le calcul différentiel. Aucun d'entre eux n'a l'idée d'inclure le temps dans ses calculs, et de le poser comme variable dans ses équations différentielles. Aucun d'entre eux, excepté Pierre Varignon. Le 5 juillet 1698, lors d'une séance de l'Académie des sciences, le mathématicien normand présente pour

Trois autres novateurs

Le marquis de l'Hospital (en pied, à gauche) ainsi que les frères Jean et Jacques Bernoulli (de gauche à droite en médaillon) défendent le calcul différentiel de Leibniz face au conservatisme des mathématiciens de l'Académie royale des sciences. Avec Pierre Varignon, ils contribueront largement à la popularisation de cette nouvelle forme de calcul.

la première fois à la communauté scientifique son concept de "vitesse dans chaque instant", que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de "vitesse instantanée". Il définit cette vitesse comme le rapport d'une longueur infiniment petite, "dx", sur le temps infiniment petit mis à la parcourir, "dt" (voir encadré).

DES GRANDEURS HOMOGÈNES

Pour s'affranchir de la question des homogènes, Varignon prend soin de préciser qu'il ne divise pas une distance par un temps, mais un nombre par un autre nombre : « L'espace et le temps étant des grandeurs hétérogènes, ce n'est point proprement elles qu'on compare ensemble dans le rapport qu'on appelle vitesse, mais seulement les grandeurs homogènes qui les expriment, lesquelles sont ici, et seront toujours dans la suite, ou deux lignes, ou deux nombres, ou deux telles autres grandeurs homogènes qu'on voudra. » Depuis des siècles, la vitesse n'était qu'une connaissance intuitive; tout d'un coup, elle devient une grandeur physique. A peine deux ans plus tard, le 30 janvier 1700,

Varignon présente à l'Académie des sciences son concept de "force accélératrice" (que nous appelons aujourd'hui "accélération"), et montre que cette accélération se déduit de la vitesse instantanée par un simple calcul différentiel (aujourd'hui, nous disons que l'accélération est la dérivée de la vitesse). Varignon vient de construire le premier algorithme de l'histoire de la physique : il a réussi à passer d'une grandeur physique à une autre par une procédure réglée de calcul.

ABOLITION DE LA FIGURE

Historien et philosophe des sciences, Michel Blay est spécialiste de l'histoire de la mathématisation aux XVII^e et XVIII^e siècles : « Les travaux de Varignon marquent la véritable naissance de la physique mathématique. Dès lors, la figure n'est plus indispensable pour réfléchir. Si vous feuilletiez les *Principia mathematica* de Newton, vous voyez un grand nombre de figures et de calculs dans tous les sens, des segments qui grandissent, qui diminuent : vous n'y comprenez rien. Lorsque vous feuilletiez les mémoires de Varignon, qui ont été publiées seulement une dizaine d'années plus tard, vous êtes parfaitement à l'aise, vous retrouvez un formalisme que vous connaissez bien. Le changement de vision est tout à fait saisissant. » Les consé-



J. L. CHARMET

Le canon en équation

A l'aide de quelques lignes d'équations, Varignon parvient à répondre à l'une des grandes questions qui préoccupent les stratégies du début du XVIII^e siècle : comment déterminer la trajectoire d'un boulet de canon en fonction de la résistance de l'air.

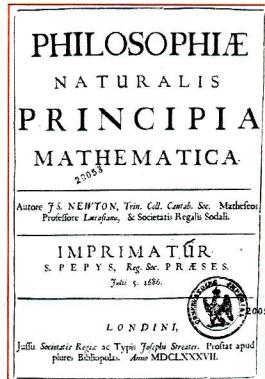
quences de ce virage conceptuel sont immédiates : en quelques années, la science du mouvement connaît des progrès considérables. Le 31 mars 1700, Varignon publie un mémoire dans lequel il se penche sur le problème des forces centrales, cher à Newton. Sachant qu'une planète décrit une ellipse autour du Soleil, Newton avait réussi à calculer, en utilisant un nombre considérable d'exemples, la force d'attraction exercée par le Soleil sur cette planète. Varignon applique sa formule, il retrouve tous les exemples de Newton et

prouve que ceux-ci ne sont que des cas particuliers. Puis il parvient, pour la première fois, à réaliser le calcul inverse : établir le mouvement d'une planète à partir de la force exercée par le Soleil.

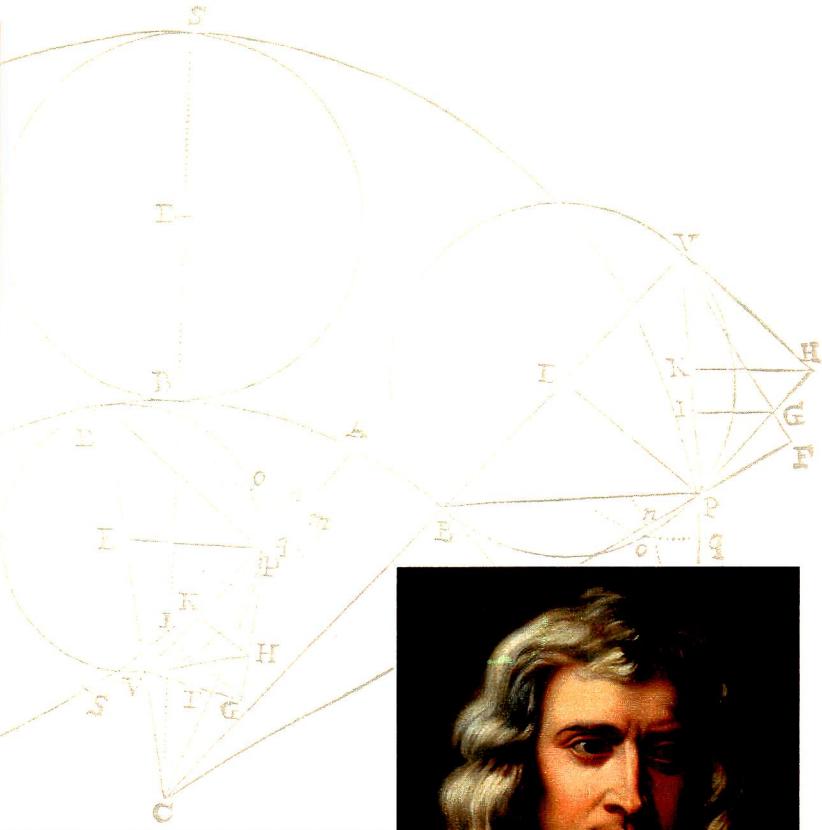
Dès 1707, Pierre Varignon s'attaque à un problème en vogue en ce début de XVIII^e siècle : le mouvement des projectiles dans les milieux résistants. Tout le monde cherche en effet à connaître la trajectoire d'un objet lancé dans une direction quelconque (comme un boulet de canon par exemple), en fonction de la résistance de l'air. Une fois encore, à l'aide d'une seule formule, il retrouve tous les cas particuliers obtenus avec peine par ses prédécesseurs et montre qu'il peut calculer toutes les trajectoires possibles et imaginables.

Dans son *Histoire*





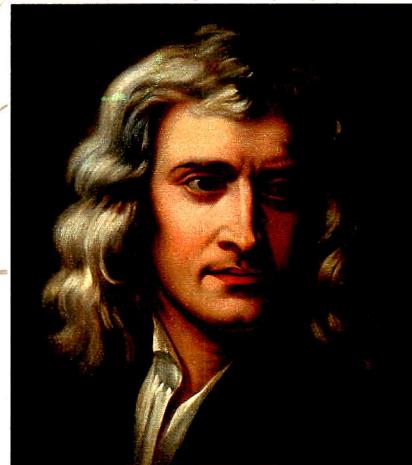
J. L. CHARMET



de l'Académie royale des sciences, éditée en 1708, le mathématicien Bernard Le Bovier de Fontenelle souligne la portée du travail de Varignon : « Monsieur Varignon selon sa coutume de remonter toujours le plus haut qu'il est possible, et d'embrasser de là une étendue infinie, traite maintenant ce sujet [la résistance des milieux au mouvement] d'une manière si générale, qu'il renferme dans une vaste enceinte, non seulement toutes les idées qui lui sont particulières, mais encore toutes celles que d'autres ont eues, et peut-être même toutes celles qu'ils pourroient avoir. » Dès lors, la voie est ouverte à Jean D'Alembert et à Joseph-Louis Lagrange, qui écriront les grands traités de mécanique du XVIII^e siècle que nous utilisons encore aujourd'hui. Pour Michel Blay, « la démarche conceptuelle de Varignon est un véritable modèle. Elle est riche en implications pour la suite de l'histoire de la physique. Varignon a conçu le premier algorithme, qui a permis de passer de la vitesse à l'accélération, et, par la

Onze ans plus tôt...

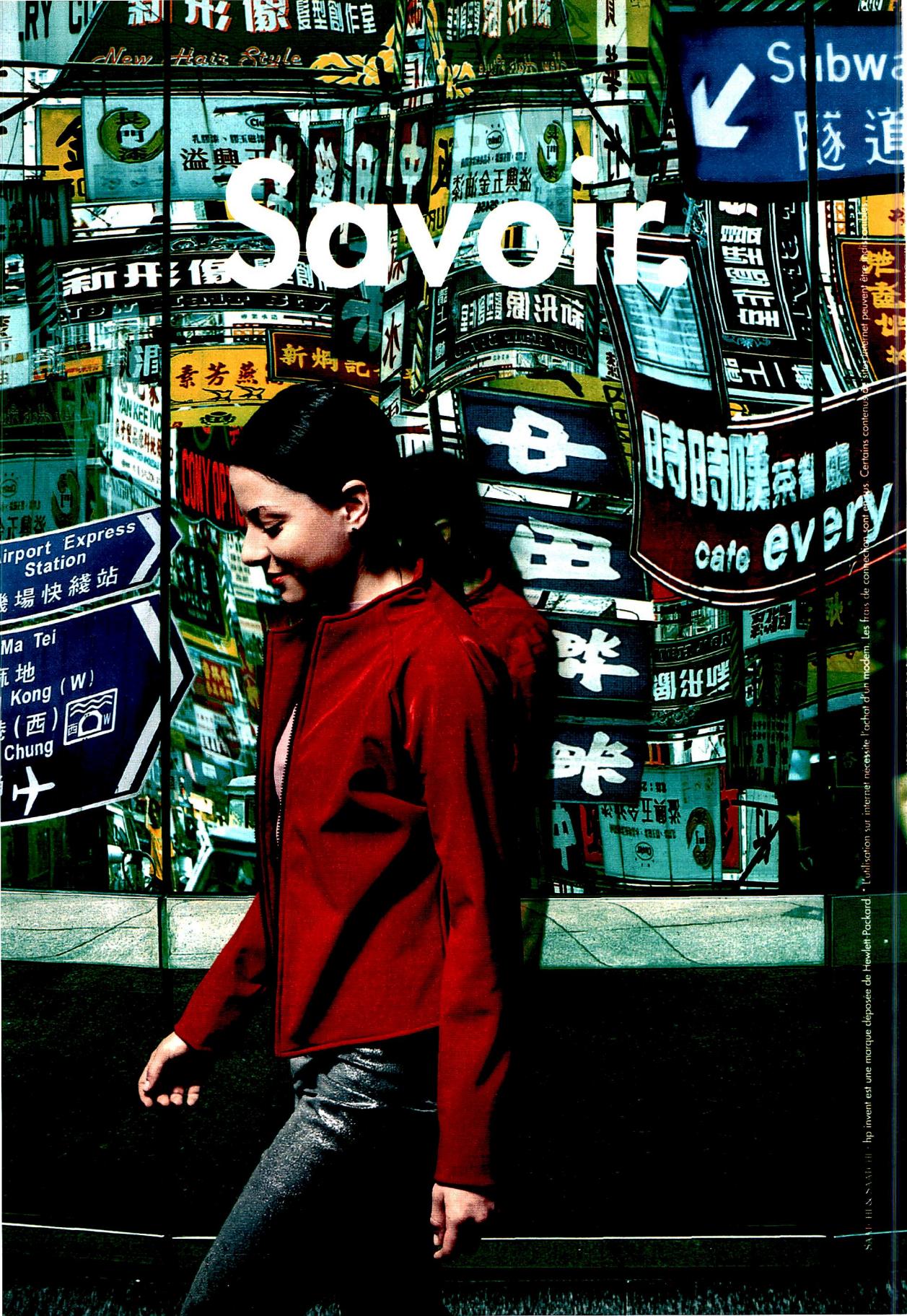
En 1687, lorsqu'Isaac Newton (1642-1727) publie ses *Principia mathematica*, peu de scientifiques sont capables de comprendre ses travaux, tant ses figures et ses calculs sont complexes. Il manque à Newton deux définitions mathématiques pour pouvoir résoudre tous ses problèmes de mécanique en quelques équations : celle de la vitesse et celle de l'accélération, que Varignon établira onze ans plus tard.



J. L. CHARMET

suite, toute la physique sera construite de la même manière. Prenez les équations de Maxwell, la relativité d'Einstein, la mécanique quantique : tous ces grands chapitres de la physique reposent sur des algorithmes. »

Pourquoi, alors, le nom de Pierre Varignon n'est-il pas resté dans les annales ? « Parce que son résultat était évident, répond Michel Blay. Personne n'a jamais remis en doute le fait que l'accélération soit la dérivée de la vitesse. Ce résultat a été immédiatement assimilé, utilisé, et le nom de Varignon est passé à la trappe. » Pour réparer cette injustice, Michel Blay a un voeu très cher : que l'algorithme de la cinématique, qui permet de passer de la vitesse à l'accélération, soit enfin baptisé algorithme de Varignon. ■



Savoir

L'utilisation sur Internet nécessite l'achat d'un modem. Certains contenus à télécharger peuvent être indisponibles.

SAVI 1000 Savvy 1000 - hp invent est une marque déposée de Hewlett-Packard.



Savoir où prendre le train pour Shanghai*.
Retenir 100 000 numéros de téléphone.
Entendre le rire de votre enfant.
Lire et répondre à vos mails de l'autre bout de la planète*.
Visiter des millions de sites internet*.
Connaître les gens, les lieux, les choses.
Découvrir le nouveau PC de poche HP Jornada.

En savoir toujours plus. Les solutions numériques hp.

www.france.hp.com





Ses premiers pas sur Internet,
il les a faits pour le prix d'une communication locale.

Accès Libre
Internet, juste
quand j'en ai envie.

L'Internet sans engagement. Avec Accès Libre, vous pouvez vous connecter quand vous voulez pour découvrir Internet. Vous ne payez que ce que vous consommez, au prix de la communication locale. Et libre à vous de changer quand bon vous semble pour un des 4 forfaits mensuels Wanadoo Intégrales.

cosmos

*0.85 F TTC/min (0.13 €) - FRANCE TELECOM INTERACTIVE - RCS Nanterre B403 688 867

Pour recevoir votre kit de connexion gratuit, appelez le :

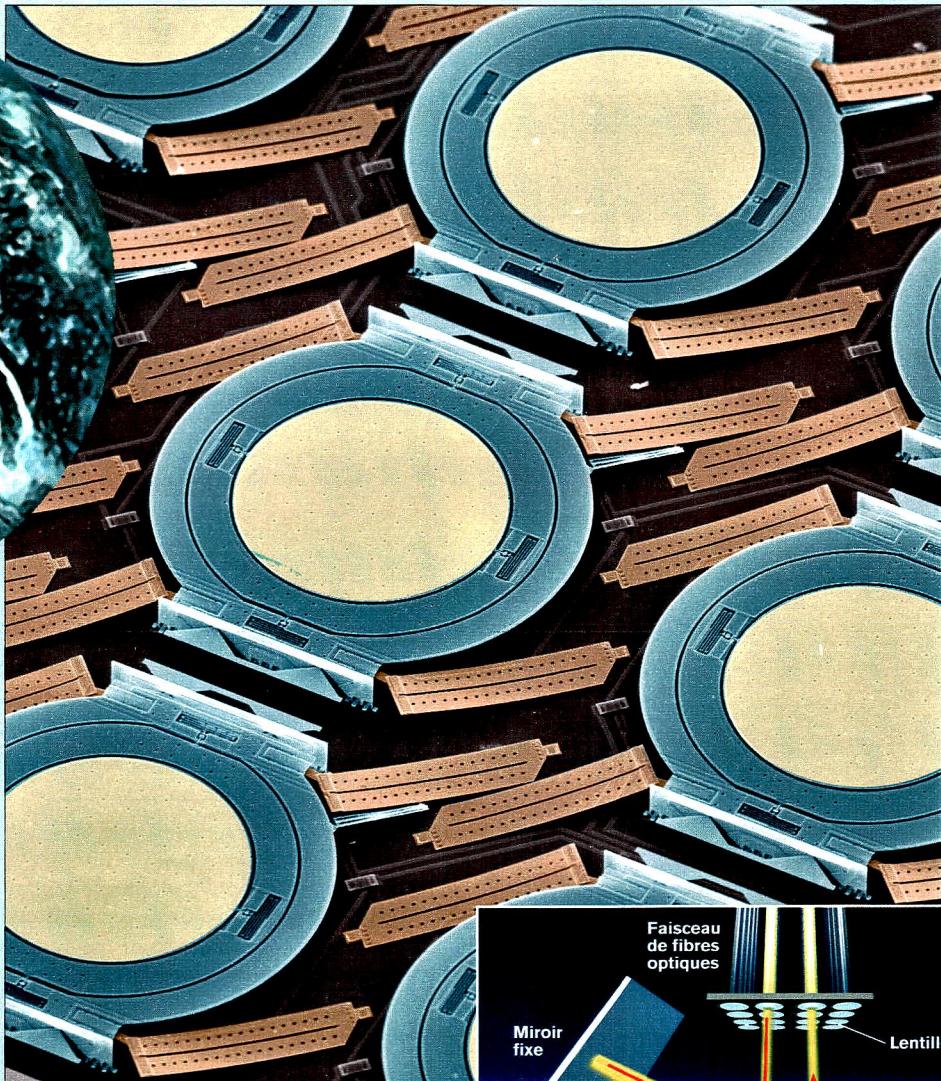
► N°Azur 0 810 105 105

PRIX APPEL LOCAL

ou tapez : wanadoo.fr

3615 Wanadoo® Agences France Télécom, grandes surfaces, magasins spécialisés.

Wanadoo
INTERNET AVEC FRANCE TELECOM



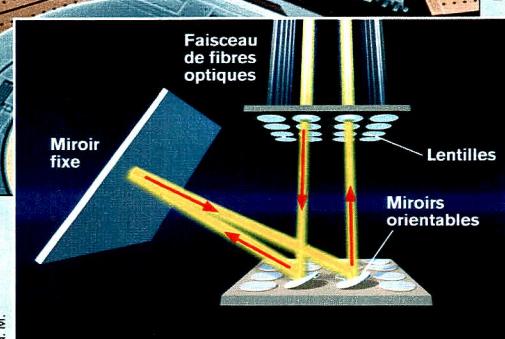
LUCENT TECHNOLOGIES

Vers l'internet tout optique



L'espoir de voir fonctionner l'internet à la vitesse de la lumière bute sur l'absence de "gares de triage" cent pour cent optiques (dispositifs capables de diriger un faisceau de photons dans une direction donnée). Parmi les technologies jugées

prometteuses, Agilent développe un système où le rayon lumineux bute sur des bulles de gaz. Lucent (ci-dessus) opte pour des miroirs mobiles. Nanovation préfère une technique de résonateurs optiques pour dévier les photons. www.techreview.com/articles/july00/fairley.htm



ACTUALITÉ p.168

Les dernières nouvelles des réseaux

INTERNET p.174

Un œil sur l'orbite

Microscope piloté à 10 000 km de distance

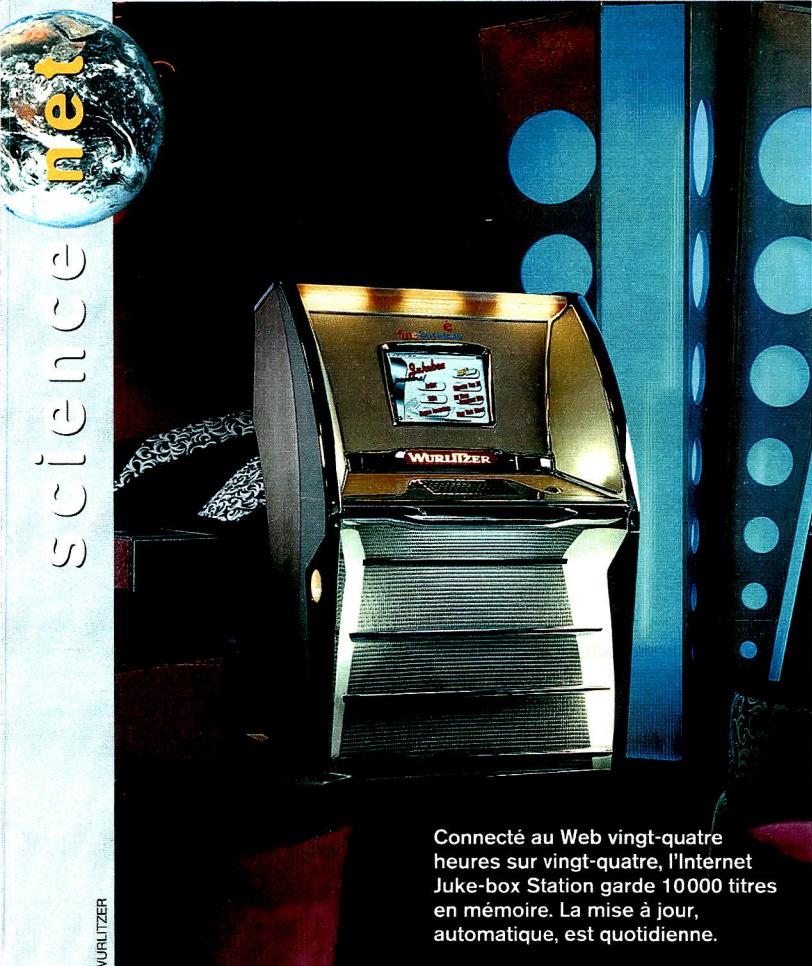


Le 20 juillet dernier, au cours de la conférence "Inet 2000" qui se tenait à Yokohama,

au Japon, une équipe de chercheurs de l'université d'Osaka a pris le contrôle d'un microscope électronique situé à 10 000 km de là, au sein de l'université de Californie, à San Diego. Une première pour ce genre d'expérience dans la mesure où la liaison entre les deux "nœuds" du réseau utilisait de bout en bout le futur protocole de l'internet: IPv6. Celui-ci intéresse d'autant plus les scientifiques qu'il permet de réserver une bande passante constante pendant la durée d'une expérience. En clair, la transmission des images vidéo issues du microscope a bénéficié d'un "tuyau" de section constante à l'intérieur duquel le flot de données était protégé des congestions du réseau. L'expérience a consisté à observer pendant deux heures des tissus nerveux du

cervelet humain en s'assurant d'un débit de 50 Méga-bits par seconde, soit 200 fois plus qu'un accès courant au réseau *via* le câble ou l'ADSL. A noter que le test a été mené non pas sur l'internet public tel qu'on le connaît aujourd'hui mais sur des réseaux rapides, dédiés à la recherche et moins sujets aux phénomènes de congestion.

www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/5a/5a_4.htm



Connecté au Web vingt-quatre heures sur vingt-quatre, l'Internet Juke-box Station garde 10000 titres en mémoire. La mise à jour, automatique, est quotidienne.

Juke-box surfeur à louer

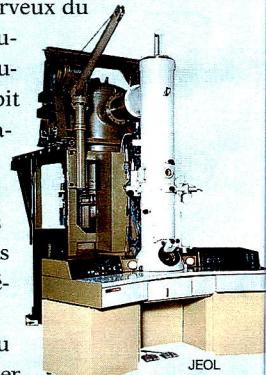


Fabricant américain de juke-boxes, nostalgique des années 50, Wurlitzer se jette à l'eau du

Web. En partenariat avec une jeune entreprise californienne, Fun E-Business, l'entreprise a conçu l'Internet Juke-box Station connectée au réseau par une liaison haut débit (XDSL) ouverte vingt-quatre heures sur vingt-quatre. La machine, destinée aux bars et autres lieux de divertissement, est équipée d'un disque dur de 14 Go qui lui permet de stocker jusqu'à 10000 chansons au format musical désormais classique sur l'internet: le MP3. En dehors des titres préchargés et mis à

jour quotidiennement, la machine aura accès à une base de 70000 titres issus du Top 20 américain et aux 469000 créations stockées sur le site MP3.com. Par ailleurs, les consommateurs pourront surfer sur l'internet, consulter leur courrier électronique au son d'Elvis ou de Madonna, acheter instantanément le CD de la chanson diffusée et payer par carte bancaire. Les patrons de bar devront débourser 5000 dollars pour obtenir l'engin, ou 150 dollars par mois. Le consommateur paiera 1 dollar pour écouter trois titres.

www.fune-business.com
www.wurlitzer.com



JEOL

Apprends à jouer à Magic, c'est hyper simple !



Magic: L'Assemblée, le célèbre jeu de cartes à jouer et à collectionner qui va révéler ton sens de la stratégie, lance une version hyper complète.

Tu aimes l'univers du fantastique,
Tu aimes le multimédia et la compétition,
Tu aimes apprendre rapidement,
 alors ce produit est fait pour toi : **1 CD-Rom de démonstration**, 2 jeux prêts à l'emploi, 1 explication progressive de leur pratique et 1 livret de règles, ...

Tout y est pour te mesurer immédiatement à un adversaire.



Que feras-tu après ?

Tu seras peut-être, demain, l'un des 400.000 joueurs évoluant dans "L'Organized Play Wizards of the Coast" et qui sillonnent le monde pour imposer leur maîtrise, leurs stratégies et leurs cartes...

Es-tu prêt ?

Pour tout savoir : www.wizards.com/france

Service Consommateurs : custserv-fr@wizards.com

01 43 96 35 65

MAGIC

L'Assemblée®



Magic: L'Assemblée et WIZARDS OF THE COAST sont des marques déposées et la propriété de Wizards of the Coast, Inc. © 2000 Wizards.



Agents virtuels contre pirates



Une équipe de chercheurs américains des Sandia National Laboratories met au point de nouveaux outils pour protéger les ordinateurs d'une entreprise contre les assauts de pirates, virus et autres chevaux de Troie de l'internet. Le principe consiste à installer sur les machines, mais aussi sur les carrefours du réseau (routeurs, hubs), de petits programmes pratiquement autonomes: des agents semi-intelligents. Ceux-ci discutent entre eux et s'échangent des informations sur ce qui leur paraît inhabituel. A la moindre alerte, ils sont capables d'isoler l'atta-



R. MONTOYA

Six pirates professionnels ont tenté, sans succès, de s'introduire dans un réseau d'ordinateurs protégé par des agents semi-intelligents.

quant, de prévenir l'ensemble des stations du réseau et, éventuellement, d'éteindre des ordinateurs infectés ou endommagés par l'attaque. Cette communauté d'agents a également la possibilité de s'auto-

surveiller et de s'auto-entretenir. Si une des sentinelles est atteinte, elle sera remplacée. Pour tester ce système, qui ne devrait pas être commercialisé avant trois ans, les chercheurs ont fait appel à leur propre équipe de pirates professionnels, la Red Team (ci-dessus). Pendant une journée, les six experts n'ont pas réussi à s'introduire dans un réseau constitué de cinq ordinateurs protégés par les agents virtuels.

www.sandia.gov/media/News-Rel/NR2000/agent.htm
www.sandia.gov/media/News-Rel/NR2000/redteam.htm

Vidéo sur terminaux mobiles



L'idée de diffuser de la vidéo sur des téléphones portables, organisateurs électro-

niques et autres ordinateurs de poche fait son chemin. Une jeune société californienne, PacketVideo, est en train de rassembler tout ce que le monde de l'électronique, des télécommunications

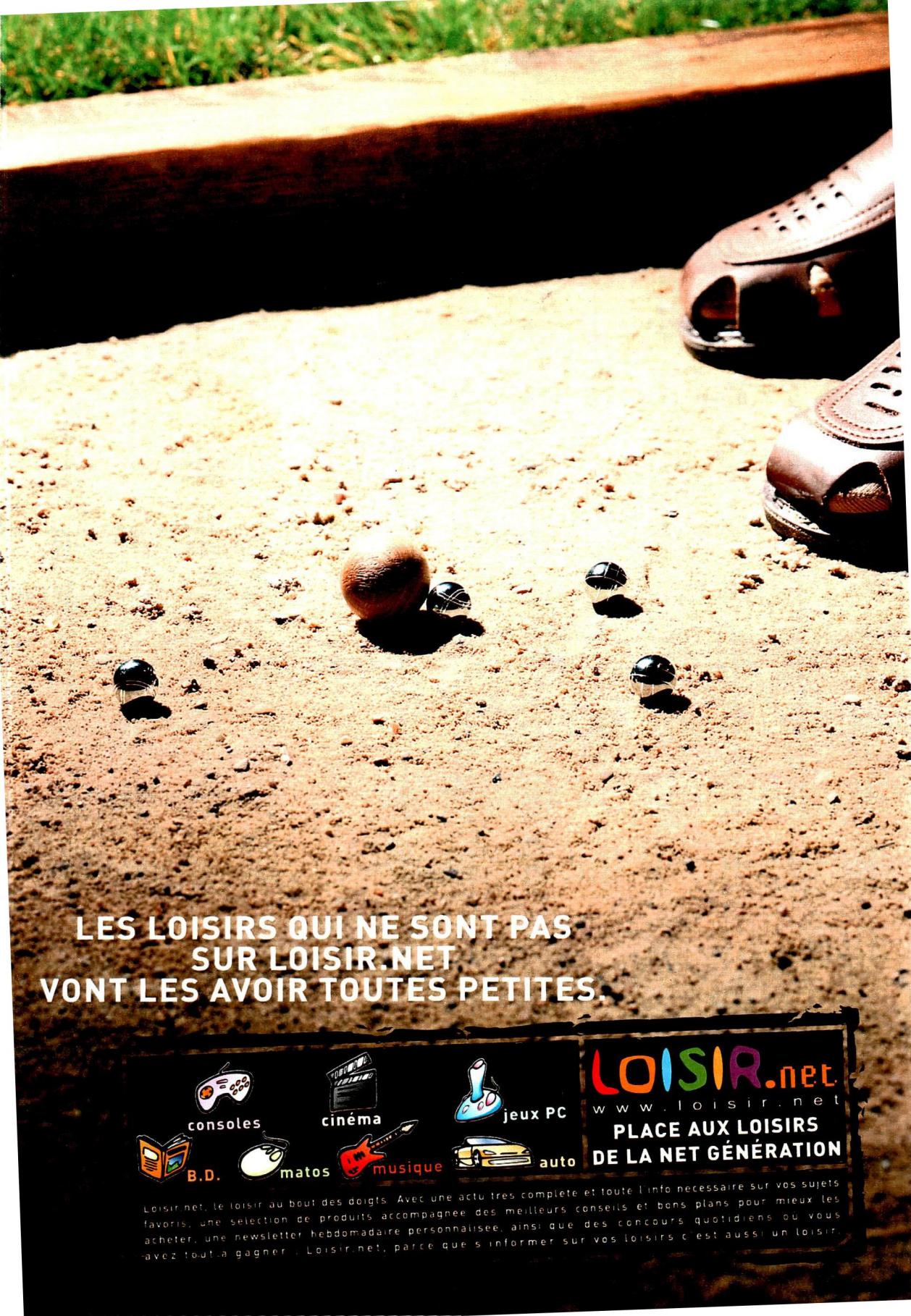
Cinq images par seconde sur un réseau mobile de type GSM.



et des médias fait de plus sérieux (Intel, Sony, Time Warner, Motorola, Texas Instruments, Qualcomm, etc.) autour de cette idée. La jeune société a développé une technologie se basant sur un nouveau standard de compression – le MPEG-4 – qui s'accommode des faibles débits rencontrés dans le monde du sans fil. Il permet de transmettre cinq images par seconde sur un réseau de type GSM (9600 bits par seconde). PacketVideo a, en outre, l'avantage de s'adapter automatiquement au débit disponible sur le réseau. Il suivra ainsi les évolutions vers l'UMTS, la prochaine norme des mobiles proposant un débit de 2 Mégabits par seconde. www.packetvideo.com

Le Web parlant

Le World Wide Web Consortium (W3C) qui valide les normes en vigueur sur le Web a dévoilé son projet de Web parlant. Le SSML (Speech Synthesis Markup Language) permettrait de concevoir des pages qui, une fois affichée à l'écran, généreraient un message vocal via la carte son.



LES LOISIRS QUI NE SONT PAS SUR LOISIR.NET VONT LES AVOIR TOUTES PETITES.



consoles



cinéma



jeux PC

LOISIR.net www.loisir.net

PLACE AUX LOISIRS
DE LA NET GÉNÉRATION



BD.



matos



musique



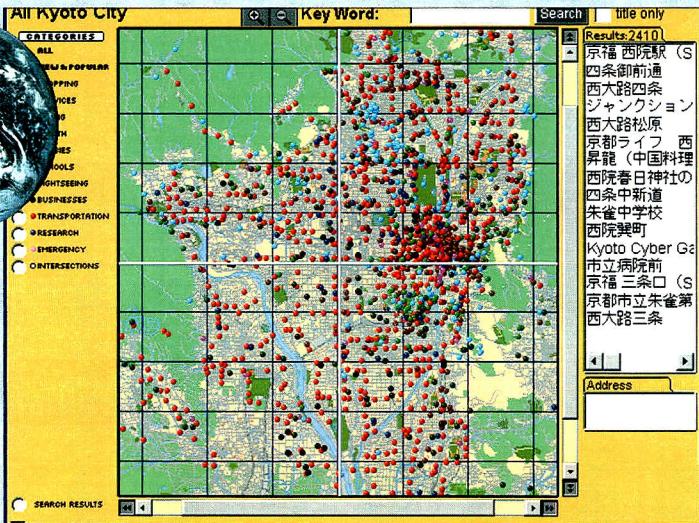
auto

Loisir.net, le loisir au bout des doigts. Avec une actu très complète et toute l'info nécessaire sur vos sujets favoris, une sélection de produits accompagnée des meilleurs conseils et bons plans pour mieux les acheter, une newsletter hebdomadaire personnalisée, ainsi que des concours quotidiens où vous avez tout à gagner. Loisir.net, parce que s'informer sur vos loisirs c'est aussi un loisir.

La puissance de calcul des communautés



Depuis le début de l'année, les initiatives privées visant à utiliser les ordinateurs de plusieurs milliers, voire de millions d'internautes volontaires pour effectuer des opérations mathématiques complexes ont explosé. Ce "calcul distribué" de l'ère cyber suit les traces du SETI@home, lancé en 1999 pour traiter les données d'un radiotélescope américain à la recherche d'une vie extraterrestre (voir *Science & Vie* n° 994, p. 66). Des associations, mais surtout des sociétés commerciales telles que Popular Power, Distributed Science, Centrata ou Parabon demandent aujourd'hui aux internautes de leur "prêter" un peu de leur puissance de calcul pour réaliser les calculs de leurs clients. Le principe consiste à télécharger de petites applications sentinelles. Lorsque l'internaute n'utilise pas son ordinateur, le programme s'active, récupère les éléments nécessaires à un petit calcul, l'effectue puis renvoie le résultat. A supposer que le nombre de volontaires soit important, la puissance disponible peut dépasser celle des meilleurs supercalculateurs (12 teraflops pour les deux millions d'internautes rattachés au SETI@home, contre 2,5 pour un surpuissant Cray T3E-1200). Pour appâter le chaland, ces entreprises font grand cas de projets "citoyens" : traitement de données statistiques dans le cadre d'une recherche sur le cancer, ou nouveaux traitements contre la grippe.



Kyoto en quête de proximité

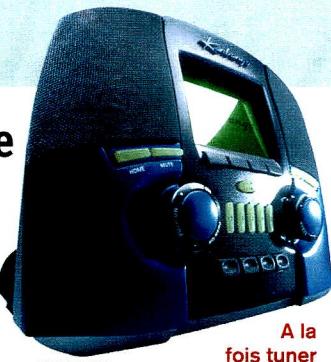


Les habitants de Kyoto, au Japon, peuvent accéder à 2 600 sites

Web locaux à partir d'une carte de leur ville. GeoLink, encore à l'état de prototype, a été mis au point par des chercheurs de NTT (l'opérateur de télécommunications nippon) et de l'université de Kyoto. Les commerces, restaurants, hôpitaux, entreprises sont localisés sur le plan par des

points de couleur qui, une fois cliqués, donnent accès aux serveurs Web. L'internaute peut en outre zoomer sur la carte, effectuer une recherche textuelle ("restaurant chinois", "temple Kyomizu", etc.), isoler les catégories avant de les situer sur la carte.

www.digitalcity.gr.jp/openlab/kyoto/map_guide.html



KERBANGO

A la fois tuner et magnétophone.

Ma radio branchée sur le réseau



L'Internet Radio de la société américaine Kerbango a tout d'un poste de radio, excepté qu'elle ne dispose pas d'antenne pour recevoir la FM, mais d'une prise qui la relie au téléphone ou au réseau câblé, direction l'internet. Sans l'aide d'un ordinateur, cet appareil se connecte à plusieurs milliers de stations radio qui diffusent en continu sur le Web. L'Internet Radio peut également récupérer

des titres gratuits ou payants au format audio MP3. Il est alors possible de la déconnecter du réseau pour s'en servir comme d'un magnétophone. Ce produit est disponible aux Etats-Unis, au prix de 300 dollars.
www.kerbango.com

Travelprice.com

**Toutes les destinations du monde
en un clic.**



Découvrez Travelprice.com, l'agence de voyages sur Internet qui vous aide à organiser votre voyage 24h/24h et en toute facilité. Travelprice.com vous donne accès à plus de 3000 destinations et plus de 20 000 hôtels.

Ainsi, vous serez sûr de trouver la destination et l'hébergement de votre

choix, au prix et au moment où vous le souhaitez. De plus, vous disposez de tous les services

(billet, hébergement, conseils pratiques, location de voiture) pour créer vos voyages à la carte, ainsi que des «bons plans» pour bénéficier de séjours à petits prix tout au long de l'année. Alors, bon clic et bon voyage.

Travelprice
.com

0.99F rrc/mn
N°Indigo 0 825 026 028

www.travelprice.com

Voyagez enfin comme vous rêvez.

GREY



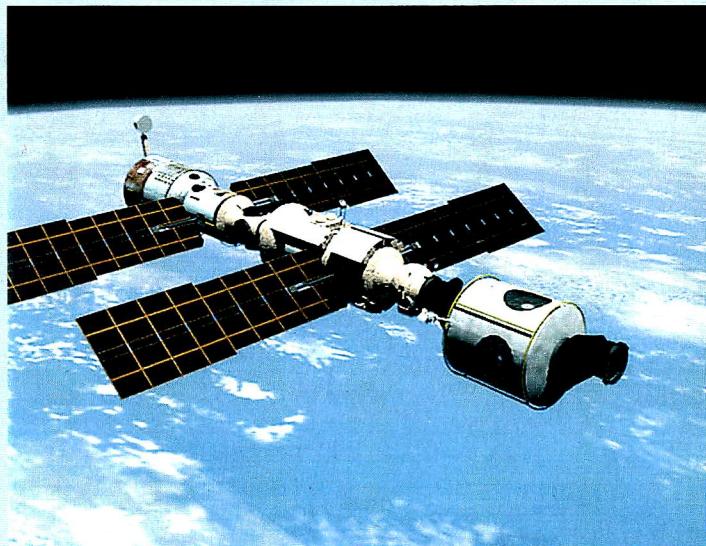
Un œil sur l'orbite

Depuis deux ans qu'elle tourne à 350 km d'altitude, la station spatiale internationale n'en finit pas d'assembler ses modules. Plusieurs sites fournissent en temps réel l'état de son avancement et indiquent où pointer son regard – ou son télescope.



Seize pays participants, 100 m de long, 450 tonnes, 100 milliards de dollars... en 2005, la station spatiale internationale (ISS, en anglais) devrait avoir fini son assemblage. En attendant, ce Lego de l'espace s'agrandit à 350 km au-dessus de nos têtes. Le 26 juillet dernier, une fusée russe plaçait en orbite le troisième module. Le 30 octobre prochain, trois hommes vont monter à bord. Pour suivre l'aventure, le site officiel de la Nasa (spaceflight.nasa.gov) n'a pas lésiné sur les moyens. C'est une remarquable source d'informations : actualités, données historiques, explications scientifiques, planning des futures missions, retransmis-

A tout moment, on peut connaître la position de la station.



La station spatiale internationale telle qu'elle apparaît aujourd'hui avec ses modules, dont le troisième a été assemblé en juillet dernier.

sions vidéo, etc. Pour les curieux, la Nasa va jusqu'à fournir des informations sur la position en temps réel de la station (spaceflight.nasa.gov/realdata/tracking). Au fur et à mesure de sa progression, un pointeur se déplace sur un planisphère tandis que s'affichent avec précision, l'altitude, la longitude, la latitude et la vitesse de l'engin. Par ailleurs, une page indique dans quelle

direction pointer son télescope ou... son regard. La petite application (Sky Watch) qui se charge automatiquement en trois minutes, quel que soit l'ordinateur utilisé (il s'agit d'un applet Java), fournit en effet les coordonnées de l'objet mais également des repères visuels sur la sphère céleste en fonction de son lieu d'observation. Pour les anglophones, notons l'existence d'un site très documenté, mis en place par

| NASA REALTIME DATA | | | | | | |
|--|----------|---------------|-------|------------------------------------|-----------|-------|
| HOME NEWS STATION SHUTTLE MARS THE GALLERY HISTORY OUTREACH FEEDBACK SITEMAP SEARCH | | | | | | |
| NASA-TV VIRTUOSO OF REALTIME DATA TRACKS SPACECRAFT DISSEMINATION GLOBAL BROADCASTS STATUS | | | | | | |
| NASA Sky Watch | | | | | | |
| Input Check Vector Table Variables About | | | | | | |
| Acquisition of Signal (GMT) | | 231:16:34:40 | | Loss of Signal (GMT): 231:16:43:52 | | |
| Time of Closest Approach (GMT) | | 231:16:39:19 | | Max. Elevation (deg): 17.81 | | |
| Observer Location | | Paris, France | | Comment: ISS | | |
| Local Time (Obs & T) | | | | | | |
| DOW/HM/DD/YY | Altitude | Elevation | Range | Solar alt | Solar sep | Strs |
| Mon Aug 17/23:52:00 | 205.0 | 004.0 | 01379 | 003.6 | 004.6 | 023.0 |
| Mon Aug 18/00:01:00 | 205.1 | 000.8 | 01300 | 003.6 | 001.7 | 020.0 |
| Mon Aug 18/17:35:21 | 202.2 | 002.0 | 01222 | 048.8 | 062.9 | 022.9 |
| Mon Aug 19/00:35:41 | 200.1 | 003.3 | 01147 | 047.8 | 064.4 | 022.9 |
| Mon Aug 19/17:38:00 | 197.6 | 004.5 | 01072 | 046.7 | 065.2 | 022.8 |
| Mon Aug 19/17:39:21 | 194.8 | 006.0 | 01001 | 045.7 | 068.3 | 022.8 |

Données d'observation lors du passage de l'ISS au-dessus des principales capitales.

un mécanicien d'aviation suisse, Stéphane Camara (www.infomaniak.ch/~snaker/aviation/espaces/iss) ainsi qu'un dossier du journal *le Monde* (www.lemonde.fr/doss/0,2324,2476-1-QUO,00.html) régulièrement mis à jour. Enfin, un site américain (www.skypub.com/sights/satellites/iss_world.html) fournit d'autres coordonnées d'observation à partir de plusieurs grandes villes françaises.

Prendre plaisir à apprendre, c'est déjà réussir !



**La méthode qui donne
envie d'apprendre du
CE1 à la 3^{ème}**

- L'enfant reçoit une mission concrète à remplir. Il devient ainsi plus impliqué pour avancer dans le cédérom.
- Deux approches pédagogiques pour un apprentissage plus efficace :

Traditionnelle :
avec plus de 1200 leçons et exercices conformes au Programme de l'Education Nationale.

Par l'expérience :
L'enfant doit construire des objets en utilisant toutes les matières scolaires. Il fera ainsi le lien entre la théorie scolaire et son utilisation dans la vie de tous les jours. L'apprentissage devient plus naturel et efficace.

Et aussi :

- Un test d'auto-évaluation pour connaître les chapitres à travailler en priorité.
- Un tableau de suivi des progrès.
- Une continuité gratuite sur internet avec la tribu @près l'école.



GRAPHIK CONSEIL - PARIS



Une collection de 15 CD-ROM en
Français, Maths, Histoire,
Géographie, Sciences et Anglais

www.tlc-edusoft.fr

0.99 FTTc/min

N° Indigo 0 803 020 010

SCIENCE
& VIE

HORS SÉRIE

$\alpha^2 -$

waterloo ? 18...

La
mémoire

$b^2 = ?$

?

**En vente
dans tous les kiosques**

Les performances de la
**mémoire
humaine**

La mémoire humaine joue un rôle prépondérant dans l'édifice intellectuel.

Quelles sont les régions du cerveau qui interviennent dans les processus de mémorisation ?

Comment fonctionne la restitution de l'information ?

Les souvenirs conscients et inconscients font-ils appel à des types de mémoires différentes ?

Diagnostics des amnésies, nouveaux traitements, dangers et effets des substances licites et illicites, apprentissage scolaire....

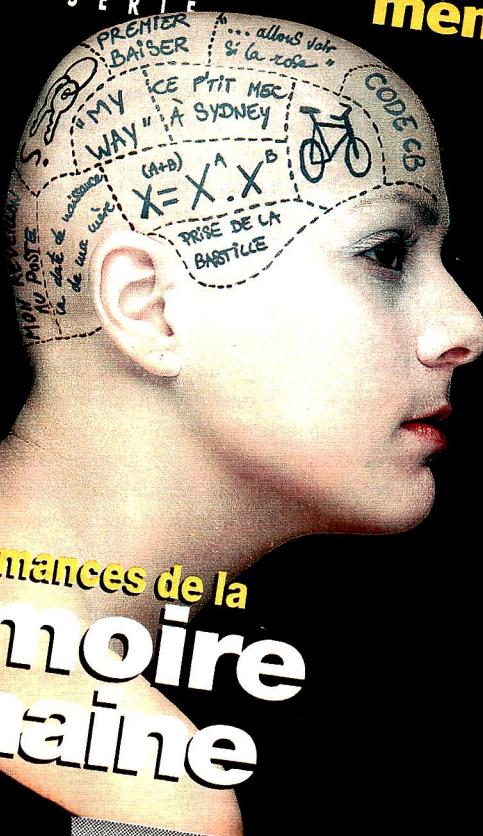
Science & Vie Hors série fait le point et vous aide à tester votre mémoire.

N° 212 SEPTEMBRE 2000
SCIENCE & VIE
HORS SÉRIE

Pertes de mémoire :
ce qui est normal,
ce qui ne l'est pas

La mémoire à l'école :
les méthodes à suivre

La chimie de la mémoire
Testez votre
mémoire
(page 85)



INTERNET la menace

A l'insu des internautes, sites commerciaux et régies publicitaires constituent des mégabases de données nominatives. Après les cookies, on découvre les méfaits des web bugs.

Cette semaine, un internaute lambda s'est connecté à trois reprises sur le site de Funradio, a interrogé quatre fois l'annuaire Yahoo!, accédé furtivement à la page "Sexualité" du site médical Doctissimo et planifié ses vacances sur Degriftour (mais si, lundi dernier à 12h30!). La régie publicitaire Doubleclick sait tout cela. Sur le site de la Fnac, il a acheté un disque de Wagner, il y a trois mois, suivi avec assiduité les sorties des essais sur la religion et accusé un faible pour les films d'action. Allo, ce n'est un secret pour personne ! Mais, quant à recevoir par courrier le prospectus d'un vendeur de voitures d'occasion après avoir cherché "voitures occasion" à l'aide d'un moteur de recherche... là, c'est trop. Il y aurait donc quelque chose de pourri dans le monde de l'internet ? En fait, c'est simplement le signe que le Web est bien devenu la terre de prédilection des responsables du marketing, l'empire du fichage et des mégabases de données comportementales.

Au cœur du dispositif, se dresse

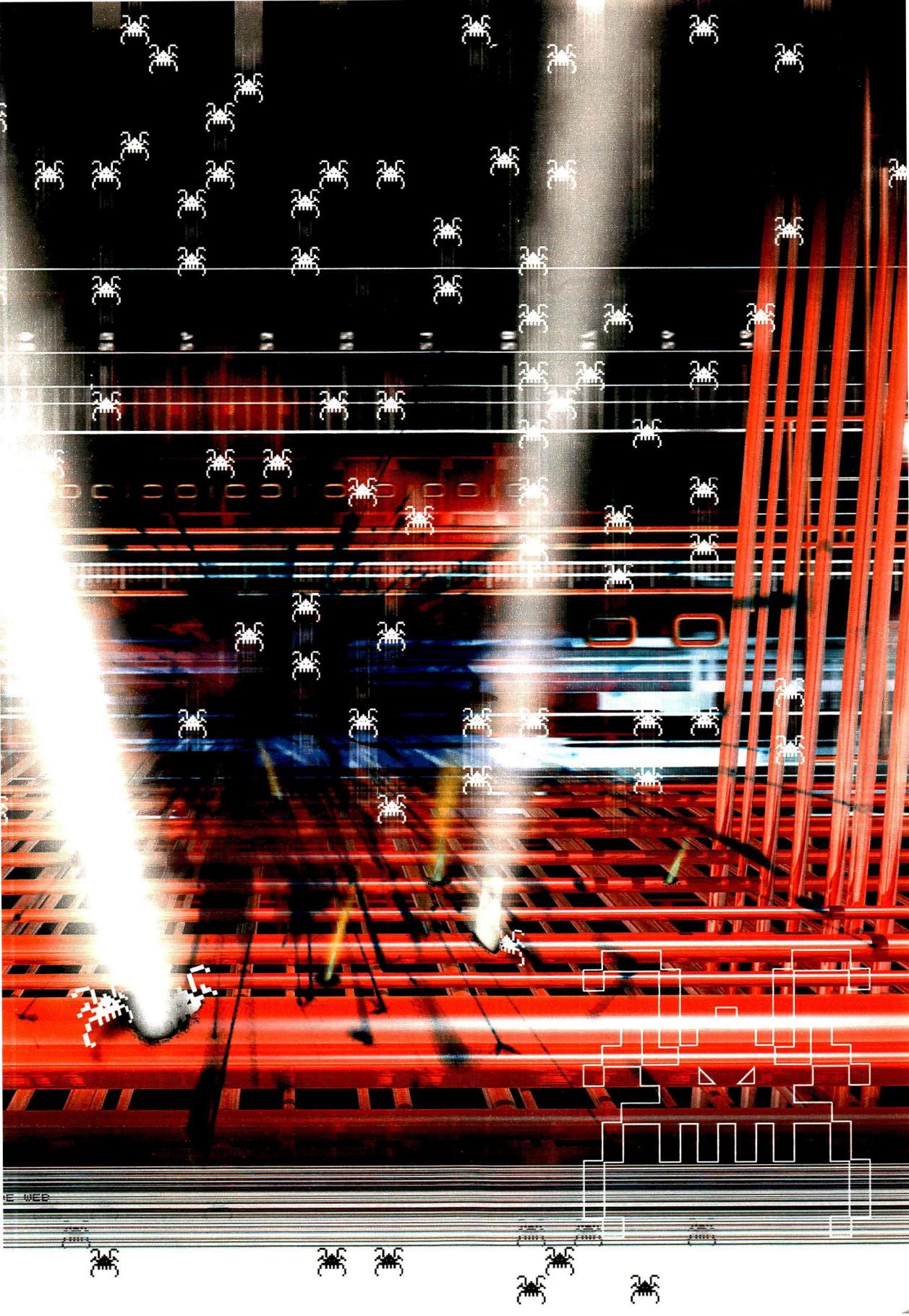
le "cookie", apparu en 1992 et présenté à tort comme une sorte de virus tueur. Il est aujourd'hui complété, voire remplacé par d'autres techniques moins facilement détectables comme le "web bug".

Le cookie n'est en fait qu'un matricule virtuel, une ridicule ligne de texte envoyée par un site lorsque l'internaute le visite pour la première fois (voir schéma 1). Cette petite phrase contient, notamment, l'adresse du site visité et le numéro d'identification de l'internaute visiteur. Dès lors, à chaque fois que le visiteur retourne sur le site, il montre sans le savoir son matricule, permettant au site de suivre à la trace ses pérégrinations. Pour autant, le périmètre d'observation se limite au seul site, voire aux pages connexes (par exemple, les sous-sites "sortir.lemonde.fr" et "interactif.lemonde.fr", qui appartiennent au même domaine, "lemonde.fr").

Le cookie prend toute son ampleur quand il est géré par une régie publicitaire telle que Doubleclick, Adforce, Mathlogic ou Real Media (voir schéma 2). Avec l'accord des commerçants, ces der-



F. FAVOTTI



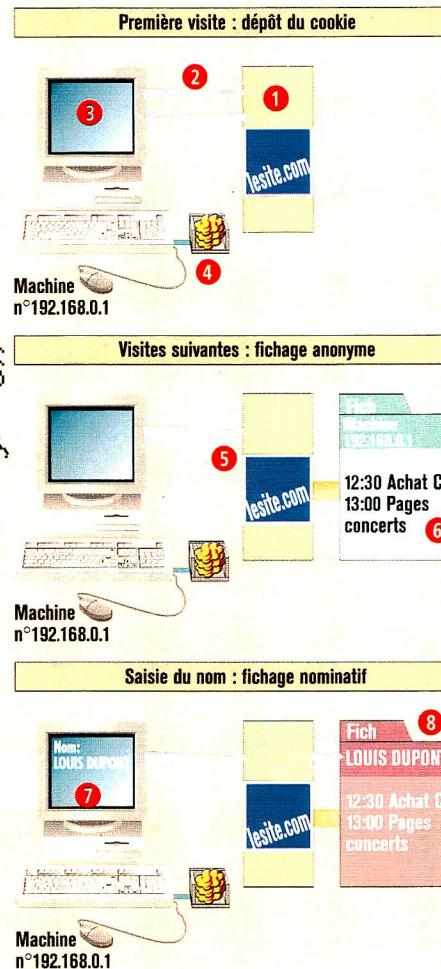
nières implantent des bandeaux publicitaires dans certaines pages Web. A chaque fois qu'un visiteur se connecte à un site marchand, son navigateur communique brièvement avec celui de la régie. Assez longtemps pour que ce dernier vérifie la présence d'un cookie issu de la régie. Désormais, à chaque fois que l'internaute se connectera sur un site qui fait partie de la galaxie Doubleclick ou autres, une fiche unique suivant toutes ses évolutions sera alimentée.

Pour l'instant, la fiche n'est pas nominative, puisqu'elle ne se rapporte qu'à un matricule. L'internaute n'est alors que le visiteur numéro 125AE128HG89, par exemple. Mais si, au détour d'une page qui appartient à ce domaine, le visiteur fournit des renseignements nominatifs (prénom, nom, adresse, voire simple adresse e-mail), la fiche peut devenir nominative. Et ce n'est plus l'internaute 125AE128HG89 qui visite Funradio, Yahoo! et Degriftour, mais bien "Raymond Martin, 212, rue des Lilas, à Gif-sur-Yvette".

UN CYBERCAFARD INVISIBLE

La parade existe: il suffit de configurer son logiciel pour qu'il refuse tout cookie (voir la rubrique Aide du navigateur), puis de mettre à la poubelle le contenu du dossier Cookies ou le fichier correspondant. Il y a néanmoins un hic dans les rares cas où un site refuse d'ouvrir ses portes si l'on n'accepte pas les cookies (la Fnac, par exemple). Solutions: boycotter, ou accepter les cookies le temps de la navigation, puis les éliminer. Quelques logiciels tels que *Cookie Monster* permettent heureusement d'automatiser ces tâches. Mais certains sites ont prévu eux-mêmes une sorte de contre-

1 – De la consultation au fichage

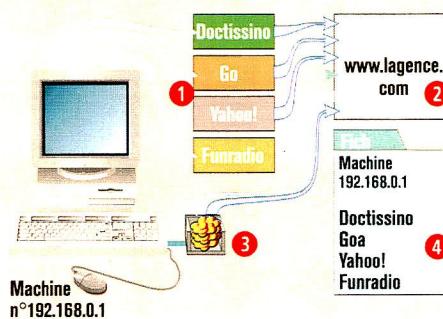


Lorsqu'un internaute cherche à se connecter sur "le site.com" 1, sa requête est envoyée au serveur 2. La page du site s'affiche à l'écran 3, tandis que le cookie est déposé dans un dossier précis de l'ordinateur 4.

Si le visiteur consulte ultérieurement le site, le serveur regarde s'il a déjà déposé un cookie 5. Dans l'affirmative, il ouvre un fichier 6 qui va répertorier tous les gestes de l'internaute lors de ses futures visites.

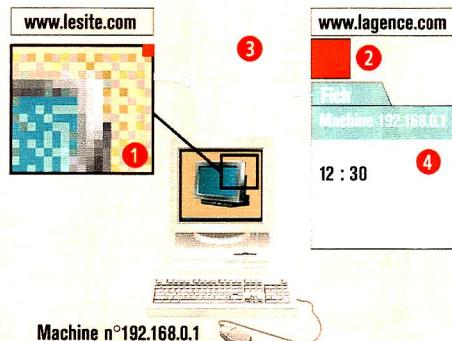
Si l'internaute déjà repéré par un cookie livre des renseignements nominatifs à l'intérieur du site 7, la base de données clients transforme la fiche anonyme en fiche nominative 8.

2 – Au bonheur de la pub



Plusieurs sites 1 peuvent avoir la même régie publicitaire 2. Ils partagent, dans ce cas, le même cookie. A chaque fois qu'un visiteur consulte l'un des sites, le cookie 3 permet de l'identifier. Toutes ses connexions aux divers sites sont comptabilisées 4.

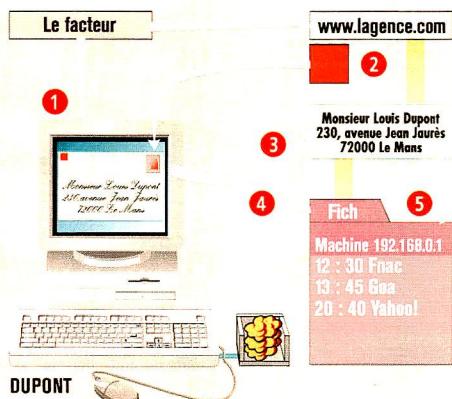
3 – Les ruses du web bug



Tous les éléments qui composent la page Web de "lesite.com" sont stockés sur le site 1 sauf le web bug (une image invisible de 1x1 pixel) qui est, lui, stocké sur le site de la régie publicitaire 2. Au moment où l'internaute veut afficher la page, son navigateur rapatrie le web bug, qui l'identifie... auprès de la régie 3. Elle en profite pour ouvrir une fiche 4.

4 – Un courrier piégé

Une société qui édite une lettre d'information au format HTML en envoie un exemplaire à un abonné 1. Dans cette lettre figure un web bug, stocké sur le serveur d'une régie de pub 2. Quand l'internaute affiche le courrier, son logiciel envoie son adresse de courrier électronique à la régie 3. Si un cookie, créé par la régie, est présent, elle le lit 4 et le fusionne avec l'adresse e-mail de l'abonné: le fichier devient alors nominatif 5.



parade: le web bug (voir schéma 3). Ce cybercafard se joue des navigateurs qui refusent les cookies. Il s'agit d'une image minuscule (1x1 pixel) – invisible à l'écran donc – implantée à l'insu de l'internaute sur une ou plusieurs pages d'un site. A chaque fois que l'internaute se connecte sur cette page, son navigateur rapatrie le web bug situé sur le serveur de la régie. Le visiteur divulgue ainsi, sans le savoir, l'adresse informa-

Combien d'autres mouchards agissent dans l'ombre ?

tique de son ordinateur. Bingo, c'est le top départ pour la constitution d'un fichier non nominatif. Bref, la fonction principale des web bugs est de fournir des renseignements à une régie sans que celle-ci ait besoin d'implanter des bandeaux de pub sur les pages Web.

Plus inquiétant, Richard M. Smith, un expert informatique américain, a démontré, en juin dernier, devant la commission fédérale du commerce, qu'un web bug envoyé via un courrier électronique rédigé au format HTML pouvait permettre de relier des données nominatives avec un profil non nominatif (voir schéma 4). Pour éviter ce piège, il suffit de ne jamais s'abonner à une lettre d'information au format HTML. Mais pour deux sortes de mouchards répertoriés, les cookies et les web bugs, combien d'inconnus agissent dans l'ombre ? ■

.....

POUR EN SAVOIR PLUS :

www.cnil.fr/traces

www.cookiecentral.com

privacy.net

www.tiac.net/users/smiths/privacy/wbfaq.htm

Il y a trois ans, un ordinateur tout rond, répondant au nom d'iMac, est parvenu à sauver Apple du naufrage.

En passant au cube, la firme à la pomme pourrait bien encore augmenter son charisme.

C'est dans un cube de 20 centimètres de côté qu'Apple présente sa nouvelle famille de micro-ordinateurs. Après le look ravageur de l'iMac, la firme de Steve Jobs continue sur sa lancée et propose un concentré de puissance. Tout est dans la boîte, ou presque. Lecteur de DVD, disque dur de 20 Go, processeur Power Mac G4 à 450 MHz et 64 Mo de mémoire vive. Voilà de quoi répondre à bien des besoins. A ce cube dont l'aspect est finement travaillé, il suffit de rajouter un clavier et un écran pour disposer d'un ordinateur des plus performants, qui intègre les toutes dernières technologies. Bien sûr, au regard de l'encombrement de l'ob-

Le Mac à la puissance Cube



iMAC, LE SAUVEUR

■ En mars 1997, Apple annonce la suppression de 4 100 emplois, plus de 30 % de ses effectifs. A l'époque les affaires vont mal, la firme annonce à peine plus de 5 % de parts de marché, contre près de 8 % deux ans auparavant. Pour ce second trimestre de 1997, Apple prévoit une baisse de 22 % de son chiffre d'affaires. La Bérénina!

En août 1998, le premier iMac à 233 MHz chamboule toutes les prévisions. Grâce à ce petit ordinateur monobloc, au design révolutionnaire, dépourvu de lecteur de disquette, les parts de marché d'Apple passent de 5 % en juillet 1998 à 11,7 % en octobre (chiffres PC Data). Avec près de 800 000 pièces commercialisées entre le 15 août et le 31 décembre 1998, l'iMac est l'ordinateur le plus vendu aux Etats-Unis (PC et Mac confondus) pendant cette période ! Et ce n'est que le début d'un succès qui ne flétrit pas. Janvier 1999, l'iMac passe à 266 MHz et s'habille de nouvelles couleurs : c'est l'ordinateur

le plus vendu aux Etats-Unis. En octobre 1999, l'iMac est animé par un processeur à 350 ou 400 MHz, s'équipe d'un lecteur de DVD, du bus FireWire (format DV – Digital Video – des caméscopes numériques, notamment) et surtout d'un ventilateur (ce qui le rend extrêmement silencieux), et accède au réseau sans fil grâce à la technologie Airport d'Apple. Dix jours après, Apple enregistre près de 250 000 commandes. 45 % d'entre elles émanent de nouveaux clients n'ayant jamais touché à un Mac (non équipés, ou utilisateurs de PC).

Un succès incontestable : l'iMac s'est vendu à près de 2 millions d'exemplaires pendant les douze premiers mois de sa commercialisation.



jet, les possibilités d'évolution semblent restreintes. Pourtant, quand il est question de gonfler sa configuration, il suffit bien souvent de rajouter un peu de mémoire vive, et l'engin devient d'un coup plus véloce.

Apple a bien pensé les choses : le Power Mac G4 Cube peut embarquer jusqu'à 1,5 Go de mémoire. Pour le reste, on peut toujours vouloir un disque dur plus vaste, une version en 30 Go existe, ou un processeur plus rapide, le Cube est proposé avec un G4 à 500 MHz... Mais le gain en performances demeure discret. En fait, le Cube n'est pas extensible et, pour les plus exigeants, les extensions se feront en externe. Deux formats de connecteurs permettent de relier son Cube à une multitude de périphériques : le bus USB pour les accessoires à faible besoin en débits et le bus FireWi-

re pour les plus gourmands. Et, puisqu'il est question de connexions, pour les réseaux, le Cube intègre une interface Ethernet ainsi qu'un modem à 56K. Enfin, une interface Airport (réseau radio spécifique aux Macintosh) est disponible en option. Bref, le Cube ne détonne pas du tout dans la grande famille des Mac de dernière génération, et on peut lui prévoir un bel avenir puisque tout y est pensé dans l'esprit de l'iMac. Car c'est bien le concept de l'iMac qui a sauvé Apple du naufrage (voir encadré).

TOUJOURS PLUS PERFORMANT

Ce succès est certainement lié au look révolutionnaire de ce micro très actuel. Très arrondi, silencieux, aux couleurs acidulées, l'iMac brise l'image d'un ordinateur gris, encombrant, bruyant et plein de fils. Il peut parfaitement s'intégrer dans un salon, rester allumé dans la chambre à coucher,

ni son apparence ni son bruit ne choquent l'utilisateur.

Conçu dans cet état d'esprit, avec la même exigence d'une apparence à la fois moderne et discrète, le Cube s'adresse à un monde plus professionnel. Beaucoup plus puissant, il peut accepter différents types d'écrans. Il n'est pas pour autant hors de prix. Aussi puissant qu'un PC haut de gamme, bien plus compact, il coûte, avec un écran cathodique de 17 pouces, moins de 20 000 F. Et pour les plus exigeants (et les plus fortunés), il faudra débourser plus de 53 000 F pour un Power Mac G4 Cube à 500 MHz avec 128 Mo de mémoire, un disque dur de 30 Go (modem 56 K, carte réseau Ethernet, lecteur DVD, bus FireWire et USB inclus), accompagnés d'un superbe écran plat 16/9 de 22 pouces de diagonale (plus de 30 000 F à lui seul). Mais à ce prix, on s'offre assurément l'un des plus beaux ordinateurs actuels. ■



Photosensible et sans gardien

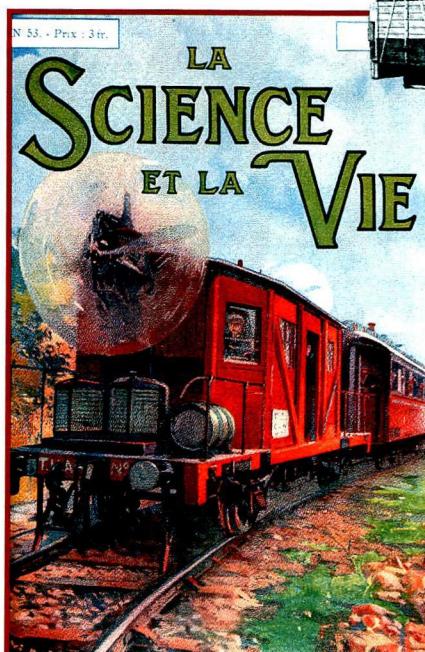
Le phare à acétylène est allumé et éteint de façon automatique au moyen de la valve solaire AGA, sous la simple influence des rayons du jour. Il fonctionne selon le principe physique de la transformation en chaleur de la lumière absorbée. L'automatisme et l'autonomie des installations permettent une moindre surveillance, donc une sérieuse économie.

Les atouts de la trottinette

La trottinette automobile du modèle Skootamota est en somme une motocyclette de dimensions restreintes. Sensiblement de même poids (de 45 à 50 kg), les deux engins possèdent les mêmes organes : freins, lanternes, suspensions. Seule différence : sur la trottinette, un siège plus confortable a remplacé la selle.



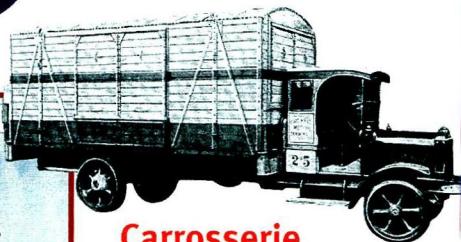
Il y a 80 ans



OCTOBRE 1920

Voiture motrice à hélices aériennes remorquant un train de marchandises léger... Un exemple parmi d'autres de l'hélice appliquée à la locomotion automobile. Ce système a pu être adapté à des moyens de transport très éloignés de l'aviation après avoir bénéficié d'améliorations qui en font un transformateur d'énergie à très haut rendement.

TOUS DROITS RÉSERVÉS



Carrosserie amovible

Ce camion est doté d'une carrosserie amovible destinée à faciliter le transport des marchandises entre deux gares. Les marchandises sont en effet déchargées directement dans la caisse, dont le plancher est maintenu au niveau du quai par un transporteur aérien à commande électrique. Une fois pleine, la caisse est amenée par le transporteur aérien jusqu'au châssis.

Double pli

Afin de faciliter le comptage et la mise en liasse de cent, les exemplaires sont groupés automatiquement par paquets de cinq sur la table de recette.

Ils sortent avec deux plis : le premier, dorsal, est obtenu le long d'une table en forme de V, puis écrasé entre deux cylindres métalliques. Le second varie en fonction du nombre de pages.



Importé et garanti par

paralux

Professionnel de l'optique depuis 1914

Ne perdez plus de temps à chercher !
Grâce à l'AUTOSTAR*, pointez
automatiquement l'objet céleste
que vous voulez observer.

Télescopes et lunettes MEADE série DS

en option



AUTOSTAR :
Plus de 1 400 objets
célestes en mémoire.

Fonction GO-TO
et suivi automatique



Gamme MEADE série DS

à partir de **1 950 F TTC**

*Autostar en option



MEADE DS-127 EC

*Une nouvelle génération d'instruments
pour découvrir l'astronomie*

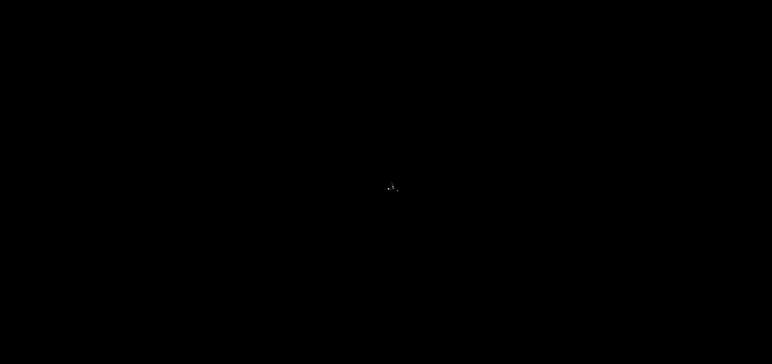
www.astronomie-paralux.com

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

Le ciel du mois

PAR PHILIPPE HENAREJOS

ETOILE SAO 93532 (MAG 8,7)



RHEA (MAG 9,5)

ENCELADE (MAG 11,5)

MIMAS (MAG 12,7)

DIONE (MAG 10,2.)

THETIS (MAG 10)

ETOILE H 1252.B99 (MAG 10,6)

TITAN (MAG 8,1)

CARTES A. MEYER

La planète aux anneaux

Le 26 octobre, à 1 h 35, Saturne et ses anneaux occultent une étoile de magnitude 10,6. Un télescope de 200 à 250 mm permettra de suivre confortablement le phénomène.

Dans le ciel, les sources d'émerveillement ne manquent pas. Pourtant, Saturne surclasse toutes les autres. Si vous n'avez jamais mis l'œil à l'oculaire d'une lunette astronomique, demandez qu'on vous montre ou bien pointez vous-même la plus éloignée des planètes connues depuis l'Antiquité. Même dans un modeste instrument de 60 mm d'ouverture, la vision de cette petite bille orangée, soulignée par un anneau bicolore, offre une saisissante impression de relief. Bien que minuscule, l'image frappe par son incroyable netteté et semble placer cette géante gazeuse à portée de main.

Le 19 novembre prochain, Saturne passera à l'opposition. Cela signifie que, ce jour-là, elle atteindra sa plus faible distance à la Terre et que les conditions seront idéales pour l'observer. Cependant, pas besoin d'attendre cette date pour partir à sa découverte. Au cours du mois, dès 23 heures, elle s'élève à plus de 20° au-dessus de l'horizon. Dégagée des obstacles du paysage (immeubles, collines...), elle se place à l'écart des zones les plus turbulentes de l'atmosphère. La repérer à l'œil nu n'est pas difficile : elle se situe à 10° environ à l'ouest d'Aldébaran, l'éclatante étoile du Taureau, et de Jupiter, qui est – si l'on excepte la Lune – l'astre le plus

ASTRES ET LUNE EN OCTOBRE

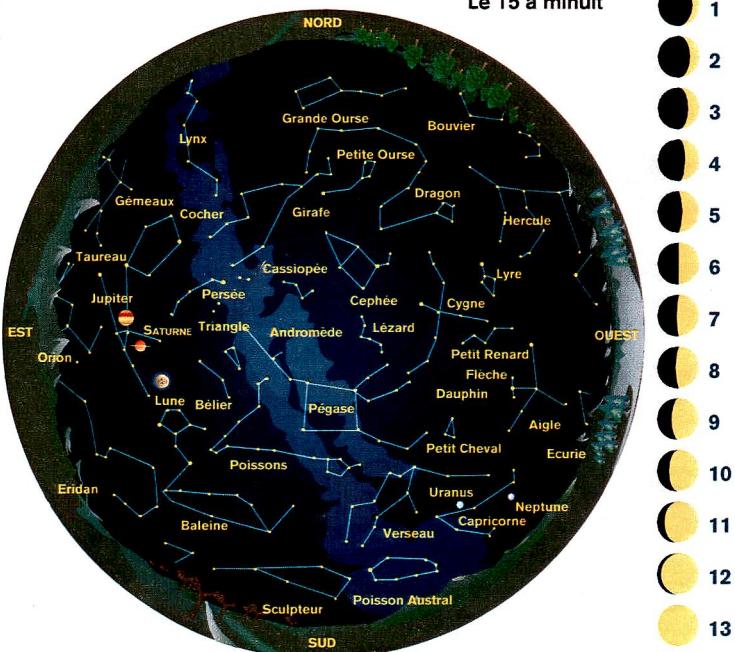
brillant du ciel nocturne. Elle a l'apparence d'une étoile de magnitude 0 située en dessous des Pléiades et qui, à l'inverse des autres, ne scintille pas.

Sorssez votre instrument au moins 45 minutes avant toute observation, sans quoi la différence de température entre l'air à l'intérieur du tube et l'air ambiant créera des turbulences nuisibles à la netteté. Rappelez-vous que le grossissement optimal équivaut au diamètre de l'instrument en millimètres (115 X pour un télescope de 115 mm). Au-delà, plus vous grossissez l'image, plus elle devient floue sans montrer de détail supplémentaire. Enfin, ni les lumières des villes ni celle de la Lune, pleine le 13, ne sont pas des obstacles à l'observation de Saturne.

UN TITAN BIEN VISIBLE

Dans ces conditions, que voit-on ? Une lunette de 60 mm révèle des bandes nuageuses à la surface de la planète. En particulier, l'équateur est marqué par une épaisse zone claire. Les structures atmosphériques de Saturne sont bien moins contrastées que celles de Jupiter et il est difficile d'y déceler autre chose avec un petit instrument. En revanche, les anneaux, dont l'inclinaison varie au fil des ans, sont de plus en plus "ouverts", ce qui permet de distinguer les deux plus gros, baptisés A pour le plus extérieur et le plus clair, et B pour l'autre. Entre les deux, s'intercale la division de Cassini, découverte en 1676 par l'astronome Jean-Dominique Cassini. Ce vide est plus facilement décelable sur les bords ouest et est des anneaux. Enfin, le plus gros satellite de Saturne, Titan, est visible. Sa révolution dure 16 jours, de sorte que son déplacement par rapport à la planète est notable d'un soir à l'autre.

Des télescopes de 100 à 200 mm montrent une ou deux zones nuageuses supplémentaires sur le disque et permettent de distinguer l'anneau C, intérieur au B. Trois à quatre satellites sont visibles en plus de Titan. Les plus expérimentés pourront suivre, avec un instrument d'au moins 200 mm, l'occultation d'une étoile de magnitude 10,6 par les anneaux et la planète, le 26 dès 1 h 35 du matin. ■



LES PLANÈTES

Mercure passe à sa plus grande élongation le 6 (à 25° 31' du Soleil). L'écliptique très incliné reste difficile à repérer au couchant. Les choses empirent jusqu'au 30, date de sa conjonction inférieure avec le Soleil.

Vénus, qui s'éloigne progressivement du Soleil, devient repérable à partir du 15 en début de nuit à moins de 5° au-dessus d'un horizon ouest dégagé.

Mars se lève autour de 3 h du matin (TU). Le 24, elle quitte le Lion pour rejoindre la Vierge. Reconnaissable à l'œil nu (magnitude 2), elle reste pourtant trop éloignée pour une étude au télescope.

Jupiter et Saturne, dans le Taureau, constituent des cibles de choix.

Uranus et Neptune, dans le Capricorne, sont observables dans de bonnes conditions tout le mois.

LES GRANDS RENDEZ-VOUS

Dimanche 8

Maximum de l'essaim d'étoiles filantes des Draconides

Mardi 10

A son lever, Mars est en conjonction très serrée (à 5 minutes d'arc) avec l'étoile Khi Leonis (magnitude 4,7). A observer au télescope.

Samedi 14

Occultation de l'étoile Mu Ceti (magnitude 4,4) par la

Lune. Le phénomène peut être suivi depuis la France

Site Saint-Georges

Jupiter passe à 4° 34'
d'Aldébaran, l'étoile principale
du Taureau.

Lundi 30

Mars est en conjonction avec Zavijava (à 39 minutes d'arc), deuxième étoile de la Vierge (magnitude 3,7). Ils sont observables à l'œil nu.

CD-Rom

PAR JEAN-RENÉ GERMAIN

Fascinants insectes

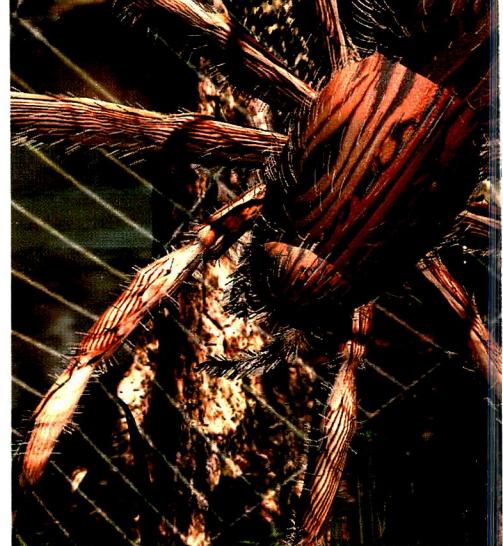
LES FOURMIS

lorsqu'on commence à prendre en main ce CD-Rom, on hésite un peu sur le genre de l'ouvrage. S'agit-il d'un logiciel de sciences naturelles – tant les représentations de fourmis et autres insectes sont belles –, d'un jeu de stratégie et de gestion, ou encore d'une simulation du monde des fourmis ? La réponse s'impose au fur et à mesure qu'on entre dans le CD-Rom : il s'agit, en fait, des trois à la fois. Vous êtes une fourmi et vous devez assurer malgré les périls (et Dieu sait s'il y en a !) le développement et la protection de votre cité. Largement inspiré des romans à succès de Bernard Weber, réalisé d'ailleurs avec l'aide de l'auteur qui a développé les différents scénarios du jeu, ce CD-Rom vous plonge dans deux mondes distincts, mais interdépendants : l'intérieur de la fourmilière, avec ses multiples salles, et le monde extérieur, où se trouvent les ressources mais aussi les prédateurs !). A vous de gérer l'organisation sociale complexe et harmonieuse de votre fourmilière de manière qu'elle puisse résister aux attaques des autres colonies de fourmis civilisées. Les paramètres à contrôler correspondent



Au cœur de la fourmilière

Un CD-Rom qui explore l'univers fascinant des fourmis, de l'organisation sociale de la fourmilière à son environnement, où rodent les prédateurs.



aux divers éléments du milieu naturel : l'alternance jour-nuit, le cycle des saisons, les espèces civilisées (abeilles, guêpes, fourmis), les proies (escargots, papillons) et les prédateurs. Selon vos choix, vous pouvez avoir une vision d'ensemble de la fourmilière et des écosystèmes qui lui permettent de survivre, ou encore vous situer dans un paysage naturel (reproduit en 3D et en temps réel), au même niveau que les fourmis. Effet saisissant garanti. Surtout lorsque vous êtes attaqué par un prédateur plus gros que vous. Parviendrez-vous à survivre ? Saurez-vous adapter votre stratégie ? Ce n'est pas tout à fait évident, car le système d'intelligence artificielle qui contrôle vos ennemis est capable d'analyser vos erreurs et d'en tirer les conséquences... En fait, l'approche ludo-éducative mise à part, nous avons affaire à une simulation du monde des fourmis, qui, si elle n'est pas à cent pour cent scientifiquement exacte, nous fait prendre conscience des réalités du monde des insectes. Ce qui est déjà en soi passionnant. Un CD-Rom unique en son genre, qui explore un univers fascinant.

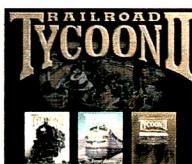
.....

Microïds, 349 F (53,20 €), pour PC.



La conquête du rail

RAIL ROAD TYCOON II



Dès 1550, des chariots de mine circulaient en Europe sur des rails en bois. En 1769, l'Anglais James Watt breveta la première machine à vapeur fixe et, l'année suivante, Joseph Cugnot construisit le fardier qu'il avait imaginé dès 1765. Ce CD-Rom vous propose de créer une compagnie, exactement comme les vrais pionniers de l'industrialisation. Et si votre sens des affaires, allié à des choix techniques judicieux fait merveille, vous pourrez faire bénéficier des villes et des régions entières des bienfaits du chemin de fer (les cartes sont basées sur des photos satellites de l'US Geological Survey). Vous pourrez construire le Transcontinental ou bien l'Orient Express et, bien sûr, devenir un roi du rail en adoptant la personnalité de personnages historiques.



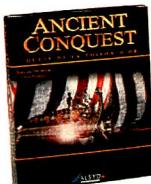
PopTop software/Take 2, 246 F (37,50 €), pour PC.

SAUVER LE ROYAUME

ANCIENT CONQUEST

La quête de la Toison d'Or

Tous ceux que la stratégie intéresse seront comblés par *Ancient Conquest*. Pour sauver votre royaume antique de la décadence, il va vous falloir gérer vos ressources, édifier des bâtiments, construire des navires, élaborer des armes nouvelles, élever des temples, mener des combats contre des envahisseurs et des créatures mythiques et résister aux catastrophes naturelles. On peut jouer seul contre l'ordinateur ou en réseau, jusqu'à huit joueurs.

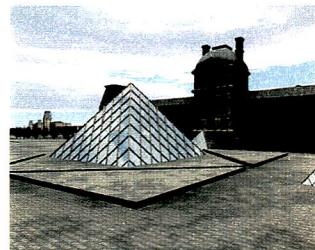


Alsyd, 349 F (53,20 €), pour PC.

Reconstitution historique

LOUVRE, L'ULTIME MALÉDITION

Le musée du Louvre est devenu une vedette du multimédia. On ne compte plus les CD-Rom qui lui ont été consacrés. Conduite par l'héroïne Morgane, il s'agit ici d'une histoire policière au cours de laquelle vous devez résoudre des énigmes. Vous découvrez l'aspect qu'avait le Louvre à diverses époques de sa longue histoire : au Moyen Age, à la Renaissance, au Siècle des lumières et de nos jours. Trente-deux salles, dont la plupart n'existent plus, ont été reconstituées en 3D. Toutes les reconstitutions ont été validées par les conservateurs du musée. Plus que jamais, nous réalisons ici combien le multimédia, allié à l'histoire et au jeu, peut devenir un excellent outil de culture.



Index+, RMN, Télécom Multimédia, 349 F (53,20 €), pour PC ou Mac, également disponible en DVD-Rom.

Les sciences par la grande porte !

Enfin une collection qui propose des textes vraiment accessibles pour tous. En 64 sujets traités en doubles pages vous saurez tout sur :



PORTAIL DES SCIENCES

Format 21 x 27 cm
144 pages,
200 illustrations
en couleurs
139 F 21,22 €

LAROUSSE

Samba, jolies femmes et belles équations

VOUS VOULEZ RIRE, MONSIEUR FEYNMAN!

Richard P. Feynman

Richard Feynman n'a pas encore 12 ans qu'il répare déjà les postes de radio de ses voisins et bricole des systèmes d'alarme pour savoir si ses parents ont pénétré dans sa chambre. Plus tard, pendant son séjour à Los Alamos, au Nouveau-Mexique, alors qu'il travaille comme théoricien à l'élaboration de la bombe atomique, il invente des codes secrets pour contourner la censure militaire et correspondre librement avec sa femme. Pendant ses périodes de temps libre, il s'entraîne à trouver les combinaisons des ar-



Hors norme

Tranches de vie d'un prix Nobel joueur de bongo et déchiffreur de textes maya.

moires cadenassées de ses collègues, par simple goût du jeu, mais aussi pour montrer à ses supérieurs que les documents de la base ne sont pas suffisamment protégés. Toujours en quête de nouvelles rencontres et détestant les convenances, il intègre une école de samba lors de son séjour au Brésil en 1951, et sort parader dans les rues avec des Brésiliens des favelas de Rio.

Esprit brillant, insatiable curieux, résolument atypique, Richard Feynman a sans cesse cherché à démonter les rouages du monde qui l'entourait. Il fut non seulement l'un des physiciens les plus féconds du XX^e siècle, membre du Projet Manhattan (pour l'élaboration de la bombe atomique) en 1943 – il n'a alors que 25 ans –, prix Nobel de physique en 1965 pour ses travaux en électrodynamique quantique, mais il fut aussi déchiffreur de textes maya et crocheteur de coffres-forts, amateur de jolies femmes et joueur de bongo.

Vous voulez rire, Monsieur Feynman !, paru pour la première fois en 1985 – trois ans avant sa mort – rassemble une série de petites histoires et d'anecdotes plus savoureuses les unes que les autres, recueillies par son ami Ralph Leighton, au cours des sept années où ils jouèrent de la batterie ensemble. Des tranches de vie prises au vol, depuis son enfance dans la banlieue de New York jusqu'à ses années d'enseignement à Caltech (California Institute of Technology), où il termina sa carrière.

Valérie Greffoz



A SUIVRE

QU'EST-CE QUE LA VIE?

Sous la direction d'Yves Michaud

■ Vous avez manqué les conférences de l'Université de tous les savoirs organisées par la Mission 2000 ? Les comptes rendus parus dans la presse quotidienne vous ont laissé sur votre faim ? Vous serez comblé par la publication des textes intégraux et de leurs illustrations aux Editions Odile Jacob. Le premier tome réunit quarante conférences sur la vie, la biodiversité, l'évolution, l'éthique, le développement humain, la génétique, le cerveau, le comportement, les passions. Parmi les auteurs, on trouve le gratin français de la biologie et de la recherche médicale. Ce tome inaugure une série qui rassemblera les 366 conférences de l'Université. Une encyclopédie des sciences à l'orée du millénaire. Le deuxième volume *Qu'est-ce que l'humain ?* vient de paraître, au même prix que le précédent.

.....
Editions Odile Jacob, 510 p., 175 F (26,68 €).

Ph. C.

.....
Editions Odile Jacob, 360 p., 160 F (24,39 €).

Le grand paradoxe

**SOMMES-NOUS SEULS
DANS L'UNIVERS ?**

par **Jean Heidmann, Alfred
Vidal-Madjar, Nicolas
Prantzos, Hubert Reeves**

La vie a la peau dure. Omniprésente sur Terre, même à plusieurs kilomètres sous la surface

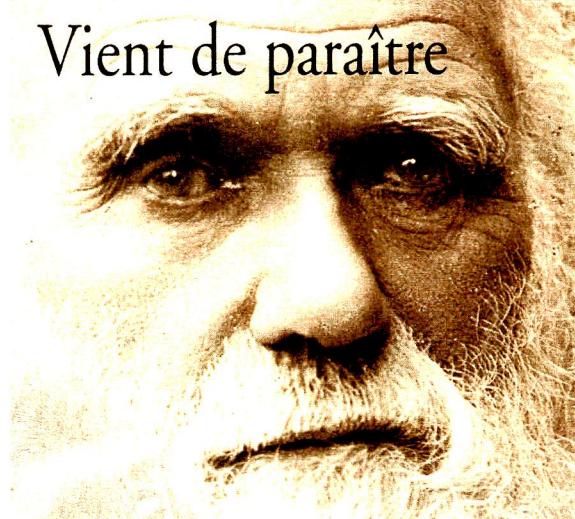
des continents et dans des lacs acides, ce chiendent s'accroche partout. Un peu d'eau autour d'un caillou, une étoile assez stable, faites mariner quelques milliards d'années et des êtres multicellulaires doués de conscience apparaissent. Dès lors, vu le nombre invraisemblable de planètes extrasolaires découvertes chaque jour (voir *Science & Vie* n° 994, p. 51), pourquoi n'avons-nous aucun indice de vie intelligente ailleurs ? Nous avons beau scruter le ciel avec nos paraboles, l'espace reste silencieux. Alors que plusieurs fois par jour, les écoutes du SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) sont saturées par les bouffées d'émissions télé de l'Europe, des Etats-Unis et du Japon, pas un seul "Dallas" extraterrestre ne vient meubler notre impitoyable Univers.

Cet étrange paradoxe, dit de Fermi, du nom de son inventeur, est analysé tout au long de ce livre. Quatre grandes signatures en astrophysique et astronomie en discutent, sous forme de questions-réponses. Jean Heidmann raconte ses espoirs déçus dans l'écoute de l'espace et sa confiance dans le futur. Il est vrai que seuls 200 astronomes s'impliquent dans ce domaine récent, dont les moyens technologiques doublent tous les six mois. Dans sa spécialité, Alfred Vidal-Madjar confirme que les planètes sont probablement un sous-produit de la formation des étoiles et que celles qui en sont dépourvues doivent être bien rares, ce qui renforce le paradoxe.

A deux millions d'années près, d'éventuels visiteurs n'auraient trouvé sur Terre que des singes. Pour éviter les déceptions, et étant donné les distances, les rendez-vous doivent être précis ! Nicolas Prantzos nous expose les contraintes du voyage interstellaire car, *a priori*, les aliens naviguent dans le même espace-temps que nous, régi par la relativité générale. Mais, après tout, l'étoile la plus proche n'est qu'à dix mille fois la distance de Neptune,

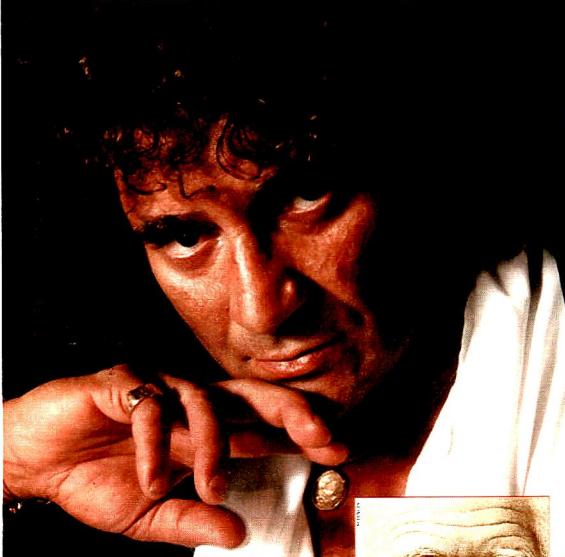


Vient de paraître



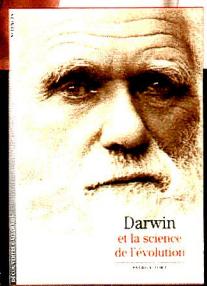
**Darwin
et la science
de l'évolution**

**DÉCOUVERTES
GALLIMARD**



Patrick Tort, auteur d'un dictionnaire de 5 000 pages sur le darwinisme, maître d'œuvre de l'édition française des écrits de Darwin, retrace pour **Découvertes Gallimard** la vie et les idées du père fondateur de la biologie moderne de l'évolution.

160 pages - 160 illustrations - 84 F/12,81 €

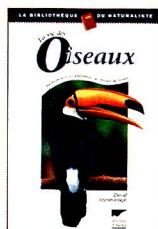


l'avant-dernière planète du système solaire... Enfin, Hubert Reeves, qu'on ne présente plus, enfonce le dernier clou : même si la vie est un chiendent très répandu, l'intelligence peut être un phénomène rare, à supposer qu'on puisse en donner une définition acceptable.

A travers ces quatre éminentes personnalités, ce livre fait donc le point sur le lancinant problème de notre solitude. Scientifiquement très documenté, il est aussi plein d'anecdotes et de comparaisons instructives. Exemple : si des êtres nous écoutent de l'étoile Bêta Pictoris, ils entendent nos émissions des années 30. Pour "Dallas", ils devront attendre soixante-six ans !

Gilles Moine

.....
Fayard, 300 p., 120 F (18,29 €).



LA VIE DES OISEAUX David Attenborough

Plus de 9000 espèces d'oiseaux peuplent la terre, n'hésitant pas à s'installer sur les escarpements gelés des icebergs, les sables du Sahara ou la surface des océans. De ceux qui volent pendant des mois sans se poser à ceux

qui n'ont jamais pu s'élever à plus de quelques centimètres d'altitude, Attenborough, naturaliste de réputation mondiale, s'attache à décrire les comportements, ainsi que les stratégies pour apprendre à voler, se nourrir, communiquer, s'accoupler, s'occuper des œufs, de leurs petits, survivre dans les conditions les plus extrêmes et faire face à tous les dangers. Un formidable voyage au pays des oiseaux, somptueusement illustré. Gérard Morice

.....
Delachaux et Niestlé, 320 p., 195 F (29,73 €).

COLLECTIONNEZ
LE SAVOIR
AVEC
LA RELIURE
SCIENCE & VIE

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

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

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

NOM. _____ Prénom. _____
ADRESSE. _____
CODE POSTAL. _____ VILLE. _____

(*) Chaque reliure est conçue pour classer 12 numéros. (**) Dans la limite des stocks disponibles
OFFRE VALABLE JUSQU'A FIN 2000

www.abomag.com

@
abonnez-vous



ADRESSES

CREEZ VOTRE AFFAIRE

Un nouveau concept pour la distribution automatique de confiseries de grandes marques connues

LES PLUS

- Ni droit d'entrée, ni royalties
- Une activité simple et indépendante
- Pas de local nécessaire
- Un faible investissement au départ
- Des recettes régulière
- Pas de connaissances particulières
- Des milliers de sites à équiper

CONTACTEZ DES MAINTENANT AC21

24, Av du 8 Mai 1945 - 95200 Sarcelles

Tél : 01 340 401 80 - Fax : 01 340 401 81

ÉCRIVAINS

Les Éditions du Panthéon recherchent de nouveaux talents pour leurs collections littéraires.

Envoyez vos manuscrits inédits
Éditions du Panthéon-Service SV
27, cité industrielle 75011 Paris
Tél : 01 43 71 14 72

Les éditions du PANTHEON

Code de la Propriété Intellectuelle Art. L 132. 2

BILLARD 3 EN 1® JEAN LAFFAILLE

Vrai billard familial grâce au changement de jeu par changement de bandes, il se transforme pour votre plaisir et celui de vos enfants en Français, en Américain ou en 8 pool Anglais

Système breveté - garanti à vie - assurant une qualité de jeu remarquable en Français.

Plus de 2000 clients en France.
14 modèles de styles et de
prix différents,
(rustiques et contemporains).

CATALOGUE SUR DEMANDE

J.L.B. 26, rue du Val d'Aran 31240 L'Union

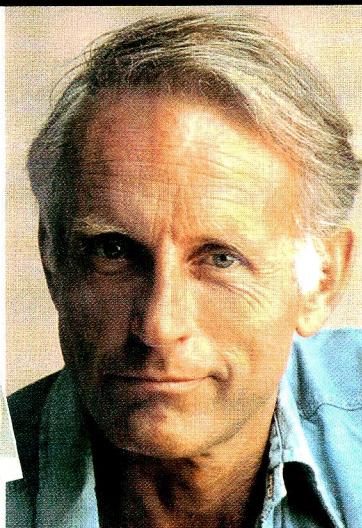
Tél : 05 61 74 26 22 - Fax : 05 61 35 97 18

Web : www.billard3en1.com



CALVITIE

Des cheveux
naturels
et définitifs
par les techniques
médicales les plus
modernes.



renseignement et documentation
sur simple demande:

TEL: 01 53 83 79 79

3615 INFO CHAUVE 0.45F le mn

www.clinique-matignon.com

CLINIQUE
MATIGNON

5, AVENUE MATIGNON 75008 PARIS

CALVITIE



Photo J.B. non contractuelle

JUSQU'A 3000 CHEVEUX SAINS PEUVENT
ÊTRE IMPLANTÉS, DE MANIÈRE NATURELLE
ET DÉFINITIVE, EN UNE OU DEUX SÉANCES.



Entretien
conseil gratuit.



Facilités de paiement.

CLINIQUE D'ESTHÉTIQUE RAYMOND POINCARÉ

79 AV. RAYMOND POINCARÉ - 75016 PARIS

TÉL : 01 47 27 40 00

DéTECTEURS DE MÉTAUX

Vente - Occasion - Location - Recherche de métaux


MINELAB



« L'EXPLORER XS »

Le détecteur de métaux le
plus évolué au monde



Documentation et tarif
sur simple demande



I.D.S. 22 rue Charles Baudelaire
75012 PARIS Tél: 01 43 07 55 02

Respectons ensemble la loi du 18.12.89

Pour passer une publicité dans cette rubrique : **EUROP'ESPACE COMMUNICATION** - Tél. : 01 43 73 16 48 - Fax : 01 43 73 16 62

Vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant (Loi 78/17 du 06/01/78)

Et une KRO,
service compris.



KRO
LA BIERE.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTE, CONSOMMEZ AVEC MODERATION.