

# le COURRIER de l'UNESCO



JANVIER 1993

ENTRETIEN AVEC  
HUBERT REEVES

## ESPACE Les banlieues de l'infini



2 JANV 1993

BELGIQUE: 160 FB. CANADA: 5,75 \$. CÔTE D'IVOIRE: 1540 CFA. CAMEROUN: 1760 CFA. GABON: 1760 CFA. MAROC: 32 DH. LUXEMBOURG: 158 FLUX. SUISSE: 6,90 FS. PORTUGAL: 700 ESC.

M 1205 - 9301 - 22.00 F



Pour cette rubrique **CONFLUENCES**, envoyez-nous une photo (composition photographique, peinture, sculpture, ensemble architectural) où vous voyez un croisement, un métissage créateur, entre plusieurs cultures, ou encore deux œuvres de provenance culturelle différente, où vous voyez une ressemblance, ou un lien frappant. Accompagnez-les d'un commentaire de deux ou trois lignes. Nous publierons chaque mois l'un de vos envois.



### LA SECONDE INVASION DES MARTIENS

1989, d'Anatoli Smolich

Une invasion peut-être bénéfique, cette fois-ci... Malgré son indéniable aspect d'objet volant non identifié, cette créature tombant de la planète Rouge sur la Terre tourmentée semble nous lancer un regard de surprise, presque de tristesse. Un salut à H.G. Wells, et, sous le couvert d'une rencontre du troisième type, l'appel souriant d'un peintre russe à un monde de paix.



9

**ESPACE**

**Les banlieues de l'infini**

- 10 L'ère du satellite**  
*par Nigel Henbest*
- 15 UNE EXPÉRIENCE INDIENNE**  
**L'outil de la télédétection**  
*par Kiran Karnik*
- 18 Mars: le rêve et la réalité**  
*par Francis Leary*
- 22 Face à face avec l'infini**  
*par Nicolai Roukavichnikov*
- 34 L'océan vu du ciel**  
*par Ian S. Robinson*
- 37 Bilko, la maîtrise des mers**
- 38 Où sont-ils donc passés ?**  
*par Norman Longdon*
- 41 Le dépotoir céleste**  
*par Howard Brabyn*

**Notre couverture:**  
la sonde spatiale Ulysse, qui vient de quitter la navette spatiale Discovery, part pour un voyage d'étude des régions polaires du Soleil, le premier du genre (1990).

**Couverture de dos:**  
la sphère du Matrimandir, âme de la cité d'Auroville (Inde). Sa construction, entreprise par les habitants depuis vingt ans, arrive à son achèvement. L'extérieur sera couvert de disques dorés.

**44 ACTION UNESCO**

**En bref...**

Le saviez-vous?

**46 Auroville, laboratoire d'une humanité nouvelle**

*par Lotfallah Soliman*

**50 LE COURRIER DES LECTEURS**

**Consultants spéciaux:**  
**Georges Dupont**  
**et Robert Missotten**

25

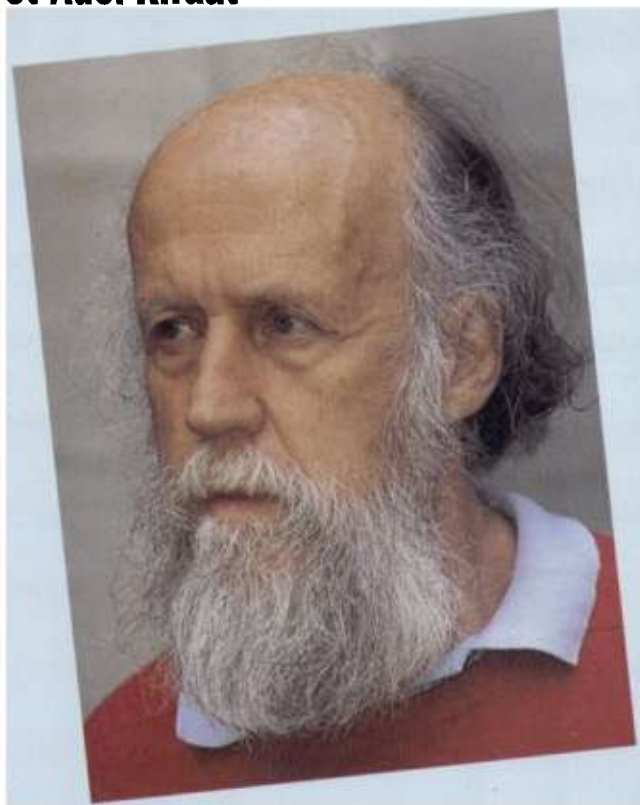
**Espace vert**

45

**La chronique de Federico Mayor**

# HUBERT REEVES

répond aux questions  
de Bahgat Elnadi et Adel Rifaat



**Astrophysicien né à Montréal, directeur de recherches au Centre national de la recherche scientifique (CNRS, France), Hubert Reeves a su mettre la science des étoiles à la portée de tous, en quelques livres qui ont rencontré la faveur d'un très grand public, notamment *Patience dans l'azur* (1988), *Malicorne* (1990), et deux albums, *Poussière d'étoiles* (1984) et, en collaboration avec Jélica Obrénovitch, *Compagnons de voyage* (1992), tous parus aux éditions du Seuil (Paris). Dans cet entretien exclusif, il fait le point sur notre connaissance de l'Univers, sans négliger quelques-uns des problèmes urgents qui se posent à notre planète.**

■ *Il est rare qu'un homme de science soit aussi un vulgarisateur. Dans votre cas, il se double même d'un poète...*

— Je me suis assez tôt aperçu qu'il y avait quelque chose, dans l'astronomie, qui intéressait beaucoup de gens. Cela a commencé avec mes enfants, dans des villages de vacances où on se retrouvait souvent en groupe et où chacun était naturellement invité à parler de ce qu'il savait. Le soir, sous un beau ciel sans nuage, je me mettais à parler des étoiles. Et passant des étoiles aux planètes, de la naissance de l'Univers à la vie sur la Terre, comment ne pas tenter de faire partager à mon auditoire l'émerveillement continu que m'inspire l'odyssée cosmique?

A ma grande surprise, ma manière de raconter, qui mêlait le discours scientifique à l'inspiration poétique, trouvait de plus en plus d'oreilles attentives. Cela m'a encouragé à écrire un premier livre, *Patience dans l'azur*, qui a bien failli être mon dernier, parce que

les éditeurs auxquels j'ai adressé le manuscrit n'ont pas eu la même réaction que mon public de vacanciers. Une trentaine de maisons d'édition m'ont répondu, en substance, que les problèmes d'astronomie n'intéressaient personne.

Finale, l'une d'elles a accepté de prendre le risque de le publier. Ils ont fait un tirage de 3 000 exemplaires en me laissant entendre qu'ils n'espéraient pas vraiment l'épuiser. *Patience dans l'azur* vient de dépasser les 500 000 exemplaires. Cela a été une révélation pour moi autant que pour mon éditeur: il y avait donc non seulement un public, mais un immense public, s'intéressant à ces questions, et qui désirait qu'on lui en parle en s'appuyant, certes sur une information rigoureuse, mais sans perdre la fraîcheur, la candeur, du regard poétique.

■ *N'y a-t-il pas, dans cet engouement, quelque chose qui, au-delà du poétique, touche au mystère de la création, au religieux en somme ?*

— Certainement. Je crois qu'il y a quelque chose de cela. Il y a aujourd'hui des demandes, des attentes, qui débordent largement la question du «comment ça marche?». Le simple savoir ne suffit pas. De plus en plus de gens s'interrogent sur le sens ultime de l'univers.

Durant le siècle passé et jusqu'au milieu du siècle présent, on a eu tendance à faire confiance à la science pour tout résoudre. Avec la dernière guerre, et en particulier la menace d'un holocauste nucléaire, on a commencé à douter, à vivre dans un climat d'insécurité, à envisager l'avenir avec angoisse. La science avait permis de résoudre beaucoup de graves problèmes, mais elle en avait créé d'autres; une certaine manière d'utiliser le progrès scientifique avait engendré de terribles menaces. Cela voulait dire que la science, par elle-même, n'avait pas de vertu exclusivement bénéfique, qu'il fallait en surveiller l'évolution et les applications, qu'il fallait, pour s'orienter dans l'existence, s'éclairer avec d'autres lanternes. Sans perdre pour autant, bien sûr, les repères de la connaissance scientifique. De là, me semblait-il, l'énorme intérêt pour l'astronomie, qui semble toucher de plus près aux sources du

grand mystère de l'existence, à ces zones où la métaphysique semble presque affleurer derrière la physique.

■ *C'est tellement vrai que nous nous sommes trouvés un jour, il y a quelques années de cela, devant un ami qui était très malheureux, parce qu'il venait de lire, quelque part, que la théorie du big-bang était remise en doute. Pour lui, c'était comme si, en lui ôtant la certitude du big-bang, on venait de lui ôter une idée très rassurante — celle d'une découverte qui réconciliait la science avec la Genèse.*

— Absolument, c'est cela qui est parfois en jeu. Mais moi je ne vais pas jusque là..

■ *Vous, vous posez plutôt la question de savoir, dans l'évolution de l'Univers, quelle part il y a de nécessité et quelle part de hasard...*

— C'est cela. Jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle, en gros, la physique a eu un point de vue très déterministe: tout s'enchaînait, les mêmes causes produisaient toujours les mêmes effets, l'évolution était soumise à une loi d'airain. Puis, à partir de Darwin, le hasard a fait une entrée fracassante dans la pensée scientifique: l'adaptation, la mutation, la survie du plus apte, introduisaient la dimension de l'aléatoire. Cela a ouvert de formidables débats.

Aujourd'hui, on a tendance à penser que la nécessité et le hasard sont indissociables. Les lois physiques, par exemple, ne peuvent être transgressées, mais elles opèrent dans un certain champ de détermination; au-delà de ce champ, elles cessent d'opérer. Parallèlement, il se produit dans l'univers des événements, c'est-à-dire des faits nouveaux, imprévisibles, qui s'expliquent par une conjonction inédite de facteurs. Je préfère ici parler de jeu, plutôt que de hasard: l'enchevêtrement même des lois laisse nécessairement place à une marge de jeu. En d'autres termes, et sans jouer sur les mots, l'aléatoire, dans la nature, est nécessaire. Cela a été démontré depuis longtemps dans la physique quantique, avec les relations d'indétermination de Heisenberg et cela vient d'être démontré plus récemment, à une échelle plus générale, avec les théories du chaos déterministe.

Prenons un exemple simple: nous

sommes sur la Terre, aujourd'hui, cinq milliards d'êtres humains, tous soumis aux mêmes lois physiques — et pourtant tous différents les uns des autres. Le fait que nous ayons chacun notre personnalité, notre histoire, notre destin propre, montre bien que les lois de la nature, pour contraignantes qu'elles soient, font une large place au jeu, à l'imprévisible, c'est-à-dire, en définitive, à la liberté.

Un autre exemple, celui des cristaux de neige. Observez-les au microscope: ils ont tous, invariablement, six pointes. C'est la loi. Mais observez-les encore: là commence l'éblouissement. Avec leurs six pointes, ils sont tous différents les uns des autres. On a pu faire des livres magnifiques rien qu'avec des images de cristaux de neige. Leur beauté tient précisément à ceci, qu'ils présentent une structure identique, modulée à l'infini. Pour les hommes, comme pour les cristaux de neige, ou pour les papillons, la nature a ce double souci: d'un côté, elle organise les choses, elle impose des lois, elle instaure de l'ordre; de l'autre, elle brise la mortelle monotonie de l'ordre en y introduisant des failles, en ouvrant un espace à l'incertitude, à l'indétermination, bref à la diversité.

■ *L'évolution actuelle aurait donc pu être différente de ce qu'elle est effectivement?*

— Certainement. Elle aurait pu être autre, mais jusqu'à un certain point seulement. C'est dans la marge d'aléatoire que se situe cette possibilité. Mais la part de nécessité détermine certaines grandes lignes de cette évolution. Par exemple, étant donné une galaxie, il existe une ligne d'évolution qui mène à la création d'étoiles. Voilà pour la part de déterminisme. Mais on ne peut pas prévoir la naissance de cette étoile spécifique, unique, qu'est le Soleil. Le Soleil aurait pu ne pas exister. Voilà pour la part d'aléatoire.

De même, la Terre, avec ses caractéristiques si particulières, aurait pu ne pas exister. Mais étant donné son existence, et l'ensemble des conditions de sa naissance, on aurait peut-être pu prévoir sur elle l'apparition de la vie. Mais certainement pas quelles formes de vie plutôt que telles autres, les éléments plutôt que les kangourous. De même, une fois donnée l'espèce humaine, on aurait

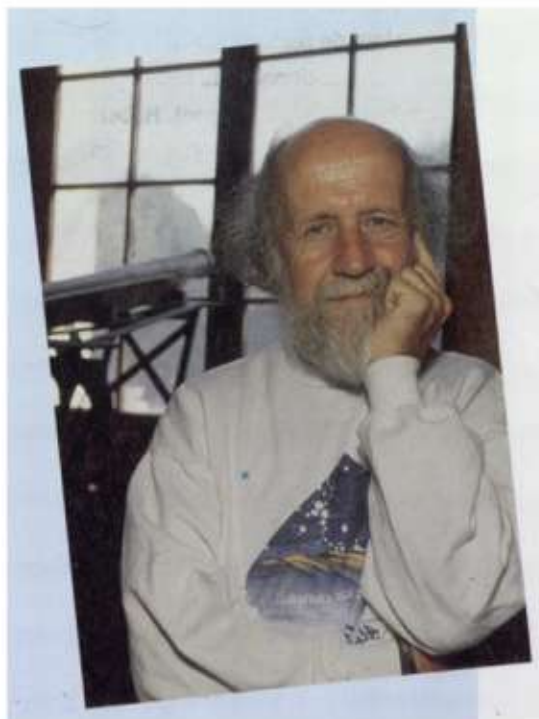
pu prévoir — ou du moins espérer — que les humains continueraient d'exister jusqu'à aujourd'hui. Mais qui aurait pu prévoir la naissance des trois personnes que nous sommes, notre rencontre à tous les trois, en ce jour et en ce lieu? Personne, évidemment.

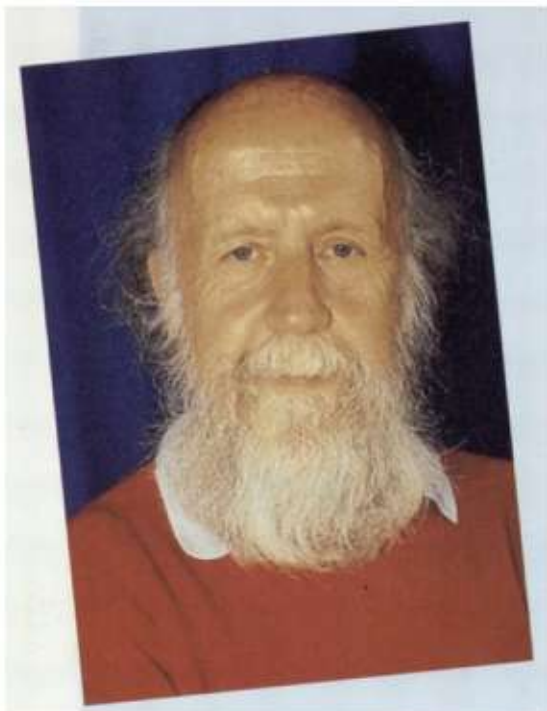
■ *Personne n'aurait pu le prévoir, certes. Mais est-ce là une insuffisance de notre système de connaissances, de notre matériel technique, de notre capacité à maîtriser l'ensemble des données en jeu? Ou est-ce une impossibilité objective, une résistance intrinsèque du réel, parce que le réel inclut l'imprévisible?*

— Le réel inclut l'imprévisible, l'aléatoire. C'est le fondement même des théories du chaos.

■ *S'agit-il d'une extension du principe d'indétermination?*

— Le principe d'indétermination concerne l'infiniment petit. Et justement, lorsque ce principe a été mis en lumière et définitivement admis par la communauté scientifique, pendant longtemps, on s'est dit qu'il n'opérerait qu'à l'échelle atomique. A grande échelle, on était rassuré, on possédait des lois en béton. Puis, patatras, on s'est aperçu que





même l'orbite des planètes, dans certaines conditions, pouvait être chaotique. Tenez, par exemple, l'un des satellites de Jupiter suit une orbite tellement bizarre que nul ne peut prévoir, à trois jours près, quelle sera son orientation. Cela semble ahurissant, mais c'est ainsi. Vous pouvez disposer de toutes les données imaginables sur sa trajectoire passée, vous aider d'une batterie d'ordinateurs, vous ne pourrez pas prévoir, aujourd'hui, l'orientation qu'il prendra dans trois jours. Ce n'est pas parce que nos instruments sont inadéquats. C'est parce que, pour ainsi dire, lui-même ne le sait pas.

Ainsi la théorie du chaos met-elle un point final à un déterminisme simpliste, qui a non seulement dominé, pendant des siècles, la pensée scientifique mais aussi la pensée philosophique. Par là même, cette théorie donne un sérieux coup de main à l'idée de liberté. Jusque là, on vous disait : ah ah, mes enfants, vous avez l'impression de choisir, mais ce n'est qu'une illusion d'optique, tout est décidé à l'avance! Maintenant, non, même la physique vous démontre le contraire. On peut crier, en toute lucidité: vive la liberté!

■ *Maintenant que nous voici rassurés sur notre part de liberté, revenons à cette figure qui, cheminant entre nécessité et chaos, définit la logique même de l'évolution, cette figure que vous appelez la pyramide de la complexité.*

— J'utilise l'image de la pyramide par analogie avec celle du langage écrit. Le langage écrit procède selon une logique pyramidale: il utilise plusieurs lettres pour faire un mot, plusieurs mots pour faire une phrase, plusieurs phrases pour faire un paragraphe, plusieurs paragraphes pour faire un chapitre, plusieurs chapitres pour faire un livre. Il procède du plus simple au plus complexe.

L'évolution procède de la même manière. Elle crée la particule, puis à partir de plusieurs particules, elle fait un noyau d'atome, et ainsi de suite; un atome, une molécule, une étoile, une planète, une cellule, un organisme. Le big-bang serait l'explosion première qui a produit les lettres de l'alphabet cosmique. A partir de là, on peut dater chaque étage de la pyramide de la complexité depuis 15 milliards d'années.

■ *Sur ces 15 milliards d'années passées, on a beaucoup parlé récemment. Peut-être serait-il plus intéressant de s'interroger sur les prochains 15 milliards... Ou, plus sérieusement : que peut-on prévoir, à l'heure qu'il est?*

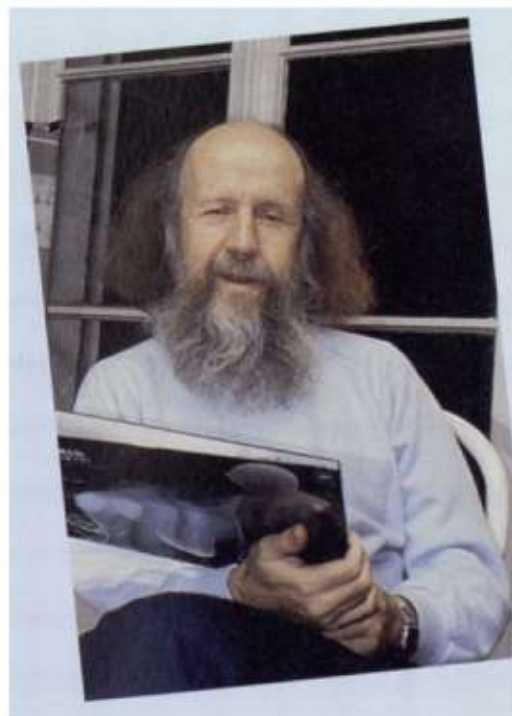
— Il y a deux grandes thèses en présence. Depuis sa naissance, on sait que l'Univers tend à se refroidir et donc à se diluer, à s'étendre. Les galaxies s'éloignent les unes des autres. Cela va continuer pour un bon bout de temps, mettons encore une quarantaine de milliards d'années. Tout le monde est d'accord là-dessus. Les divergences portent donc sur ce qui risque de se passer après. L'Univers va-t-il continuer ainsi à se refroidir et se diluer, ou va-t-il entamer une sorte de compte à rebours, pour commencer à se réchauffer et les galaxies à se rapprocher les unes des autres? Pour trancher ce formidable dilemme, il nous faut disposer de nombre de données qui, à l'heure actuelle, sont mal établies. Il existe à l'heure actuelle, cependant, un faisceau de preuves qui donne à penser que la température de l'univers continuera de baisser. Mais c'est un faisceau dit faible, c'est-à-dire non concluant. On peut défendre la thèse contraire...

■ *Et la thèse de l'équilibre thermique?*

— Oui, c'est une thèse qui a lourdement pesé sur la pensée scientifique au cours de la première moitié de notre siècle — et qui,

aujourd'hui est heureusement dépassée. La thèse découle des découvertes de la thermodynamique. Elle pourrait se résumer dans cette image : quand vous mettez un glaçon dans votre verre de whisky, que se passe-t-il? Vous attendez un peu, le glaçon fond et le whisky se refroidit. Au début de l'opération vous aviez des températures distinctes, à la fin vous n'en avez plus qu'une: les deux températures se sont équilibrées. On a considéré cela comme une loi de la nature et on l'a appliquée à l'évolution cosmique. On s'est dit, en gros: il y a au début des corps chauds — les étoiles —, et des corps froids — les planètes. Conclusion: avec le temps, les écarts de température vont diminuer puis s'annuler. Or, lorsque tout est à la même température, rien ne peut plus se produire. C'est ce qu'on a appelé la mort thermique. A la fin du siècle dernier, on prévoyait que l'univers allait inéluctablement vers l'équilibre thermique — donc vers sa mort.

Vous imaginez tout ce qu'une telle conviction a pu déclencher comme réactions, en dehors même des cercles scientifiques. William James a dit, en substance, qu'il n'y avait plus aucune raison de se préoccuper de l'avenir, de s'efforcer d'améliorer les choses, puisqu'au bout, c'était le néant. Lévi-Strauss a repris l'idée, en insistant même sur le fait



que, plus on s'agitait, plus on se fatiguait, plus on augmentait le désordre, et finalement l'entropie. En somme, nos propres efforts ne pouvaient qu'accélérer la mort thermique.

■ **Rassurez-nous encore. On a trouvé une parade à la mort thermique?**

— Oui. A l'échelle des galaxies et des étoiles, la tendance à l'équilibre thermique ne se vérifie pas. C'est même le contraire qu'on constate : au cours des 15 milliards d'années passées, l'évolution s'est accompagnée d'une augmentation des écarts de température. Au début, aux tout premiers instants du big-bang, l'univers était isotherme. Puis, progressivement se sont créés des écarts de température. Si on veut parler de mort thermique, c'est dans le passé qu'elle a pu se situer, pas dans l'avenir!

■ **Et comment expliquer qu'on se soit à ce point trompé?**

— On ignorait l'importance de la gravité. La force de gravité a pour effet d'augmenter les écarts de température, non de les diminuer. Dans votre verre de whisky, la force de gravité est infime, on peut l'ignorer. Mais à l'échelle des galaxies, c'est autre chose. Comme vous voyez, cela change tout. Et sur le plan philosophique, par exemple, cela autorise à nouveau une vision d'espoir, une vision d'avenir où l'effort a un sens, où la lutte pour un monde meilleur est tout à fait justifiée.

■ **Dans cette vision d'avenir, que devient l'évolution naturelle? La pyramide de la complexité va-t-elle tout à coup s'arrêter? Et sinon, l'espèce humaine va-t-elle, à son tour, dans deux ou trois millions d'années, laisser place à quelque chose de plus complexe, de plus sophistiqué?**

— C'est une hypothèse qu'on ne peut évidemment pas exclure a priori. Le rythme des changements est en accélération constante. Les premières cellules sont apparues il y a 4 milliards d'années; les premiers organismes il y a 500 millions d'années. Le cerveau humain, lui, a moins de 2 millions d'années. Depuis, il a triplé de volume. Il est passé, en l'espace de ces 2 millions d'années, de 500 grammes à 1400 grammes. A partir de là, où va-t-on? Les choses peuvent continuer d'évo-

luer, mais vers quoi? On n'en sait rien, on est dans le noir total.

■ **Il n'est pas exclu que, dans deux autres millions d'années, leur cerveau continuant de se développer, les êtres humains ne soient plus que des cerveaux ambulants?**

— Sauf que le cerveau a besoin d'un corps qui remplisse toute une série de fonctions vitales. Mais enfin, la voie est ici libre à l'imagination la plus débridée.

■ **Laissons donc l'avenir lointain à nos lointains descendants et posons la question: dans cent ou deux cents ans, c'est-à-dire demain, la planète sera-t-elle encore habitable, vivable pour les humains?**

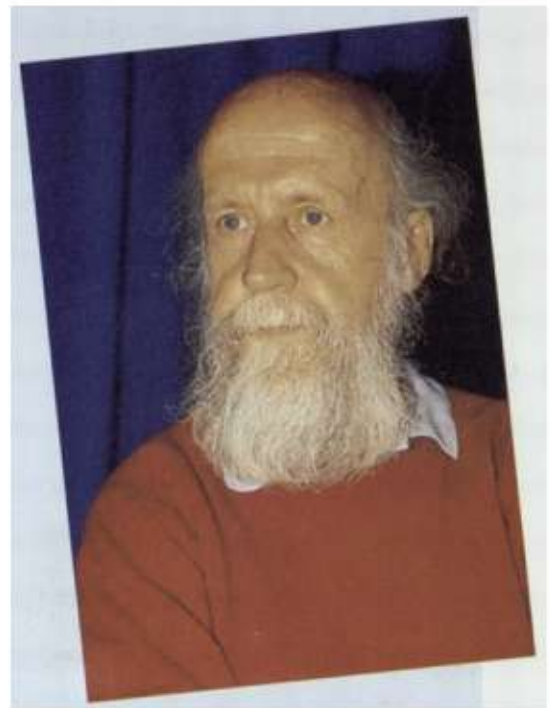
— Il y a certaines menaces très imminentes, et le monde commence à en prendre conscience. *Le Courrier de l'UNESCO* y a consacré, cette année, de nombreux articles. Les problèmes dits de l'environnement, la pression démographique...

■ **Partagez-vous l'opinion de certains hommes de sciences selon lesquels l'accroissement continu de la population mondiale constitue aujourd'hui la première des menaces?**

— Il y a là un grand danger. Mais je n'en ferai pas le grand danger. Je m'explique. D'où vient la menace la plus lourde? Du gaz carbonique rejeté dans l'atmosphère. Qui est le principal responsable de ce méfait? Ce n'est pas la population du tiers monde, qui est pourtant numériquement la plus forte; c'est la population des quelques pays les plus riches et les plus industrialisés. 10 % de l'humanité rejettent plus de 80 % du gaz carbonique dans l'atmosphère. Le principal facteur de danger, ici, c'est moins le facteur numérique qu'un facteur socio-politique, qu'une répartition très inégalitaire des richesses dans le monde.

■ **Comment une meilleure répartition écarterait-elle le danger de gaz carbonique?**

— Nous sommes aujourd'hui 5 milliards; en 2050 nous serons 12, ou peut-être même 15 milliards. La question est de savoir si on peut assurer à ces 15 milliards un niveau de vie convenable, qui soit par ailleurs compatible



avec les grands équilibres écologiques, avec, si vous voulez, la santé de la planète. Ce niveau de vie convenable sera évidemment très supérieur à celui que connaît le tiers monde aujourd'hui, mais il sera aussi, nécessairement, inférieur à celui dont bénéficient les pays les plus riches à l'heure actuelle. Nous, dans le Nord, devons cesser de gaspiller toute cette énergie, nous devons nous habituer à plus de frugalité.

Supposons que la répartition des richesses soit ainsi, en définitive, rééquilibrée. Les hommes auront trouvé les bases d'une solidarité, d'une justice, qui les réconcilient entre eux. Mais auront-ils pour autant trouvé les bases d'un accord qui réconcilie l'humanité avec la biosphère? Cela ne viendra certainement pas tout seul. Une répartition plus équitable des richesses constitue à cela un préalable, une condition nécessaire, mais non pas une condition suffisante. Il faudra, pour y parvenir, une formidable mobilisation des compétences, des talents, des énergies, à l'échelle mondiale. Une grande part des ressources de la science et de la technologie devront y être consacrées. Par rapport à cette mobilisation, celles qu'il a fallu mettre en œuvre, au cours des années 40, pour produire la bombe atomique, ou au cours des années 60 pour aller sur la Lune, paraissent un jeu d'enfant. Ce sera, pour le siècle prochain, le problème

majeur de l'humanité. Et c'est la raison pour laquelle celle-ci doit d'urgence résoudre les conflits politiques, économiques, ethniques, qui la déchirent encore, pour cesser de dilapider les forces, de consumer les énergies, dont elle a tant besoin sur le front de la lutte pour la survie générale.

■ *Il s'agit bien, selon vous, d'un problème de survie?*

— Si nous continuons à chauffer comme nous faisons aujourd'hui, dans les pays industriels, pour nos industries, pour nos voitures, pour notre confort ménager, que ce passera-t-il? Nous rejeterons dans l'atmosphère de plus en plus de gaz carbonique. Et ce gaz, à son tour, continuera d'élever la température terrestre. Jusqu'à ce que cette température finisse par atteindre le seuil fatal — celui qui ne permet plus la reproduction de la vie. Oui, je parle bien d'une lutte pour la survie.

■ *Pensez-vous que les instances internationales devraient, à cette fin, être renforcées?*

— Il faudra certainement que nous ayons des instances de décision internationales disposant de plus de pouvoirs que celles d'aujourd'hui. Il faudra que, d'une manière ou d'une autre, les intérêts généraux de l'humanité puissent s'exprimer, être pris en compte et finalement prévaloir sur les différents égoïsmes. Sans quoi, il ne pourra être question de résoudre les problèmes dont nous parlons. Une certaine conscience de cette nécessité est en train de faire son chemin. Mais il faut aussi éviter les dangers d'une sorte de gouvernement mondial, d'une puissance sans contrepoids, qui deviendrait très vite redoutable. Il y a un équilibre à trouver. Je n'ai, hélas, pas d'idée là-dessus.

■ *Tant pis. Une dernière question, alors, qui nous emmène au loin, très loin de nos petits problèmes de terriens. Reprenons la pyramide de la complexité. Nous avons vu que, parti des premières particules on est finalement arrivé au cerveau humain. Cela s'est passé sur la Terre, planète ayant un certain nombre de caractéristiques, située à une certaine distance du Soleil, etc. Cette configuration particulière qui a permis l'apparition de la vie,*

*puis de la conscience, ne peut-on la retrouver ailleurs? N'est-il pas plausible que sur les milliards d'autres galaxies existantes, il y ait — ou il y ait eu — d'autres civilisations?*

— La première réponse à faire, c'est qu'on n'en sait rien. On n'a reçu aucun message, on n'a aucune preuve. Mais cela n'empêche pas la spéculation. Et là, c'est vrai, il y aurait plusieurs raisons de penser qu'il existe vraisemblablement de nombreuses civilisations extra-terrestres.

Pourquoi? Parce que les conditions qui ont permis l'apparition de la vie et de l'espèce humaine sur la terre ont de bonnes chances de se reproduire — ou de s'être depuis longtemps reproduites — ailleurs. Quelles sont ces conditions? L'existence d'une planète, d'une biosphère, dont la température n'est ni trop élevée ni trop basse — pour permettre l'eau liquide. On a tendance à penser que l'eau liquide est essentielle. Or, s'il fait trop chaud, cette eau s'évapore — comme sur Vénus ou Mercure —, et s'il fait trop froid, elle gèle — comme sur Mars. Seule la Terre est située à la bonne distance du Soleil: sa température se trouve donc dans une fourchette qui permet à la fois l'existence d'eau liquide et de gaz. Voilà ce qu'il faut, semble-t-il, pour que se développe la vie. Et bien, cela n'a rien d'exceptionnel.

Sur les 100 milliards d'étoiles de notre seule galaxie — sans parler des autres galaxies —, il doit bien y en avoir 2 milliards qui sont semblables au Soleil. Et si, comme on est en droit de le supposer, elles sont entourées de planètes, il y en a sûrement des millions, voire des centaines de millions, dont les conditions ressemblent à celles de la Terre. Conclusion: il peut y avoir un grand nombre, peut-être même un très grand nombre, de planètes habitées, où la vie a pu atteindre, à l'heure qu'il est, des stades très différents. Pour les planètes les plus récentes, on en est peut-être à quelque chose de similaire aux algues bleues qui peuplaient notre océan primitif, ou aux dinosaures que nous avons connus il y a quelque 200 millions d'années. Pour des planètes plus vieilles que la nôtre, on a peut-être atteint des niveaux plus évolués que le nôtre. Là aussi, l'imagination est libre de vagabonder. Place à la poésie. ■



# Les banlieues de l'infini

**E**T si c'est en regardant les étoiles que l'homme avait appris à se tenir debout? Cette hypothèse, pour fantaisiste qu'elle paraisse, n'est peut-être pas entièrement absurde si l'on considère la fascination que la voûte étoilée n'a cessé d'exercer sur l'humanité.

Aussi loin qu'on remonte dans l'histoire des sociétés, les hommes, dans leurs efforts pour expliquer l'origine et la nature de l'Univers, ont scruté les étoiles. Tous les phénomènes naturels, ou presque, auxquels ces hommes étaient soumis, semblaient venir du ciel. Le vent, la pluie et la neige, le tonnerre, les éclairs et l'orage qui mettaient leur existence en péril, le soleil qui mûrissait les produits de la terre ou, au contraire, la desséchait et la ravageait: autant de manifestations, à leurs yeux, de forces supérieures, inexplicables, qui se montraient tour à tour bienveillantes ou maléfiqes. Ces forces ont conduit l'homme, pour compenser sa relative carence instinctuelle, à développer ce qui apparaît comme sa marque distinctive: la curiosité.

Grâce à ce questionnement, qu'il a inlassablement poursuivi d'âge en âge, nous sommes mieux à même de comprendre aujourd'hui l'Univers. Le 23 avril 1991, le satellite COBE (*Cosmic Background Explorer*) de la NASA, l'agence spatiale américaine, a confirmé la théorie du «Big Bang», en découvrant des ondulations du rayonnement produit par cette déflagration initiale.

Les astronomes, pour mettre au point la théorie du «Big Bang», ont dû faire appel aux physiciens des particules. Or les premiers cherchent à comprendre la structure d'ensemble de l'Univers et pensent en années-lumière<sup>1</sup>; les seconds étudient les constituants de la matière à son niveau le plus élémentaire et à des distances très rapprochées<sup>2</sup>. Les premières fractions de seconde de la naissance de l'univers sont ainsi devenues le point de rencontre de l'infiniment grand et de l'infiniment petit. Suprême exemple de la démarche de l'esprit humain qui, dans tous les domaines, tend à lier le particulier à l'universel.

Une autre manifestation de ce principe se retrouve dans l'aventure de la conquête spatiale. Les satellites qui, par centaines, tournent autour du globe, nous livrent un flot d'informations sur tout, des courants océaniques aux mouvements de surface, de la prospection agricole au déboisement, des ressources en eau douce aux gisements miniers. Nous disposons, pour la première fois, d'une vue synoptique du monde que nous habitons.

Mais le savoir permet aussi bien de détruire que de construire, de servir les hommes que de les aliéner, de protéger la nature que de la saccager. On a longtemps cru que l'espace était à l'abri de cette dialectique, qu'il était trop vaste pour être, en quoi que ce soit, affecté par l'action des hommes. On commence à se rendre compte qu'il n'en est rien.

Depuis le lancement du premier Spoutnik en 1957, on a mis sur orbite, en moyenne, un nouveau satellite tous les deux ou trois jours — satellites de communication pour la plupart. Nous sommes ainsi entrés doucement, presque imperceptiblement, dans l'«ère de la communication». Et dès lors sont apparus les premiers dangers.

Le danger le plus évident vient de la présence d'une masse flottante de débris d'anciens satellites, d'étages supérieurs de lanceurs de fusées ou de résidus divers. Plusieurs dizaines de milliers d'objets de cette sorte, capables malgré leur petitesse d'endommager un vaisseau spatial, sont maintenant en orbite autour de la Terre.

Autre nuisance menaçant tant l'astronomie optique que la radioastronomie: la luminosité croissante qu'émettent les grandes villes suréclairées et les interférences radio dues aux satellites de communication. Les astronomes, d'une voix de plus en plus pressante, réclament la création, dans le spectre radio, de «réserves», et celle de zones de faible éclairage pour préserver l'observation du firmament.

Après avoir si longtemps scruté le ciel, l'homme, aujourd'hui, se lance à sa conquête. Saura-t-il tirer les leçons de ses errements avec le monde fini pour explorer plus sereinement l'infini? ■

La planète Saturne et deux de ses lunes photographiées par la sonde Voyager-1 le 3 novembre 1980 à 13 millions de kilomètres de distance.

1. Une année-lumière est une unité de longueur équivalant à la distance parcourue en un an par la lumière, qui se propage dans le vide à une vitesse voisine de 300 000 km à la seconde.

2. De l'ordre de 0,00000000001 centimètre ou au-dessous. (N.D.L.R.)

# L'ère du satellite

par Nigel Henbest

**Depuis le lancement de Spoutnik-1 en 1957, plus de 4 000 satellites ont été mis en orbite**

**L**A conquête de l'espace a commencé le 4 octobre 1957 avec le lancement, par l'Union soviétique, de Spoutnik-1, le premier objet artificiel placé en orbite autour de la Terre. Même si ce satellite pionnier n'a fait guère plus qu'émettre un bip-bip, il a frayé avec éclat la voie menant à l'orbite terrestre. Depuis, plus de 4 000 satellites ont été lancés qui s'acquittent d'une multitude de tâches. Certains font des relevés de la Terre pour la prospection de ses ressources, la prévision météorologique ou la surveillance militaire, d'autres scrutent l'espace au moyen de télescopes spécialisés. D'autres encore transmettent des signaux de téléphonie et de télévision autour du globe; enfin d'autres, moins nombreux, transmettent des signaux précis pour la navigation. Parmi les plus grands d'entre eux figurent les satellites habités, c'est-à-dire les stations spatiales et les vaisseaux qui font la navette entre elles et la Terre.

Tous ces satellites sont placés sur des orbites différentes, correspondant à leurs diverses fonctions. L'orbite la plus facile à atteindre est celle qui est la plus proche de la Terre et qui fait parcourir au satellite une trajectoire ouest-est se rapprochant de l'équateur. Plus l'orbite est basse, moins il faut d'énergie pour l'atteindre. Et, lorsqu'un satellite est lancé vers l'est, il bénéficie d'une vitesse accrue, en raison de la rotation de la planète d'ouest en est.

## **LES SATELLITES EN ORBITE TERRESTRE BASSE**

Lorsqu'ils sont très lourds, les vaisseaux spatiaux, habités ou pas, sont presque toujours placés en orbite terrestre basse. Il en est ainsi de la navette spatiale américaine, qui évolue à une altitude voisine de 250 km, et de la station spatiale soviétique Mir, qui se trouve 100 km plus haut. Le télescope spatial Hubble, vaisseau lourd non habité, a une orbite similaire. Il étudie la lumière des objets cosmiques les plus éloignés sans être gêné par l'effet de brouillage de l'atmosphère terrestre. Quoique son miroir principal soit, hélas, défectueux, il envoie vers la Terre des images qui sont bien plus nettes que toutes celles que peut produire un télescope terrestre.

Même s'il est aisé d'atteindre une orbite terrestre basse, il se pose néanmoins un problème délicat. L'atmosphère terrestre ne s'arrête pas de manière abrupte à l'altitude de 200 km, là où, selon une formule abusive, «commence

l'espace». Certains gaz raréfiés s'étendent bien plus loin, en se raréfiant encore à mesure que croît l'altitude. La navette spatiale américaine et la station Mir voguent ainsi sur les vestiges lointains de l'atmosphère terrestre. Ce faisant, elles perdent peu à peu de l'énergie orbitale et retombent vers la Terre dans un lent mouvement de spirale.

Pour la navette spatiale, cela ne porte pas à conséquence car elle ne reste en l'air que pendant quelques jours. En revanche, les cosmonautes à bord de la station Mir doivent actionner leurs propulseurs de temps à autre pour contrebalancer la perte d'énergie orbitale. Le laboratoire spatial américain Skylab a été l'une des victimes spectaculaires du frottement atmosphérique. Il a été placé sur orbite à 435 km d'altitude en 1973. En dépit de cette «orbite terrestre basse» relativement haute, en six années le vaisseau, qui n'était plus habité, s'est tellement rapproché de la Terre qu'il s'est consumé dans les couches inférieures de l'atmosphère, éparpillant ainsi des débris brûlants sur la partie occidentale de l'Australie.

Certains satellites, d'un type particulier, frôlent régulièrement la mort en évoluant sur une orbite très basse: ils sont chargés d'une «mission de reconnaissance militaire», autrement dit, ce sont des satellites espions. Ils empruntent généralement une orbite elliptique dont le périhélie est de 200 km, voire moins. Leur durée de vie utile se borne à quelques mois. A cette altitude relativement faible, les appareils de prise de vues placés à bord peuvent distinguer des détails de l'ordre de quelques mètres. Les satellites espions sont lancés sur des orbites nord-sud, passant presque au-dessus des pôles, ce qui leur permet de surveiller l'ensemble de la planète.

Les satellites effectuant des relevés de la Terre, en particulier de ses ressources, suivent également des orbites polaires. Le pionnier dans ce domaine fut le satellite américain Landsat-1, lancé en 1972. Ses appareils de prise de vues et ses capteurs travaillant dans l'infrarouge firent aussitôt la preuve de leur utilité en observant les cultures et les forêts et en repérant les fléaux naturels (les nuages de criquets, par exemple) et les zones polluées. Précieux auxiliaires pour les géologues, ils font apparaître les structures susceptibles de renfermer des ressources précieuses: pétrole, minerais ou, dans les régions désertiques, cette ressource inestimable qu'est l'eau.





A la famille toujours active des satellites Landsat s'est ajoutée celle des satellites français SPOT, qui peuvent distinguer des détails encore plus petits. Pour leur éviter le frottement atmosphérique, on les a placés respectivement sur des orbites terrestres de 700 et 800 km. Les caméras hautement perfectionnées des satellites SPOT peuvent, dans les bandes de 117 km de large qu'elles balayent, distinguer jusqu'aux maisons. En vingt-six jours, ils couvrent ainsi l'ensemble de la planète.

Les satellites d'observation de la Terre font appel à deux types de capteurs. Les plus simples sont passifs: ils ne font que recueillir le rayonnement en provenance de la Terre, comme la lumière visible, mais surtout le domaine infrarouge, qui est le plus riche d'enseignements. Les divers types de végétations et de roches réfléchissent les infrarouges à des degrés diffé-

**Ci-dessus, lancement, le 2 août 1992, de la plate-forme Eureka-1, le premier porte-instruments récupérable européen, à partir de la navette Atlantis. En haut à droite, Spoutnik-1, le premier satellite artificiel de la Terre. Lancé par l'Union soviétique le 4 octobre 1957, il pesait 84,6 kg et décrivait une orbite autour du globe en un peu moins de 97 minutes.**

rents; en exploitant ce phénomène, les satellites Landsat ont obtenu des résultats impressionnants, notamment sur les plans agricole et minier.

Les capteurs actifs dont sont équipés certains satellites émettent des ondes radio, généralement des ondes courtes, et étudient la manière dont elles sont réfléchies par la surface de la Terre. Un simple radar peut révéler la forme du sol qu'il survole, voire des structures invisibles sous le sable des déserts. Utilisant des capteurs actifs, le satellite Seasat a étudié la surface des océans.

Autres satellites placés en orbite polaire: les satellites conçus pour observer le ciel; braqués dans sa direction, ils observent le rayonnement cosmique qui, ne pouvant franchir l'écran atmosphérique, se trouve hors de portée des télescopes situés au niveau de la mer. Parmi



ceux qui ont recueilli la moisson la plus riche, on citera le Satellite d'astronomie dans l'infrarouge — il a recensé plus d'un demi-million d'étoiles et de galaxies nouvelles en 1983 — et le fameux COBE (*Cosmic Background Explorer*), qui a apporté la confirmation de l'explosion initiale.

### LES SATELLITES EN ORBITE HAUTE

Les satellites de navigation doivent pouvoir être vus de points éloignés de la surface terrestre, aussi les lance-t-on sur des orbites relativement hautes. Les vingt-quatre satellites Navstar, qui constituent le *Global Positioning System* (réseau mondial de localisation), sont placés sur des orbites circulaires à une altitude de 20 200 km, inclinées à 55° sur l'équateur. A partir d'un point quelconque de la surface du globe, à tout moment, trois satellites au moins se situent au-dessus de l'horizon. En exploitant les signaux en provenance de ces satellites, le récepteur peut automatiquement définir sa position à 30 mètres près, voire moins. Ce réseau a des utilisations tant civiles que militaires: il a apporté une aide précieuse à des navigateurs solitaires ainsi qu'aux soldats progressant sur les reliefs incertains des déserts qui furent le théâtre de la guerre du Golfe en 1991.

Dans les années 60, ce qui était alors l'Union soviétique a lancé un programme de satellites de communication évoluant, eux aussi, sur de grandes orbites inclinées. Au lieu de parcourir une orbite circulaire, toutefois, les satellites Molnia se déplacent sur des orbites ovales étroites. A son périégée, un satellite Molnia passe en «rase-mottes» à 500 km de la surface de la Terre, puis s'éloigne vers son apogée situé à quelque 40 000 km au-dessus de l'ex-Union soviétique et il se déplace alors si lentement que les stations terriennes l'ont dans leur champ de vision pendant plusieurs heures.

Le temps que met un satellite pour parcourir son orbite dépend d'un seul facteur: la distance moyenne qui le sépare de la Terre. Plus un satellite est éloigné de la Terre, plus sa

période de révolution est longue. La navette spatiale, la station Mir, et tous les autres engins placés en orbite terrestre basse, ont une période de révolution de 90 minutes. Les satellites Navstar et Molnia se situent à une distance moyenne de la Terre de 20 200 km et ces deux types de satellites ont une période de révolution de 12 heures.

### UN MÂT D'ANTENNE DE 36 000 KM DE HAUT

Un satellite placé à une altitude de 35 880 kilomètres a une période de révolution de vingt-quatre heures. S'il parcourt une orbite circulaire au-dessus de l'équateur, il se déplace exactement au même rythme que le globe qu'il survole. Le satellite semble alors être en position stationnaire.

L'écrivain de science-fiction Arthur C. Clarke a remarqué, dès 1945, qu'un satellite placé sur cette «orbite géostationnaire» serait dans une position idéale pour relayer des signaux radio autour du globe: situé au sommet d'un mât invisible de 36 kilomètres de haut, il est visible de près de la moitié de la Terre. Clarke avait compris que trois satellites, placés à intervalles réguliers sur une orbite, pourraient relayer des signaux en provenance d'un point terrestre quelconque vers tout autre point.

La transmission par satellite des appels téléphoniques intercontinentaux et des émissions de télévision est désormais chose courante. La demande est si forte que sur l'orbite géostationnaire il y a maintenant plusieurs douzaines de satellites de communication, qui captent le

Un vaisseau spatial soviétique Soyuz est fixé à son lanceur, au cosmodrome de Baïkonour.

Une vue de Mexico prise en décembre 1989 par le satellite français SPOT.





**Station de contrôle spatial de Tidbinilla, en Nouvelle-Galles du Sud (Australie).**

signal d'un émetteur placé sur un continent, l'amplifient et le retransmettent à une grande antenne de réception d'une autre région du globe.

Ces dernières années est apparu un nouveau mode de transmission par satellite en orbite géostationnaire, appelé communément «télévision par satellite». Un satellite de télévision directe capte lui-aussi un signal venu du sol et le réexpédie vers la Terre, mais il transmet ce signal à une telle puissance que celui-ci peut être capté par une petite antenne parabolique raccordée à un téléviseur. Les émetteurs dont le satellite est équipé sont conçus pour ne couvrir qu'une petite fraction de la surface de la Terre; seuls les récepteurs placés dans cette zone étroite peuvent recevoir les programmes de télévision.

D'autres satellites encore s'égrènent tout au long de ce cercle imaginaire placé très haut au-dessus de l'équateur: ce sont ceux qui doivent pouvoir embrasser la Terre entière. Parmi eux figurent les satellites militaires, qui écoutent les communications électroniques d'autres pays et recherchent les taches de rayonnement infrarouge (chaleur) produites par le lancement des missiles. D'autres, au nombre d'une demi-douzaine, dont le satellite européen Météosat, observent les conditions météorologiques tout autour de la Terre, complétant ainsi les vues rapprochées prises par les satellites météorolo-

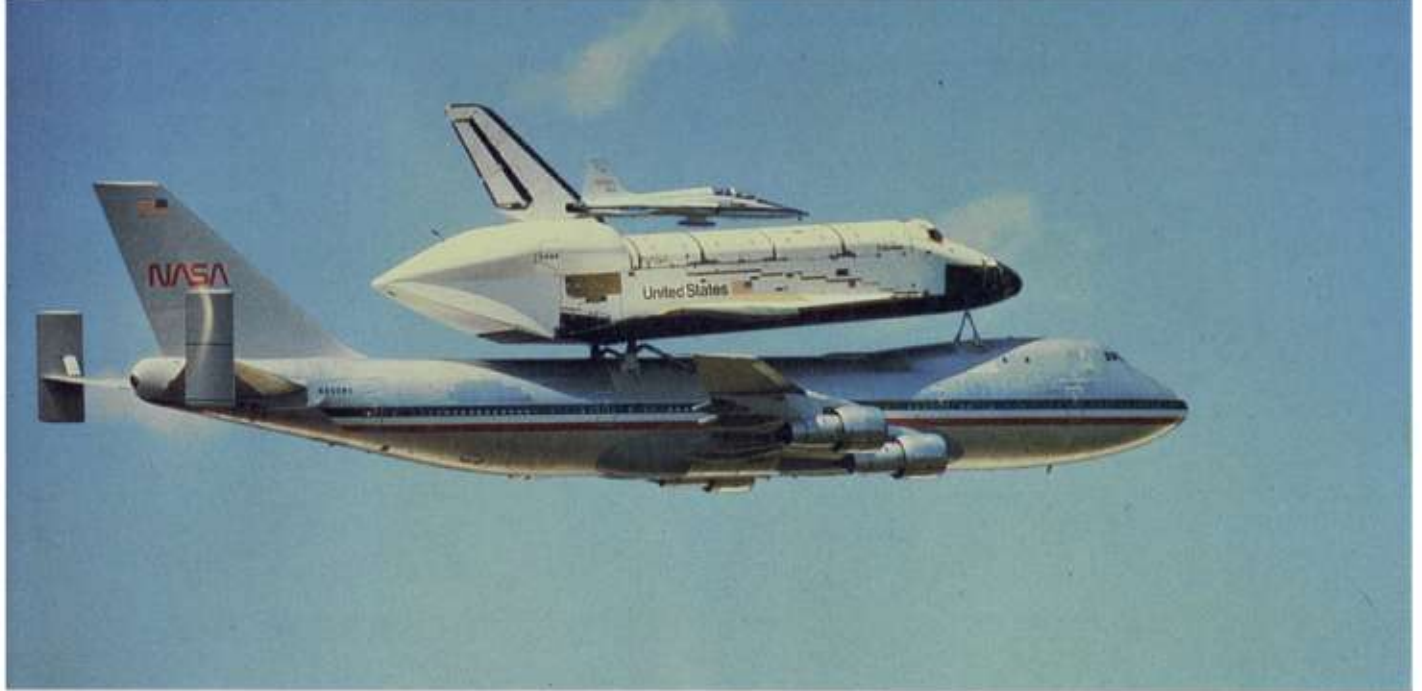
giques placés en orbite polaire basse, tels ceux de la famille des satellites américains Tiros.

### **LES SONDES SPATIALES**

Certains vaisseaux spatiaux automatiques sont allés bien au-delà de la Lune pour explorer ce que la NASA appelle l'«espace lointain». Une fois hors du champ de gravitation terrestre, ils cessent d'être des satellites de notre planète. On les appelle alors généralement des sondes spatiales.

Dès que l'on quitte notre planète, la force dominante est le champ gravitationnel du Soleil. Les sondes spatiales deviennent des planètes miniatures qui se déplacent, comme la Terre ou Jupiter, sur une orbite autour du Soleil. Principale différence, ils suivent une trajectoire très allongée qui leur permet d'aller de la Terre à une autre planète, ou, comme dans le cas de la sonde Giotto en 1986, d'intercepter la trajectoire d'une comète. Des vaisseaux spatiaux ont aujourd'hui frôlé toutes les planètes, à l'exception de Pluton, certains atterrissant même sur Vénus et sur Mars. Quatre d'entre eux (Pioneer-10 et 11, Voyager-1 et 2) s'éloignent actuellement du Soleil à une vitesse telle qu'ils finiront par échapper à l'attraction gravitationnelle de cet astre, pour s'enfoncer dans l'espace intersidéral.

Tous les vaisseaux spatiaux, qu'il s'agisse de satellites ou de sondes spatiales, doivent être



**Transport de la navette spatiale américaine**  
**Enterprise sur le dos d'un avion aménagé à cet effet, en vue d'un largage d'essai. Le troisième appareil est un avion d'observation volant à proximité.**

équipés de certains équipements de base. Et d'abord d'un système de stabilisation. Livré à lui-même, un vaisseau spatial se déplacera le plus souvent dans un mouvement chaotique. Pour le stabiliser, le meilleur moyen est de lui donner la forme d'un cylindre et d'imprimer un mouvement rotatif autour de son axe qui, tel un gyroscope en action, restera toujours pointé dans la même direction.

La plupart de ces satellites rotatifs sont équipés d'une caméra ou d'une antenne de communication qui doit être pointée dans une certaine direction, généralement vers la Terre, voire vers une station terrestre précise. Afin d'éviter que ces instruments ne fassent la toupie avec le vaisseau spatial, on les monte sur une plate-forme mue par un moteur lui imprimant un mouvement rotatif exactement inverse à celui du vaisseau spatial; ainsi, la plate-forme en contre-rotation se maintient dans une position constante dans l'espace.

Le plus souvent, les vaisseaux spatiaux complexes ne sont pas rotatifs. Ils sont maintenus dans l'orientation souhaitée par un système de «stabilisation tri-axiale», qui corrige les mouvements inopportuns du satellite de diverses manières.

La plupart des satellites font appel à une combinaison de petits propulseurs, de volants d'équilibrage placés à l'intérieur du vaisseau et de gros électro-aimants s'opposant au champ magnétique terrestre. Ces dispositifs peuvent aussi faire tourner le vaisseau spatial pour le pointer dans différentes directions en fonction des besoins — comme dans le cas du télescope spatial Hubble qui doit modifier son orientation pour pouvoir observer différents objets célestes.

Autre système fondamental: l'alimentation électrique. Presque tous les vaisseaux spatiaux tirent leur énergie des rayons du Soleil, convertis en énergie électrique par des panneaux de capteurs solaires. Dans le cas des satellites à rotation stabilisée, les capteurs solaires recouvrent toute la surface du cylindre. Les vaisseaux à stabilisation tri-axiale sont généralement dotés de cap-

teurs solaires placés sur de grands panneaux déployés; ces panneaux sont repliés et enroulés lors du lancement du satellite et se déploient lorsqu'il atteint son orbite.

Les vaisseaux spatiaux habités consomment plus d'électricité, aussi emportent-ils souvent des piles à combustible. L'oxygène et l'hydrogène en phase gazeuse y entrent en réaction, fournissant de l'électricité; l'eau produite par cette réaction a aussi son utilité. Pour les satellites espions, équipés de systèmes radar gourmands en électricité, on utilise de petits réacteurs nucléaires, avec les risques que cela représente en cas de retombée d'un de ces satellites vers la Terre. Les sondes spatiales qui naviguent vers Jupiter, ou au-delà, portent elles-aussi de petits réacteurs nucléaires, la lumière du Soleil, dans ces contrées reculées, étant trop faible pour alimenter les capteurs solaires.

Les ingénieurs qui conçoivent les satellites savent que chaque kilogramme de poids supplémentaire à expédier dans l'espace est coûteux: près de 20 000 dollars pour chaque kilo lancé en orbite géostationnaire. Aussi font-ils appel à des matériaux résistants mais légers comme la fibre de carbone et le titane. Ils doivent en outre veiller à ce que les équipements de bord soient maintenus à la température voulue.

La domestication de l'espace devrait se poursuivre sous cette forme pendant les années 90. Les satellites de communication et les satellites de radiodiffusion directe seront toujours plus nombreux et plus puissants et les programmes d'observation de la Terre se multiplieront d'ici à la fin du 20<sup>e</sup> siècle. Des satellites américains, européens, russes et japonais vont scruter notre planète et son atmosphère, dans le cadre d'un ambitieux programme international appelé «Mission vers la planète Terre». Ils observeront l'état naturel de la Terre et auront pour objectif de déterminer comment l'activité humaine engendre l'effet de serre et les trous dans la couche d'ozone, ainsi que d'autres types d'atteintes à l'environnement. ■

**NIGEL HENBEST,**  
 écrivain scientifique britannique, collabore à la revue *New Scientist*, dont il est également le conseiller en matière d'astronomie. Ancien radioastronome au laboratoire Cavendish de l'université de Cambridge, il anime une émission mensuelle consacrée à l'astronomie sur le réseau international de la BBC. Parmi ses publications récentes, il faut citer *The Universe* (L'Univers, 1992) et *The Planets* (Les Planètes, 1992).

# L'outil de la télédétection

UNE EXPÉRIENCE INDIENNE

**Météo, agriculture, pêche ou éducation, le satellite se révèle un auxiliaire précieux des pays en développement**

par **Kiran Karnik**

**B**EAUCOUP s'imaginent que la technologie de pointe est un mystérieux pactole réservé aux pays nantis et industrialisés. Il n'en est rien. La technologie spatiale, par exemple, peut être un atout précieux pour le développement, comme le montrent les applications qui en sont faites en Inde.

Les pays en développement manquent de beaucoup de choses: capitaux, vivres, terres, main-d'œuvre qualifiée. Et dès qu'il s'agit de tirer le meilleur parti des ressources dont ils sont pourvus, ou d'en découvrir de nouvelles, peu de techniques sont aussi rapides et fiables que la télédétection par satellite.

L'observation spatiale révèle dans certains cas des caractères topographiques non décelables au sol. L'emploi de la télédétection en Inde pour la prospection hydrogéologique en est un exemple. Sévèrement éprouvés par deux années consécutives de sécheresse, deux Etats

de l'Inde occidentale, le Gujarat et le Rajasthan, affrontaient une grave pénurie d'eau potable, notamment dans les régions rurales. En recoupant des images provenant du satellite américain Landsat et des satellites indiens IRS-1A avec des données diverses collectées dans le cadre d'une Mission nationale pour l'eau potable, on a pu repérer des réserves d'eau souterraines au voisinage des villages sinistrés.

Les résultats de cette campagne ont été spectaculaires: les techniques scientifiques de prospection — dont la télédétection — ont permis d'obtenir 90% de forages productifs, contre 45% avec les méthodes classiques. Depuis, on a recours à la télédétection pour prospector les points d'eau dans un rayon de 1,6 km autour de chacun des villages menacés de pénurie. Dans le domaine primordial du captage des eaux, on s'en sert pour choisir les meilleurs sites d'implantation des digues de retenue ou des

**Le S.H.A.R. (Sriharikota High Altitude Range), le plus important site de lancement de satellites de l'Inde.**



**Le satellite au service de la classe. La télédiffusion directe par satellite est utilisée en Inde depuis deux décennies.**



citernes de percolation, qui doivent contribuer à recharger les nappes phréatiques ainsi qu'à réduire les pertes en eau et l'érosion des sols.

La déforestation pose un problème d'une gravité croissante dans nombre de régions en développement confrontées à des populations de plus en plus pléthoriques. Dans ces cas, la télédétection est un moyen de mesurer objectivement l'étendue du couvert végétal et de surveiller son évolution. En Inde, par exemple, elle a permis de constater que le couvert forestier était sensiblement inférieur aux estimations qu'on en faisait et que le reboisement s'imposait d'urgence. Une enquête menée par satellite ayant montré par la suite que près de 30% de la superficie du pays était devenue inutilisable, l'Inde s'est lancée en 1985 dans un vaste programme de réhabilitation des terres.

### **ALERTE AUX OURAGANS**

Les pêcheurs indiens ne sont pas les derniers à profiter de ces nouvelles technologies spatiales. Grâce aux informations fournies par les satellites sur les températures superficielles de la mer et divers autres paramètres océaniques, on peut en effet localiser les meilleurs zones de pêche. Sur toutes les côtes de l'Inde, les pêcheurs attendent avec impatience les prévisions qui les guideront vers les bancs de poissons.

Avec autant d'intérêt, mais plus d'appréhension, ils guettent aussi des informations sur les grandes perturbations atmosphériques. Ils sont aujourd'hui les premiers à bénéficier d'un système d'alerte expérimental qui a été mis en place sur la côte est, particulièrement touchée par les cyclones. Une centaine de stations d'alerte y ont été créées: elles sont toutes reliées au centre de Delhi, qui prévient ses correspondants par satellite de l'imminence des ouragans ou des cyclones. Dans les villages exposés, cette alerte

déclenche automatiquement une sirène, suivie de la diffusion par haut-parleur d'avertissements et d'instructions sur les mesures à prendre. Le satellite s'est révélé en l'occurrence plus efficace que les moyens de communication ordinaires.

Pour les pêcheurs perdus en mer, il existe déjà un système de repérage par balise, dont on s'efforce de produire une version locale. Lors d'un naufrage, le signal de la balise est capté par plusieurs satellites, qui le renvoient à une station au sol. Celle-ci est alors en mesure de préciser son origine exacte et de guider les équipes de secours. Grâce à la technologie spatiale, on ne verra peut-être plus jamais dans les journaux des manchettes annonçant la disparition en mer de centaines de pêcheurs.

### **MÉTÉO AGRICOLE**

En Inde comme dans la plupart des pays en développement, l'agriculture reste tributaire des pluies; dans toutes ces économies agraires, il est vital de pouvoir prévoir le temps avec exactitude. A cet égard, la télédétection, qui contribue à une meilleure compréhension du climat mondial, est à l'origine d'une véritable révolution. Les satellites sont devenus, en effet, un instrument essentiel de l'observation des phénomènes atmosphériques.

Les données météorologiques communiquées par une centaine de stations d'observation automatiques sont collectées par un centre de traitement via le satellite indien Insat-1, lequel transmet également des clichés de la couverture nuageuse pris toutes les demi-heures. Ajoutées à d'autres informations fournies par satellites ou recueillies par les méthodes classiques, ces données permettent de suivre dépressions et cyclones et d'annoncer leur passage. Pour prédire le temps, l'agriculteur indien continue peut-être de scruter le ciel à la recherche de nuages,

#### **KIRAN KARNIK,**

de l'Inde, est directeur, à l'Organisation indienne de recherches spatiales (ISRO), de l'Unité de communication pour le développement et l'éducation. Il a participé à la conception et à la mise en place du réseau indien de satellites intérieurs, l'INSAT, et a joué un rôle décisif dans l'Expérience de télévision éducative par satellite (SITE), menée conjointement par l'Inde et les Etats-Unis. Il a été également responsable du Projet de Kheda relatif à la communication. Cette expérience originale d'émissions locales de télévision centrées sur le développement a reçu le premier prix UNESCO/PIDC (Comité intergouvernemental du programme international pour le développement de la communication) pour la communication rurale.



mais il peut aussi contempler les photos satellite prises à 35 000 km d'altitude qui font désormais l'ordinaire des bulletins quotidiens de la télévision indienne.

Comment ces images télévisées — qu'il s'agisse de prévisions météorologiques, de nouvelles techniques agricoles ou de spectacles de variétés — atteindront-elles les villages les plus reculés du pays? Là encore, dans les pays du Sud aux infrastructures insuffisantes, la technologie spatiale semble être la meilleure, sinon la seule, solution. La télévision diffusée par satellite (et relayée par transmetteur ou réseau câblé, ou encore directement reçue par antenne parabolique) est devenue chose courante. Pourtant, dans ces villages perdus, la petite antenne qui capte le signal du lointain satellite est un objet quasi miraculeux qui joue un rôle à la fois pédagogique, informatif et ludique. Elle est le lien ténu qui rattache des communautés rurales isolées au reste du monde. Economique, rapide et efficace, la retransmission par satellite des émissions de radio et de télévision offre une couverture territoriale d'une ampleur inégalée.

Le réseau Insat, qui relie tous les transmetteurs radio et télévision du pays et possède par ailleurs des canaux de diffusion quasi directe à haute puissance constitue un précieux auxiliaire dans les domaines sanitaire et éducatif (aux niveaux du primaire, du secondaire et de l'enseignement supérieur, ainsi que pour l'éducation des adultes et la formation continue).

Les satellites de communication amplifient considérablement les capacités des réseaux téléphoniques. Des régions isolées du Nord-Est de l'Inde ou à partir de l'une quelconque des îles disséminées dans le golfe du Bengale, ils vous permettront de joindre un parent ou un ami dans n'importe quelle ville indienne ou même à

l'étranger, abolissant la notion même de distance. Une technologie offrant un moyen rapide, aisé et bon marché de communiquer avec une métropole éloignée ou une communauté voisine n'est nulle part plus nécessaire que dans les régions démunies et écartées des pays en développement.

La télédétection trouve en Inde de très nombreuses applications, dont la surveillance de la pollution hydrique et atmosphérique, l'évaluation des superficies cultivées et de leur rendement, l'étude de la fonte des neiges afin de prévoir l'alimentation en eau des réservoirs du Nord et de réguler la production d'énergie hydro-électrique ou l'irrigation. Elle a également son utilité dans la prospection minière, la planification urbaine, le tracé des canaux et des autoroutes, l'étude de l'habitat des espèces sauvages et des ressources halieutiques dans les eaux douces ou saumâtres.

L'information est un bien précieux qui a toujours été rare dans les pays en développement. Désormais, grâce à la télédétection, ceux-ci peuvent réunir efficacement, et à peu de frais, tous les renseignements dont ils ont besoin sur l'état de leurs ressources essentielles. C'est ainsi que l'Inde a mis en place un ambitieux Système national de gestion des ressources naturelles, qui exploite notamment les nombreuses données fournies par la télédétection.

Bien souvent, les progrès techniques ne font que creuser l'écart entre pays industrialisés et pays en développement. Ce n'est pas le cas de la technologie spatiale, qui peut tourner à l'avantage de ces derniers en leur donnant la possibilité de s'affranchir de méthodes dépassées pour passer directement à des systèmes efficaces et rentables, en faisant l'économie des étapes intermédiaires. ■

**Pulsage de l'eau d'irrigation dans le Rajasthan (Inde). Le réseau de satellites indiens IRS aide à localiser les points d'eau souterrains près des villages frappés par la sécheresse.**





# Mars: le rêve et la réalité

**Avec ou sans martiens,  
la planète Rouge continue  
de fasciner la Terre**

**par Francis Leary**

«**S**UR l'autre rive de l'espace, des esprits qui sont aux nôtres ce que les nôtres sont à ceux des bêtes périssables, des intelligences vastes, cruelles et hostiles contemplaient notre Terre avec des yeux envieux et tramaient lentement et sûrement leurs plans contre nous.»

Cette vision apocalyptique est celle de H. G. Wells dans son roman célèbre *La Guerre des mondes*, paru en 1898, et ces intelligences vastes et hostiles sont celles des martiens qui se préparaient à envahir et conquérir la Terre. Car Mars, la planète Rouge portant le nom du dieu de la guerre, était un astre mourant, bien plus ancien que notre globe. Sachant que la planète Mars était beaucoup plus éloignée du Soleil que la Terre (235 millions de kilomètres contre 150), Wells pensait qu'elle avait reçu moins de chaleur et s'était refroidie plus rapidement, mais aussi que la vie y était apparue plus tôt et que ses habitants disposaient donc d'une technologie largement supérieure à la nôtre.

Beaucoup d'astronomes de son temps pensaient comme Wells. Observant en 1876 la surface de Mars, Giovanni Schiaparelli y avait découvert tout un réseau d'entailles sinueuses qu'il avait baptisées «canaux» et qui, à ses yeux, ne pouvaient qu'avoir été creusées par les eaux.

Travaillant à Flagstaff (Arizona), dans l'air clair et sec du désert, l'Américain Percival

Lowell était encore plus catégorique. Pour lui, ces «canaux» avaient bien été creusés par les martiens pour acheminer l'eau gelée des pôles vers l'équateur où le climat plus chaud était plus favorable à la vie. La carte détaillée des «canaux» de Mars établie par Lowell allait convaincre beaucoup de gens que Mars était bien habitée, et par des êtres assez évolués pour entreprendre d'aussi grands travaux.

Il y a toujours eu des gens à l'esprit aventureux, impatient de faire reculer les frontières de nos découvertes. Pour eux, la vie sur Mars était un article de foi comme les richesses fabuleuses des Indes occidentales l'avaient été pour Colomb. Et de même que Colomb avait bravé les abysses de la mer océane, ils n'étaient nullement impressionnés par ces quelque 50 millions de kilomètres séparant Mars de la Terre. Ils voulaient croire que l'homme n'est pas seul dans l'immense univers, et qu'il existe, quelque part, d'autres êtres intelligents avec qui nous aurions tôt ou tard à communiquer.

Encore H.G. Wells avait-il une formation scientifique. Il s'était efforcé de réunir un minimum de données pour étayer sa thèse. D'autres romanciers allaient donner plus librement cours à leur imagination. Edgar Rice Burroughs, le créateur de Tarzan, avait inventé un royaume martien, Barsoom, habité par cinq races de couleurs différentes: la rouge, la plus



Dans cette illustration d'une étude de la NASA sur «L'exploration humaine du système solaire au 21<sup>e</sup> siècle», deux cosmonautes explorent les canyons de Mars.

haute dans la hiérarchie et la plus proche des êtres humains, la verte, la blanche, la jaune et la noire. Dans ce royaume débarquait un gentleman virginien, John Carter, propulsé là-bas grâce au pouvoir d'une vieille sorcière vivant dans une grotte de l'Arizona. Les inventions de Burroughs connurent un succès énorme, et *La princesse de Mars*, paru en 1917, inaugurerait une série de contes et romans martiens qui allaient passionner des millions de lecteurs.

### LES VOYAGEURS DE LA TOUSSAINT

Vingt et un ans plus tard, en 1938, un autre Welles, prénommé Orson, allait démontrer la puissance du fantôme martien. Agé alors de 23 ans, Welles produisait une émission de théâtre radiophonique hebdomadaire. A l'occasion de la Toussaint, il décida de donner une adaptation de *la Guerre des mondes*.

Mais pas n'importe quelle adaptation: Wells voulait faire une émission hyper-réaliste, sous forme de reportage, depuis le lieu supposé de l'action. Personne ne savait si cela allait marcher et quelques minutes avant de prendre l'antenne, il restait encore des détails du scénario à régler.

Le résultat dépassa tout ce qu'il avait pu imaginer. Après l'annonce de l'émission, on proposa aux auditeurs un programme de musique de danse retransmis depuis le «Park Plaza Hotel» de New York (qui n'avait jamais existé) par un orchestre tout aussi fantaisiste. Et soudain, la musique fut interrompue par un bulletin d'information.

C'est là que le génie de Welles allait donner sa pleine mesure. Son premier communiqué annonçait simplement qu'un énorme objet cylindrique venait de s'écraser dans le New Jersey, près de Princeton, creusant un cratère profond dans le sol. «Et maintenant, à vous le studio pour écouter l'orchestre de Rafe Racquelson depuis le Park Plaza.»

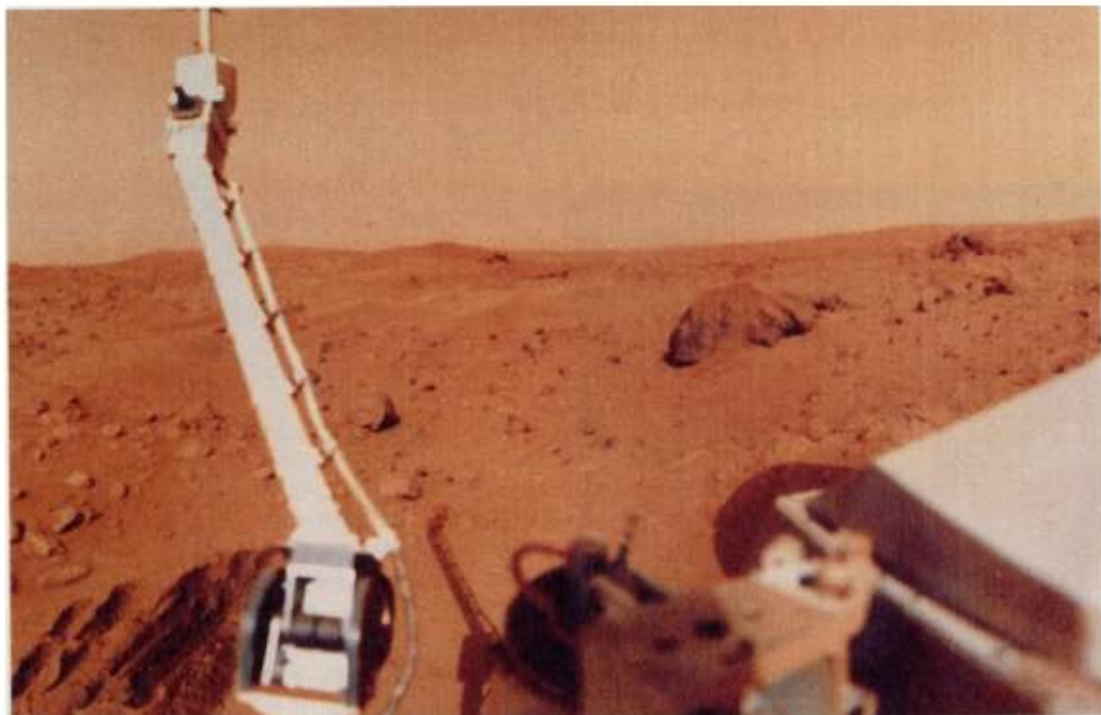
On entendait alors un journaliste entrer

précipitamment dans le studio pour signaler des nouvelles alarmantes: le cylindre venait de s'ouvrir, livrant passage à «un être difforme, de la taille d'un ours, dont la masse grise et visqueuse luisait comme du cuir mouillé». Le monstre n'avait pas de menton, mais «une bouche en forme de V qui tremblait et salivait continuellement» et «des touffes de tentacules, comme une espèce de pieuvre».

Soudain une voix docte et grave se faisait entendre, celle du professeur Pierson de l'Université de Princeton (en réalité Orson Welles lui-même), pour expliquer aux auditeurs que l'horrible créature pourrait bien être un visiteur venu de la planète Mars. C'est alors qu'on annonçait l'apparition d'un premier robot géant, émettant un rayon mortel qui réduisait tout en cendres autour de lui. Un peu partout, des appels signalaient l'apparition d'autres engins, d'autres robots, qui convergeaient vers New York, semant la mort et la désolation sur leur passage. Pendant que Welles décrivait les scènes de panique dans les rues, des milliers de Newyorkais terrifiés s'agitaient effectivement en tout sens pour tenter d'échapper aux martiens. Mais Welles, imperturbable, poursuivait son «reportage» au milieu des cris et des hurlements des sirènes. Finalement, le studio de CBS lui-même fut envahi, non par quelque robot géant de Mars, mais par les policiers newyorkais furieux, qui ordonnèrent à Welles de cesser immédiatement cette plaisanterie.

Le plus frappant, c'est qu'au milieu de cette panique, personne, semble-t-il, n'eut la présence d'esprit d'écouter une autre station de radio pour vérifier l'information. C'était l'époque de Munich, tout le monde sentait la guerre imminente, alors, les nazis ou les martiens...

Pour en revenir aux théories de Lowell sur les canaux «créés» par les martiens, Alfred Russel Wallace, qui partage avec Darwin la paternité de la théorie de l'évolution, en avait



Une sonde Viking étudie le sol de Mars en 1976.

démontré l'inanité dès 1908. Prouvant que la température moyenne sur Mars était largement inférieure à zéro degré centigrade, Wallace concluait que ces canaux fameux étaient probablement des failles géologiques à la surface de la planète rouge. Mais le savant n'était lu que par une poignée de gens, alors qu'ils étaient des millions à dévorer les chroniques martiennes de H.G. Wells, Edgar Rice Burroughs et Ray Bradbury. Et à écouter la voix fatidique d'Orson Welles en ce jour mémorable d'automne 1938.

### LA VIE SUR MARS

Il faut dire qu'à l'encontre de Wallace, niant catégoriquement toute possibilité de vie sur Mars, un astrophysicien aussi éminent que Carl Sagan s'est dit persuadé que les «canaux» de Mars ont fort bien pu être creusés par le ruissellement des eaux. Quelles eaux? Celles qui sont actuellement emprisonnées dans les calottes glaciaires et le permagel des pôles, répond Sagan. Selon lui, Mars n'est pas la planète des glaces éternelles; le climat y connaît des périodes cycliques de froid et de réchauffement, lorsque les nuages de poussière venus de l'équateur obscurcissent les pôles, favorisant l'absorption des rayons du soleil. L'atmosphère se réchauffant, les glaces fondent. L'absence de nuages sur les pôles inverse le processus, qui s'étend évidemment sur des durées considérables.

Jusqu'en 1971, aucun engin spatial n'avait pu s'approcher à moins de 9 600 kilomètres de Mars. Cette année-là, la sonde Mariner-9 a pu être placée sur orbite à 1 300 kilomètres de la planète Rouge: sur les milliers de photos qu'elle a prises, on peut distinguer des détails de l'ordre du kilomètre. Elles montrent des étendues rocheuses, désertiques, et des chaînes de volcans dont le plus élevé est trois fois plus grand que l'Everest.

Les photos de Mariner-9 ont confirmé la présence des fameux canaux et d'un gigantesque canyon de 3 200 kilomètres de long et 8 kilomètres de profondeur, Valles Marineris. Bien qu'ayant un diamètre deux fois inférieur à celui de la Terre (6 780 kilomètres), Mars compte la même superficie de terres émergées. La planète Rouge étant plus éloignée, elle met 687 jours, au lieu de 365, pour tourner autour du soleil, mais

les journées y ont quasiment la même durée. La gravité est trois fois moindre environ sur Mars, ce qui signifie qu'un homme de 72 kg n'en pèserait plus que 27. L'atmosphère, dont la densité est environ le centième de celle de la Terre, est composée essentiellement de gaz carbonique, avec environ 3% d'azote. Les températures sont très contrastées, de 105 degrés centigrades au-dessous de zéro aux pôles à 20 degrés centigrades à midi à l'équateur.

Mars ne semble pas pouvoir accueillir les formes de vie supérieure que nous connaissons sur la Terre. Pourtant, le succès de Mariner-9 a incité l'Agence américaine de l'espace (la NASA) à envoyer deux sondes observer le sol de Mars et y déceler éventuellement des micro-organismes. Le 20 juillet 1976, Viking-1 se posait sur Mars, sept ans, jour pour jour, après que le premier homme eut marché sur la Lune; il fut suivi, 45 jours plus tard, par Viking-2. Pour que la sonde se pose sans problème, on avait choisi un sol meuble, qui ne présentait aucun autre intérêt particulier. Viking-1 se trouvait à l'extrémité d'un canyon dans la région de Chryse Planitia, et Viking-2 à 3 000 kilomètres au nord-est, dans celle de Cydonie.

Les sondes Viking ont pris 50 000 photos et prélevé, au moyen d'un bras mécanique, des échantillons qui ont été ensuite analysés chimiquement et biologiquement. Mais on n'y a trouvé trace d'aucun micro-organisme ou élément à base de carbone, ce qui fut une grosse déception, car tous les organismes vivants, sur la Terre, contiennent du carbone.

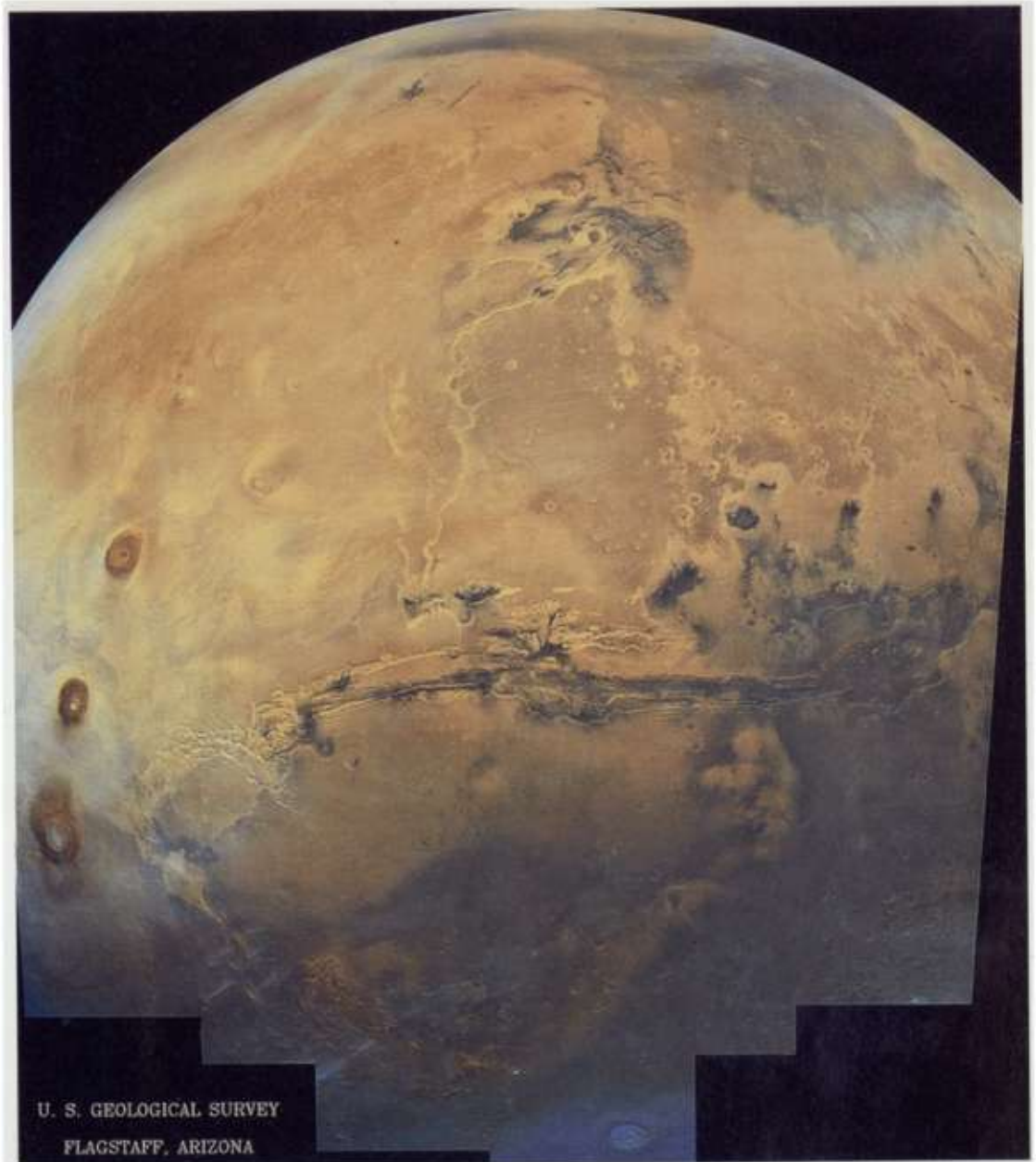
Les ingénieurs de la NASA se consolèrent en étudiant les magnifiques photos en couleur reçues de la planète rouge; les gros plans montraient des paysages qui n'étaient pas sans évoquer, sous leur ciel rose, ceux du désert de l'Arizona, et qui, avec de l'air et de l'eau, auraient pu devenir habitable. D'ailleurs, Michael Collins, qui pilotait Apollo-11 pendant que son coéquipier Armstrong posait le pied sur le sol lunaire, a raison de souligner que les engins Viking n'ont exploré qu'une infime partie du sol de Mars. Et l'on en saurait certainement beaucoup plus si l'on avait disposé d'un engin mobile, comme ce fut le cas sur la Lune.

L'ex-URSS s'était lancée elle aussi dans la course vers Mars, mais sans grand succès. Des deux sondes lancées en 1988 depuis le Kazakhstan pour explorer et photographier Phobos, le plus gros satellite de Mars, la première, Phobos-1, fut victime d'une erreur de trajectoire due à une fausse manœuvre et la seconde, Phobos-2, devint muette alors qu'elle approchait du but.

En ce qui concerne la NASA, son programme spatial a connu de sérieux contretemps pour des raisons budgétaires (dépassement des crédits) et après la catastrophe de février 1986, lorsque les sept occupants de la navette Challenger périrent carbonisés dans leur engin. Tous les vols, habités ou non, furent interrompus pendant 21 mois. Mais le 25 septembre 1992, une sonde automatique, Mars Observer, était lancée par une fusée Titan depuis cap Canaveral pour un voyage de 11 mois de la Terre à Mars. Mise en orbite à 390 kilomètres au-dessus des



**Carte détaillée de Mars établie par l'astronome américain Percival Lowell (1855-1916), sur laquelle on voit le réseau de canaux qu'il croyait l'œuvre de créatures intelligentes.**



Un hémisphère de Mars apparaît presque intégralement sur cette mosaïque d'images prises par la sonde Viking Orbiter-1 en 1980.

pôles, la sonde photographiera une douzaine de fois toute la surface de Mars, avec des images à faible résolution permettant d'étudier les calottes glaciaires et les dunes de sable, et un appareil de prise de vues équipé d'un téléobjectif permettant de distinguer des détails de l'ordre de 1,4 mètre. Ces photos permettront peut-être de déceler des traces de vie, existante ou fossilisée, et d'expliquer où est passée la masse d'eau qui semble avoir irrigué Mars voici quelques millions d'années.

Dans la foulée d'Observer, si l'on peut dire, les Russes comptent lancer en 1994 et 1996 deux fusées Proton vers Mars, dans le cadre d'une expédition russo-britannique. Une fois mise sur orbite, la première fusée libérera deux sondes d'une quarantaine de kilos chacune, conçues à l'Université de Kent et construites par l'Agence spatiale européenne, qui devraient s'enfoncer de quelques mètres dans le sol pour y chercher des traces de glace souterraine. La deuxième fusée parachutera un ballon de fabrication française gonflé à l'hélium, qui effectuera des observations photographiques et météo à

1 000 mètres d'altitude. Elle embarquera également un petit robot mobile pour explorer la surface. Toutes les données ainsi obtenues seront retransmises grâce à un système français de relais embarqué sur Observer.

Toujours en 1996, un vaisseau spatial japonais étudiera les couches supérieures de l'atmosphère de Mars. Pour la première fois, cinq nations vont ainsi coopérer dans le domaine spatial — tout cela en prévision d'une expédition habitée vers Mars au siècle prochain, entreprise qui ne sera possible qu'avec la coopération technique de nombreux pays.

Finirons-nous par coloniser la formidable planète rouge et créer un nouveau monde sous son ciel rose? Il faudra d'abord «terraquer» Mars, comme le propose Arthur C. Clarke dans *Les dunes de Mars*, c'est-à-dire réchauffer l'atmosphère et créer les conditions de la vie végétale. Est-ce vraiment possible? Personne n'est en mesure de le dire, pas plus qu'on ne pouvait prévoir en 1492 ce qu'allaient découvrir, au-delà de l'horizon, les trois caravelles d'un certain Christophe Colomb. ■

**FRANCIS LEARY**, écrivain et journaliste américain, a notamment publié *The Golden Longing* (La nostalgie dorée), une étude sur la vie dans l'Europe du 15<sup>e</sup> siècle, et trois romans, *This Dark Monarchy* (Cette monarchie obscure), *The Swan and the Rose* (Le cygne et la rose) et *Fire and Morning* (Le feu et le matin).

# Face à face avec l'infini

par Nicolai  
Roukavichnikov

**Un grand cosmonaute russe s'interroge sur  
l'avenir des vols habités**



**L**E 12 avril 1961, Iouri Gagarine, fils d'un charpentier de la ville de Gzhatsk, près de Moscou, devenait le premier homme à voyager au-delà des confins de la Terre. Depuis lors, près de 250 terriens se sont aventurés dans l'espace et quelques-uns ont même marché sur la Lune.

Pour certains de ces voyageurs, l'espace est tout au plus l'extension d'un laboratoire terrestre, à cette différence près que dans l'espace, la gravité n'existe pas. D'autres, toutefois, se sont aperçus que leur perception de l'espace-temps avait été bouleversée, et ont dû procéder à une sérieuse réadaptation psychologique à la suite de leur expérience spatiale.

Le jour où je me suis moi-même retrouvé dans l'espace, j'ai tout de suite été frappé par le contraste inattendu entre la luminosité de notre petite planète, et les ténèbres infinies de l'espace cosmique. Une pensée me taraudait: c'était en bas que s'était déroulée toute l'histoire de l'humanité. En bas que se trouvaient les Etats,

les frontières, les guerres, l'amitié, l'amour, bref ce qui fait la vie des hommes. Par rapport à la majesté impressionnante de l'espace, tout cela me paraissait infinitésimal.

## LE MAILLON FAIBLE

Cette expérience m'a convaincu qu'auprès des systèmes technologiques dont sont équipés les vaisseaux de l'espace, l'homme est l'élément le plus faible et le plus fragile d'un vol spatial. A la suite de l'Année internationale de l'espace (1992), une réflexion sur le rôle que l'homme est destiné à jouer dans la poursuite de l'exploration de l'espace me paraît s'imposer. Il s'agit de répondre à la question suivante: les vols spatiaux habités sont-ils une bonne ou une mauvaise chose? Tout compte fait, l'équipage d'un vaisseau spatial joue-t-il un rôle utile?

L'histoire tranchera la querelle qui divise cosmonautes, savants et experts en deux camps: les «cosmophiles» et les «terraphiles». Les premiers sont convaincus que les «cités satelli-

**NICOLAÏ ROUKAVICHNIKOV**, cosmonaute du programme spatial de l'ex-Union soviétique, pilotait le vaisseau Soyouz-33 lorsque son moteur principal tomba en panne (voir l'article). Il s'intéresse particulièrement à la place à réserver aux techniques de pilotage manuel et automatique dans les vaisseaux spatiaux.



**Ci-dessus, Nicolai Roukavichnikov (au premier plan à gauche) à bord du Soyouz-10 avec deux autres compagnons de vol.**

taires» représentent l'avenir. Pour eux, 50% de la population du globe y vivra d'ici à la moitié du 21<sup>e</sup> siècle. De leur côté, les «terraphiles», animés d'une conviction aussi forte, pensent que pour toute une série de raisons, l'humanité restera éternellement sur Terre et les vols habités dans l'espace cesseront.

Les arguments avancés sont de deux sortes: les uns sont techniques, les autres d'ordre psychologique, voire philosophique.

Qu'est-ce qui, sur le plan technique, est susceptible de limiter les possibilités de vie humaine dans l'espace? Tout d'abord, nous l'avons déjà dit, la fragilité physique et psychique de l'être humain par opposition à la puissance de la technologie.

Les systèmes techniques d'un astronef, par exemple, peuvent supporter d'énormes variations de température face auxquelles les êtres humains sont extrêmement vulnérables. Pour survivre, un homme a besoin d'une température stable d'environ 20°C. Le véhicule spatial doit

donc être équipé d'un dispositif compliqué capable de maintenir une température constante.

Ces systèmes techniques peuvent également fonctionner dans une atmosphère constituée de gaz inertes, sous des pressions variables, ou même dans le vide. En revanche, il faut garantir à l'homme une atmosphère de type terrestre, avec une teneur spécifique en oxygène et une proportion exacte de gaz carbonique et de vapeur d'eau, sous une pression atmosphérique virtuellement identique à celle qui règne sur Terre. Les systèmes techniques n'ont besoin pour fonctionner que d'être alimentés en électricité, alors qu'il faut aux êtres humains une alimentation diversifiée. En outre, les systèmes en état de marche ne dégagent guère plus que de la chaleur, alors qu'il faut prévoir l'élimination des déchets produits par l'homme.

Enfin, les systèmes techniques sont en mesure de fonctionner sous un large éventail de charges mécaniques dues à l'accélération — allant de la gravité zéro à des surcharges gravitationnelles plusieurs fois supérieures à la pesanteur terrestre. L'être humain, quant à lui, doit être spécialement protégé si on veut lui éviter des lésions organiques graves pouvant aller jusqu'à la mort.

### **LE CODE DES COSMONAUTES**

Malgré tous les efforts des constructeurs pour produire des engins parfaitement fiables, malgré la batterie d'essais auxquels ceux-ci sont soumis, il est évident que, de nos jours, tout vol spatial implique un grand risque. Nous savons pertinemment que tous les équipages ne reviennent pas.

Ce risque est très bien perçu, par les responsables au sol comme par tous ceux qui se préparent à un vol spatial. Avant le décollage, la conscience du danger suscite chez ces derniers un sentiment d'inquiétude et une tension psychologique certains.

Sergueï Korolev, l'homme qui a construit les premières fusées, puis les vaisseaux spatiaux soviétiques, en était très conscient. Je me souviens de conseils qu'il donnait à ceux d'entre



**A droite, la première sortie d'une femme dans l'espace. Svetlana Savitskaia, le 25 juillet 1984, a travaillé à l'extérieur de la station Saliout-7, à plus de 300 km de la Terre.**



nous qui étaient destinés à devenir des cosmonautes. Il insistait sur le fait qu'un vol spatial était affaire de pur volontariat; si l'un d'entre nous s'apercevait qu'il ne parviendrait pas à surmonter ses craintes et doutait de sa réussite, il lui suffisait de le dire, même au tout dernier moment avant le décollage. Il serait aussitôt remplacé, quitte à retarder le vol, ce que nul ne songerait à le lui reprocher.

Korolev jetait ainsi les bases d'un code déontologique à l'usage des cosmonautes. Pour lui, l'homme passait avant tout et retarder un vol spatial n'était qu'un petit prix à payer par rapport au danger que pouvait présenter un cosmonaute paralysé par la peur et privé de l'usage de ses facultés. Fort heureusement, de tels refus sont inconnus dans l'histoire des vols spatiaux.

Néanmoins, on peut noter une accélération du pouls, signe évident de stress, chez tous les cosmonautes avant le décollage. Si le vol se déroule normalement, si le matériel fonctionne bien, ce stress diminue graduellement. Que se passe-t-il néanmoins lorsque survient un événement inattendu qui met en danger la vie de l'équipage?

Tout le monde se souvient du vol américain Apollo-13, de l'explosion qui eut lieu dans ce vaisseau spatial lancé vers la Lune, et du drame si éprouvant qui se joua à bord. Le courage de l'équipage et le travail héroïque du centre de commandement, qui réussit à éviter le désastre, restent gravés dans nos mémoires. L'équipage survécut et revint sur Terre, mais au prix d'une tension énorme pour les cosmonautes, leurs familles, le personnel au sol et les centaines de millions de téléspectateurs qui suivirent l'opération de bout en bout.

### MON FLIRT AVEC LA MORT

Personnellement, j'ai vécu une expérience identique en 1979, lorsqu'on me confia le commandement d'un vol spatial soviéto-bulgare. Georgui Ivanov et moi-même décollâmes à bord d'un vaisseau Soyouz-33, avec pour objectif de nous amarrer à la station orbitale Salyout-6 et de procéder à un certain nombre de recherches pendant plusieurs jours.

Le vol débuta normalement, sans que rien ne

laisse prévoir le moindre problème. Mais à près de deux kilomètres de la station orbitale, au moment où nous mettions en marche le moteur principal afin d'effectuer les manœuvres d'approche, une énorme explosion se produisit à l'arrière du véhicule, qui tangua violemment, perdit sa stabilité et se mit à tourner de façon incontrôlable.

Je n'entrerai pas dans les détails techniques de l'incident. Disons qu'il s'agissait d'une défaillance du moteur principal. Non seulement cela rendait impossible l'arrimage à la station orbitale, mais cela signifiait également que notre vaisseau avait très peu de chances de pouvoir revenir sur Terre.

Georgui et moi pensâmes que seul un miracle pouvait nous sauver. Et ce miracle se produisit. Peut-être est-il entièrement dû à l'habileté des techniciens du centre de commandement et à la fiabilité du moteur de réserve. Nous ne sommes néanmoins pas parvenus tous les deux à nous débarrasser de l'idée que des forces surnaturelles étaient venues à notre secours. Pendant les dix-sept heures qu'a duré notre attente en orbite, nous n'avons cessé de craindre le pire. Ce ne furent pas, je peux vous le garantir, les dix-sept heures les plus agréables de ma vie.

Il y a ceux qui soutiennent que le facteur risque sera réduit à l'avenir et qui déplorent le côté froid et «sans âme» des vols spatiaux non habités. Pourtant, des cosmonautes continuent d'y laisser leur vie, et pour leurs proches, la souffrance est énorme. Dans ces conditions, les vols non habités paraissent infiniment préférables. Les risques ne disparaîtront jamais tout à fait. Il est extrêmement difficile de se protéger des radiations, du danger constitué par des météorites et, davantage encore, de la menace que représente la puissante attraction gravitationnelle des éventuels «trous noirs».

### À TRAVERS LE MIROIR DE LA PHYSIQUE

La vie en état d'apesanteur est une vie à la limite de l'endurance humaine. On éprouve la sensation d'avoir été projeté dans un anti-monde, d'avoir franchi le miroir des lois de la physique. On a l'impression de marcher sur les mains, avec le sang qui stagne dans les veines. De nombreux

**Cosmonautes en plein travail, à gauche dans la station orbitale Mir, à droite dans le vaisseau spatial Soyouz T-6.**



# ESPACE VERT

LE COURRIER DE L'UNESCO - JANVIER 1993



ÉDITORIAL

## Défendre le papier

par France Bequette

**D**ANS les pays industrialisés, on compte 3,3% d'analphabètes; dans les pays en développement, 35% et dans les 47 pays les moins avancés, 60%. Environ 130 millions de jeunes de 6 à 11 ans ne sont pas scolarisés dans les pays en développement, chiffre qui s'élève à 277 millions pour la tranche d'âge de 12 à 17 ans. Il existe, dans le monde, 44 millions de maîtres engagés dans l'éducation formelle, auxquels s'ajoutent les millions de personnes qui, à des titres divers, dispensent leur savoir de façon informelle. Tous ont besoin de l'écrit pour partager leur savoir; l'éducation, la culture ont besoin du livre, du magazine, du journal.

Or, le papier, à lui seul, représente de 30 à 50% du coût de l'édition, ce pourcentage atteignant 60% dans les pays où l'industrie du papier est encore embryonnaire. Il est fort difficile pour les pays non industrialisés de s'approvisionner, surtout parce que la terminologie employée par les spécialistes est trop complexe.

De nombreux utilisateurs du Sud demandent qu'on les aide à commander (en général à l'étranger) et à se faire livrer le papier «culturel», réservé aux usages les plus nobles: livres et journaux. En Jamaïque et en République Dominicaine, s'est créé un **Club des usagers du papier**. Acheter en gros et en rouleaux plutôt qu'en feuilles permet d'abaisser le prix de revient. En République-Unie de Tanzanie, les petits et moyens imprimeurs et éditeurs se sont unis pour collaborer et accroître leur indépendance. Un **Manuel des utilisateurs de papier** a été publié et une formation sur le terrain est prévue à l'intention des éditeurs.

Pour promouvoir l'alphabétisation et le droit à la culture, pour défendre une certaine idée de la communication, il faut défendre le papier. ■

25 Éditorial

26 Autour du monde

Dossier

28 ► Le papier, un trésor à respecter  
par France Bequette

30 ► L'agroforesterie, un nouvel espoir pour les paysans du Kenya  
par Jane Stevens

32 À travers les siècles  
D'où vient le soleil?



## AUTANT EN APORTE LE VENT

Aux Etats-Unis, pays en pointe dans ce domaine, l'énergie éolienne a connu un développement anarchique dans les années 80. Après avoir acquis une mauvaise réputation, le vent comme source d'énergie fait un retour en force. Considérablement perfectionnées, les machines actuelles, équipées de turbines très efficaces, sont relativement simples et bon marché; les coûts de production au kilowatt/heure ne ces-

sent de baisser. Dans ce pays, l'électricité d'origine éolienne fournit déjà 1 600 mégawatts (équivalant à la consommation domestique d'une ville comme San Francisco). Mais c'est en Europe, surtout en Allemagne, au Danemark et aux Pays-Bas, que le programme de développement de cette énergie aussi propre que renouvelable est aujourd'hui le plus avancé. ■

## VIVE LE BARRAGE D'ASSOUAN!

Alors que les écologistes protestent de plus en plus violemment contre les barrages, et qu'on a dit beaucoup de mal de celui d'Assouan, Asit K. Biswas, ancien président de l'Association internationale des ressources en eau, en donne une appréciation posi-

tive: «L'énorme coût de sa construction a été récupéré en moins de deux ans seulement, grâce à l'augmentation de la production agricole et hydroélectrique. Sa valeur économique pour le pays a été démontrée à la suite de plusieurs années de sécheresse soutenue et d'inondations potentiellement catastrophiques. Quoique sa construction soit à l'origine de certains problèmes environnementaux — dont l'érosion du lit du fleuve et l'impact sur la pêche —, ils ont été bien moins graves que prévu. Certaines conséquences, comme l'augmentation des maladies transmises par l'eau, sont dues plutôt au manque d'hygiène.» Le barrage, selon lui, a largement contribué au développement socio-économique égyptien. ■



## LES AMÉRICAINS SUR LES CÔTES

La population des Etats-Unis s'est développée davantage, entre 1940 et 1990, le long des côtes qu'à l'intérieur du pays, surtout sur les rives de l'Atlantique et du Pacifique. En 1990, près de la moitié des Américains habitaient à moins de 80 km des océans. Cette poussée démographique entraîne un développement de ces régions et menace la vie sauvage et les écosystèmes particulièrement fragiles. Or, ce phénomène se généralise: 60% des habitants de la planète vivent déjà sur une frange littorale de 60 km de large. Selon les prévisions des Nations Unies, en l'an 2000, les trois-quarts de la population du monde y seront concentrés. ■

## EXPLOITER LES MINES SALIT LA PLANÈTE

Dans son traité sur les minerais, *De re metallica*, publié en 1556, le géologue allemand Georgius Agricola écrit: «Les champs sont dévastés par l'exploitation minière (...) Forêts et bosquets sont coupés, car il est besoin d'une quantité infinie de bois pour les poutres, les machines et les fonderies de métaux. Et, quand les forêts et bosquets sont abattus, les animaux et les oiseaux sont exterminés (...) De plus, lors du lavage du minerai, l'eau utilisée empoisonne fleuves et ruisseaux et empoisonne ou fait fuir les poissons.»

Actuellement, des projets miniers menacent près de la moitié des parcs nationaux sous les tropiques. La fonderie des métaux libère chaque année des millions de tonnes de dioxyde de soufre et d'autres polluants dans l'atmosphère. Elle est responsable de la stérilisation de plus de 10 000 hectares et d'une grande partie des pluies acides du globe. Curieusement, les effets de cette activité humaine sont passés sous silence. Il ne sera pas facile de freiner la boulimie de métaux du monde de l'industrie, mais il va sûrement falloir la surveiller. ■



## PEUT-ON HABITER LES BARRIOS DU VENEZUELA?

Le Venezuela a aujourd'hui le plus fort taux d'urbanisation du continent sud-américain. Au cours des années 70 et 80, des Vénézuéliens ont émigré massivement vers les villes, espérant participer aux bénéfices tirés du pétrole. Ils se sont retrouvés nombreux dans les «barrios», des quartiers pauvres qui se développent à la périphérie des grandes villes. Constitués de constructions anarchiques qu'on qualifie d'habitat spontané, le nombre des barrios a doublé depuis 1978. Les habitants sont pauvres; ils n'ont aucun droit reconnu sur les terrains qu'ils occupent. Le prêt de 40 millions de dollars consenti par la Banque Mondiale au FUNDACOMUN, l'organisme décentralisé chargé de réhabiliter ces quartiers, servira à y améliorer la qualité de vie. Pour que les habitants y participent, il est prévu de leur donner les terres qu'ils occupent. ■

## UNE POLITIQUE D'ENVIRONNEMENT AU CAMEROUN?

### AMIS DE LA TERRE, AMIS DES ARBRES

A Lomé, au Togo, un groupe *Amis de la Terre* est né. Avec l'aide de l'organisation non gouvernementale *Solidarité Forêt*, les Togolais ont planté des arbres. De petits périmètres d'eucalyptus pour fournir du bois de feu aux villages de la région de Kloto, des pépinières de teck pour lutter contre la désertification. Original: une pépinière produit 15 000 plants d'arbres d'essences variées, destinés à ombrager les rues, les places publiques et les jardins. ■

Le Cameroun, dit-on, est une réplique de l'Afrique en miniature. Tous les climats, tous les sols y sont représentés. Or, le pays est confronté à de multiples problèmes: désertification au nord, pollution marine au sud, exploitation anarchique des forêts, déchets industriels et ménagers qui s'amoncellent. En avril 1992, à l'occasion du Sommet de la Terre à Rio, le gouvernement camerounais se dote d'un ministère de l'environnement et des forêts. Un groupe de réflexion internationale est alors chargé de proposer une politique globale au nouveau ministre. Une mission multidisciplinaire se rend sur place en septembre 1992. Son but: ne pas se contenter d'émettre des vœux,

mais proposer une série d'actions concrètes et développer les contacts pour en assurer le financement. Une expérience en vraie grandeur qu'il sera passionnant de suivre. ■



# LE PAPIER, UN TRÉSOR À RESPECTER

par France Bequette

**S**i parfaitement familier, le papier, tel que nous le connaissons aujourd'hui, est d'invention récente. Pendant plus de 4 000 ans, le papyrus sert les civilisations des rives de la Méditerranée. Dans son *Histoire naturelle*, Pline l'Ancien, l'écrivain latin, décrit ainsi la préparation du roseau: «On prépare le papier en divisant à l'aiguille le papyrus en bandes très minces, mais aussi larges que possible. On les étale sur une table inclinée, humectée avec l'eau du Nil, puis on en pose d'autres dessus, transver-

salement, en forme de treillage, on les soumet à la presse et cela fait une feuille qu'on sèche au soleil.» Le papyrus fait sa dernière apparition officielle en Europe en 1057. Le parchemin, une peau d'animal, le remplace, mais il est cher.

Les premières feuilles de papier, c'est-à-dire une matière feutrée constituée par l'enchevêtrement de petites fibres de cellulose, voient le jour en Chine, à Canton, en 123 avant notre ère. Tsai Lun, alors ministre de l'agriculture, recommande d'utiliser l'écorce de mûrier et le bambou pour obtenir une feuille souple et polie. En 751, des prisonniers chinois, capturés à Samarcande par les Arabes, initient ces derniers à cette technique. En 794, des fabriques sont fondées à Bagdad, puis à Damas. On en trouve plus tard à Alexandrie, Tripoli, Tunis, Fez, Valence en Espagne, Palerme en Sicile, Gènes, Sienna et Fabriano en Italie. Le papier arabe est fait de chiffons (de lin surtout), broyés entre deux meules.

Pendant longtemps en Europe, «le chiffon, écrit l'historien Georges Detersannes, s'affirmera comme la matière première indispensable à la fabrication du papier. Sa relative abondance, avec celle de l'eau, sera la raison déterminante de l'implantation de l'art de la papeterie dans telle ou telle région». Jusqu'au 18<sup>e</sup> siècle, les chiffons sont collectés par des marchands qui les trient: les blancs sont vendus deux fois plus cher que les noirs. C'est aussi jusqu'à cette époque que l'on blanchit les feuilles en les étendant sur un pré. Dès la seconde moitié du 18<sup>e</sup> siècle, on emploie du chlore qu'on mélange, par la suite, à du lait de chaux. L'utilisation de ce

chlorure de chaux est devenue et reste universelle. A la même époque, le bois a remplacé le chiffon.

## *Au service de la forêt*

«L'industrie papetière est propice au développement et à la bonne gestion des forêts», affirme Francis Cailliez, spécialiste des recherches forestières. Cette position va sans doute surprendre tous ceux pour qui produire du papier signifie détruire les arbres. «Une belle forêt est une forêt gérée, entretenue.» Couper un arbre est une nécessité, quand celui-ci est arrivé à maturité, pour donner leur chance aux jeunes arbres alentour et les laisser prospérer. Les coupes dites «d'éclaircie» fournissent des grumes destinées à la menuiserie et à la charpente. Les têtes d'arbres et les branches deviennent bois de chauffage ou pâte à papier. Les bois malades, petits ou mal conformés, sont également parfaits pour cet usage. «Les deux principales menaces qui pèsent sur la forêt sont les catastrophes naturelles comme les grands incendies. Viennent ensuite l'agriculture itinérante et le pastoralisme. Très loin derrière, se situe l'exploitation du bois», poursuit Francis Cailliez, qui a consacré vingt ans à étudier les forêts tropicales. Celles-ci ne sont pas menacées par le papier, mais bien plutôt par une exploitation anarchique.

Il existe, au monde, trois massifs forestiers principaux: en Amazonie, en Asie du Sud-Est et en Afrique centrale. C'est dans les deux premiers que l'on constate des exemples d'une déforestation mal contrôlée. La cuvette d'Afrique centrale, qui représente 500 millions d'hectares, comprend le Cameroun,

### **Du bois au papier.**

**Ci-dessous, des billots rassemblés pour le transport parmi les pépinières, les jeunes plants et les arbres adultes d'une forêt de Norvège. En bas, une montagne de copeaux dans une fabrique de papier française.**





**Un technicien surveille la préparation de la pâte à papier.**

le Gabon, le Zaïre, la République centrafricaine et le Congo. Sa chance? Etre peu peuplée. En effet, une forte croissance démographique est ennemie de la forêt, non seulement en raison des prélèvements de bois de feu et du développement de l'agriculture par l'homme, mais aussi par le surpâturage des troupeaux qu'il élève pour survivre. Il n'est pas étonnant, alors, qu'une région abandonnée par ses habitants connaisse une régénération de sa forêt. C'est le cas, par exemple, des savanes côtières du Gabon, surpeuplées à une époque et presque dépourvues d'activités humaines aujourd'hui.

Les pays, comme le Canada et la région scandinave, qui ont pour spécialité de produire de la pâte à papier, possèdent des forêts très bien gérées. La plus grande forêt artificielle d'Europe, celle de pins maritimes qui occupe plus d'un million d'hectares dans les Landes, dans le sud-ouest de la France, fournit trois papeteries implantées sur place. Pour augmenter la rentabilité du bois, les scientifiques travaillent à mettre au point le meilleur des pins, c'est-à-dire celui qui pousse vite, droit, sans trop de branches, résiste à la sécheresse, au gel, aux maladies, aux insectes et aux champignons.

Les travaux portent leurs fruits. Il fallait soixante-cinq ans pour faire un bel arbre. Quarante ans vont bientôt suffire. La forêt landaise a su doubler sa production entre 1962 et 1987, passant de 4,7 m<sup>3</sup> à 9 m<sup>3</sup> par hectare et par an.

#### *Eucalyptus et vieux papiers*

Toutefois, comme l'écrit Francis Cailliez, «en matière de plantation forestière, le conflit qui oppose parfois les tenants des espèces locales aux tenants des espèces introduites semble s'apaiser. L'opinion dominante est qu'un effort de plantation sans précédent est à engager afin d'alléger la pression sur les formations naturelles, de stocker du carbone, de satisfaire les besoins des populations en bois et en autres produits forestiers et de produire des biens exportables (...) Qu'il s'agisse de bois de feu, de bois d'œuvre ou de bois destiné à la fabrication du papier, les exotiques (notamment les eucalyptus, si souvent décriés) semblent donc maintenant avoir leur place reconnue». L'eucalyptus, qui s'est très bien adapté à la savane côtière du Congo, près de Pointe Noire, parvient à maturité au bout de sept ans. La qualité de sa fibre convient très bien à la fabrication du papier.

Aussi, on trouve des plantations intensives d'eucalyptus non seulement au Congo, mais au Brésil et en Asie du Sud-Est. Des recherches se poursuivent, par ailleurs, pour faire du papier à partir de la paille.

Mais le plus simple n'est-il pas de faire du papier avec...du papier? L'Europe, qui a produit près de 32 millions de tonnes de pâte à papier vierge en 1991, a consommé plus de 25 millions de tonnes de papiers usagés. Près de 50% du papier consommé est du papier recyclé, proportion qu'on retrouve dans le papier servant à fabriquer les journaux. Une feuille de papier supporte sept recyclages. Mais une bonne récupération dépend avant tout de la qualité du tri. Aux citoyens de s'habituer à placer leurs vieux papiers dans les conteneurs prévus à cet effet, qu'on trouve en nombre croissant dans les villes et les villages. Un petit geste tout simple qui évitera de gaspiller cet irremplaçable support de l'écrit. ■

---

**FRANCE BEQUETTE,**  
journaliste franco-américaine  
spécialisée dans l'environnement,  
participe depuis 1985 au  
programme WANAD-UNESCO de  
formation des journalistes africains  
d'agences de presse.

---

# L'AGROFORESTERIE, UN NOUVEL ESPOIR POUR LES PAYSANS DU KENYA

par Jane Stevens

**W**ELLINGTON Ojuok, 67 ans, paysan à Maseno, sur les Hautes Terres du Kenya, hoche la tête en contemplant ces cultures inhabituelles: de longues rangées de jeunes plants de maïs vert alternant avec des rangées de petits arbres touffus.

«Le maïs pousse mieux en compagnie des arbres, mais la taille de ces derniers est un gros travail. J'attends de voir d'autres résultats avant d'en planter dans tous mes champs», dit-il en désignant du geste les six hectares de maïs en contrebas des bâtiments de sa ferme.

Nous sommes en vue du lac Victoria, à un jet de pierre de l'équateur. Ojuok et 51 autres paysans de la région se sont lancés, il y a dix-huit mois, dans un projet de cultures associées destinées à amender les sols. Dans leurs champs de maïs, ils ont

intercalé des rangées de légumineuses dont l'intérêt est de «fixer» l'azote de l'air dans le sol, pour le plus grand profit des plantes voisines.

Deux ou trois fois par an, les paysans coupent les branches feuillues des arbres et les répandent sur le sol, nourrissant de cette fumure végétale leurs plants de maïs. Les feuilles, en se décomposant, libèrent de l'azote ainsi que d'autres matières fertilisantes tirées par les racines des arbres des profondeurs du sol. Riches en protéines, elles fournissent par ailleurs un bon fourrage et du combustible pour la cuisine.

Cette expérience, également poursuivie dans des douzaines de localités africaines, s'inscrit dans un effort international pour mettre au point et diffuser des techniques agroforestières — associant la sylviculture aux cultures vivrières et à l'élevage — susceptibles de freiner la dégrada-

tion des terres agricoles et de l'environnement.

Les cultivateurs kényens, comme nombre de leurs collègues africains, sont confrontés à l'appauvrissement des sols et à la décroissance de leurs rendements. Chaque année, ce sont 25 millions de tonnes de terre végétale qui disparaissent. Jadis, Ojuok et les autres agriculteurs de la région n'avaient guère à se soucier de la fertilité des sols, car ils avaient suffisamment de terres pour pouvoir les mettre en jachère, ainsi que pour y élever des vaches qui donnaient de la fumure animale pour fertiliser leurs cultures. Mais l'augmentation de la population a entraîné la réduction de la taille des exploitations.

«Il n'y a plus assez de terres pour la jachère, ni pour l'élevage de bestiaux producteurs d'engrais», déclare Eva Ohlsson, une agronome de la station expérimentale de Maseno, où des chercheurs du Conseil international pour la recherche en agroforesterie (CIRAF) collaborent avec leurs homologues des instituts agroforestiers kényens.

L'agroforesterie est devenue une branche à part entière de l'agriculture dans les années 70, quand on s'est aperçu que la majeure partie des petits agriculteurs démunis resteraient à l'écart de la Révolution verte. Trop pauvres pour acheter des pesticides et des engrais ou pour irriguer leurs champs, ils étaient condamnés à arracher leur maigre subsistance à des terres de plus en plus ingrates. Les procédés de l'agroforesterie recélaient pour eux la promesse d'une production durable de culture vivrières, de combustible, de matériaux de construction et de fourrage.

Après sa création à Nairobi, en 1973, les agronomes du CIRAF ont sillonné l'Afrique, l'Inde, l'Asie du Sud-Est et l'Amérique latine à

Après un déboisement massif, ce paysage dénudé des environs du lac Nakuru, au Kenya, ne compte plus que quelques arbres en sursis.





**La campagne bien entretenue des hautes terres du Kisil, dans le nord-ouest du Kenya.**

l'écoute des problèmes des agriculteurs et en quête de solutions susceptibles d'être transposées dans d'autres régions. Dans la station expérimentale de Maseno, on fit pousser des arbres du monde entier pour déterminer quelles espèces s'adapteraient le mieux aux conditions locales. Une variété originaire du Mexique et améliorée en Chine se révéla particulièrement intéressante. Son action fertilisante sur le sol augmentait le rendement du maïs de façon si spectaculaire qu'il fut

décidé, en 1990, d'en faire l'essai pendant quatre ans dans des exploitations de la région, avec un financement de la Fondation Rockefeller.

Mais certaines expériences concluantes en laboratoire peuvent l'être moins dans la réalité. Les chercheurs du CIRAF s'aperçurent que les paysans, ne pouvant prendre le risque d'une baisse de leur production, leur réservaient les moins bonnes de leurs parcelles. Certains arbres n'étaient pas taillés aussi souvent qu'il l'aurait fallu car les femmes, qui en Afrique

assument la majeure partie des travaux agricoles, étaient surchargées par leurs tâches domestiques.

### *Le pari d'Ojuok*

Chez Ojuok, les vaches boudent les feuilles des légumineuses. Ailleurs, c'est le contraire: le bétail et les animaux sauvages en sont si friands qu'ils ravagent les plantations. Malgré les difficultés que lui font ses bêtes, Ojuok a tout de même remarqué que les arbres freinaient l'érosion des sols.

Mais si l'agroforesterie semble devoir rendre aux terres leur fertilité et permettre d'y pratiquer des cultures continues sans les épuiser, elle ne résout cependant pas tous les problèmes. Chez Serfina Ouko, par exemple, les terres sont très abîmées par l'érosion et de mauvaises façons culturales. «Je ne suis pas certains que nos méthodes suffiront à les amender», dit Rob Swinkels, un agro-économiste du CIRAF, devant le spectacle désolant de plants de maïs chétifs et d'arbres chlorotiques.

Au Kenya, 16 millions de petits paysans fournissent 60 à 70% de la production alimentaire du pays. Ojuok, qui les représente bien, préfère attendre une saison ou deux pour se prononcer sur les avantages et les inconvénients de l'agroforesterie. Les recettes qu'il tirera de la récolte de maïs et les profits accessoires devront compenser le terrain occupé par les arbres et l'effort supplémentaire consenti pour leur taille. Mais à terme, ce qui est en jeu, c'est la survie de la petite agriculture et le ravitaillement de populations entières. ■

---

**JANE STEVENS,**  
*écrivain et journaliste, est spécialisée en science et en technologie.*

---

*Le temps des rêves* (1985),  
peinture de  
l'artiste  
aborigène  
australien  
Gideon Tjupurla.



## D'OÙ VIENT LE SOLEIL?

*Conte aborigène d'Australie*

**P**ENDANT longtemps il n'y eut pas de soleil, mais seulement une lune et des étoiles. C'était avant qu'il n'y eût des hommes sur terre. Il n'y vivait que des quadrupèdes et des oiseaux, lesquels étaient plusieurs fois plus grands que ceux d'aujourd'hui.

Un jour Dinewan [l'émeu] et Brälgah [la grue d'Australie] se trouvaient dans une grande plaine près de la rivière Murrumbidgee. Ils se querellaient et combattaient. De rage, Brälgah courut au nid de Dinewan, y prit un des gros œufs qui s'y trouvaient et le jeta de toutes ses forces vers le ciel. Il s'y brisa contre un amas de bois à brûler qui s'enflamma au contact du jaune; et cette flamme illumina le monde inférieur, au grand étonnement de tous les êtres vivants, jusqu'ici habitués à une demi-obscurité, et qui furent aveuglés par cet éclat.

Un Esprit bon qui vivait dans le ciel vit combien brillante et belle était la terre lorsque s'éleva cette flamme. Il pensa que ce serait une bonne chose de faire un tel feu chaque jour. Et c'est ce qu'il a fait depuis. Toute la nuit lui et ses aides ramassent du bois et l'empilent. Et lorsque le tas est assez grand, ils envoient l'Etoile du matin avertir ceux de la terre que le feu sera bientôt allumé.

(...)

Quand les esprits allument le feu, il n'émet pas beaucoup de chaleur. Mais vers midi, tout le bûcher est en flammes, et il chauffe terriblement. Puis il s'éteint peu à peu jusqu'au soir, où il ne reste que quelques charbons rouges, lesquels s'éteignent, sauf quelques-uns que les Esprits couvrent de nuages afin de pouvoir rallumer un nouveau bûcher le lendemain.

■ Cette page est puisée dans une anthologie intitulée *Compagnons du soleil* (1992), coéditée par l'UNESCO, les éditions de la Découverte (Paris) et la Fondation pour le progrès de l'Homme. Cet ouvrage est placé sous la direction de l'historien africain Joseph Ki-Zerbo, avec la collaboration de Marie-Josèphe Beaud.



cosmonautes ont même connu une sorte de perte du sens de l'orientation, l'illusion d'avoir le dos collé au plafond ou la tête dirigée vers le bas.

La première expérience de l'état d'apesanteur est toujours désagréable, mais au bout de quelques jours, on commence à s'y faire. Cela ne s'arrête toutefois pas là: plus on reste en apesanteur, et plus on s'y habitue, jusqu'à finir par s'y sentir parfaitement à l'aise. Malheureusement, une telle adaptation est loin d'être bonne pour l'homme. S'il est ramené sur Terre dans cet état, il risque d'en mourir.

Les biologistes connaissent bien le problème. Ils savent que l'on ne doit pas permettre à l'organisme de s'habituer aux conditions d'apesanteur. Pour l'en empêcher, il faut suivre un programme d'exercices physiques pendant toute la durée du séjour dans l'espace. Des salles de gymnastique spéciales doivent être prévues à cet effet à bord des stations orbitales.

### LES ENFANTS DE LA TERRE

Forts de plus de trente années d'expérience, nous pouvons mesurer ce que représente, psychologiquement, le fait d'être arraché à la Terre et au reste de l'humanité pour se retrouver seul, face à face avec l'infini. La nostalgie de la Terre est alors pratiquement le seul soutien qui nous reste. Un séjour de plusieurs mois dans le monde clos d'une station spatiale est incontestablement, pour ceux qui le vivent, une épreuve dont on n'a pas fini de mesurer les conséquences à long terme.

Les «terraphiles» soutiennent que les êtres humains sont les enfants de la Terre et ne peuvent pas vivre au-delà de ses limites. Quant à ceux qui défendent les vols spatiaux habités, ils sont désormais plus circonspects et ne prétendent plus que la présence d'êtres humains dans l'espace est totalement positive. Ils continuent néanmoins à soutenir qu'il n'existe pas d'autre solution. Contrairement à un robot, disent-ils, un homme est capable de réflexion et peut réagir à l'imprévu. Pour l'instant, l'être humain est le plus parfait de tous les robots; il est capable de faire de ses mains un travail qu'aucun automate ne peut égaler. On ne compte plus les réparations délicates effectuées par les cosmonautes au cours des vols spatiaux. Ceux-ci auront un rôle à jouer dans l'espace aussi longtemps qu'ils y resteront, d'une certaine façon, irremplaçables.

Mais ne devrions-nous pas, alors, limiter le temps passé dans l'espace? Peut-être pourrions-nous opter pour des stations spatiales visitées périodiquement par des équipages qui n'y séjourneraient que le temps d'effectuer quelques réparations, de relever les résultats des recherches faites dans l'espace, ou de rapporter les objets qui y sont fabriqués.

A mon avis, nous pourrions nous passer aujourd'hui de vols spatiaux habités. Pour ce qui est de l'avenir, je pense qu'un compromis sera

atteint entre ceux qui sont en faveur d'un «espace sans hommes» et ceux qui soutiennent que les colonies de l'espace sont la seule réponse aux problèmes qui se posent sur la Terre.

Que se passerait-il si, comme cela risque de se produire, l'un de nos véhicules spatiaux se trouvait en présence d'une manifestation d'intelligence extra-terrestre lors d'un vol spatial? Seuls les êtres humains seraient capables de percevoir une telle présence, eux seuls sauront détecter et écouter les «voix intelligentes» de l'univers.

Pour conclure, il me semble que l'ère des vols habités, qui a commencé il y a une trentaine d'années, n'est pas encore achevée. Des centaines d'hommes et de femmes prendront le risque de ces vols et supporteront cette lourde charge de travail au nom de la grande aventure de l'espace. La curiosité inhérente à la nature humaine nous entraînera toujours plus loin vers l'inconnu. ■

**Iouri Gagarine (1934-1968), le premier homme à avoir accompli un vol spatial, lors d'une visite au Siège de l'UNESCO en 1963.**



# L'océan vu du ciel

par Ian S. Robinson

**L'océanographie satellitaire a révolutionné notre connaissance de l'environnement et du climat**

**B**IEN qu'il occupe plus de 70% de la surface du globe, l'océan est la partie la moins explorée de notre planète. Mais avec l'envoi sur orbite de satellites d'observation de la surface des mers, les océanographes possèdent depuis peu l'instrument d'une vision nouvelle de l'océan.

L'océanographie satellitaire a vraiment débuté en 1978, avec le lancement des satellites, Tiros, Nimbus-7 et Seasat, tous trois pourvus d'instruments d'observation des océans. Les deux premiers étaient essentiellement des satellites de météorologie, mais Seasat était spécifiquement destiné aux observations maritimes à distance et transportait à cette fin des senseurs tout-temps à micro-ondes.

Les océanographes, qui étaient auparavant limités aux observations émanant de bouées et de navires, ont désormais la possibilité supplémentaire de contrôler par le haut la surface de la mer. Il en résulte de fascinantes découvertes sur l'état et les propriétés du milieu marin. Mieux encore, les scientifiques peuvent désormais effectuer des mesures permettant de comprendre l'influence des océans sur l'environnement terrestre et sur le climat.

## LE «FACTEUR PLUS» DU SATELLITE

Par rapport à celles que permettent d'obtenir les méthodes d'observation conventionnelles, les données fournies par satellites présentent trois avantages:

(I) elles procurent une information globale (séries de données) à partir d'un seul senseur et cela pendant plusieurs années. Le contrôle de variations océaniques s'étendant sur le monde entier exigerait, si l'on s'en tenait aux moyens conventionnels, le déploiement *in situ* d'un nombre inabordable d'instruments de mesure;

(II) elles autorisent une vue synoptique, instantanée, d'une vaste étendue de la surface de la mer. Les mouvements incessants de celle-ci ne permettent pas en effet d'obtenir, par les méthodes courantes, une connaissance de la distribution instantanée des variables océaniques;

(III) certains types de mesures, comme l'état d'agitation de la surface de la mer, ne peuvent être actuellement effectués qu'à distance.

Quatre caractéristiques de base peuvent être mesurées de la sorte: l'agitation en surface, la pente (de l'ordre de quelques centimètres par 100 km), la température et la couleur. Les trois premières concernent la surface elle-même, tandis que la couleur porte sur une profondeur de quelques mètres.

Depuis 1978, les techniques de l'océanographie satellitaire se sont fortement améliorées; elles constituent aujourd'hui une part importante des programmes océanographiques. Les océanographes ont mis au point des techniques permettant d'avoir accès, à partir des quatre mesures de base, à des variables d'un plus grand intérêt.


L'un des précieux avantages de l'observation à grande distance est qu'elle permet de déduire les conditions régnant sous la surface d'après leurs effets sur les radiations électromagnétiques émises ou réfléchies par la surface de la mer. Ceci implique une bonne connaissance des processus physiques à l'œuvre dans les couches supérieures de l'océan.

A titre d'exemple, la couleur de la mer, mesurée par satellite, n'offre pas d'utilité en soi, mais certains facteurs affectant la couleur ont de l'importance. L'association de la chlorophylle et du phytoplancton dans l'eau de mer réagit sur le rapport entre le vert et le bleu. C'est ainsi que, par la combinaison de vues théoriques et d'expériences soigneusement calibrées, on a pu mettre au point des procédures permettant de relier la couleur de l'océan à la teneur en chlorophylle des premiers mètres de profondeur. De même, mais avec moins de sûreté, la couleur peut être mise en relation avec la teneur en sédiments et, s'agissant de hauts-fonds, avec la profondeur.

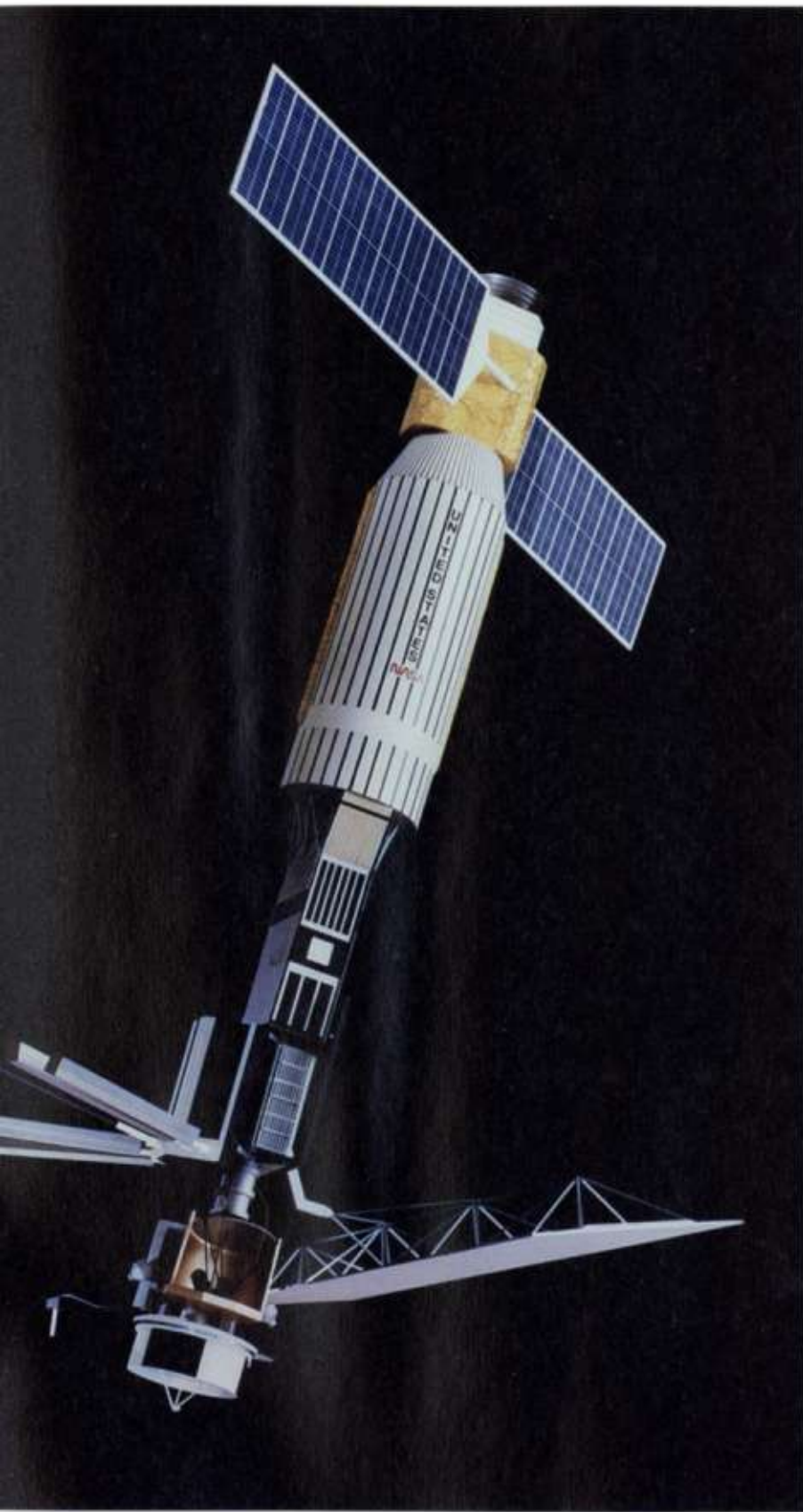
## PRINCIPAUX DÉTECTEURS

Différents types de détecteurs sont utilisés pour la surveillance spatiale de l'océan: ces détecteurs se servent des radiations électromagnétiques des spectres visible, thermique, infrarouge ou centimétrique pour transmettre des informations au satellite.

Certains de ces appareils de bord des satellites océanographiques sont passifs, comme les radiomètres chargés de détecter le rayonnement



Seasat-A. Ce satellite océanographique fournit des données météorologiques, inventorie les champs de glace, mesure les courants et les marées, ainsi que les mouvements de surface des océans.



naturel de la mer ou ce qu'elle réfléchit de la lumière solaire. D'autres sont actifs: ce sont des radars émettant leurs propres faisceaux d'ondes.

Un radar à synthèse d'ouverture (SAR: *Synthetic Aperture Radar*), par exemple, produit une image dont la brillance correspond à l'énergie totale renvoyée par la mer sous forme de micro-ondes. Le retour est entièrement conditionné par l'état de la surface de la mer:

degré d'agitation, orientation, propriétés électriques, mouvement général. Les micro-ondes ne peuvent pas pénétrer la surface au-delà de quelques millimètres et pourtant les images obtenues par radar peuvent révéler en détail des caractéristiques telles que les mouvements ondulatoires internes ou la topographie du fond par plusieurs mètres de profondeur.

L'altimètre, autre instrument fonctionnant comme un radar, peut être particulièrement intéressant pour mesurer le niveau de la mer, et de là sa pente, avec une précision de quelques centimètres. Grâce à l'altimétrie, on peut ainsi déterminer les variations globales des courants marins et mesurer l'ampleur des tourbillons océaniques sur de vastes étendues inhospitalières comme celles des mers du Sud.

Le niveau se mesure par le temps que met une impulsion pour faire l'aller-retour entre le satellite et la mer. L'étude de la forme du signal en retour donne une indication sur l'état d'agitation de la mer. L'altimètre offre donc un moyen de contrôler par tous les temps la hauteur des vagues, un paramètre d'importance majeure pour la navigation.

Le dispersomètre est un radar couvrant une étendue plus grande. L'intensité moyenne des ondes rétrodiffusées en incidence oblique est une mesure de l'agitation de la mer provoquée par le vent. En conséquence, ce mode de détection offre un moyen de mesurer le vent de surface dans de vastes aires désertées par les navires météorologiques ou les vaisseaux de passage. La prévision du temps peut être améliorée en intégrant de telles données dans les modèles établis à cet effet. Ce type de radar, entre autres, est utilisé pour reconnaître les limites de la calotte polaire et en suivre les variations saisonnières.

En dépit des problèmes posés par la couverture nuageuse, les instruments de mesure des radiations infrarouges émises par la mer fournissent des images de la température de surface. Les océanographes les utilisent de plusieurs manières, par exemple pour surveiller les masses tourbillonnaires de l'océan ou les fronts séparant des masses d'eau de températures différentes. Dans les mers peu profondes, la température peut servir pour repérer les flots prolongeant les estuaires ou pour distinguer des masses d'eaux côtières qui, en ne paraissant pas se disperser vers le large, peuvent indiquer la présence de bancs de poissons.

### PRÉVISION DES VARIATIONS CLIMATIQUES

Les satellites sont ainsi capables de surveiller les vents de surface, les vagues de la mer, la température superficielle, la production primaire de l'océan (le phytoplancton) et l'étendue des glaces polaires. Et ils peuvent le faire non pas une fois, de façon épisodique, mais à répétition, sur plusieurs années et, potentiellement du moins, sur plusieurs décennies. Cette sorte d'information est vitale pour acquérir les

connaissances nécessaires à la compréhension et la prévision des grandes variations climatiques.

L'océan fait partie intégrante de la grande machine thermique responsable du temps. Les satellites, en conjonction avec les navires et les bouées, font augurer de meilleurs modes d'estimation des échanges thermiques et dynamiques entre l'atmosphère et l'océan. Ils rendent possible la mise en place de programmes globaux permettant d'évaluer la contribution des océans au système climatique global, tels que L'Expérience sur la circulation océanique mondiale (WOCE).

### DES SATELLITES PORTEURS D'ESPÉRANCE

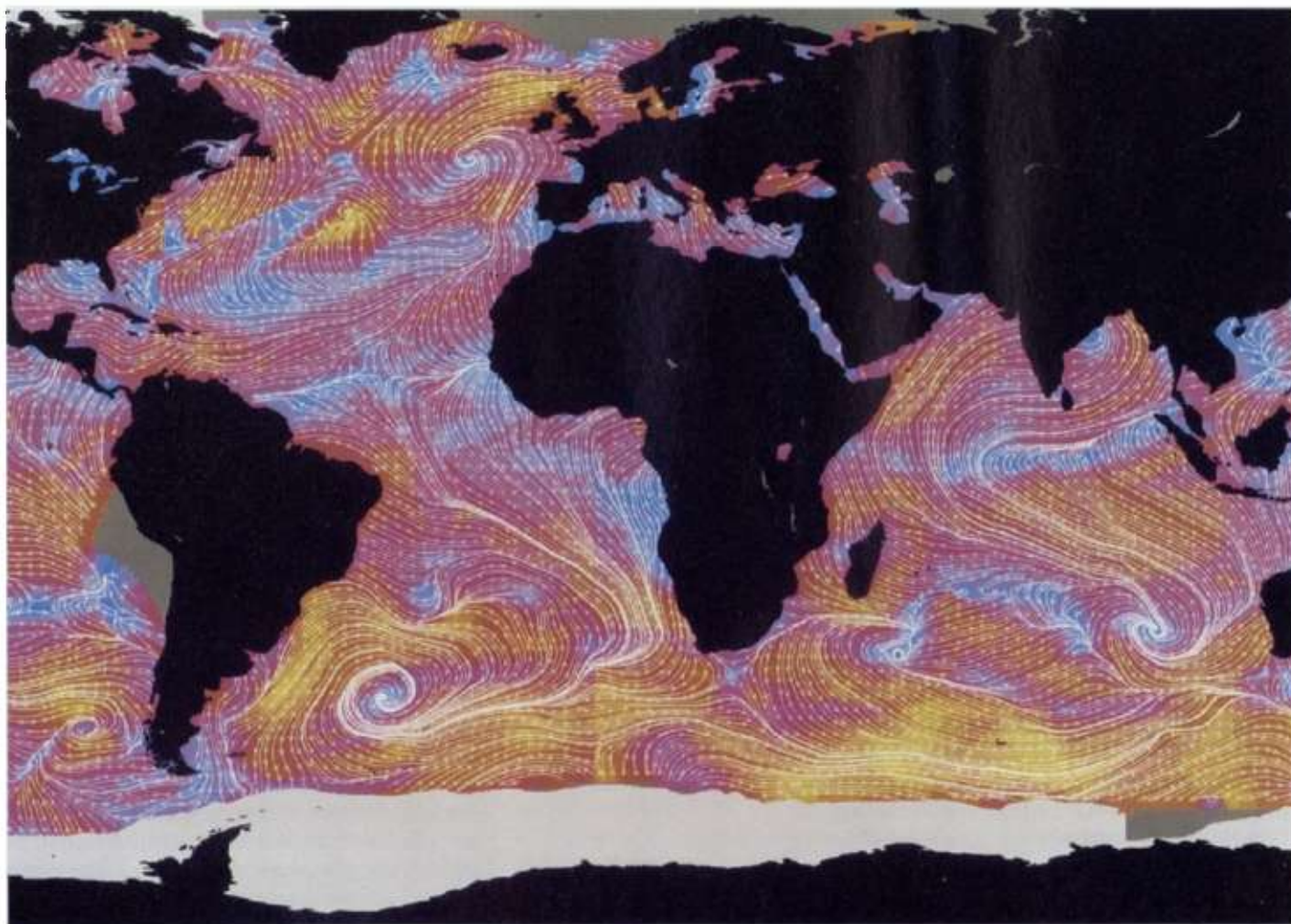
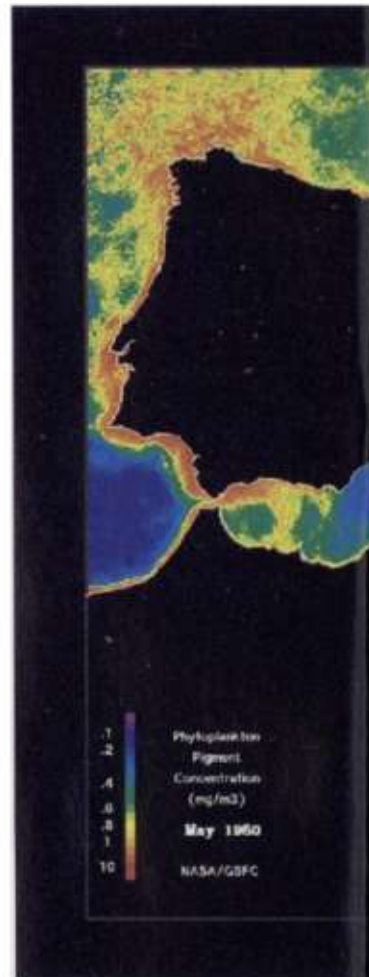
En admettant qu'elles soient rendues disponibles, les données extraites de ces programmes bénéficieront à tous ceux qui s'occupent des sciences de la mer dans toutes les parties du monde. A l'échelon local ou régional, cette observation lointaine de la mer est un moyen unique de surveiller l'environnement en vue d'un contrôle judicieux des ressources vivantes, de la pêche, de la navigation, de l'érosion côtière. Il deviendra de moins en moins onéreux d'élaborer des programmes locaux et régionaux de prévisions maritimes, de lutte contre la pollution ou d'hydrographie côtière.

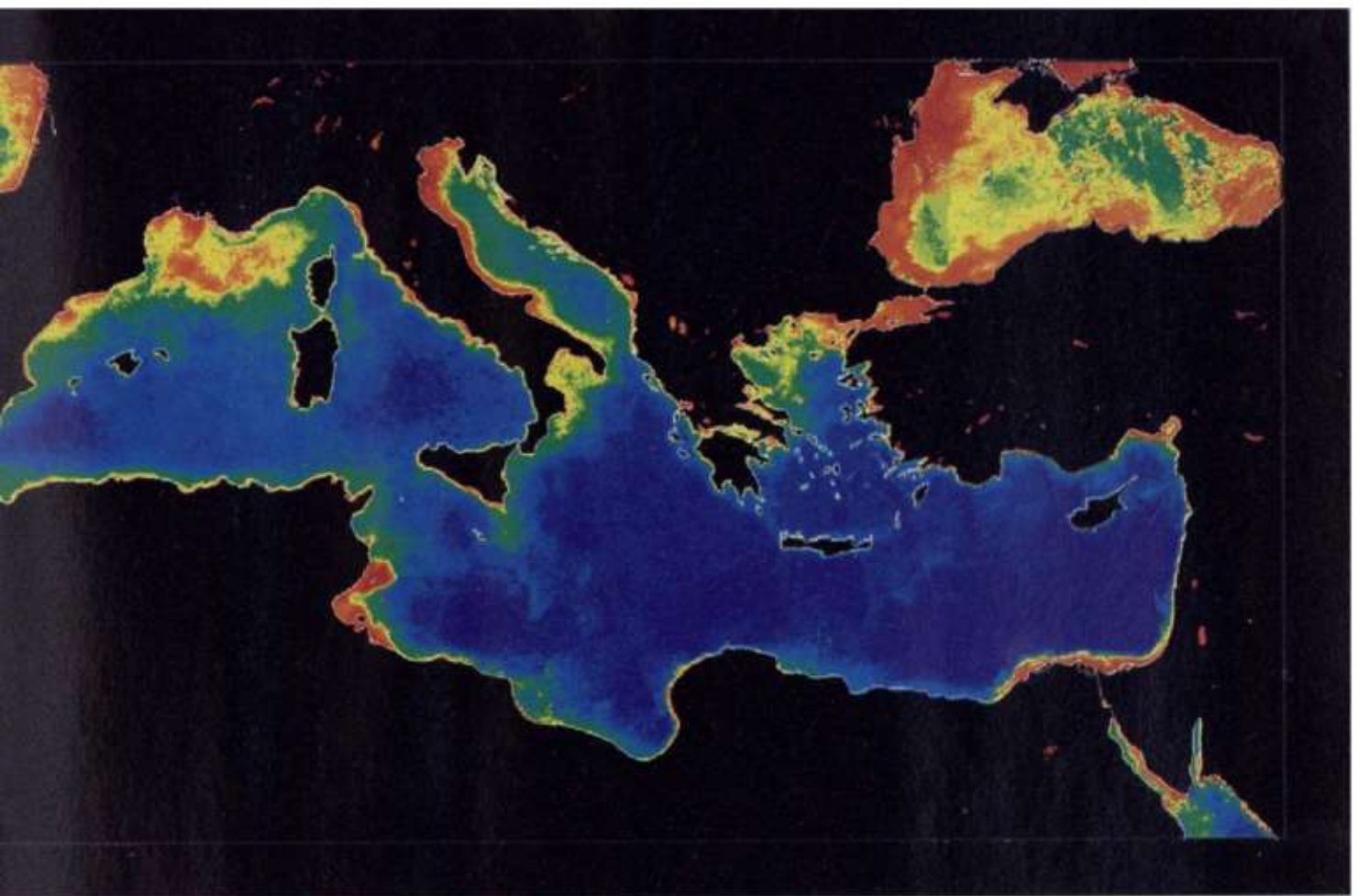
Chaque nation maritime aura ainsi accès aux informations nécessaires à la gestion de la partie

de l'océan comprenant sa propre zone économique exclusive sans être limitée par les lourdes dépenses afférentes aux navires et aux instruments de recherche. Certains de ces équipements continueront d'être requis, mais leur coût sera moindre puisque la valeur de leurs résultats se trouvera multipliée par les données provenant des satellites.

Bien plus, les spécialistes des sciences de la mer travaillant jusqu'ici en ordre dispersé dans des secteurs isolés pourront apporter leur contribution individuelle aux grands programmes sur les variations climatiques. L'intérêt des observations et relevés à distance est, en effet, de fournir une perspective à grande échelle permettant d'intégrer dans un cadre global les résultats provenant d'études localisées.

Mais si l'on veut que les observations à distance entraînent une collaboration internationale dans les sciences de la mer, encore faut-il que les océanographes possèdent la formation nécessaire pour le traitement, l'analyse, l'intégration et l'application du nombre colossal de données déversées dès à présent par les satellites. C'est dans cet esprit que la Division des sciences de la mer de l'UNESCO a mis au point un petit équipement d'enseignement assisté par ordinateur portant sur l'analyse de données de l'imagerie spatiale maritime à l'intention des étudiants en sciences de la mer et en gestion du milieu marin (voir encadré page ci-contre). ■





Ci-dessus, les images obtenues par satellite montrent la répartition du phytoplancton dans la mer Méditerranée. En rouge les zones de plus grande densité et en bleu celles de moindre densité.

A gauche, cette carte de la circulation des vents sur l'océan Atlantique le 14 septembre 1978 a été établie grâce aux données transmises par le satellite océanographique Seasat.

#### IAN S. ROBINSON

du Royaume-Uni est professeur d'océanographie physique et responsable du département d'océanographie à l'université de Southampton (Royaume-Uni). Il dirige un groupe de recherches sur l'océanographie satellitaire et l'apprentissage des techniques de la télédétection océanographique.

## BILKO, LA MAÎTRISE DES MERS

**P**OUR permettre aux formateurs du monde entier de se tenir au courant des progrès de l'océanographie spatiale (voir article page 34), l'UNESCO a mis au point, dans le cadre de son programme pour la formation et l'enseignement des sciences de la mer (TREDMAR), un «didacticiel», un système d'apprentissage assisté par ordinateur.

A la base de ce système, un jeu d'images sur un logiciel baptisé «Bilko», conçu pour les ordinateurs personnels équipés de MS-DOS. Contrairement à la plupart des systèmes de traitement d'images que l'on trouve dans le commerce et qui exigent du matériel ultra-spécialisé, Bilko est d'un emploi très facile et peut être chargé dans les machines les plus simples.

Les modules contiennent des leçons, qui guident pas à pas les élèves dans l'interprétation de données d'images. Ces images, ainsi que le logiciel pour leur traitement, sont enregistrées sur des disquettes magnétiques, qui sont accompagnées de manuels didactiques donnant en introduction le mode d'emploi du logiciel.

Bilko permet ainsi à des étudiants ignorant l'informatique d'interpréter des images de l'océan obtenues par satellite. Chaque image Bilko occupant un écran entier traduit 131 032 mesures scientifiques individuelles de l'océan. Si l'on affiche, par exemple, une image de la température superficielle de la mer, relevée par un capteur à infrarouge, le curseur de l'écran se transforme en un navire de recherche explorant la répartition spatiale de la température.

Le premier module, paru en juillet 1989, a été accueilli avec enthousiasme par les responsables de l'enseignement des sciences dans le monde. A la suite de ce succès, d'autres modules, concer-

nant d'autres régions marines, allaient être mis en chantier.

Le deuxième module, publié en février 1991, est consacré aux phénomènes propres à l'océan Indien et aux mers bordières de l'Amérique du Sud et de l'Australie, et a été rédigé par des scientifiques originaires de ces mêmes régions. Il comporte également une «Leçon pour créateurs de leçons» expliquant comment établir des données imagées lisibles par Bilko afin de composer de nouveaux cours. Grâce au matériel envoyé par des lecteurs du monde entier, le troisième module a pu paraître en février 1992 et apporter une contribution à l'Année internationale de l'espace.

Bilko est l'œuvre collective d'une équipe internationale de spécialistes des sciences de la mer. Le matériel pédagogique qu'il propose a été incorporé dans divers programmes d'enseignement. Ainsi, dans certaines régions des Etats-Unis, les modules sont utilisés pour l'enseignement des sciences dans les lycées. Au Pays-Bas, le Centre national d'enseignement par correspondance a intégré cinq leçons dans son cours sur la télédétection. Plusieurs stages et séminaires internationaux en télédétection marine s'en servent pour leurs travaux pratiques. Certains de ces cours ont débouché sur la rédaction de nouvelles leçons — dont la première leçon préparée en Afrique qui fera partie du quatrième module, à paraître en 1993. Enfin, à la suite d'un cours dispensé à Lepe, en Espagne, les trois premiers modules ont été traduits en langue espagnole; plusieurs leçons issues de ce cours paraîtront d'abord dans leur version espagnole avant d'être traduites en anglais. ■

I. S. ROBINSON, D. A. BLACKBURN,  
R. D. CALLISON, D. G. TROOST



# Où sont-ils donc passés ?

par Norman Longdon

**Des vaisseaux voyagent dans l'espace pendant des années. Ceux qui les guident depuis la Terre les voient comme de «vieux copains» ou des «enfants»**

**L**E moment le plus risqué et le plus spectaculaire de la vie d'un vaisseau spatial est celui du décollage. Alors, le monde entier retient son souffle, mais il a vite fait d'oublier que ce satellite existe... jusqu'à ce que celui-ci envoie des photos étonnantes d'une planète lointaine, d'une éruption solaire ou d'une lune que l'on croyait morte.

Il n'en va pas de même pour les équipes d'hommes et de femmes qui contrôlent la trajectoire des satellites et gèrent la communica-

tion entre les engins spatiaux et la Terre. Ils surveillent jalousement leurs «enfants» en parents fiers et vigilants et lorsque, pour des raisons surtout économiques mais aussi d'obsolescence, il faut pratiquer l'euthanasie (en coupant le contact avec l'appareil), il arrive que coulent de vraies larmes.

L'histoire de ces vaisseaux oubliés de l'espace ne laisse pas d'être fascinante. Prenez par exemple Giotto, le satellite européen parti explorer pour la première fois le noyau d'une

comète, celle de Halley, en 1986. En se frayant un chemin à travers les nuages de poussière et de gaz entourant le noyau, il permit de vérifier la théorie selon laquelle les comètes ne sont que des «boules de neige sale». Giotto se retrouva aveugle — la caméra de bord étant tombée en panne — mais non privé d'énergie: on mit donc le satellite en sommeil, le laissant «hiberner» dans l'espace.

### GIOTTO L'HIBERNANT

Quatre ans plus tard, après avoir fait six fois le tour du Soleil, Giotto se retrouva relativement proche de la Terre, à 22 000 kilomètres. On décida de tenter de réveiller l'engin endormi, et on y réussit. N'est-il pas extraordinaire de penser qu'après un tel voyage dans l'espace et le temps, on ait pu recontacter dans l'immensité sidérale un engin de 600 kilos mesurant trois mètres sur huit, et qu'on l'ait ramené à la vie? En utilisant la force d'attraction de la Terre, les techniciens ont réussi à modifier l'orbite du satellite pour le réexpédier vers une autre comète, Grigg Skjellerup.

En vue de ce nouveau voyage de près de 2 milliards de kilomètres, on rendormit Giotto, pour le réveiller alors qu'il touchait au but. Le fidèle engin se mit à nouveau à fournir un flot d'informations sur les comètes, ces vagabonds infatigables qui sillonnent l'espace depuis les origines du système solaire. Et comme Giotto ne donnait aucun signe de fatigue et répondait positivement à tous les contrôles, on décida de le mettre à nouveau en sommeil, en attendant qu'il rencontre de nouvelles comètes. Il repartit donc pour un très long périple qui devrait le ramener en juillet 1999 à «seulement» 220 000 kilomètres de la Terre. Et déjà certains astrophysiciens ont pris date pour un prochain rendez-vous avec ce forçat de l'espace en l'an 2006.

### UNE MARCHÉ À L'ÉTOILE DE DEUX MILLIONS D'ANNÉES

Si le périple de Giotto paraît long, que penser de celui de Pioneer-10? Qu'on en juge. Il y a vingt ans, cet engin nous transmettait des photos de Jupiter, notamment de sa grande tache rouge, et décomptait les nombreuses lunes de la planète géante. En 1976, il traversait l'orbite de Saturne et, trois ans plus tard, celle d'Uranus. C'est vers 1983 qu'il a dû sortir du système solaire et se lancer dans l'inconnu à quelque 48 000 km/h, en direction de l'étoile rouge, Aldébaran. Même à cette vitesse, on a calculé qu'il lui faudrait deux millions d'années pour atteindre sa cible, qui aura peut-être changé de place d'ici là. Nous n'en savons pas encore assez sur le mouvement des étoiles pour prévoir où finira la course folle de Pioneer-10. A tout hasard, il arbore une plaque qui est censée indiquer aux «extra-terrestres» qui le découvriront son origine et l'existence de l'espèce humaine.

Pendant que Pioneer poursuit vaillamment sa route, les savants continuent de s'interroger

sur la nature du Soleil — que nous connaissons surtout grâce aux satellites. Or, ces derniers gravitent tous sur le plan écliptique qu'empruntent les planètes autour de lui. Nous ignorons donc presque tout de ce qui se passe au niveau des pôles du Soleil. Comblant cette lacune, tel est le but de la longue odyssée du satellite européen Ulysse, le bien nommé. Comme nos techniques balistiques ne nous permettent pas de lancer directement un engin par dessus le Soleil, il a fallu imaginer un effet de fronde utilisant le puissant champ gravitationnel de Jupiter pour mettre Ulysse en orbite polaire autour du Soleil.

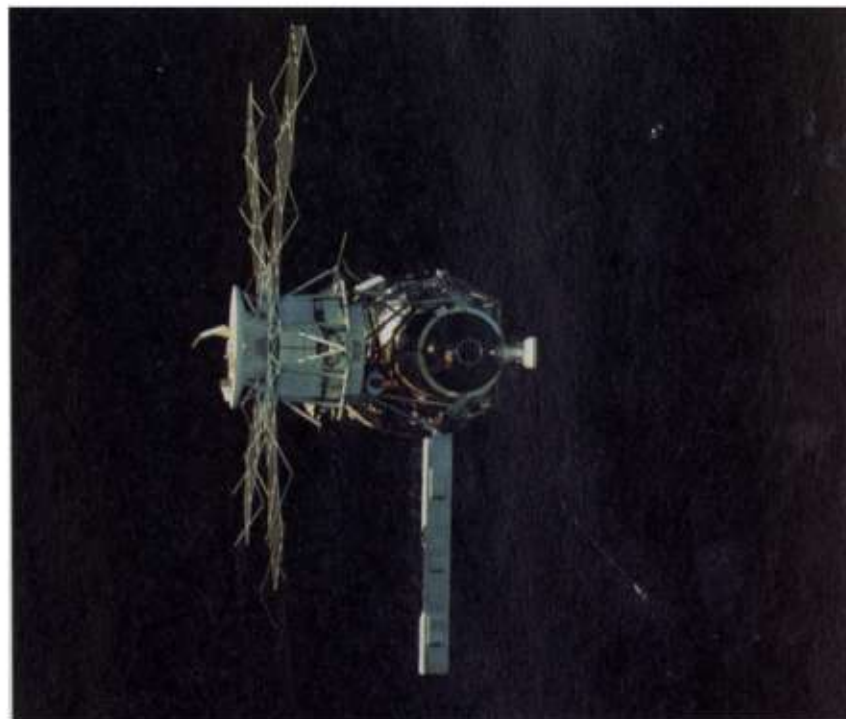
Lancé en octobre 1990, Ulysse a «ricoché» sur Jupiter en février 1992, avec un décalage de deux secondes seulement sur l'horaire prévu! Depuis, Ulysse poursuit sa longue course en solitaire qui l'a amené en août 1992 à près d'un milliard de kilomètres de la Terre. Sa vitesse relative, par rapport à la Terre, est de 115 521 km/h, et de 31 028 km/h par rapport au Soleil.

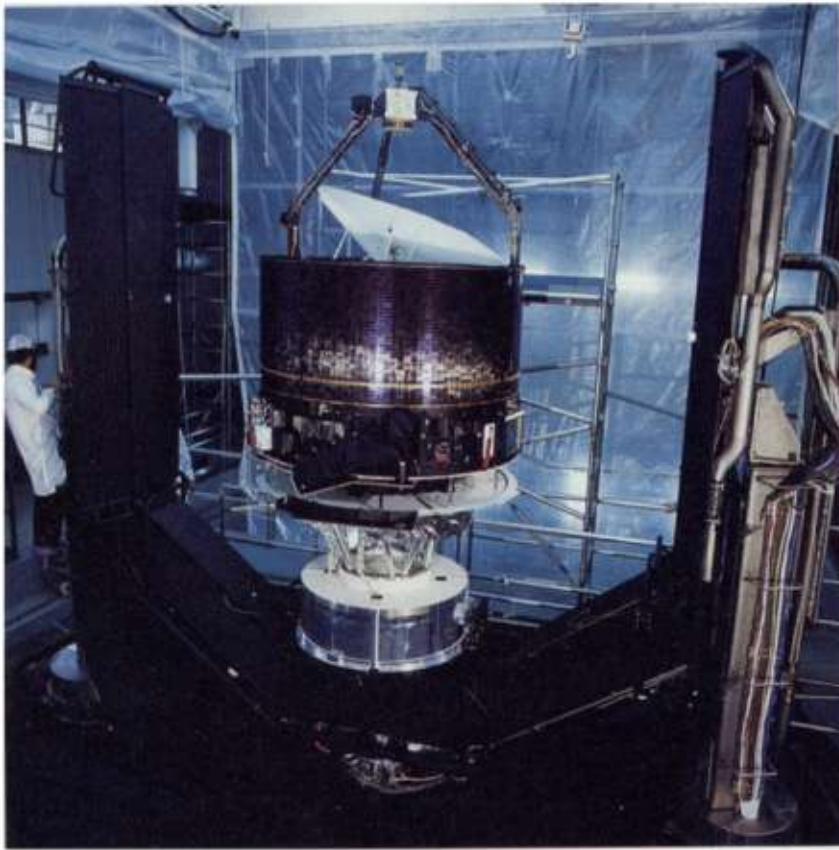
Si tout va bien, Ulysse devrait survoler le pôle Sud du Soleil du 26 juin au 6 novembre 1994 et le pôle Nord du 20 juin au 30 septembre 1995. La communauté scientifique internationale attend cette date avec impatience, même si elle a déjà fort à faire avec les données que lui transmet quotidiennement Ulysse. D'ailleurs, le satellite paraît tellement en forme que l'on n'exclut pas la possibilité d'un deuxième passage au-dessus des pôles.

### UN VILAIN PETIT CANARD, VOYAGER-2

Voyager-2 a eu la vie dure depuis son lancement en 1977. Comme d'un enfant maladif, on a pu croire qu'il ne vivrait pas. En effet, après avoir échappé de peu à une collision avec l'épave de sa fusée porteuse, voilà que son système de communication tombe en panne pendant six

Page de gauche, une image de la comète de Halley prise en 1986 par Giotto, le satellite de l'Agence spatiale européenne, à une distance d'environ 13 000 kilomètres. Ci-dessous, le laboratoire spatial américain Skylab en orbite autour de la Terre. Entre mai et novembre 1973, trois équipages de trois hommes chacun se sont succédé pour vivre et travailler à son bord. En juillet 1979, la station orbitale est rentrée dans l'atmosphère où elle s'est désintégrée.





**La sonde Giotto en 1984, lors d'un essai préalable au lancement.**

mois. Enfin, tout se remet en place au bon moment, permettant au satellite d'expédier, en 1979, 15 000 photos splendides de Jupiter et de ses cinq satellites les plus gros, avec notamment des images spectaculaires de sept volcans en éruption. Deux ans plus tard, Voyager-2 récidivait, envoyant à la NASA 18 000 photos de Saturne et de ses anneaux fameux.

Au moment où Voyager rendait de tels services, la NASA se demandait si elle n'allait pas devoir renoncer au programme, faute de crédits pour couvrir les frais croissants des liaisons avec l'engin qui filait inlassablement vers Uranus (par ses dimensions, la troisième planète du système solaire). Tout s'arrangea au moment où il approchait du but, à près de trois milliards de kilomètres de la Terre. Huit ans après son lancement, Voyager enregistrerait un écart de 70 secondes sur l'horaire prévu, une performance que pourraient lui envier bien des compagnies de chemin de fer.

Presque tout ce que nous savons d'Uranus et de ses satellites, nous le devons à Voyager-2. Les savants ont eu du mal à assimiler l'avalanche d'informations qu'a transmises cet explorateur qui a découvert, par exemple, de nombreuses lunes de la planète jusqu'alors inconnues. Sur une photo du pôle Sud d'Uranus, on voit une énorme tache noire, qui pourrait être la trace d'une collision avec une météorite de la taille de la Terre. Pour avoir une meilleure idée de la distance entre Uranus et le Soleil, il faut savoir que le premier met 84 de nos années pour faire le tour du second.

Mais Voyager n'était pas au bout de ses peines: il lui fallait encore atteindre Neptune, aux

confins du système solaire. Cette planète met 165 ans pour effectuer une révolution autour du Soleil. Comme elle n'a été découverte qu'en 1846, il ne s'est pas encore écoulé une «année neptunienne» depuis que nous connaissons son existence. Là encore, Voyager allait étonner les chercheurs, en découvrant six nouvelles lunes de Neptune et en révélant que, malgré le froid intense régnant à la surface (-215° C), il y soufflait des vents de l'ordre de 2 400 km/h. Enfin, Voyager a pu constater l'existence de volcans en activité sur Triton, le principal satellite de Neptune.

Depuis, Voyager-2 a rejoint la cohorte des engins spatiaux qui sont sortis du système solaire. Même si ses signaux se font de plus en plus faibles, il continuera d'émettre jusqu'en 2013. A cette date, il aura parcouru 106 fois la distance de la Terre au Soleil. Avec un peu de chance, il pourrait s'approcher de Sirius dans 358 000 ans.

Bien d'autres engins connaissent une fin moins glorieuse, retombant dans le champ d'attraction de la Terre ou d'une autre planète pour s'y désintégrer comme une étoile filante. C'est ce qui est arrivé récemment à une sonde Pioneer, qui est tombée en panne de carburant après avoir tourné quatorze ans (treize de plus que prévu) autour de Vénus et recueilli plus de dix milliards de données. Ce n'est pas sans émotion que le directeur du projet a annoncé aux journalistes «la perte d'un ami très cher», car pour tous les travailleurs de l'espace, les satellites sont vraiment «vivants» et font partie de la famille.

## QUEL AVENIR POUR L'ESPACE?

En période de difficultés économiques et politiques, l'espace n'a pas forcément bonne presse. En tout cas, ce n'est pas un thème électoral porteur. Ce qui incite les politiques à s'interroger sur le coût littéralement astronomique de l'aventure spatiale. Aucun pays n'est épargné par cette remise en cause et il semble que l'on s'achemine de plus en plus vers des entreprises menées en coopération. C'est ainsi que la Russie, entre autres pays, espère trouver en Occident un appui en vue de poursuivre un programme spatial désormais trop coûteux pour elle.

L'argument militaire en faveur de la recherche spatiale, valable au temps de la guerre froide, ne joue plus aujourd'hui; on étudie donc la possibilité de poursuivre à des fins pacifiques certains projets au départ plus belliqueux. Il va d'ailleurs falloir examiner l'ensemble des implications politiques et économiques de cette nouvelle donne spatiale, et décider notamment qui financera et qui construira satellites, engins porteurs et installations au sol. La volonté de coopération internationale existe déjà chez les dirigeants politiques. Restent à résoudre des problèmes d'investissement et de rentabilité. Et ceux de la concurrence entre les diverses entreprises industrielles intéressées. ■

**NORMAN LONGDON**, du Royaume-Uni, est chef de la Division des publications à l'Agence spatiale européenne.





**L'environnement spatial de la Terre souffre d'une pollution croissante. Les astronomes réclament sa protection d'urgence**

# Le dépotoir céleste

par Howard Brabyn

**D**ANS les années 70, lorsque des scientifiques ont pour la première fois dénoncé les dangers causés par la présence de débris flottant dans l'espace, leurs propos ont été jugés alarmistes. L'espace interplanétaire, a-t-on dit, était si vaste que la collision ou le frôlement de deux objets y était hautement improbable, pour ne pas dire impossible.

L'immensité infinie de l'espace était une idée encore si profondément ancrée en nous que l'on n'a pas prêté attention à l'extension croissante des activités spatiales, allant même jusqu'à imaginer certaines «utilisations» de l'espace pour le moins saugrenues. N'a-t-on pas envisagé de se débarrasser des déchets nucléaires en les expédiant en orbite haute, ou d'installer dans l'espace des miroirs gigantesques qui renverraient les rayons du Soleil

vers la Terre afin de réchauffer les régions polaires, d'empêcher les voies de navigation d'être prises par la glace, de supprimer le gel nocturne, ou d'éclairer les grandes villes?

Fort heureusement, aucun de ces projets n'a abouti. En revanche, le lancement des satellites de météorologie, de communication, de cartographie et de navigation, ainsi que celui des satellites militaires et d'exploration spatiale, s'est poursuivi à un rythme soutenu.

M. Walter Flury, secrétaire du Groupe de travail sur les débris dans l'espace, estime qu'il y a environ 7 000 objets localisables qui évoluent sur une orbite terrestre. «Parmi ces objets, dit-il, moins de 400 sont des satellites opérationnels. Les autres sont d'origine diverse: satellites abandonnés (21%), étages supérieurs de fusée (16%), fragments de satellites et d'étages supérieurs de

fusée (45%), enfin objets liés à des missions, tels que des capuchons d'objectif, des boulons de séparation ou des colliers de fixation (12%).»

A plusieurs reprises déjà, des vaisseaux spatiaux ont dû manœuvrer d'urgence pour échapper à une collision. En septembre 1991, la navette spatiale Discovery a modifié sa trajectoire pour n'être pas heurtée par le fuselage du lanceur de Cosmos-955 et, deux ans plus tard, Atlantis, une autre navette spatiale, est parvenue de justesse à éviter des débris spatiaux pesant plus d'une tonne. Il faut savoir qu'un simple fragment de la taille d'un petit pois, évoluant à la vitesse orbitale (soit 5 kilomètres à la seconde) pourrait fracasser un satellite de 100 millions de dollars.

Les satellites en orbite basse, dont les systèmes radar de télédétection sont alimentés électriquement par des réacteurs nucléaires, tels les satellites soviétiques RORSAT (*Radar Ocean Reconnaissance Satellite*), représentent un risque supplémentaire. Placés sur une orbite très basse, ils finissent par retomber sur terre, en raison de la résistance des couches supérieures de l'atmosphère et du champ gravitationnel.

En théorie, lorsque l'un de ces satellites parvient à la fin de sa vie utile, le réacteur nucléaire est détaché du reste de l'engin et propulsé sur une orbite plus haute où il est censé demeurer. Mais il arrive que le système de propulsion tombe en panne. En 1978, par exemple, le réacteur de Cosmos-974 est rentré dans l'atmosphère avec le satellite; son combustible nucléaire ne s'étant pas volatilisé, une multitude de débris radioactifs s'est éparpillée au-dessus de la région canadienne du Grand Lac de l'Esclave.

D'autres menaces existent. D'après les calculs des experts, il y a, par exemple, une possibilité sur cent pour que, durant sa vie utile de dix-sept ans, le télescope spatial Hubble soit gravement endommagé par suite d'une collision avec un objet abandonné de grande taille. Un risque difficilement acceptable quand on sait que ce télescope est l'instrument scientifique le plus coûteux jamais construit (près d'un 1,5 milliard de dollars).

### LA DISPARITION DU CIEL NOCTURNE

Le télescope spatial Hubble (HST), placé sur orbite le 24 avril 1990 par la navette spatiale Discovery, a été conçu pour scruter le cosmos avec un pouvoir de définition dix fois supérieur à celui d'un télescope terrestre. L'atmosphère terrestre, en effet, obscurcit naturellement la vue de l'univers qu'ont les astronomes à travers leurs télescopes optiques; elle bloque certains rayonnements ultraviolets et d'autres formes de rayonnement électromagnétique.

La pollution urbaine a aggravé le problème. C'est pour cette raison que, dès 1675, on avait choisi Greenwich, qui était alors située nettement en dehors de la ville de Londres, comme emplacement de l'Observatoire royal d'Angleterre. Mais c'est avec l'apparition de la lumière électrique, au début du siècle, qu'il est devenu impossible de jouir de la vue du ciel dans les villes, et encore moins de l'étudier; la leur pro-



**L'observatoire Arecibo, à Puerto Rico, abrite l'un des plus grands radiotélescopes à antenne fixe du monde. Comme d'autres stations de radioastronomie, il est de plus en plus menacé par des interférences électroniques de toute sorte.**

duite par l'éclairage des rues, inutilement orienté vers le ciel, est alors devenue une nuisance urbaine supplémentaire.

La pollution atmosphérique et cette luminosité du ciel urbain, due principalement à la mauvaise conception de l'éclairage, ont conduit nombre des observatoires les plus célèbres du monde à fermer leurs portes ou à rechercher des sites isolés pour leurs télescopes optiques.

Européens et Américains ont installé leurs télescopes de l'hémisphère Sud dans les Andes et dans le nord du Chili, régions où le climat est très sec, l'air transparent et stable, la population faible. Pour étudier les cieux de l'hémisphère Nord, les astronomes américains, et ceux de plusieurs autres pays, sont installés aujourd'hui au sommet du Mauna Kea, un volcan des îles hawaïennes qu'ils considèrent comme un site incomparable par son altitude et la qualité de son obscurité nocturne.

«C'est sans doute vrai, précise David Malin, de l'Observatoire anglo-australien, mais ni les confins du désert de l'Atacama, ni le sommet d'un volcan hawaïen ne sont des endroits confortables pour vivre ou travailler. L'éloignement qui a justifié leur choix rend les travaux de construction et les tâches d'exploitation coûteuses, sans parler de leur difficulté d'accès.»

### UN PEU DE SILENCE, NOUS ÉCOUTONS LES ÉTOILES

Si les astronomes optiques sont les yeux de la planète, les radioastronomes en sont les oreilles. Pour pouvoir travailler efficacement, les radioastronomes ont besoin de cieux tranquilles lorsqu'ils essaient de capter les murmures du cosmos. Or, cette écoute se déroule aujourd'hui dans une cacophonie d'interférences qui va croissant.

Les rayonnements étudiés par les radioastronomes sont extrêmement faibles. Comme le fait remarquer Paul Vanden Bout du *National Radio Astronomy Observatory*, situé à Charlottesville (Virginie): «toute l'énergie radio qui a été recueillie par tous les radiotélescopes jamais

**HOWARD BRABYN,**  
écrivain et journaliste  
britannique basé à Paris,  
s'intéresse particulièrement  
à la vulgarisation scientifique.  
Il est l'ancien responsable de  
l'édition en langue anglaise  
du *Courrier de l'UNESCO*.

construits ne suffirait pas même à éclairer une ampoule de 1 Watt pendant un millième de seconde. (...)

«Le problème des interférences est devenu aigu. Si les progrès constants de la technologie ont permis aux radioastronomes de devenir de plus en plus réceptifs aux signaux faibles, ils ont donné en même temps naissance à toute une série d'applications officielles, commerciales et privées.»

C'est à la radioastronomie que nous devons une grande partie de nos connaissances sur l'univers situé au-delà de la surface terrestre. Du Soleil et de la Lune aux planètes, comètes et astéroïdes, des masers cosmiques et pulsars, aux galaxies, aux quasars et au rayonnement fossile de l'explosion originelle, la radioastronomie nous livre des informations capitales pour notre compréhension du cosmos.

Fenêtre ouverte sur l'univers, la radioastronomie a aussi de nombreuses retombées pratiques d'utilité générale, comme le rôle qu'elle joue traditionnellement de mesure du temps et la navigation, le développement des technologies et l'enseignement des sciences. Or, pour pouvoir progresser, l'astronomie doit à tout prix être à l'abri des interférences provoquées par les sources artificielles d'émission radio.

En 1959, la radioastronomie a été consacrée «service public» par les mécanismes internationaux de tutelle qui régissent les utilisations du spectre, en même temps qu'elle bénéficiait d'une certaine protection: l'utilisation prioritaire de quelques bandes et le partage d'autres, créant ainsi ce que l'on pourrait appeler des «sanctuaires dans le spectre radio».

Il conviendra aussi de respecter intégralement la réglementation faisant de la face cachée de la Lune une zone de silence radio. Grâce à celle qu'on a déjà instituée sur notre globe — la Zone nationale de silence radio (LRUZ) —, on a pu préserver la qualité exceptionnelle du site de l'Observatoire national de radioastronomie de Green Bank (Virginie).

Les radioastronomes, selon Paul Vanden Bout, seront un jour contraints d'utiliser des sites extraterrestres pour leurs télescopes. Même si l'implantation d'un poste d'observation sur la Lune entraîne des frais de construction et d'exploitation largement supérieurs au budget actuel de l'astronomie, les générations futures nous sauront gré d'avoir aménagé ce qui se révélera peut-être à l'avenir le seul lieu, relativement proche de la Terre, d'où ils pourront étudier l'univers au moyen de fréquences radio.

«La radioastronomie, ajoute Paul Vanden Bout, tisse un lien ténu et menacé entre l'humanité et l'univers immense. En reconnaître l'intérêt et en tenir compte dans la problématique de l'environnement serait un premier pas vers la protection de cette science. Si nous nous dérobons, nous perdrons, lentement mais sûrement, notre capacité à capter les murmures du cosmos et nos oreilles seront saturées de notre propre bavardage électronique.» ■

---

De nombreux astronomes se sont réunis au siège de l'UNESCO à Paris du 30 juin au 2 juillet 1992, en vue d'examiner les incidences qu'ont sur l'astronomie divers problèmes d'environnement. Cette réunion a été organisée conjointement par l'Union astronomique internationale, le Conseil international des unions scientifiques et l'UNESCO.

**Les astronomes sont contraints de choisir des sites reculés pour éviter la pollution atmosphérique et la luminosité du ciel urbain. Ci-dessous, l'observatoire situé au sommet du Mauna Kea, la «Montagne blanche» de l'île Hawaii.**





**ACTION/UNESCO**

EN BREF... EN BREF...

# le saviez-vous ?



## TÉLÉDÉTECTION ET RISQUES NATURELS

Chaque année, d'innombrables phénomènes naturels font partout des morts, des blessés et des dégâts matériels. Désireuse de mobiliser les connaissances scientifiques et techniques actuelles pour atténuer les effets de ces cataclysmes, l'Assemblée générale des Nations Unies a proclamé les années 90 Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles. L'UNESCO pour sa part a lancé une série d'études visant à utiliser les photographies aériennes et les données des satellites pour l'évaluation des risques d'origine géologique. Trois projets pilotes sont en cours dans des régions particulièrement exposées aux glissements de terrains: la ville de La Paz en Bolivie, la vallée de Chicamocha en Colombie et le site de Linkou à Taiwan. Des cartes faisant apparaître les zones vulnérables ont ainsi pu être établies. Largement diffusées, ces études ont débouché sur des programmes internationaux d'échanges de données et de transferts de technologies.

## MISSION À PRAGUE

Une mission de l'UNESCO s'est rendue à la Bibliothèque nationale de Prague pour étudier la possibilité de transférer sur disques optiques, ou sur d'autres supports modernes, des milliers de manuscrits, incunables, livres anciens et autres ouvrages d'une rare valeur artistique. Son rôle était d'aider à déterminer, selon la nature et l'ancienneté du

document, les moyens de stocker les originaux, ainsi que la manière de les reproduire pour en faciliter la consultation. Cette mission s'inscrit dans le cadre du projet «Mémoire du monde», qui vise à sauvegarder les trésors des bibliothèques et archives grâce aux nouvelles techniques informatiques.

## LIBÉRER LE GÉNOME HUMAIN

Le Dr Charles Auffray, l'un des chercheurs français du Projet Génome humain, a présenté le 28 octobre 1992 les conclusions de ses travaux au Directeur général de l'UNESCO, mettant ainsi à la disposition de l'ensemble de la communauté scientifique les 2 000 séquences décryptées par son équipe à partir de gènes musculaires et lymphocytaires. Le projet Génome humain, lancé au milieu des années 80, doit permettre de déchiffrer les trois milliards de bases nucléiques qui forment l'ADN. La connaissance du génome humain, qui va permettre de comprendre, soigner et prévenir les maladies génétiques, est une source de profits potentiels: des demandes de brevets ont été déposées sur certaines séquences de gènes avant même qu'on découvre leur fonction. L'UNESCO, qui considère que le patrimoine génétique commun appartient à l'humanité entière, s'efforce d'élargir l'accès aux résultats de la recherche, notamment aux pays en développement.

## ANGKOR SUR ORDINATEUR

L'ensemble de la documentation relative aux travaux de restauration d'Angkor, entrepris dès 1909 par l'Ecole française d'Extrême-Orient, a été récemment informatisée. Des rapports, des photographies, des cartes, des dessins de détails architecturaux, ainsi que les notes consignées pendant des dizaines d'années sur les carnets des restaurateurs et des archéologues, ont été reproduits sur des disquettes

d'ordinateur et des microfiches. Ce matériel a été remis à l'ambassadeur cambodgien en France lors d'une cérémonie solennelle qui s'est déroulée à l'UNESCO, en octobre 1992.

## LE PROJET «PATRIMOINE 2001»

L'UNESCO a entrepris, en mars 1992, de créer une base de données photographiques et numériques des chefs-d'œuvre de la culture et des merveilles naturelles qui constituent le patrimoine commun de l'humanité. Ce projet sera réalisé en cinq ans avec la Fondation Caixa de Barcelone et l'Agence Gamma, et en collaboration avec Kodak et France Telecom. Intitulé Patrimoine 2001, il fera appel aux techniques les plus performantes d'acquisition, d'archivage et de transmission des données, afin de constituer une collection d'images sans précédent qui sera mise à la disposition des réseaux de communication et de documentation du monde entier. Les photographies devront satisfaire à deux critères: l'exactitude scientifique et la qualité artistique.

## LE SALON DU MONDE ENSEIGNANT

Le Courrier de l'UNESCO sera présent à la Grande Halle de la Villette à Paris du 20 au 24 janvier 1993 pour le premier salon du Monde enseignant. Professeurs, documentalistes et spécialistes de l'éducation, qui sont nombreux à lire le Courrier de l'UNESCO et à s'en servir dans leur travail, y trouveront une vaste exposition organisée autour de quatre pôles: presse et édition, matériel éducatif, institutions et syndicats, services parascolaires. Ils pourront participer à 30 tables rondes sur des thèmes d'actualité. Entrée gratuite sur invitation. Pour tout renseignement, joindre Crayon rouge, 99, rue du Faubourg du Temple, 75010 Paris (tél.: 42 02 04 05; fax: 42 02 01 14). □



# La chronique de Federico Mayor

*Le directeur général de l'UNESCO dessine pour les lecteurs du Courrier les grands axes de sa réflexion et de son action.*

# La culture et les nouvelles libertés

---

**Q**U'EST-CE que la culture? Pour Matthew Arnold, poète et critique anglais du 19<sup>e</sup> siècle, c'est «se familiariser avec ce qui a été découvert et dit de mieux dans le monde et ainsi, avec l'histoire de l'esprit humain.» Cette vision traditionnelle tend à identifier la culture et à l'associer avant tout aux beaux-arts et aux belles-lettres; l'homme cultivé est celui dont l'esprit a été embelli, et de préférence enrichi, par les «humanités». Au 20<sup>e</sup> siècle, un autre sens, plus large et relevant de l'approche anthropologique, vient s'ajouter à cette acception première. A la Conférence mondiale sur les politiques culturelles réunie à Mexico il y a dix ans déjà, la communauté internationale prenait acte de cet élargissement et affirmait que la culture pouvait être considérée comme «l'ensemble des traits distinctifs, spirituels et matériels, intellectuels et affectifs, qui caractérisent une société ou un groupe social» et qu'«elle englobe, outre les arts et les lettres, les modes de vie, les droits fondamentaux de l'être humain, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances.»

Dans ce sens, la culture ne se résume plus à la simple fréquentation des œuvres de l'esprit; elle est langage, réflexion, innovation, création, capacité critique. Elle inclut, certes, le patrimoine physique d'une société, mais s'étend aussi à tout l'héritage immatériel symbolique, spirituel, éthique du groupe ou l'individu trouve son identité présente. Elle est le continuum du passé, du présent et de l'avenir d'une société et la toile de fond de la créativité individuelle. A ce titre, elle se trouve à la source des grands problèmes économiques, politiques et sociaux et constitue un facteur clé de leur solution.

## LA CLÉ DU DÉVELOPPEMENT

Avant la décolonisation, qui a commencé peu après la seconde guerre mondiale, les théories du développement tenaient rarement compte du contexte socio-culturel dans lequel ce développement pouvait se produire. Seule comptait l'économie. L'économie était tangible, la culture intangible — et l'idée que cette dernière avait quelque chose à apporter aux stratégies de développement aurait semblé bien saugrenue. Le développement était conçu comme un processus qui s'inscrivait dans un vide culturel, dans un environnement humain inerte.

Peu après sont apparus les lacunes, puis les échecs de cette démarche. Il fallut se rendre à l'évidence: toute doctrine axée sur l'abstraction unidimensionnelle qu'est l'*homo economicus* méconnaît la profondeur et l'amplitude infinies de la nature réelle des êtres humains; elle est indéfendable, y compris sur le plan économique, puisque la croissance économique dépend dans une large mesure des variables culturelles que sont la créativité et l'adaptabilité.

Longtemps considérée par les décideurs comme un accessoire, voire un luxe, la culture a dès lors commencé à se voir accorder la place qu'elle mérite dans les préoccupations de la communauté

internationale. Il n'est pas de débat de politique générale qui ne fasse ressortir les mille et une manières dont la culture exerce une influence décisive dans le monde contemporain. De nombreux exemples viennent à l'esprit. Les relations interethniques en période de conflit comme en période de coexistence pacifique, sont à l'évidence principalement enracinées dans la culture. Le mouvement mondial vers une démocratie et une liberté accrue est à la fois universel et propre à chaque culture: il change de forme selon les continents et les sociétés.

## RELEVER LE DÉFI DE LA DIVERSITÉ

La floraison nouvelle de libertés, que le monde a connue au cours de ces dernières années, n'a fait que renforcer le rôle de la culture dans la vie. Il n'y a guère longtemps, le Mur de Berlin était encore debout et Vaclav Havel était encore prisonnier politique dans le pays dont il devait devenir le président. Nelson Mandela était lui aussi en prison, et le président De Klerk n'avait pas encore mis en train avec lui le processus qui, nous l'espérons avec ferveur, mènera enfin à une Afrique du Sud unie et démocratique. La terrible menace d'une guerre nucléaire entre les deux superpuissances était omniprésente.

L'éclosion des libertés a bouleversé ce paysage, pour le meilleur mais aussi pour le pire. Cela est particulièrement flagrant là où sont en présence des peuples de religions ou d'ethnies différentes. On règle aujourd'hui de vieux comptes, des rivalités anciennes qui couvaient depuis longtemps. En même temps, de nouveaux problèmes apparaissent. Un défi est donc lancé à l'humanité. Avons-nous la volonté de le relever, de choisir de vivre dans des sociétés pluralistes? Avons-nous la volonté d'accepter et même de bien accueillir l'autre, quelles que soient sa couleur, sa religion, sa langue et sa culture, s'il s'installe dans le pays voisin, voire dans la maison voisine? Nous touchons ici à l'aspect le plus problématique de l'identité culturelle: comment assurer que diversité rime avec dialogue, que la différence apparaisse non pas comme une menace, mais comme une source potentielle d'enrichissement.

Dans notre monde dont je ne cesse de dénoncer l'asymétrie, l'inéquité, l'absurdité, où le Nord n'en finit pas de consommer du superflu et le Sud d'aspirer au nécessaire, une seule chose est bien partagée — et c'est merveille: je veux parler de la richesse des cultures, de la sagesse des hommes. C'est cette richesse, cette sagesse, que l'UNESCO, guidée par les idéaux universels inscrits dans son Acte constitutif, s'attache à mieux faire connaître et à mettre au service du développement humain. Elle a besoin pour cela de l'aide de tous, à tous les niveaux de la société civile. Elle a déjà beaucoup fait progresser le dialogue; mais il lui reste, il nous reste encore un long chemin à parcourir pour convaincre les responsables, aussi bien que l'opinion, que si la culture est à l'origine de bien des conflits, elle est aussi le lieu — le lieu unique — de la réconciliation des esprits. ■

L'inauguration d'Auroville, le 28 février 1968.  
Des représentants de plus de 50 pays  
versent des poignées de terre de leur pays  
dans l'urne en forme de lotus contenant la  
charte de la cité.



# Auroville, laboratoire d'une

par Lotfallah Soliman

---

**LOTFALLAH SOLIMAN,**  
écrivain et journaliste égyptien, a notamment  
publié *Pour une histoire profane de la Palestine*  
(La Découverte, Paris 1989).

---

Les illustrations des pages 48 et 49 et  
celle de la couverture de dos sont l'œuvre de  
la photographe française Dominique Darr.

**P**OUR l'inauguration d'Auroville, cinq mille personnes s'étaient réunies sur un plateau aride de l'Inde du Sud. Elles étaient venues d'un peu partout dans le monde. C'était en 1968. En signe d'unité, des jeunes de chaque délégation avaient jeté une poignée de terre de leur pays dans une urne qui contenait un texte de la charte de la cité nouvelle.

Le nom d'Auroville vient de celui du mystique et philosophe indien Sri Aurobindo (1872-1950) dont les œuvres et ses idéaux sont à l'origine de la création de la cité. Également appelée «la ville internationale de l'aurore», ou «la ville des besoins de la terre», Auroville célèbre cette année le vingt-cinquième anniversaire de sa fondation.

En réalité, son histoire remonte bien plus loin, à la rencontre, juste avant la Première Guerre mondiale, entre Sri Aurobindo et Mira Alfassa, une artiste visionnaire d'origine française. Ils devaient travailler ensemble, en Inde, à la création d'une ville modèle conçue pour être le ferment d'une humanité nouvelle. Après la mort du philosophe, en 1950, Mira Alfassa, devenue «la Mère», allait poursuivre la réalisation du rêve qu'elle partageait avec Sri Aurobindo.

## UN RÊVE

«Il devrait y avoir quelque part sur la terre un lieu dont aucune nation n'aurait le droit de dire: "Il est à moi"; où tout être humain de bonne volonté ayant une aspiration sin-



# *humanité nouvelle*

cère pourrait vivre librement comme un citoyen du monde, en n'obéissant qu'à une seule autorité, celle de la vérité suprême; un lieu de paix, de concorde, d'harmonie, où tous les instincts guerriers de l'homme seraient utilisés exclusivement pour vaincre les causes de ses souffrances et de ses misères, pour surmonter ses faiblesses et ses ignorances, pour triompher de ses limitations et de ses incapacités; un lieu où les besoins de l'esprit et le souci du progrès primeraient la satisfaction des désirs et des passions, la recherche des plaisirs et de la jouissance matérielle.

«Là, les enfants pourraient croître et se développer intégralement sans perdre le contact avec leur âme; l'instruction serait

donnée, non en vue de passer des examens ou d'obtenir des certificats et des postes, mais pour enrichir les facultés existantes et en faire naître de nouvelles. Là, les titres et les situations seraient remplacés par des occasions de servir et d'organiser; il y serait pourvu aux besoins du corps également pour tous, et la supériorité intellectuelle, morale et spirituelle se traduirait dans l'organisation générale, non par une augmentation des plaisirs et des pouvoirs de la vie, mais par un accroissement des devoirs et des responsabilités. La beauté sous toutes ses formes artistiques: peinture, sculpture, musique, littérature, serait accessible à tous également, la faculté de participer aux joies qu'elle donne étant limitée uniquement par

la capacité de chacun et non par la position sociale ou financière.

«Car dans ce lieu idéal, l'argent ne serait plus le seigneur souverain; la valeur individuelle aurait une importance très supérieure à celle des richesses matérielles et de la position sociale. Le travail n'y serait pas le moyen de gagner sa vie, mais le moyen de s'exprimer et de développer ses capacités et ses possibilités, tout en rendant service à l'ensemble du groupe qui, de son côté, pourvoirait aux besoins de l'existence et au cadre d'action de chacun.

«En résumé, ce serait un endroit où les relations entre êtres humains, qui sont d'ordinaire presque exclusivement fondées sur la concurrence et la lutte, seraient

remplacées par des relations d'émulation pour bien faire, de collaboration et de réelle fraternité.»

La Mère écrivit ce texte en 1954. Au début des années soixante, on commença à dessiner des plans et, en 1965, la Mère lança son premier message public: «Auroville se veut une cité universelle où des hommes et des femmes de tous pays, de toutes croyances, de toutes tendances politiques et toutes nationalités pourront vivre en paix et, progressivement, en harmonie. L'objectif d'Auroville est de réaliser l'unité de l'humanité.»

Le site qui fut choisi pour l'édification d'Auroville est situé à une dizaine de kilomètres au nord-ouest de Pondichéry et à cinq kilomètres de la mer. Situé sur la côte de Coromandel, face au golfe du Bengale, il s'étend sur un plateau d'une superficie de 20 kilomètres carrés. Son aspect était alors dénudé. L'un des premiers Aurovilliens, Alan Lithman, se souvient: «Un soleil impitoyable tombait sur cette étendue misérable, lui donnant une couleur de blanc osseux ou de terre cuite. Une terre, autrefois vivante, se mourait devant nous. Nous parvînmes au bord d'un canyon qui poussait ses entailles dans le paysage. Mon ami pointa le doigt par delà le ravin, vers un plateau désolé où, dans la brume de chaleur, quelques palmiers tremblaient comme des fantômes. "Voici Auroville!" Je regardai et ne vis rien qu'un paysage vide qui glissait vers le golfe du Bengale. Comment pourrais-je vivre là? Comment quiconque le pourrait-il?»

### LA FORCE D'AGIR

Mais, grâce au travail accompli au fil des ans, ce coin de terre, où vivent actuellement quelque 700 résidents originaires d'une vingtaine de pays, va peu à peu renaître: «Du bord de ce même canyon où je me tenais il y a plus de vingt ans, je vois aujourd'hui (...) des forêts, des prairies débordant de fleurs, où sont revenus les oiseaux et les bêtes sauvages. Je vois ce qu'on peut faire, même avec peu de moyens et dans les conditions les

plus impossibles (...) Je vois ce qu'on est capable de faire simplement en agissant, en ayant la force d'agir. Et quand j'observe le contraste que forme ce paysage avec celui qui se trouve derrière moi, je vois aussi tout ce qu'il reste à accomplir.»

Mais personne ne peut revendiquer à titre individuel la paternité de ce «miracle». C'est une œuvre collective à laquelle ont concouru villageois illettrés, professeurs d'université, scientifiques, ménagères, et tous ceux qui ont été volontaires pour se lancer dans cette aventure. Les gens vivant dans les environs d'Auroville y ont, eux aussi, contribué. La cité, avec son Réseau d'action villageoise, s'est engagée, en effet, dans des programmes de «coévolution».

Pour le poète-lauréat tamoul Meenakshi, qui vit à Auroville où il coordonne les programmes culturels et éducatifs ainsi que les relations villageoises, nombreux sont les jeunes Tamouls qui ont rallié la cité «pour les contacts qu'ils peuvent établir dans le travail, le sport et l'école». Meenakshi a le sentiment que, par rapport à la pesanteur sociale qui règne dans certains villages, Auroville représente «un ordre nouveau, une liberté d'apprendre et de devenir».

L'idéal de l'«éducation perpétuelle» est activement suivi. Deepti, originaire du Pendjab, est l'une des enseignantes de «L'école dernière» (ou «Last School», correspondant au niveau du secondaire). Elle s'emploie à inviter et à recevoir à Auroville certains artistes parmi les plus talentueux de l'Inde. «Tous s'identifient à la réalité intérieure d'Auroville et répondent positivement à l'atmosphère de liberté et de beauté qui règne ici. Depuis que je suis à Auroville, je

**Ci-dessous, à gauche: travaux agricoles. En vingt ans, plus de 2 millions d'arbres ont été plantés sur les terres d'Auroville; à droite: cours à la «Last School», aux méthodes d'enseignement originales.**

me suis découverte une indianité plus profonde. Mais la découverte de soi, qui, dans un premier temps, peut accentuer les caractéristiques nationales, tend ensuite à leur dépassement. Finalement, on devient aurovillien, car Auroville est une poursuite intérieure qui n'a rien à voir avec la personnalité extérieure. C'est une poursuite de l'âme; or, l'âme ne connaît pas de nationalité. Je crois que le destin d'Auroville et celui de l'Inde sont liés. C'est, comme on l'a dit une fois au Parlement, une flèche lancée dans l'avenir.»

### UN DESTIN MOUVEMENTÉ

En 1969, Indira Gandhi, alors Premier ministre de l'Inde, avait salué la création d'Auroville. Et, au cours de sa session d'octobre-novembre 1970, la Conférence générale de l'UNESCO notait qu'Auroville se préparait à devenir «un instrument d'éducation capable de répondre aux exigences redoutables de notre temps, en établissant un lien nouveau entre l'Orient et l'Occident».

Après la mort de la Mère, en 1973, Auroville connut une passe difficile. Les Aurovilliens eurent à lutter pour la survie de ce «laboratoire» de l'humanité et à développer les moyens de maintenir la cité en fonctionnement. En 1980, une décision de la Cour suprême de l'Inde devait permettre aux résidents d'Auroville de poursuivre sans entraves leur action en faveur des idéaux qui étaient les leurs. En 1988, une loi votée par le Parlement créait la Fondation Auroville; le Conseil consultatif international dont elle est dotée veille à la sauvegarde de ses idéaux de départ.

Au cours des années 80, des Instituts de recherche éducative et scientifique y ont vu le jour et on y a poursuivi les programmes de reboisement et de lutte contre l'érosion des terres. On a considérablement perfectionné l'emploi des techniques d'énergie renouvelable, notamment les éoliennes et les générateurs de biogaz. La construction a connu également une activité intense; l'on a beaucoup amélioré, là aussi, entre autres







techniques, la fabrication de blocs de terre stabilisée.

Au début des années 90, le fruit du travail accompli en plus de vingt ans est éclatant: Auroville possède son infrastructure, ses centres communautaires, et l'édification de Matrimandir, l'âme de la cité, est sur le point d'être achevée. Ce «Pavillon de la Mère» (sens de «Matrimandir» en sanscrit), ou «Pavillon de l'amour divin», se présente, à l'extérieur, comme une sphère de 36 mètres de diamètre. Par deux rampes d'acier, on accède à l'immense chambre intérieure (24 mètres de diamètre pour 16 mètres de hauteur), de forme circulaire. Toute en marbre blanc et son espace rythmé par douze colonnes, elle est surmontée d'un toit conique. Sur le sol, juste au centre de cette salle de méditation, un globe de cristal reçoit un rayon de soleil réfléchi par un héliostat fixé sur le toit. Autour du Matrimandir s'étendra un lac bordé de douze jardins fleuris.

S'agit-il d'une religion? En décrivant, en 1970, sa vision du pavillon, la Mère avait déjà répondu fermement par la négative. Et elle avait ajouté: «Un jour de la semaine ou un moment de la journée, on laissera venir les visiteurs. Mais le reste du temps, seuls ceux qui sont sérieux, sérieux et sincères, ceux qui

veulent apprendre à se concentrer, y auront accès. Aucun sujet de méditation ne leur sera proposé; mais ils devront rester silencieux, silencieux et concentrés. Matrimandir sera un lieu de concentration, un endroit pour tâcher de trouver sa conscience.»

Dans un monde agité... ■

**Le cœur d'Auroville.**

**A droite, la sphère du Matrimandir; en haut à gauche, le grand banyan, centre géographique de la cité; en bas, l'amphithéâtre de 3 000 places avec l'urne.**

### *La charte d'Auroville*

1. Auroville n'appartient à personne en particulier. Auroville appartient à toute l'humanité dans son ensemble.

Mais pour séjourner à Auroville, il faut être le serviteur volontaire de la Conscience Divine.

2. Auroville sera le lieu de l'éducation perpétuelle, du progrès constant et d'une jeunesse qui ne vieillit point.

3. Auroville veut être le pont entre le passé et l'avenir.

Profitant de toutes les découvertes extérieures et intérieures, elle veut hardiment s'élancer vers les réalisations futures.

4. Auroville sera le lieu des recherches matérielles et spirituelles pour donner un corps vivant à une unité humaine concrète.

**Pour plus ample information on peut s'adresser à Auroville International France, 14, rue du Colonel Grancey, 94500 Champigny-sur-Marne (tél: 16 1 42 45 44 64).**

# LE COURRIER DES LECTEURS



## L'ART DANS LE MÉTRO

Dans votre numéro d'avril 1992 («Les arts de la rue»), vous avez consacré un article aux œuvres d'art qui ornent les stations de métro dans plusieurs villes du monde. Cela m'incite à vous adresser un bloc de timbres-poste appartenant à une série émise par la poste argentine en 1980 et reproduisant les fresques en carreaux de faïence qui décorent les murs des stations de métro à Buenos Aires. Ces fresques de 18 m de long sur 2 m de haut représentent des épisodes marquants de l'histoire du pays, entre 1836 et 1936. La feuille [ci-dessus] est consacrée aux relais de poste sur la route qui reliait Buenos Aires au Haut-Pérou (l'actuelle Bolivie) et à Santiago du Chili.

JULIO C. SAENZ  
BUENOS AIRES (ARGENTINE)

## UNE REVUE ÉDUCATIVE

Je tiens à vous féliciter pour le choix judicieux des thèmes de votre revue, qui me sert d'auxiliaire et de guide dans l'exercice de mon métier d'enseignant. Mes élèves apprécient beaucoup les différents sujets traités, particulièrement dans le supplément «Espace vert». Vous êtes sur la bonne voie et j'espère que vous continuerez à informer,

éduquer et alerter vos lecteurs dans le monde entier, et surtout en Afrique.

JULIUS YULEAYENI M.G. BAKALI  
KATULI (MALAWI)

## TÉLÉ-POUBELLE ?

Votre numéro d'octobre à la gloire de la télévision m'inspire quelques réserves. Si, au départ, comme pour la radio, la télévision pouvait être une promesse d'enrichissement intellectuel, elle est devenue une entreprise de «décervelage». Il faut meubler le temps d'antenne, et cela devient un fourre-tout. Aux informations — le sang avant tout — on déverse une avalanche abrutissante d'images, quel que soit le sujet traité. Et les programmes! Deux thèmes essentiels, sinon uniques, pour allécher le spectateur: la violence et le sexe. Je suis honteux de penser qu'on en soit arrivé à une télé aussi déplorable. Et on s'étonne des mœurs de notre jeunesse et des manifestations de casseurs de tous poils...

G. NÉGRIN  
CLOYES-SUR-LE-LOIR (FRANCE)

## MAIS OÙ SONT PASSÉES LES MAÎTRESSES ?

En lisant dans votre numéro de septembre 1992 les articles consacrés à Socrate, Spinoza, Sartre et les autres, j'ai été, peu à

peu, gagnée par un certain malaise. Voilà donc, à vos yeux, ceux qui incarnent les «figures du maîtres»: les porteurs d'un savoir purement intellectuel, livresque, académique. Ces gens de lettres sont-ils les seuls détenteurs de la somme des connaissances de l'humanité, de ce qui façonne et enrichit le cœur et l'esprit humain, de ce qui fait de nous des êtres non seulement pensants, mais créatifs, imaginatifs?

J'ai bien regardé les illustrations choisies: des hommes avec des «choses écrites» (mais des épées aussi), et des hommes qui parlent. Des cerveaux, des têtes sur des tas de papiers, des bureaux, des tables de jeux, mais, là encore, de jeux d'intellectuels. Et puis des enfants, écoutant, tout oreilles, des hommes-enseignants. Des yeux lisant des tableaux noirs — verbes, conjugaisons, œuvres d'art à la craie. Des têtes à remplir ou bien pleines, mais pas de connexion avec les doigts, pas de mains reliées à ces cerveaux. Pas de mains qui sculptent, modèlent, gravent, pincent quelque instrument à cordes. Pas de maîtres qui imaginent, puis dessinent une figure ou une silhouette... Pas de maître orfèvre ou de maître potier qui, les mains dans la glaise, ébauche une forme...

Mais ce qui me fâche vraiment, en plus de l'absence de maîtres artistes ou artisans, c'est

une terrible absence... de maîtresses! Pas une seule illustration qui représente une femme entourée d'un public attentif de jeunes étudiants, ou élevant à la vue de disciples un quelconque manuscrit. Peut-être pensez-vous qu'il n'y a pas, dans l'histoire ou dans ce vaste monde, une seule femme «maître de savoir» — je ne vais pas jusqu'à écrire «maître à penser», qui ne se s'imagine même pas au féminin —, une seule génitrice de savoir ou accoucheuse de connaissances capable de faire bonne — et non plus belle — figure parmi vos maîtres choisis...

Il vous fallait alors, je pense, ruser afin de trouver et de donner, malgré vous et malgré tout, une place, si insignifiante soit-elle, à l'autre moitié de notre humanité. Ce numéro se voulait tout de même un hommage à l'enseignant, qui est plus souvent aujourd'hui une enseignante...

SIMONE ZAKRI  
PARIS (FRANCE)

## PRÉCISION

Dans la note biographique de Mme Mouny Berrah («Télé...vision», octobre 1992) nous avons omis de mentionner qu'elle était la correspondante à Washington de l'hebdomadaire algérien de langue française *Algérie-Actualité*.

46<sup>e</sup> année

Mensuel publié en 33 langues et en braille par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

31, rue François Bonvin, 75015 Paris, France.  
Téléphone: pour joindre directement votre correspondant, composez le 45.68 ... suivi des quatre chiffres qui figurent entre parenthèses à la suite de chaque nom.

Télécopie: 45.66.92.70

Directeur: Bahgat Elnadi

Rédacteur en chef: Adel Rifaat

#### RÉDACTION AU SIÈGE

Secrétaire de rédaction: Gillian Whitcomb

Français: Alain Lévêque, Neda El Khazen

Anglais: Roy Malkin

Espagnol: Miguel Labarca, Araceli Ortiz de Urbina

Unité artistique, fabrication: Georges Servat (47.25)

Illustration: Ariane Bailey (46.90)

Documentation: Violette Ringelstein (46.85)

Relations éditions hors Siège et presse: Solange Belin (46.87)

Secrétariat de direction: Annie Brachet (47.15),

Assistant administratif: Prithi Perera

Éditions en braille (français, anglais, espagnol et coréen):  
Mouna Chatta (47.14).

#### ÉDITIONS HORS SIÈGE

Russe: Alexandre Melnikov (Moscou)

Allemand: Werner Merkli (Berne)

Arabe: El-Said Mahmoud El Sheniti (Le Caire)

Italien: Mario Guidotti (Rome)

Hindi: Ganga Prasad Vimal (Delhi)

Tamoul: M. Mohammed Mustapha (Madras)

Persan: H. Sadough Vanini (Téhéran)

Néerlandais: Claude Montrieux (Anvers)

Portugais: Benedicto Silva (Rio de Janeiro)

Turc: Mefra Ilgazer (Istanbul)

Ourdou: Wali Mohammad Zaki (Islamabad)

Catalan: Joan Carreras i Martí (Barcelone)

Malais: Azizah Hamzah (Kuala Lumpur)

Coréen: Yi Tong-ok (Séoul)

Kiswahili: Leonard J. Shuma (Dar-es-Salaam)

Slovène: Aleksandra Kornhauser (Ljubljana)

Chinois: Shen Guofen (Beijing)

Bulgare: Dragomir Petrov (Sofia)

Grec: Sophie Costopoulos (Athènes)

Cinghalais: S.J. Sumanasekera Banda (Colombo)

Finois: Marjatta Oksanen (Helsinki)

Basque: Juxto Egaña (Donostia)

Thaï: Savitri Suwansathit (Bangkok)

Vietnamien: Do Phuong (Hanoi)

Pachto: Ghoti Khaweri (Kaboul)

Haoussa: Habib Athassan (Sokoto)

Bengali: Abdullah A.M. Sharafuddin (Dacca)

Ukrainien: Victor Stelmakh (Kiev)

Tchèque et slovaque: Milan Syruček (Prague)

Gallécien: Xavier Senín Fernández (Saint-Jacques-de-Compostelle)

#### VENTES ET PROMOTION

Abonnements: Marie-Thérèse Hardy (45.65), Jocelyne

Despouy, Jacqueline Louise-Julie, Manichan Ngonekeo,

Michel Ravassard, Mohamed Salah El Din

Dalson agents et abonnés: Ginette Motreff (45.64)

Comptabilité: (45.65)

Magasin: Hector Garcia Sandoval (47.50)

#### ABONNEMENTS. Tél. : 45.68.45.65

1 an: 211 francs français. 2 ans: 396 francs.

Pour les pays en développement:

1 an: 132 francs français. 2 ans: 211 francs.

Reproduction sous forme de microfiches (1 an): 113 francs.

Retour pour une année: 72 francs.

Paiement par chèque bancaire, CCP ou mandat à l'ordre de l'UNESCO.

Les articles et photos non copyright peuvent être reproduits à condition d'être accompagnés du nom de l'auteur et de la mention «Reproduits du Courrier de l'Unesco», en précisant la date du numéro. Trois justificatifs devront être envoyés à la direction du Courrier. Les photos non copyright seront fournies aux publications qui en feront la demande. Les manuscrits non sollicités par la Rédaction ne seront renvoyés que s'ils sont accompagnés d'un coupon-réponse international. Les articles paraissant dans le Courrier de l'Unesco expriment l'opinion de leurs auteurs et non pas nécessairement celles de l'UNESCO ou de la Rédaction. Les titres des articles et légendes des photos sont de la Rédaction. Enfin, les frontières qui figurent sur les cartes que nous publions n'impliquent pas reconnaissance officielle par l'Unesco ou les Nations Unies.

IMPRIMÉ EN FRANCE (Printed in France)

DÉPOT LÉGAL: C1 - JANVIER 1993.

COMMISSION PARITAIRE N° 71842 - DIFFUSÉ PAR LES N.M.P.P.

Photocomposition: Le Courrier de l'UNESCO.

Photogravure-impression: Maury-Imprimeur S.A.,

Z.I., route d'Etampes, 45330 Malesherbes.

ISSN 0304-3118

N°1-1993-0PI-92-511 F

Ce numéro comprend 52 pages et un encart de 4 pages situé entre les pages 10-11 et 42-43.

BONNE ANNÉE

Notre prochain numéro  
(Février 1993)  
aura pour thème:

# La violence

Illustration de l'encartage  
avec le grand chanteur espagnol  
JOSE CARRERAS

#### CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

Couverture: © NASA/Science Photo Library/Cosmos, Paris. Couverture de dos, pages 48, 49: © Dominique Darr, Paris. Page 2: © A. Smolich, Moscou. Pages 4, 6 en haut, 7: Alain Buu © Gamma, Paris. Page 5: D. Simon © Gamma, Paris. Page 6 en bas: F. ApesteGuy © Gamma, Paris. Pages 7-8, 18, 34-35, 39, 42: © NASA, Washington, D.C. Pages 10-11, 38, 40: © ESA, Noordwijk. Pages 11, 22-23, 23 en bas, 24: APN, Paris. Page 12 en haut: A. Mokletsov © APN, Paris. Page 12 en bas: © CNES/ Dist. SPOT Image/ Explorer, Paris. Page 13: © Charles Lenars, Paris. Page 14: NASA © Explorer, Paris. Pages 15, 16: © ISRO, Inde. Pages 17, 26 en haut: Georg Gerster © Rapho, Paris. Page 19: Collection B. Bauer © Explorer, Paris. Page 20: © Lowell Observatory, Flagstaff. Page 21: © Alfred S. Mc Ewen, U.S. Geological Survey. Page 25: © Monique Pietri, Paris. Page 26 en bas: Rega © Rapho, Paris. Page 27 en haut: Steinheil © Rapho, Paris. Page 27 en bas: Boireau © Rapho, Paris. Page 28 en haut: Cagnoni © Rapho, Paris. Page 28 en bas: Ducasse © Rapho, Paris. Page 29: Ancellet © Rapho, Paris. Page 30: Davidson © Rapho, Paris. Page 31: Bernheim © Rapho, Paris. Page 32: Liz Thompson © Impact Photos, Cosmos, Paris. Pages 33, 44: UNESCO-Dominique Roger. Page 36: © P. Woiceshyn, M.G. Wurtele, S. Peteherich. Page 37: © Gene Carl Feldman, NASA Goddard Space Flight Center, Maryland. Page 41: © ESOC. Page 43: K. Krafft © Explorer, Paris. Page 46-47: Venkatesh © Sri Aurobindo Asram, Pondichéry.

Ouvrage fort bien documenté et illustré, le *Grand Atlas de l'espace (1989)*, publié par Encyclopædia Universalis, s'est révélé très utile pour la préparation de ce numéro.

