

# Faire renaître la vie sur Mars

**« Nous avons choisi d'aller sur la Lune cette décennie, non pas parce que c'est facile mais parce que c'est difficile. »**

**John F. Kennedy**

*Mars revient en force sur le devant de la scène. Tout d'abord, avec la découverte — certes, encore controversée — de traces de vie fossile sur la météorite martienne ALH-84001, trouvée en 1984 dans l'Antarctique, et dont tout laisse à penser qu'elle a percuté notre Terre il y a environ 13.000 ans. D'autre part, avec le lancement en direction de Mars de trois sondes scientifiques — Mars 96, Mars Surveyor et Mars Pathfinder — en novembre et décembre de cette année. Ceci n'était pas arrivé depuis longtemps ! Il faut en effet remonter à 1975 (lancement des sondes Viking) et à 1988 (sondes Phobos dont le programme se traduisit par un échec) pour trouver une période où Mars fut l'objet de tant d'attentions.*

*Toutefois, en ce qui concerne une éventuelle mission d'envergure sur Mars, c'est le silence radio. Les Etats-Unis hésitent entre se contenter de missions de sondes et de robots, ou envoyer quelques astronautes récupérer quelques cailloux et puis revenir. L'idée même d'une colonisation de Mars apparaît aujourd'hui aux « bien-pensants » comme irréaliste, voire « farfelue ». Et pourtant, Wernher von Braun (qui n'avait rien d'un farfelu) prévoyait, dans son programme post-Apollo, la mise en place d'une base lunaire permanente en 1979, et une base martienne permanente en 1986 ! Ce programme abandonné, nous avons dans le même temps perdu la conviction de sa faisabilité.*

*Cet article vise à montrer comment retrouver l'esprit pionnier qui avait permis de mettre un homme sur la Lune, et qui permettra demain d'aller sur Mars.*

**PHILIPPE JAMET**

**A**près le premier pas de l'homme sur la Lune, on assista à l'une des périodes les plus optimistes de ce siècle. « Si nous avons réussi à mettre un homme sur la Lune, alors nous pouvons résoudre les autres problèmes », était une expression commune à l'époque. Le rêve de tous les enfants était « devenir astronaute » et participer à la découverte de l'espace. On voyait l'avenir avec confiance, non pas qu'il n'y avait plus de problèmes mais parce que nous étions persuadés de pouvoir les résoudre, si on y mettait les moyens. Ce rêve fut arrêté, principalement pour des raisons politiques, et on assista à un changement de paradigme culturel profond. A force d'idéologie « écologiste » et de mythe de société postindustrielle, nous sommes aujourd'hui arrivés à une période de pessimisme culturel, où le progrès scientifique et technique sert de bouc émissaire pour tout ce qui va mal dans notre société. L'intervention de l'homme dans n'importe quel domaine que ce soit (principalement scientifique et industriel) est vu comme négatif et destructeur, considérant que pour devenir « beautiful », il faut être forcément « small ». Nous sommes passés d'une philosophie où l'homme était décidé à transformer le monde et résoudre les problèmes, à une conception d'un monde clos et aux contraintes fixes, dans lequel l'homme ne peut que s'adapter. Nous nous trouvons clairement dans une logique du court terme où, le nez dans le guidon, nous fonçons droit dans le mur.

Peu de gens comprennent que la conquête de l'espace est le seul moyen de mettre fin à notre matrice malthusienne de « ressources limitées », cette « pensée unique » hégémonique parmi nos élites... et dont sont hélas aussi victimes un certain nombre de journalistes scientifiques. En réaction à ces tendances, « l'objectif Mars » apparaît comme le cadre à long terme nécessaire à nos activités et, surtout, nous fera retrouver l'esprit de découverte.

## Pourquoi aller sur Mars ?

La nécessité de résoudre des problèmes scientifiques d'ordre fondamental apparaît évidemment comme la justification la plus immédiate à des programmes martiens ambi-

teux, en particulier les domaines de l'astrophysique et de la vie. Comme le souligne Roger-Maurice Bonnet, directeur des programmes scientifiques de l'ESA, « Mars constitue sans aucun doute, après notre planète, le seul rivage écologique biocompatible de notre système solaire. Peut-être même existe-t-il des restes de vie fossile dans des niches souterraines ». Parmi les plus importantes questions, notons la forte possibilité de l'existence passée (ou encore actuelle) d'une forme de vie extraterrestre primitive.

Ces recherches sont absolument essentielles car, malgré les progrès considérables accomplis dans les sciences biologiques, nous ne savons pas encore totalement définir ce qu'est exactement la vie. Un bon exemple vient de la difficulté qu'ont les scientifiques à appréhender comment s'est déroulé le processus qui a donné naissance aux premières cellules vivantes ! Notre ignorance est donc grande pour déterminer correctement le passage de l'inanimé au vivant. Sur Terre, les fossiles les plus anciens ont été répertoriés dans des gisements de stromatolithes dont certains, comme celui de North Pole en Australie, seraient âgés d'environ 3,5 milliards d'années, si l'on se fie aux méthodes de datation radio-isotopique Samarium 147-Néodyme 143. Ces stromatolithes sont formés de plantes microscopiques, d'algues primitives et de bactéries fossiles que l'on retrouve dans les roches sédimentaires les plus anciennes. Pour la majorité des scientifiques, il ne fait aucun doute que, sur Terre, de tels organismes ont contribué à l'oxygénation progressive de l'atmosphère terrestre, laquelle au départ ne contenait pratiquement pas d'oxygène à l'état libre (O<sub>2</sub>). C'est ce changement de milieu qui a contribué à l'émergence de processus vivants eucaryotes plus complexes et hautement organisés.

Qu'y avait-il avant ? Sur Terre, à cause des phénomènes géologiques comme la tectonique des plaques, des érosions éolienne, hydraulique et atmosphérique, et aussi du fait que l'on ne peut exclure que les nouveaux processus vivants en émergence aient contribué eux-mêmes à la disparition de ce qui les avait précédé, nous ne possédons plus aucune trace de ce qui s'est réellement passé à cette époque très reculée. Ce n'est peut-être pas le cas pour Mars, d'après l'avis notamment d'André Brack (uni-

versité Orléans-La Source) ou de l'Américain Christopher McKay<sup>1</sup>, ancien de l'université du Colorado passé au Ames Research Center de la NASA. Comme le déclare McKay : « Mars n'a pas eu de tectonique des plaques ou de cycles biogéochimiques [dès que l'atmosphère originelle martienne a disparu, ndr], de sorte que ce fut un voyage sans retour vers le vide glacial, ce qui est le moyen idéal de préserver des échantillons. Si on regarde la surface de Mars, on voit que 60% de la planète date de 3,5 à 3,8 milliards d'années. Il est quasiment certain qu'il y a un meilleur enregistrement sur Mars de ce à quoi pouvait ressembler une planète comme la Terre pendant le premier demi-milliard d'années durant lequel elle s'est formée, qu'il n'y en a sur Terre. Et, s'il y a jamais eu de vie, il est probablement vrai que l'enregistrement de l'origine de la vie est de loin mieux préservé sur Mars. Dans ce sens, les études de Mars peuvent largement enrichir notre étude des origines de la vie sur Terre. »<sup>2</sup>

Certains scientifiques ont été encore plus loin que McKay au niveau de leurs hypothèses. Ainsi, le Dr Sneath, qui fut directeur du Centre de recherches microbiennes de l'université de Leicester, estime « peu probable mais possible » que des bactéries aient pu subsister en état de léthargie dans certains endroits parmi les plus froids de Mars, pendant des centaines de millions, voire des milliards d'années ! Ce scientifique appuie son raisonnement hardi sur le fait que la décomposition chimique d'organismes très primitifs peut être arrêtée à de très basses températures.

La vérification de ces hypothèses justifie bien évidemment les missions automatiques de retour d'échantillons martiens, comme les anciens projets soviétiques de l'IKI ou l'ex-projet américain Mars Rover Sample Return de la NASA. Toutefois, rien qu'à ce niveau, l'examen succinct des conditions qui prévalent sur Mars se charge vite de démontrer une fois de plus, contrairement à ce que pense Jacques Blamont, que l'homme sera irremplaçable sur Mars. Pour les données les plus difficiles à obtenir, il nous faudra tout à la fois creuser très en profondeur dans le sous-sol martien, et effectuer des investigations dans des anfractuosités a priori inaccessibles aux machines les plus sophistiquées. Il faut ajouter également à tout cela la part d'imprévu qui peut

## 1996 : l'année du retour vers la Planète Rouge...

Depuis le succès remarquable des sondes Viking (1976), toutes les missions martiennes ont régulièrement échoué (cas des sondes soviétiques Phobos en 1988 et de la sonde américaine Mars Observer qui rendit l'âme le 21 août 1993). Mais cette année, nous pouvons reprendre espoir. En effet, trois sondes scientifiques sont actuellement en instance de prendre la direction de Mars !

Intercalée entre les lancements des sondes américaines Mars Global Surveyor (lancement le 6 ou le 7 novembre) et Mars Pathfinder (lancement prévu le 3 décembre), la sonde géante russe de 6 tonnes — Mars 96 — nous intéresse au plus haut point, puisqu'elle n'est ni plus ni moins que la résultante, exécutée avec retard, du programme franco-russe Mars 94. Celui-ci devait ouvrir la route au programme initial Mars 96, et fut abandonné pour raisons financières. Cette mission prévoyait de larguer dans l'atmosphère de Mars un ballon aérostat (ascendant et descendant en fonction de l'alternance jour/nuit) et un véhicule semi-automatique Marshokhod. Nous ne pouvons que regretter cet abandon, notamment pour toute l'équipe du CNES qui s'était entièrement investie dans ce projet (Josette Runavot, Francis Rocard, Jacques Blamont). Mars 94, ainsi devenu par la force des choses Mars 96, emporte tout de même près de 250 kilos de charge utile scientifique dont un orbiteur (pour l'étude de l'atmosphère, la cartographie géologique et minéralogique à partir de l'espace), un réseau de deux stations fixes au sol (études de sismologie, météorologie, détection d'un éventuel champ magnétique) et deux pénétrateurs pour le carottage et l'analyse du sol martien in situ. Les Français sont particulièrement impliqués dans cette mission avec quatre expériences dans les stations fixes et huit sur l'orbiteur : expérience ondes-plasma du LPCE-Orléans, sismomètre de l'instrument Optimism de l'IPGP et de l'INSU, caméra de descente Descam du LAS, caméra panoramique Pancam du CNES, spectromètre de masse du CRPE de Saint-Maur pour l'étude de l'ionosphère, spectromètre-imageur de l'IAS et du DESPA pour la composition de la surface et la mesure du taux de poussières atmosphériques,... auxquels il faut ajouter un module de relais des données conçu par le CNES et Alcatel Espace, et qui équipait déjà Mars Observer.

Pour ce qui concerne la sonde Mars Global Surveyor, qui arrivera en orbite martienne en septembre 1997, on peut la considérer comme une « version réduite » de la défunte Mars Observer, dont elle emprunte d'ailleurs la fameuse caméra MOC capable d'une résolution de 1,4 mètre dans les circonstances les plus favorables, sur son orbite quasi polaire de 48 heures. Celle-ci sera atteinte progressivement, sur une durée de quatre mois, selon un processus de freinage atmosphérique dit Aerobraking. Incluant cinq types d'expériences principales (Mars Orbital Camera, Thermal Emission Spectrometer, Mars Orbital Laser Altimeter, Radio-Science Investigations, Magnetic Fields Investigations), Mars Global Surveyor peut être comparé à un véritable épervier scrutant chaque détail de la surface (en espérant, par exemple, mettre en évidence le rôle passé de l'eau dans la topographie martienne), des calottes polaires et des courants de circulation de gaz et de poussières dans l'atmosphère. Comme Mars 96, cette sonde cherchera aussi à détecter l'hypothétique champ magnétique martien, même si elle sera toutefois précédée dans l'étude de la Planète Rouge par Mars Pathfinder, parti pourtant de la Terre un mois après !

Cette dernière reprend pour sigle le nom d'un ancien programme technologique américain, lancé en 1988, et consacré précisément aux technologies lunaires et martiennes. Conçu sous la direction de Matthew Golombek, Mars Pathfinder sera donc le premier arrivant de cette nouvelle « armada », grâce à un atterrissage *direct* sans les habituelles et complexes manœuvres de satellisation. La sonde larguera par parachute le petit robot mobile Sojourner au cœur d'Ares Vallis, une vallée géante martienne soupçonnée d'avoir été le théâtre, dans un lointain passé, de gigantesques remontées d'eau et de coulées de boue venues de nappes aquifères souterraines. Selon Golombek, « *Ares Vallis est intéressante à plus d'un titre car elle recèle une large variété de roches qui ont été charriées par des remontées d'eau et qui proviennent de plusieurs types de terrains spécifiquement martiens* ».

Sojourner arrivera au sol protégé par une enveloppe protectrice de ballons gonflables pour amortir le choc. Une fois ces ballons dégonflés, notre petit robot martien (replié sur lui-même, il pourrait tenir dans une grosse valise !), déploiera ses caméras. Celles-ci équipées de divers filtres sont conçues pour l'identification de minéraux spécifiques et rares et travailleront avec le spectromètre APXS (Alpha-Proton X-Ray Spectrometer) capable de déterminer l'exacte composition des éléments constitutifs des roches que le robot rencontrera lors de son parcours.

En principe, ces missions devraient être suivies de missions de retour d'échantillons martiens d'ici 2005-2006. Américains et Russes pourraient alors fusionner dans un même programme l'ancien projet MRSR (Mars Rover Sample Return) et les ex-projets soviétiques de l'IKI de Moscou et de l'Institut Vernadski.



***Mars Pathfinder arrivera au sol protégé par une enveloppe protectrice de ballons gonflables pour amortir le choc.***

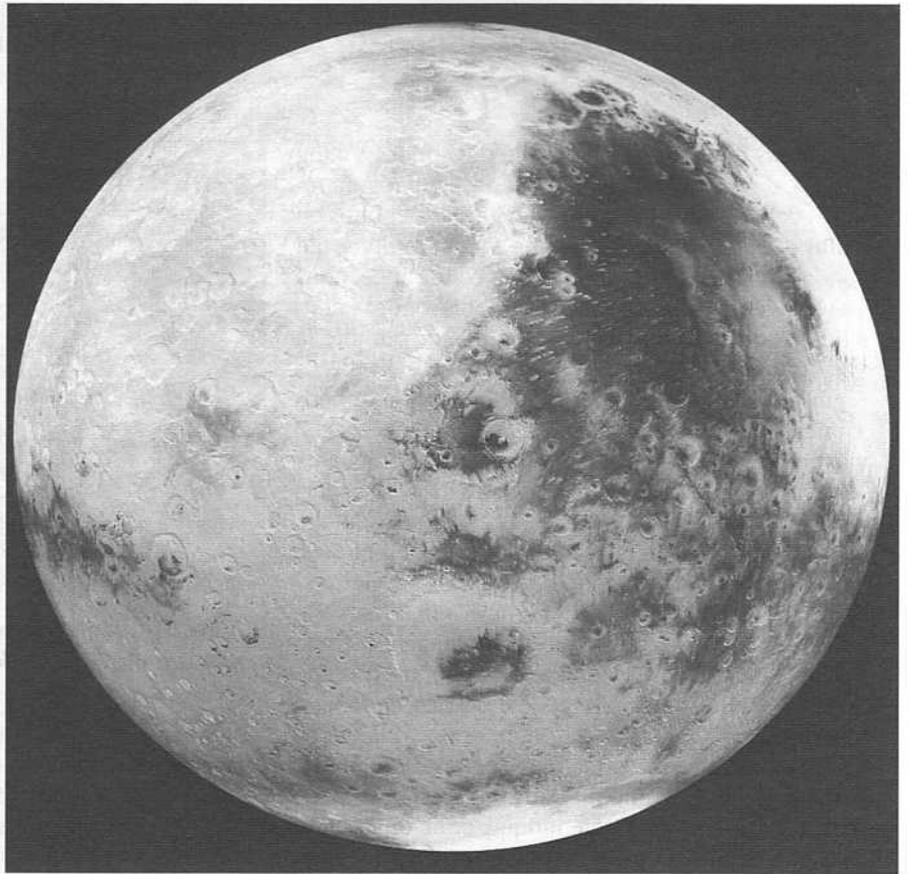
→ affecter ces missions, situation à laquelle il n'est pas sûr qu'un robot puisse répondre de façon adéquate.

Quoi qu'il en soit, ces recherches révolutionneraient sans aucun doute tous les domaines qui touchent à la vie — du médical à l'agriculture, en passant par l'environnement.

Une autre perspective de recherche fondamentale sera l'astrophysique même si, pour des raisons évidentes, la face cachée de la Lune (protégée en outre des rayonnements radio naturels et artificiels de la Terre pour la radioastronomie) offre davantage de possibilités que Mars. Nous n'irons pas sur Mars pour « faire de l'astronomie » mais celle-ci sera en quelque sorte une retombée des programmes martiens.

Il sera possible, par exemple, d'installer de grands télescopes sur les gigantesques plate-formes que constitue la surface de lave refroidie et vitrifiée comme Olympus Mons (dépassant de plus de 25 kilomètres le niveau moyen de la surface martienne !) et Arsia Mons. Nous pourrions utiliser des miroirs un peu plus grands et plus lourds que ceux des observatoires terrestres, grâce à la gravité martienne valant environ 38% de celle de la Terre. Il ne faut toutefois pas oublier le problème que posent les monstrueuses tempêtes de sable soulevées par de violents tourbillons, dus à la fonte printanière d'une partie du dioxyde de carbone des calottes polaires. De ce fait, nos télescopes martiens ne seraient utilisables que 150 à 200 jours par an, tout en sachant que l'année martienne dure un peu plus de 686 jours terrestres.

Par contre, si l'on plaçait des instruments hors du milieu martien, c'est-à-dire dans l'espace circummartien, les avantages seraient nombreux. Tout d'abord, l'éloignement de Mars par rapport au Soleil constitue déjà un avantage pour un grand télescope optique. A capacités techniques égales par rapport à un instrument en orbite terrestre, un télescope spatial martien serait plus performant notamment pour tout ce qui concerne l'astronomie des petits corps célestes (astéroïdes et comètes). A certaines périodes, qui correspondent à des cycles réguliers « chevauchant » plusieurs années martiennes, Mars se trouve pratiquement « face à face » avec la fameuse Ceinture de Kuiper, où orbitent probablement plusieurs milliers d'objets « transneptuniens »,



*Source de fascination, Mars est peut-être, en dehors de la Terre, la seule planète du système solaire où la vie soit apparue à une époque reculée.*

dont certains peuvent atteindre un diamètre de plus de 150 kilomètres. Lors de ces moments exceptionnels, l'observation de ces objets ne sera pas gênée par la luminosité des grandes planètes gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) car celles-ci, se trouvant alors sur des parties éloignées de leurs orbites respectives, n'empiètent pas sur l'angle de vision important de nos futurs observatoires martiens. Ainsi, il sera plus facile de « sortir » du fond de ciel obscur ces transneptuniens dont certains, selon Michel Maurette et Dale Cruikshank, représentent un danger potentiel de collision pour les planètes internes du système solaire.

Il faut également mentionner les opportunités offertes par la longue distance entre Mars et la Terre, ainsi que l'extrême variabilité de celle-ci en fonction des différentes phases du parcours de la planète sur son orbite. Ceci est bien sûr intéressant en astronomie optique, mais l'intérêt le plus évident concerne la « radioastronomie à très longue base », extension, à une échelle autrement conséquente, de la radioastronomie à longue base.<sup>3</sup>

Cette technique a notamment été exploitée avec le fameux « Very Large Array » du Nouveau-Mexique et consiste (avec des variantes fixes et mobiles) à braquer plusieurs radiotélescopes sur le même objet, avec pour conséquence un résultat incroyable : le pouvoir séparateur obtenu correspond à peu près à celui d'un instrument unique, dont la taille correspondrait à l'écartement entre les télescopes composant le réseau ! Devant ses résultats — notamment pour tout ce qui concerne les masers interstellaires, les radiosources, les quasars et les radiogalaxies — cette technique a été étendue au travail simultané de plusieurs grands radiotélescopes opérant soit à l'échelle d'un continent (cas des radiotélescopes de Green Bank, Haystack et Owen Valley), soit même sur plusieurs continents ! C'est ce qu'on appelle « interférométrie à très longue base ». La récupération des données n'est certes pas une mince affaire à cause de la complexité du système, mais le problème a été résolu dans les années 70 grâce aux travaux des astrophysiciens Rogers et Readhead. Il n'est guère

difficile d'imaginer ce que cette technique pourrait donner en utilisant simultanément plusieurs radiotélescopes à la fois en orbite martienne et en orbite terrestre. Il faudra toutefois prendre en compte le difficile problème posé par l'impossibilité d'une télécommande en temps réel des radiotélescopes martiens et celui posé par la rotation des deux planètes au niveau de la récupération des données. Mais, là encore, les astrophysiciens ont déjà imaginé des solutions et ce n'est pas pour rien qu'ils rêvent tous d'une gigantesque « lentille Terre-Mars ».

Il faut souligner que ces recherches fondamentales ne visent pas seulement à faire plaisir à quelques astronomes ou biologistes. La recherche fondamentale engendre toujours les principes qui serviront au développement de nouvelles technologies. D'autre part, la conquête de Mars, en constituant un véritable défi pour notre science et notre technologie, sera un des principaux catalyseurs des activités humaines pour les siècles futurs. Dans différents articles que nous avons publiés dans *Fusion* au cours des années passées, nous nous sommes efforcés de démontrer pourquoi, et par quels types de stratégies, un accroissement des activités de l'homme hors de sa biosphère (Lune et astéroïdes) était la seule opportunité pour sortir de certaines impasses économiques ou technologiques.<sup>4</sup> En effet, un programme martien à marche forcée est le moyen le plus approprié pour opérer des sauts significatifs dans trois grands domaines scientifiques : la fusion thermonucléaire, les rayonnements cohérents et l'optique biophysique. Nous reviendrons ultérieurement sur les implications de ce nouveau paradigme technologique dont on peut attendre de nombreuses retombées pour la résolution de problèmes terrestres, au premier rang desquels on pense aux techniques agricoles et à la lutte contre la désertification, à la biologie et la médecine et, bien sûr, à de nouvelles formes de production d'énergie.

Des programmes terrestres « directs » ne donneraient jamais le même niveau de résultats, ce qui fait que ce défi devient en fait par lui-même une justification. Grâce aux programmes martiens, nous pourrions mobiliser, au niveau international, les meilleures équipes de chercheurs en les faisant travailler à la limite de la « fron-

tière » scientifique et technologique. L'intérêt essentiel de la conquête spatiale, comme on le voit bien, ne sera pas d'importer des produits de l'espace. La « première marchandise d'exportation de la conquête spatiale », comme le souligne l'économiste américain Lyndon LaRouche, sera la connaissance qui transformera totalement et améliorera notre mode de vie sur Terre.

## De la nécessité d'une stratégie cohérente

L'objectif lointain de la transformation de l'environnement martien, pour le rendre directement habitable aux humains, peut être envisagé sous plusieurs conditions :

- prendre en compte la notion de temps nécessaire pour qu'un tel dessein, qui ne peut être que progressif et lointain du fait du bond nécessaire au niveau des connaissances, ne soit pas engagé dans une impasse.

- ne pas jouer aux apprentis-sorciers : nul ne peut prédire ce que pourrait provoquer le réchauffement de la planète Mars et la modification des paramètres de son atmosphère sur d'éventuels micro-organismes martiens. Il faudra pour le moins multiplier les expériences-pilotes.

- considérer que l'extension d'importantes cités martiennes est déjà par elle-même un moyen de gagner peu à peu sur l'hostilité de l'environnement local.

Si l'on sait qu'en tenant compte des meilleures technologies disponibles ou en cours de développement, l'envoi d'un seul kilogramme de charge utile vers Mars coûtera au bas mot 55.000 à 60.000 dollars, il n'est pas besoin d'être un économètre patenté pour comprendre que la seule voie permettant la conquête de Mars (et même pour de seuls buts scientifiques), consiste à implanter d'un seul coup toute l'artillerie énergétique et technologique permettant à la fois une totale autarcie, et de poser de façon solide les bases d'un développement ultérieur. Un peu comme si on larguait dans le désert toute une équipe avec un gros camion chargé des abris à fabriquer, des systèmes de détection et de traitement de l'eau, des machines-outils, des systèmes agricoles clos et d'un véhicule, mais en pièces détachées.

De notre point de vue, une fois les tâches préalables de repérage des sites et des ressources utilisables effectuées par des robots, mieux vaut forcer les étapes par une stratégie étalée dans le temps. Ces étapes sont la base-relais en orbite basse (pouvant être une extension d'ISSA/Alpha), et la colonisation lunaire, indispensable pour mettre en place les bases du programme martien. En fait, des coûts d'investissements plus élevés au départ finissent par revenir *moins cher* si ce projet débouche rapidement sur un processus autarcique, sans peser sur de lointaines ressources terrestres. Ainsi, un projet international s'élevant entre 700 et 800 milliards de dollars serait plus intéressant, économiquement parlant, que les dépenses de 250 à 300 milliards de dollars dont on parle pour le projet américano-russe de voyage martien habité pour les années 2015-2018. Pour réussir ce plan de conquête, il faut éliminer, dès le départ, tout projet de débarquement de prestige, ou constituant « un but en soi », et qui ne puisse, par nature, contribuer à enclencher immédiatement les étapes ultérieures. S'il était maintenu tel quel, sans être plus intégré dans une véritable stratégie cohérente de conquête de l'espace, fort grands seraient les risques de reproduire, à une toute autre échelle, la « philosophie » du vol Apollo-Soyouz de 1975. Chacun aura pu prouver son existence en tant que puissance spatiale, les médias se seront fait temporairement les témoins d'une expérience exaltante, quelques dizaines de kilos d'échantillons martiens auront été répartis entre quelques gros laboratoires, après avoir été ramenés par six ou sept astronautes qui entreront dans la postérité... Toutefois, ces 250 à 300 milliards de dollars auront été dépensés sans déboucher sur quelque chose de durable, en 2035 les heureux laboratoires travailleront toujours avec les mêmes échantillons, et les programmes martiens seront peu à peu mis en veilleuse par une décision du pouvoir politique qui trouvera « l'addition » trop lourde.

Les implications d'un programme de conquête martienne sont tellement énormes, et le coût des investissements de démarrage tellement élevé, qu'il nous faut dès maintenant définir la stratégie la plus adaptée devant conduire au succès dans un délai raisonnable. D'autre part, il faut

rappeler qu'on estime que chaque dollar investi dans le programme Apollo, a engendré entre 10 et 20 dollars en retour c'est-à-dire que la rentabilité de ce projet devra se calculer par ses effets sur le processus productif dans son ensemble.

Ce plan de conquête doit être à la fois strict sur le plan des principes, mais également suffisamment souple pour y intégrer en cours de déroulement tous les « invités inattendus du progrès scientifique et technologique ». En effet, continuer à utiliser la plus rapide des locomotives à vapeur serait une hérésie si quelque ingénieur de génie peut nous proposer, même à un coût supérieur, un engin à lévitation magnétique. Nous savons qu'il existe, aux Etats-Unis, des « Blacks Programs » financés par le département de la Défense, et très inspirés des idées futuristes d'Howard Townsend Brown et du physicien LaViolette. Ces recherches porteraient sur la MHD (qui serait utilisée, à titre expérimental, sur le programme de bombardier furtif B-2 et dans le cadre du programme Black Manta), mais aussi sur l'antigravitation<sup>5</sup>, considérée, il y a peu de temps encore, comme de la science-fiction.

Toutefois, ce dont nous avons besoin, plus encore que de technologie, c'est de cerveaux bien faits et de *stratégie*. Pour ce faire, nous devons adopter la notion de « ressources propres de l'espace », consistant à n'utiliser que des sources d'énergie locales, et les matériaux de la Lune et des astéroïdes. Ainsi, ne viendront de la Terre que l'homme et, pendant un certain temps, les technologies.

## L'étape lunaire

La Lune sera indispensable au projet martien à cause des matières premières facilement exploitables situées dans sa croûte, des spécificités de son environnement, favorisant le traitement de ces matières premières en produits semi-finis, et de sa faible gravité. Cette dernière représente l'avantage principal de la Lune pour la conquête du système solaire. Il faut, en effet, un Delta-V de 1,7 kilomètre/seconde pour se positionner sur une orbite lunaire en partant de la surface de notre satellite, avec des systèmes de propulsion peu performants. Le même Delta-V se situe à 2,4

pour échapper définitivement à l'attraction lunaire, chiffre à comparer aux 11,3 nécessaires pour échapper à la gravité terrestre et aux 7,9 nécessaires pour parvenir seulement sur une orbite basse terrestre, en partant de Baïkonour ou Cap Canaveral... Ceci explique pourquoi, en termes d'énergie, les différentes orbites terrestres sont plus « proches » de la Lune que de la surface terrestre et pourquoi il sera plus intéressant de construire nos vaisseaux martiens majoritairement à partir de composants lunaires.

Se situant parfaitement dans la perspective martienne, nombre des produits suivants pourraient, selon le pionnier Krafft Ehrlicke, être exportés

vers l'espace : tôles et poutrelles d'aluminium, de magnésium, titane, fer et alliages divers, verre et laine de verre, céramiques et alliages réfractaires, matériels d'isolation thermique et électrique, structures entières de métal et de différents alliages pour installations orbitales, boucliers thermiques, matériaux d'isolation, blindages et matériaux antiradiations pour stations spatiales, réservoirs de combustible spatial, composants de vaisseaux interplanétaires. On trouvera donc parmi tout ceci une grande partie du matériel à déposer sur Mars, et qu'il faut évaluer en milliers de tonnes. Ces produits lunaires ne vont pas bien sûr être utilisés uniquement

## Qui a dit trop cher ?

Un voyage vers Mars et un projet de colonisation de cette planète sont des projets tellement énormes que l'on ne peut les discuter sans aborder la question économique. Quand on évoque les sommes globales, qui se chiffrent en centaines, voire en milliers de milliards de dollars, certains pourraient s'effrayer. La première chose à faire est de les relativiser en donnant d'autres chiffres. *Chaque jour*, il s'échange sur les marchés financiers plus de 3000 milliards de dollars, qui sont de surcroît pratiquement totalement déconnectés de l'économie réelle...

L'argent n'est donc pas un problème en soi. Ce qui pose problème, c'est l'organisation de notre société mondiale, son orientation vers le profit à court terme et le paradigme ultralibéral dominant. Dans ce cadre, il est extrêmement difficile de réaliser des projets à long terme où il y a risque. Rappelons que le lancement de projets comme Concorde ou comme Airbus seraient impossibles dans le cadre des accords de Maastricht, marqués par une vision strictement monétariste.

Dans le passé, les choses étaient plus simples : lorsque Fernando d'Espagne et son épouse Isabel décidèrent de financer les voyages de Christophe Colomb vers la terre d'Amérique, ils n'avaient pas besoin de se préoccuper des prochaines élections. Un projet comme celui du voyage de l'Amérique représentait pourtant, relativement au revenu global de la société, une dépense beaucoup plus grande que le projet Apollo de conquête lunaire. Aujourd'hui, lancer un projet tel que celui que nous proposons suppose l'adhésion large de la société. Ce n'est pas aux techniciens de susciter cette adhésion, encore qu'ils doivent y participer ; c'est là le rôle des politiques.

La question du coût des projets martiens est donc d'abord *politique*. Notre société est-elle capable de penser « long », de penser à des échéances lointaines, de penser à investir dans des projets qui ne « rapportent » pas directement et immédiatement, mais qui influent durablement et positivement sur son avenir ? Voilà ce qu'il faut se demander avant de faire de savants calculs coût/efficacité. Pour le voyage vers Mars, le cadre de référence approprié n'est pas l'étroite comptabilité analytique. Il faut plutôt se tourner vers la Renaissance du XIII<sup>e</sup> siècle, au cours de laquelle on entreprit la construction des cathédrales. Celles-ci, bien plus que de simples monuments, représentaient un projet global de réforme de la société, autour duquel étaient développées de nouvelles techniques, qui circulaient ensuite dans l'ensemble du pays. Leur construction, qui coïncida avec l'urbanisation, changea la face de l'histoire comme celle des villes. C'est du même enjeu dont nous parlons aujourd'hui avec le projet martien : il s'agit d'introduire un point de rupture dans notre histoire, à partir duquel le cours des choses sera irréversiblement changé.

EG

dans le cadre du programme martien. Ils permettront également de lancer un processus d'industrialisation en orbite terrestre basse, car nombre des productions que nous venons de décrire s'intègrent parfaitement dans le développement d'usines spatiales. Celles-ci pourraient concerner l'industrialisation en microgravité (électronique et semi-conducteurs, alliages et verres ultrapurs, fluides), la réparation des satellites et la construction de vaisseaux spatiaux dans l'espace.

La réussite de ce processus dépendra de la capacité de l'industrie lunaire à fabriquer en masse des éléments standardisés, facilement intégrables dans l'espace par une association d'hommes et de robots. Ces éléments pourraient être éjectés sur une orbite lunaire par des systèmes d'accélérateurs électromagnétiques (inspirés des idées d'Arthur Clarke et du Français Bachelet). De là, ils seraient récupérés par des remorqueurs automatiques jusqu'aux orbites demandeuses. La colonisation lunaire changera donc radicalement les conditions du programme martien en constituant sa base économique et infrastructurelle, tout en réduisant les coûts de façon indirecte grâce à un processus industriel autonome autour de la Terre. Ce processus induira à son tour une demande de produits fabriqués dans l'espace, attirant, par la baisse des coûts, les investissements de nombreuses firmes privées. Les bénéfices générés entraîneront à leur tour la construction en nombre croissant d'engins spatiaux récupérables et de systèmes robotiques pour desservir des installations clés en mains, fournies par l'industrie lunaire. Si un tel processus, tournant peu à peu sur lui-même, était déclenché, il serait possible d'avoir nos installations lunaires opérationnelles vers 2007-2008. Ce laps de temps serait suffisant pour qu'elles deviennent rentables vers 2015-2017, date à laquelle devraient être construits, puis lancés, les deux vaisseaux martiens envisagés dans le plan que nous proposons. Leur construction se ferait sur un chantier proche de la station spatiale.

La station Alpha, dont la conception est principalement orientée sur la recherche technologique, sera un peu juste pour jouer un rôle important dans la mise en œuvre du programme martien. Mieux vaut lui attribuer le rôle de relais-étape pour la



*Navette à alunissage glissé, conçu par Krafft Ehrlicke. Ce concept est basé sur une combinaison de quatre rétrofusées et de « skis » glissant sur des pistes préalablement aménagées à cet effet.*

colonisation lunaire, et lui adjoindre des docks qui serviraient de dépôts provisoires pour le matériel en transit, destiné aux premières phases d'industrialisation lunaire. Il faut compter au minimum 700 à 800 tonnes de matériel sophistiqué (comprenant également les systèmes de survie et de recyclage), masse critique nécessaire au démarrage de l'industrialisation lunaire. Il y aura « démultiplication » sur place grâce à des technologies spécifiquement opératoires dans cet environnement particulier : alternance jour-nuit très étalée, induisant des écarts extrêmes de températures mais favorisant certains procédés industriels, vide extrême, présence en grande quantités dans la croûte lunaire de matériaux et minerais facilement exploitables (titane, fer, aluminium, magnésium, oxygène des roches lunaires, métaux rares comme le cobalt et le tantale), utilisation particulièrement facile de l'énergie solaire du fait que celle-ci, très concentrée, est disponible longtemps aux mêmes endroits, à cause de la lente rotation de la Lune sur elle-même.

Toutefois, la Lune pose un problème quant à son accès pour des masses importantes de matériel : notre satellite ne possède pas d'atmosphère et, s'il est facile de s'en évader, il est paradoxalement plus difficile de s'y poser dès que la masse d'alunissage dépasse un certain niveau. Il est, en effet, impossible d'utiliser ici les tech-

niques « d'aérofreinage » qui seront utilisées sur Mars. Avec les meilleurs systèmes-fusées classiques, il est possible de débarquer 80 tonnes d'un seul coup, mais il ne faut pas oublier que pour poser 6 tonnes à la surface de la Lune, en vol direct à partir de la Terre et avec un système classique, il nous faut faire parvenir 100 tonnes en orbite basse ! Nous devons donc choisir la solution d'amener nos 700 à 800 tonnes de matériel lunaire en deux phases, dont l'une pourrait correspondre à un stockage sur les parties externes d'Alpha à partir de 2005-2006.

L'accès en orbite lunaire de ce matériel pourrait être effectué par un système OTV (Orbital Transfer Vehicle), amené vers Alpha par l'actuelle navette américaine, puis envoyé vers notre satellite en tractant nos charges utiles compactées et équipées de systèmes de rétrofusées. Mieux encore, il serait aussi possible d'utiliser un système LLTV, dont nous reparlerons, en faisant appel pour son lancement à une grande fusée russe inutilisée, à savoir Energya. Ultime-riement, on pourra utiliser le concept de « navette à alunissage glissé », présenté par Krafft Ehrlicke lors du Congrès annuel de la Fédération internationale d'astronautique qui s'est déroulé en 1982 à Paris. Ce concept, basé sur une combinaison de quatre rétrofusées et de « skis » glissant sur le sable lunaire dans le cadre de pistes

préalablement aménagées à cet effet, pourrait permettre l'accès direct à la Lune d'une charge utile de près de 300 tonnes. Toutefois, à ce stade du processus, il sera impossible d'utiliser un tel engin qui ne peut être construit que dans l'espace, et seulement avec des éléments venus de la Lune. En attendant l'arrivée d'un tel engin, nous pourrions nous orienter vers des moyens immédiatement disponibles aux Etats-Unis et dans l'ex-Union soviétique.

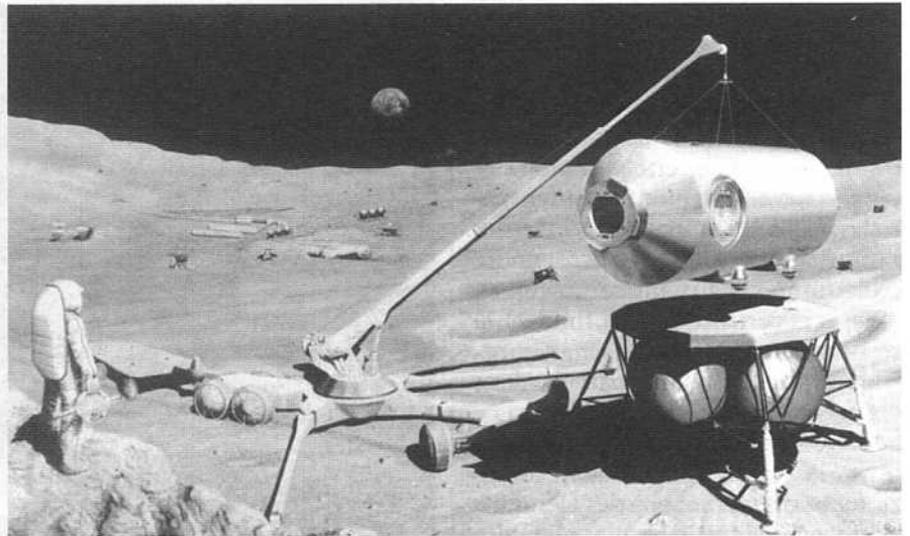
Ainsi, pour réussir notre stratégie martienne, nous devons réaliser un projet « Lune-Mars » dont les grands axes seront : l'accès à la Lune, le transport des « ouvriers spatiaux » vers Alpha puis vers la Lune, l'assemblage de deux vaisseaux martiens dans l'espace, l'emport d'importantes quantités de matériel à vitesse lente vers l'orbite martienne, le transport de nos premiers « marsonautes » vers nos deux vaisseaux, etc. Soixante-dix à quatre-vingts astronautes permanents, et relayés à intervalles réguliers, devraient suffire pour la phase lunaire proprement dite, vingt à trente pour l'assemblage des deux vaisseaux martiens, lesquels devront emporter chacun une centaine d'astronautes (nous verrons plus loin pourquoi). A cela, s'ajoutent trente à quarante astronautes spécialisés dans le travail en sortie extravéhiculaire pour un étonnant travail de reconfiguration permettant, selon une voie originale, d'amener près de Mars l'énorme quantité de matériel nécessaire à l'installation de l'homme sur Mars. Cela ne fait pas plus de cent cinquante astronautes en permanence dans l'espace sur un programme qui porte sur vingt ans !

## Des ressources inutilisées

Deux pistes apparaissent porteuses en tant que chevilles de soubassement de ce qui va devenir le projet Lune-Mars :

- l'utilisation, jusqu'à présent non mise à profit, du réservoir externe (External Tank) de la navette spatiale américaine ;
- la réactualisation au niveau international du projet, pratiquement déjà développé, de lanceur lourd Energia.

Sur le premier point, il est paradoxal de constater le gâchis que cons-



*Pour mener à bien la colonisation de Mars, il sera nécessaire d'industrialiser la Lune. Ici, la construction d'une base lunaire, dont l'objectif serait la production d'oxygène à partir du sol. En effet, 40% de la masse du sol lunaire est constitué d'oxygène.*

titue, à chaque lancement du Shuttle, la perte du grand réservoir cryogénique qui alimente, pendant la phase d'ascension les moteurs SSME en oxygène et hydrogène liquides. Une fois les réserves de comburant et de carburant épuisées par le dernier transfert vers les SSME, ce réservoir externe va se détacher définitivement de la navette avant la phase de mise en orbite par de petits moteurs intégrés à celle-ci. A chaque fois, la NASA perd à tout jamais une masse à vide conséquente de 56,14 mètres de long pour 8,38 mètres de diamètre. Ceci représente un volume important qu'il serait possible, en lui adjoignant un petit moteur auxiliaire, de parquer sur les parties les plus élevées de l'orbite basse en vue d'une utilisation ultérieure.

Cette idée de parquer ces réservoirs externes n'est pas totalement nouvelle puisqu'elle fut déjà proposée en 1977 par John Settler, de General Motors, pour constituer les premiers habitats en orbite basse préparatoires à l'industrialisation en microgravité. Elle fut reprise, peu après, par O'Neill mais dans le cadre d'une utilisation « hasardeuse », pour constituer (après concassage) la masse de réaction et d'éjection d'un accélérateur électromagnétique spatial, destiné à placer des équipements industriels en orbite lunaire, dans le cadre de sa stratégie visant à construire la première « ville de l'espace », ILE-1.

Nous proposons quant à nous d'utiliser cette opportunité pour la pre-

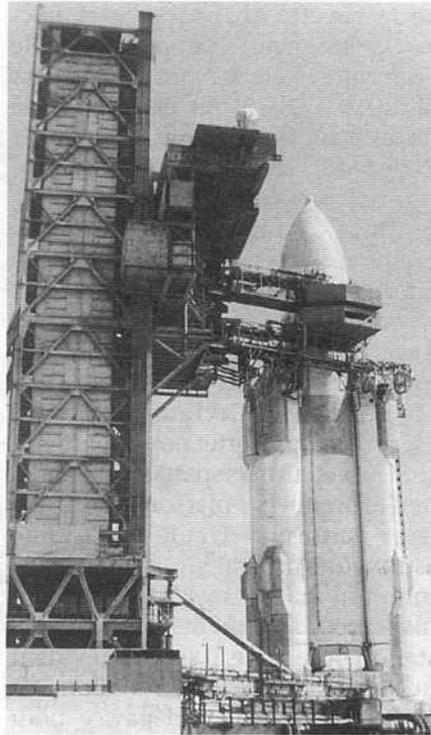
mière phase de conquête de Mars. En prenant pour quasi certaine l'hypothèse d'un arrêt progressif du programme navette vers la fin 2009, et en misant sur son remplacement tout aussi progressif par un concept récupérable de type Venture Star, on peut faire le calcul suivant en partant de 1997 : huit lancements annuels de 1997 à 2003, six en 2004, cinq en 2005 et 2006, trois en 2007 et 2008, un en 2009... ce qui représente en tout 79 réservoirs possibles à parquer puis, une fois les premières bases de traitement des matériaux lunaires installées, à reconfigurer. On pourrait protéger leur face extérieure par des scories industrielles lunaires éjectées par des accélérateurs électromagnétiques et y entreprendre les travaux suivants : couper ces réservoirs vers le sommet de la partie haute, de façon à pratiquer une ouverture d'une largeur minimum de 6 mètres permettant l'introduction de matériel volumineux. On démonterait alors la paroi séparant les ex-réservoirs d'oxygène et d'hydrogène pour la remplacer par un tôle formé d'un alliage de titane et de fer lunaires, constituant ainsi une sorte de plafond très solide entre deux grandes salles superposées. Il faudrait alors recouvrir la paroi interne de laine de verre (venue elle aussi de la Lune), et obturer les anciens circuits d'alimentation conduisant les ergols vers le moteur de la navette avec du béton lunaire précontraint. Nous pourrions fabriquer, à l'endroit où a été prati-

quée l'ouverture, un solide système de fermeture et nous aurions alors un superbe « container martien ».

Il est bien évident qu'en restant parqués jusque vers 2015, ces futurs « containers » subiront de nombreux impacts de micrométéorites, comme ce fut le cas pour le laboratoire LDEF après avoir passé plusieurs années dans l'espace. Toutefois, il ne faut pas exagérer le problème. En effet, ces containers n'auront pas besoin d'être pressurisés puisqu'ils seront destinés avant tout à amener sur orbite martienne l'essentiel du matériel destiné aux premières implantations sur Mars, et qui sera principalement d'origine lunaire. Seuls viendront à bord de deux vaisseaux martiens construits dans l'espace, en même temps que les premiers « marsonautes », le matériel sophistiqué (électronique, informatique, robotique), les premiers systèmes de survie et de recyclage, les éléments nécessaires à faire démarrer une agriculture en système clos, ainsi que les semences de plantes terrestres sélectionnées pour être introduites à titre expérimental en milieu martien.

Cette solution offre de nombreux avantages. Le rehaussement d'orbite nécessaire de ces structures « en jachère » pourrait être assuré jusqu'en 2010-2011 (époque des premières reconfigurations), par un véhicule dérivé de l'ATV européen équipé d'un système robotique. Bien avant cette date, de petits systèmes robotiques partis de la station internationale auront effectué plusieurs visites d'inspection pour constater l'état des lieux.

Autre avantage de cette solution, l'importance considérable du volume disponible : mis bout à bout, ces 75 à 80 réservoirs externes reconfigurés représenteraient un « train spatial » de 4,2 à 4,49 kilomètres de long. Il est bien évident que nous ne procéderons pas de cette façon, et que nous nous contenterons d'assembler ces réservoirs externes trois par trois et à la manière d'un petit faisceau de feu d'artifice. La propulsion serait assurée par un système électronucléaire de type Stühlinger ou de ceux qu'envisageaient encore les Russes au début des années 90, et doublé de systèmes de contrôle automatique performants. Il ne serait nul besoin d'envoyer ces réservoirs en même temps que les vaisseaux martiens. L'on pourrait très bien se contenter d'un voyage s'étalant sur quelques années. L'essentiel est que nos containers arri-



***La relance du programme Energya, au niveau international, nous permettrait de développer toute une catégorie de gros lanceurs pouvant placer de 100 à 160 tonnes en orbite basse, afin de préparer les premières phases d'implantations lunaires.***

vent et soient stabilisés sur orbite martienne quelques mois avant l'arrivée des vaisseaux martiens.

Une des conséquences de ce choix serait intéressante quant au concept même du vaisseau : celui-ci, nécessairement très grand et propulsé par plusieurs moteurs nucléaires, sera en quelque sorte débarrassé de la charge d'avoir à transporter sur orbite martienne le gros œuvre. Le gain considérable en volume pourra être consacré à l'augmentation du nombre d'astronautes (avantage précieux pour notre processus de démarrage), et des chaloupes de débarquement (par rétrofusées et parachutes) vers la surface de Mars. L'autre avantage serait de pouvoir se passer, dans un premier temps, d'une spatigare en orbite martienne qui apparaîtrait seulement dans les étapes ultérieures.

Une autre solution complémentaire et préparatoire pourrait être la réactualisation du programme de lanceur russe Energya, dont quatre exemplaires, faute de crédits d'entretien, dorment dans un hangar du Centre spatial de Baïkonour. De même que pour la solution précédente, les grandes puissances spatiales internationales, au prix d'une participation importante de leurs industries, pourraient combler le déficit de financement russe en élargissant et en faisant évoluer ce projet. Rappelons que la fusée russe, qui reste le plus puissant lanceur jamais construit sur cette planète, peut développer une poussée de 4000 tonnes (contre 3400 pour la Saturn-5) et placer 100 tonnes en orbite basse dans une configuration SL-W1-HLV. A une certaine époque, les Russes prévoyaient même d'augmenter ses capacités jusqu'à 160 tonnes avec quatre propulseurs (configuration SL-W2-Novir Mir Mod) et même 200 tonnes en remplaçant le kérosène par du méthane liquide. Il fut même un moment question de lancer les éléments de la station spatiale internationale par une SL-W1, ce qui fut refusé par la NASA mais défendu, au sein de l'US Air Force, par des hommes comme D.B. Eckstein.

L'intérêt d'Energya vient du fait qu'elle est le seul lanceur lourd disponible : tous les projets américains (Shuttle-C, HHLV, ALS, Spacelifter) ont été repoussés aux calendes grecques et l'utilisation du lanceur russe, en association internationale, évite de coûteux frais de R/D. Ceux-ci ne touchent en fait que le développe-

ment de versions plus puissantes, destinées avant tout à amener vers une orbite lunaire tout le matériel destiné au démarrage de l'industrialisation de notre satellite.

L'utilisation d'un dérivé « 200 tonnes » d'Energia s'impose donc pour deux raisons :

- c'est le moyen idéal pour amener vers Alpha la masse critique de 700 à 800 tonnes destinée aux processus de démarrage et de décollage de l'industrie lunaire, d'où vont venir majoritairement les dizaines de milliers de tonnes nécessaires aux implantations martiennes. Avec une « Super-Energia », quatre voyages jusqu'à l'orbite basse suffisent, relayés par vingt voyages OTV pour le transfert vers la Lune ou, mieux encore, une variante américaine dite LLTV (Large Lunar Transfer Vehicle) capable de déposer 81 tonnes sur notre satellite à chaque voyage. Ces LLTV, au minimum six et pouvant être parqués à côté d'Alpha, pourraient être lancés par Energia deux par deux, l'un derrière l'autre, et à la place prévue pour la navette Bourane.

- c'est le moyen idéal pour amener sur orbite basse les astronautes indispensables à la construction des deux grands vaisseaux martiens (qui devront être opérationnels pour 2017-2018 au plus tard), et la reconfiguration des réservoirs externes de la navette. Une possible reconfiguration

de la navette en version « 74 Rockwell Passenger » est peu probable pour cette opération qui se déroulera de 2010 à 2015. En effet, la seule navette alors disponible, à savoir Endeavour, sera probablement quasi-obsolète et trop dangereuse à utiliser. Il serait plus intéressant de reprendre le concept Spaceliner de Lockheed (dénommé aussi Starclipper en version légèrement différente), et à assembler cette grosse navette sur la fusée géante russe, dotée de propulseurs d'appoint. Ceci aurait à la fois le mérite de transporter nos « ouvriers » sur leurs chantiers spatiaux et d'amener les premiers « marsonautes » vers leurs vaisseaux. Trente à quarante astronautes pourraient être ainsi acheminés à chaque fois sur le « chantier » nécessairement proche de la station. A ce stade, il apparaît évident que la capacité de la station Alpha est plus que largement dépassée pour pouvoir accueillir ces « ouvriers spatiaux ». Ceci implique que l'industrie lunaire fabrique, de 2008 à 2010, les habitats pressurisés nécessaires qui seront soit rajoutés à Alpha, soit conçus comme entités autonomes. A partir de ces habitats, le transfert de nos astronautes vers le chantier en question (où seront à la fois reconfigurés, avec des éléments lunaires, les réservoirs-navette et construits nos deux grands vaisseaux martiens) pourrait se faire par des vaisseaux de

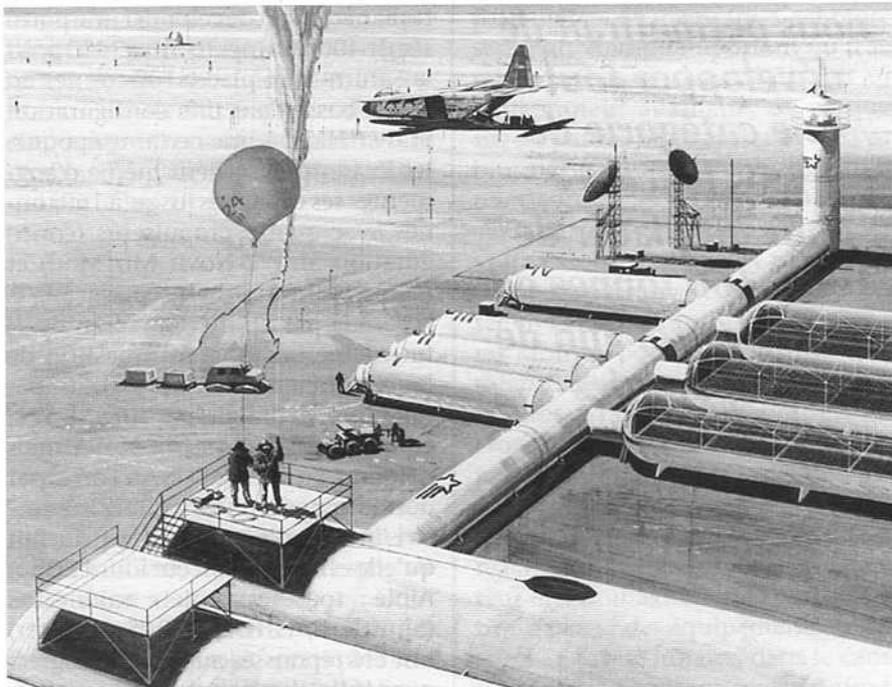
type OMV (initialement prévus pour Freedom). Les astronautes — équipés de systèmes déjà utilisés actuellement, à savoir leurs scaphandres EVA/EMU et leurs scooters spatiaux MMU — pourraient s'y amarrer avec leur matériel d'assemblage.

L'ensemble de ces opérations coûterait entre 350 et 400 milliards de dollars mais, déjà à ce stade, les bénéfices de l'industrie lunaire commenceront à compenser les coûts grâce à leurs apports sur les orbites terrestres.

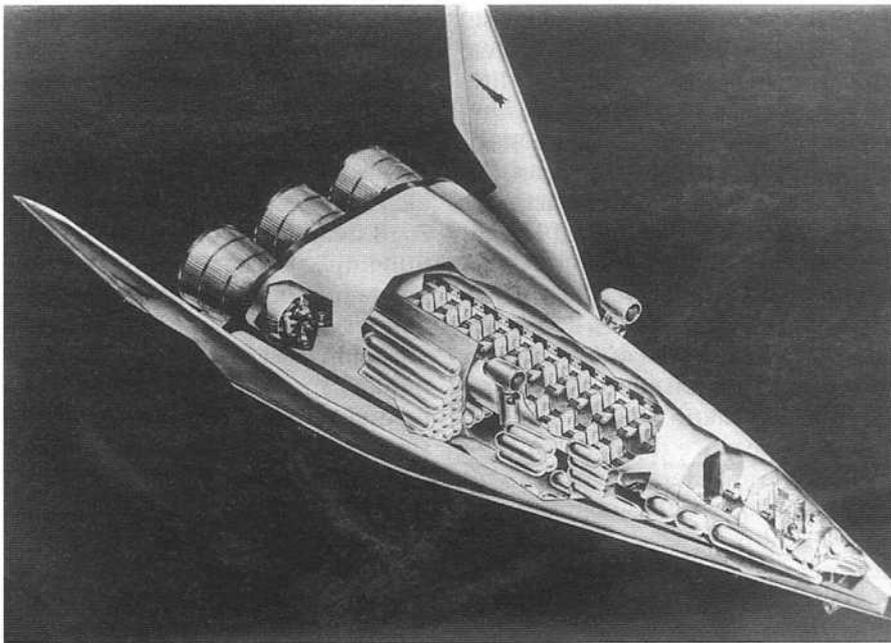
Dans le même temps, il nous faudra accumuler des données de base sur la planète Mars, consistant à « inventorier » au maximum de façon à ce que la première étape de débarquement martien se fasse en « pays de connaissance ». Cette étape se situe dans le prolongement immédiat de ce que nous développons actuellement dans le domaine des sondes scientifiques martiennes et des projets cartographiques, ou de retour d'échantillons martiens. De ce point de vue, sondes automatiques, stations fixes, robotique et robotique mobile sont des instruments d'évaluation largement suffisants au niveau opératoire. Ainsi, vaudrait-il mieux investir à ces fins un dixième des dépenses prévues pour le seul programme de prestige, soit 25 à 30 milliards de dollars, ce qui représente à peu près le montant annuel du budget spatial américain, tous secteurs confondus, mais réparti au niveau mondial sur douze à quinze ans. Ce laps de temps est justifié car il faudra certainement modéliser un certain nombre de phénomènes évolutifs comme les tempêtes de sable provoquées par le cycle de fonte du dioxyde de carbone des calottes polaires au printemps martien. Ceci sera crucial pour calculer le temps disponible pour la construction de la première base martienne et choisir le concept le plus résistant.

## La solution du nucléaire

Nos deux grands vaisseaux martiens devront impérativement être à *propulsion nucléaire*. En effet, l'emport de gros réservoirs à hydrogène et oxygène liquides des moteurs chimiques conduirait inmanquablement à l'échec de notre programme de conquête martienne ! Même dans le cadre de notre stratégie, les systèmes de pro-



Ce concept, proposé par le laboratoire Lockheed, consiste à implanter en Antarctique une base permanente simulant les conditions martiennes.



**Concept de vaisseau Spaceliner. Ce sont des navettes de ce type qui amèneront, à partir de la Terre, les futurs astronautes vers les vaisseaux martiens ainsi que les « ouvriers spatiaux » sur leur chantier.**

pulsion classiques ne suffiraient pas à faire parvenir sur Mars le nombre d'astronautes nécessaires à notre processus de démarrage. Nous avons déjà expliqué que celui-ci implique à peu près deux cents spécialistes capables d'œuvrer efficacement pour constituer sur Mars le « noyau dur », à partir duquel vont pouvoir démarrer à la fois les indispensables recherches scientifiques et le processus économique et industriel local *autarcique*. En tenant compte, pour chacun des deux vaisseaux, de l'emport d'environ cent astronautes, du matériel scientifique sophistiqué non transportable par les réservoirs-navettes reconfigurés, du ravitaillement, de l'eau, des systèmes de survie, de recyclage de l'air et des déchets, des modules de débarquement, c'est à chaque fois environ 1000 tonnes (sans compter la masse de notre vaisseau) qu'il nous faut faire parvenir en orbite martienne. Pour une simple opération de prestige de six à sept astronautes, et en choisissant la solution chimique cryogénique avec un départ direct de la surface terrestre, la masse de la structure de départ (progressivement larguée lors des premières phases du voyage) se situerait aux alentours de 20.000 tonnes, soit dix fois plus que la navette spatiale américaine sur son aire de lancement, lorsqu'elle est encore accolée à son réservoir externe et à ses propulseurs d'appoint à poudre SRB. Avec la solu-

tion nucléaire (solution nucléothermique, où de l'hydrogène liquide lancé à grande vitesse au cœur d'un réacteur sert à la fois de réfrigérant et de fluide propulsif), un départ « terrestre » implique encore une masse de 10.000 tonnes, soit cinq fois la structure de départ de la navette.

Dans le cas d'une option tout cryotechnique, il serait également possible de réduire la taille des grands réservoirs d'hydrogène liquide (toujours dans le cas d'un programme de prestige impliquant 300 tonnes en orbite martienne) si on fait appel à la solution pour le retour, imaginée par les Américains Singer et Cutts. Celle-ci consiste à utiliser l'hydrogène et l'oxygène que l'on trouve dans les roches du satellite martien Phobos avant de le liquéfier. Dans le cas d'une option nucléothermique, cette opération ne concernerait plus que l'hydrogène. En fait, l'économie réalisée est en partie obérée par la complexité de l'opération et ne pourrait être intéressante qu'à partir d'un certain nombre de vols, et si des implantations industrielles existent à la fois sur Mars et sur Phobos. Sur orbite martienne, il serait effectivement intéressant de parquer une réserve de tankers à cet effet pour les liaisons entre Mars et les orbites terrestre ou lunaire.

Il est bien évident, pour ces masses à faire arriver sur l'orbite martienne, que notre opération de débarque-

ment implique un effort d'une tout autre échelle. Pour faire parvenir deux fois 1000 tonnes à proximité de Mars, il nous faut bien évidemment envisager d'énormes vaisseaux, construits sur notre chantier en orbite terrestre, dont la masse se situe entre 5000 et 6000 tonnes, ce qui implique préalablement de traiter au minimum 15.000 à 20.000 tonnes de matériaux lunaires et d'apporter de la Terre (sur ces 5000 à 6000 tonnes) deux fois 400 à 500 tonnes. Cette dernière masse correspondrait pour les deux tiers à de gigantesques moteurs nucléaires amenés par des fusées Energya ou une version automatique de la navette dénommée « Shuttle-C », et assemblés en orbite. Sur les 4500 à 5000 tonnes résiduelles, la structure proprement dite du vaisseau (à cause en partie du problème d'intégration des réservoirs d'hydrogène en cas de solution nucléothermique) en représenterait la moitié ; les blindages nécessaires pour protéger notre important équipage des rayonnements Gamma « primaires » (venus du cœur du réacteur) et « secondaires » (induits par ces derniers à la suite de pertes d'énergie lorsqu'ils traversent des parois) s'élèveraient à 1500 tonnes ; et enfin, sur les 500 à 1000 tonnes résiduelles, le quart pourrait être destiné aux « aménagements intérieurs » du vaisseau et à ses équipements de contrôle informatiques et électroniques, tandis que le reste serait constitué par les chaloupes de débarquement martiennes et de petits vaisseaux robotisés nucléoélectriques, qui serviraient aux opérations de déchargement en orbite martienne du matériel. Ces petits vaisseaux pourront, eux aussi, être transportés auparavant par les réservoirs externes, mais il sera toutefois impératif que nos vaisseaux martiens en emportent avec eux pour faire face, en cours de voyage, à des besoins de réparations extérieures de nos importants vaisseaux. Ils pourront également remplacer utilement les systèmes classiques de remorqueurs orbitaux. Un dérivé du système GPNER, étudié et proposé dans le passé par les Soviétiques, et apte à offrir une poussée de 400 à 500 tonnes, constituerait le système idéal. Ces GPNER, ainsi que les chaloupes de débarquement, seraient placées sur l'extérieur du vaisseau, dans de petites criques creuses fermées, accessibles de l'intérieur pour d'éventuelles réparations. Ils

pourraient aussi, à la manière des remorqueurs des ports de haute mer, être utilisés pour la dernière phase de mise en orbite martienne de nos deux vaisseaux, une fois les moteurs nucléothermiques coupés. Là encore, nous voyons pourquoi cette opération ne peut être conduite que si elle est soutenue par une base industrielle lunaire préalable. Le coût de cette phase ne devrait pas dépasser les 200 milliards de dollars, si nous opérons en « stratégie indirecte ».

Il est évident que la phase proprement dite du débarquement martien sera la plus critique, et il faut, pour cela, que nos astronautes arrivent en bon état vers la Planète Rouge... Permettant, à masse égale, une fourniture d'énergie deux millions de fois supérieure au pétrole, le nucléaire spatial nous offre aussi des opportunités pour réduire la durée du voyage vers Mars. Celui-ci n'est en effet pas une mince affaire à cause de la distance éloignée et variable avec la Terre.

En effet, lorsque la Planète Rouge se rapproche de nous, la distance la plus proche entre les deux planètes (dite de conjonction inférieure) avoisine encore les 56 millions de kilomètres, et cette opportunité ne se reproduit que tous les deux ans. Il est facile de comprendre pourquoi il faut lancer le vaisseau habité bien avant cette conjonction : du fait que la Terre se déplace plus vite que Mars, l'angle de visée entre le moment où on lance et celui où on arrive en vue de Mars aura considérablement évolué. Par là-même, la distance de Mars par rapport à la Terre ne fera qu'augmenter, rendant le voyage quasiment impossible à moins, bien sûr, de pouvoir disposer de propulseurs à fusion permettant le rattrapage ou, mieux encore, de propulseurs matière-antimatière.<sup>6</sup> Si nous disposions de ces technologies, on réduirait le voyage martien à deux ou trois jours tout au plus, mais nous en sommes loin ! La propulsion par fusion serait une applica-

tion envisageable à l'espace des techniques de production d'énergie par fusion en mode confinement magnétique ou inertiel. Ce mode de propulsion serait idéal pour nos deux vaisseaux martiens, mais ne sera pas disponible dans les années 2015-2018, à cause de problèmes d'intégration impliqués par la masse du système de production d'énergie alimentant le système propulsif proprement dit. Selon le « principe physico-technique » énoncé par Winterberg lui-même, « *Les lois de la nature ont une structure telle qu'elles permettent à la technologie de rendre toutes ses voies explorables* ». Par conséquent, en tenant compte du laps de temps nécessaire, tout ce qui peut être exploré le sera. Toujours selon Winterberg : « *Nous finirons par avoir toutes les technologies qui permettront d'explorer toutes les planètes du système solaire* ». S'il est possible d'envisager la résolution des problèmes concernant la propulsion spatiale par fusion d'ici 2050, la

## Le problème des rayonnements cosmiques

L'un des problèmes à surmonter dans le cadre d'une colonisation de Mars est celui de la protection des astronautes contre le rayonnement cosmique. En effet, en dehors de la magnétosphère terrestre, les engins spatiaux sont soumis directement à un flux de particules chargées. Ce rayonnement cosmique est composé principalement de noyaux d'atomes, dont les électrons ont été arrachés du fait de leur vitesse extraordinairement élevée. On trouve donc des protons (noyaux d'hydrogène), des particules alpha (noyaux d'hélium), mais aussi des particules beaucoup plus lourdes, telles que le fer ou le nickel. On trouve également des électrons et des positons. Le rayonnement galactique, relativement stable, est le plus dangereux, car il est le plus énergétique. Le rayonnement provenant du soleil, dit « vent solaire », est plus faible mais beaucoup plus irrégulier, puisqu'il dépend de l'activité du soleil.

Sans la magnétosphère et l'atmosphère qui nous protègent de ce rayonnement, nous serions soumis à des doses élevées (au-dessus d'un Sievert par an, 1 Sv/an). Pour donner une idée de l'ordre de grandeur de cette dose, rappelons que, lorsqu'elle est reçue en une fois, c'est le niveau à partir duquel on commence à ressentir les premiers maux dus au rayonnement. Bien sûr, on ne doit pas comparer une dose reçue sur une année avec la même dose reçue en quelques minutes, la première étant beaucoup moins nocive. A Tchernobyl, on a évacué des personnes qui allaient recevoir 0,2 Sv/an si elles restaient sur le site.

Le bouclier de l'atmosphère et de la magnétosphère permet de réduire la dose de rayonnement naturel cosmique d'un facteur 1000. Les spationautes qui sortent partiellement ou complètement de la protection de ce bouclier sont donc soumis à des rayonnements beaucoup plus intenses. Ceux qui séjournent dans la station MIR, par exemple, subissent des rayonnements d'environ 1 mSv/jour. Ainsi, Claudie André-Deshayes a encaissé une dose de quelque 15 mSv lors de son séjour dans la station russe. Rester un an à bord de Mir entraîne une irradiation de 0,35 Sv/an. Ces chiffres proviennent des expériences menées par l'IPSN lors des missions Aragatz, Antarès et Altaïr, pour lesquelles les astronautes ont utilisé l'appareil NAUSICAA.

Sur la sonde automatique russe Mars 96 qui partira en novembre, l'IPSN embarquera une expérience RADIUS-MD qui permettra de mesurer précisément le rayonnement encaissé lors d'un voyage vers Mars. Pour l'instant, on ne dispose que des estimations des codes de calcul, qui aboutissent à des résultats de l'ordre de 2 à 3 Sv/an, s'il n'y a pas d'éruption solaire majeure pendant cette période. Jean-François Bottollier-Depois, investigateur principal de cette expérience, qui travaille au département de la santé de l'homme et de dosimétrie de l'IPSN, explique : « Nous disposerons d'un compteur proportionnel à l'intérieur de la sonde, dans la zone pressurisée, ainsi que de deux détecteurs au silicium, placés l'un à l'extérieur, l'autre à l'intérieur. Nous pourrions ainsi mesurer l'effet de protection du blindage. »

Selon ce chercheur, on ne dispose pas encore de solutions claires pour réduire la dose reçue par les astronautes au cours d'un voyage vers Mars. « Le problème supplémentaire, par rapport à MIR, c'est l'absence totale de magnétosphère. Les particules émises par les éruptions solaires sont alors reçues directement ou presque. »

Réf : J.F. Bottollier-Depois. Dosimétrie du rayonnement cosmique à l'aide de Nausicaa, *Clefs* N° 32, été 1996.

EG

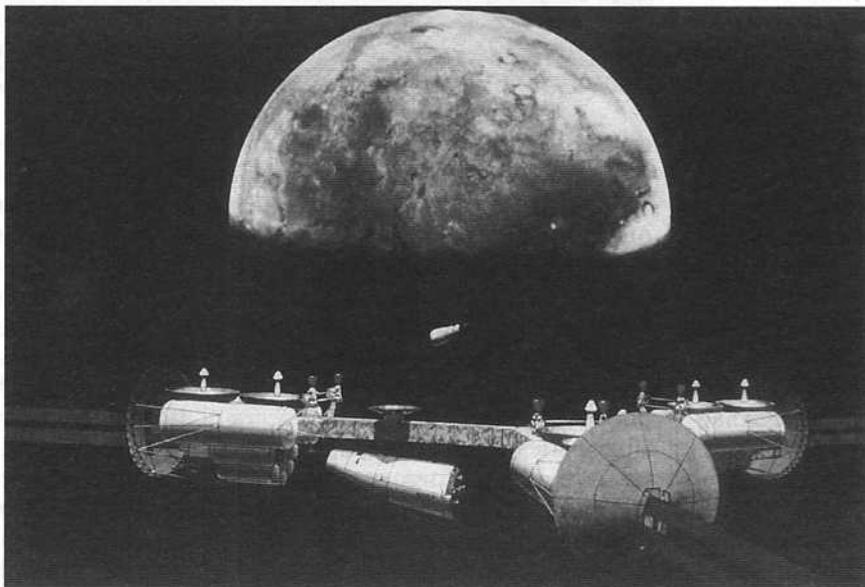
solution matière-antimatière apparaîtrait quant à elle beaucoup plus lointaine... Or, il nous faut impérativement lancer notre expédition martienne au plus tard vers 2017-2018 pour que tout le programme de conquête, qui en est la matrice, puisse rapidement, et dès le début du siècle prochain, commencer à faire sentir ses effets.

Dans l'état actuel de la technologie spatiale et en faisant des projections jusqu'en 2020, les contraintes respectives « terrestres » et « martiennes » de la mécanique céleste resteront donc le principal facteur à prendre en considération pour réduire la durée du voyage. Les calculs effectués en 1925 par l'Allemand Hohmann montrent que la « route martienne à énergie minimale » impose à notre vaisseau de quitter l'orbite terrestre au moment où les deux planètes forment avec le Soleil un angle de 45°, et ce, quelle que soit la

solution choisie, à savoir le cryotechnique chimique, le nucléothermique ou le nucléoélectrique lourd de type « groupe propulseur électroréactif » envisagé un moment par les Soviétiques. Dans le cas de la solution chimique cryotechnique qui, comme nous l'avons vu, implique en outre des réservoirs énormes et encombrants pénalisant la charge utile, si notre vaisseau est doté de la vitesse exigée, il peut alors se mettre en position d'intersection de l'orbite martienne 260 jours plus tard. Mais cette opportunité ne se reproduit que tous les 25 à 26 mois... Pour le retour, il faut attendre également que les positions respectives de la Terre et de Mars soient favorables pour un voyage à énergie minimum de 250 à 300 jours, et cette situation ne se reproduit que tous les 400 jours, ce qui implique une durée totale de mission de 950 jours pour un équipage de six à sept hommes. Sur le long terme, il apparaît donc déjà qu'il est plus « rentable », économiquement et humainement parlant, d'envoyer des astro-

nauts pour une occupation permanente, capables d'une rapide autosuffisance.

Le nucléaire spatial, combiné aux progrès effectués en matière de médecine spatiale dans le domaine des séjours de longue durée, nous offre déjà une solution partielle en permettant de meilleures performances en matière de poussée. Les calculs montrent que le voyage martien, dans le cas d'un départ « nucléaire cislunaire » ou « nucléaire circumterrestre-orbite haute », ne durerait plus



que 215 à 220 jours, soit un gain réel de 35 à 85 jours ! Il ne faut pas non plus oublier que, dans le cadre de notre stratégie de « rupture », nos vaisseaux nécessairement très grands (120 à 150 mètres de long) seront également propulsés par des moteurs nucléaires d'une puissance bien plus élevée que ceux qui étaient envisagés par Von Braun lui-même, dans le plan qu'il proposa à la NASA en 1964. Celui-ci était basé sur un concept Nerva, qui fut ultérieurement le joyau du célèbre programme de recherches Rover. Nos moteurs, forcément de grande taille, pourraient être opérationnels d'ici 2015 en fédérant les compétences françaises du CEA (programme de recherche MAPS), les acquis de l'ex-programme américain Rover et de l'ex-programme soviétique RD-0410. Selon Christian Lardier<sup>7</sup>, le spécialiste de l'aéronautique russe, les Soviétiques ont travaillé avec succès sur ce programme de 1965 à 1991, soit dix-huit années de recherches poursuivies après la fermeture du centre américain de Jackass

Flatts ! Les moteurs ultrapuissants de tels vaisseaux géants nous offriront, par leur poussée continue pendant une forte proportion du voyage, une réduction possible de quarante à cinquante jours de la durée du voyage par rapport à une option 215 à 220 jours. Avec quelques périodes de minigravité, cela représente pour les astronautes un ensemble de contraintes physiques très inférieur à ce qu'ont réussi les astronautes russes Poliakov et Romanenko, lors de séjours dans l'espace de longue durée.

Il apparaît clairement que la conquête spatiale est indissociable du développement de la propulsion nucléaire. Comme l'a écrit René Pellat, ex-Président du CNES et physicien renommé des plasmas, dans sa préface au merveilleux livre *Les trente premières années du CNES* : « Il faudra améliorer l'accès à l'espace par des solutions techniques nouvelles, conditions indispensables à la colonisation de la Lune et de Mars (...) Le jour où l'humanité aura surmonté techniquement, et surtout politiquement, ses inquiétudes sur l'emploi de l'énergie nucléaire, d'autres perspectives s'ouvriront (...) »<sup>8</sup>

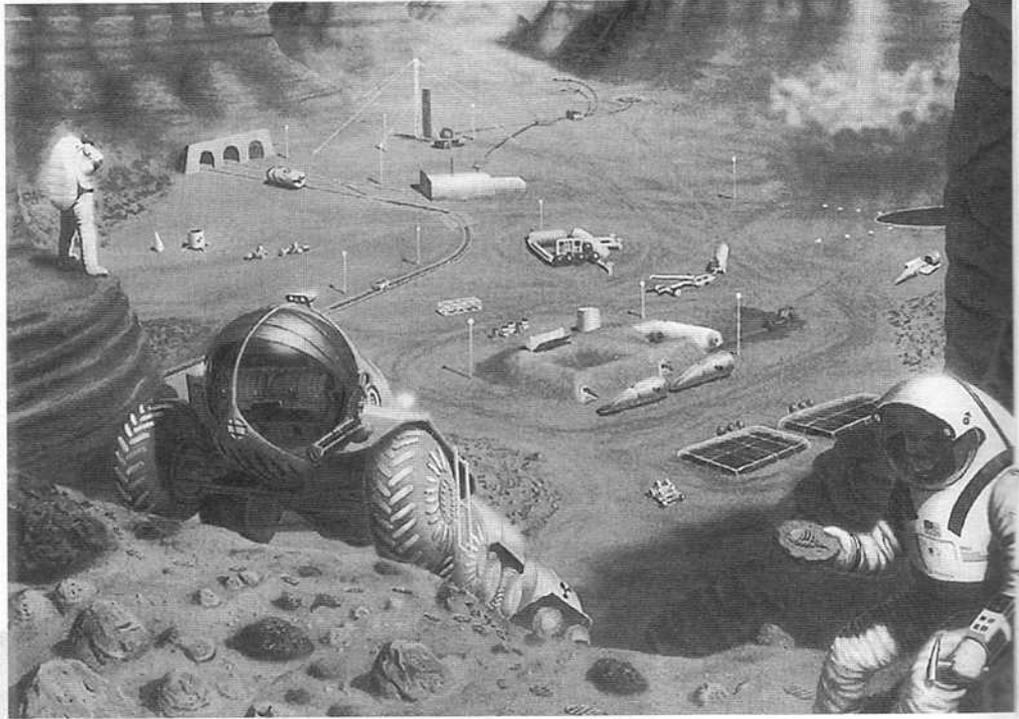
## Du débarquement à la colonisation

Une fois arrivés en orbite martienne, nos deux vaisseaux iraient se garer à quelques dizaines de kilomètres des vingt-quatre à vingt-cinq formations de containers, pendant qu'une petite partie des astronautes, par l'intermédiaire de quelques chaloupes débarquées, iraient préparer les premiers abris de fortune (gonflés et enterrés). Pendant ce temps-là, des systèmes robotisés sortiront, hors des soutes, les modules de débarquement de matériel que conduiront ultérieurement de petits remorqueurs interorbitaux vers les réservoirs. N'oublions pas que cette stratégie

dégage beaucoup de place au niveau des vaisseaux martiens et qu'il est possible aussi d'envoyer à l'avance ces remorqueurs dans des containers. Tout compte fait, l'opération de déchargement des réservoirs et du transport des charges utiles vers les modules représenterait l'étape la plus éprouvante pour des astronautes ayant voyagé au minimum 170 à 180 jours dans l'espace, en tenant compte des fameuses trajectoires à énergie minimum dites de « Hohmann ».

Il nous faudra donc, dès le premier débarquement martien habité, concentrer en orbite autour de la planète Mars (et larguer ensuite à sa surface) des quantités considérables de matériel permettant à la fois la survie des astronautes, et de lancer *in situ* un véritable processus de construction économique et industrielle. Celui-ci permettra dans un premier temps de soutenir le programme scientifique martien (en lui évitant les ruineuses et inutiles importations terrestres), puis l'implantation définitive de l'homme sur Mars en préparant sur place les structures nécessaires à l'accueil des nouveaux arrivants. Ceux-ci seront essentiellement, et pour longtemps, des ingénieurs et des scientifiques de haut niveau représentant pratiquement toutes les branches scientifiques de pointe, ayant acquis une formation pluridisciplinaire. Spécialistes de la physique des plasmas, de la propulsion, des techniques spatiales, de l'architecture et de la construction, des systèmes de survie, de la biologie et de la biophysique optique, de la géologie, de la paléontologie et de l'économie collaboreront main dans la main. Nos premiers pionniers scientifiques, contrairement aux ex-Soviétiques de la cité scientifique d'Akademgorosk ou aux chercheurs militaires américains de Groom Lake, ne seront pas coupés du reste de la collectivité humaine. Ils deviendront pour des générations entières une source de motivation et seront reliés en permanence avec leurs collègues moins chanceux car travaillant dans des laboratoires terrestres...

L'ère de Mars sera aussi certainement l'ère du premier « Internet interplanétaire » et d'une catégorie nouvelle de banque de données. Il faudra certainement des systèmes de télécommunications très puissants et des systèmes informatiques sophistiqués pour transmettre et traiter ces



données. Celles-ci constitueront le seul réel flux d'exportation vers la Terre avec, de temps à autre, quelques dizaines de kilos d'échantillons martiens envoyés dans des containers plombés, remorqués par des systèmes de propulsion nucléo-électriques, en direction de stations scientifiques situées en orbite terrestre. Du point de vue des informations accessibles et des échantillons, nos établissements d'enseignement ne seront pas oubliés non plus et des « pierres de Mars » trôneront à côté de l'inévitable télescope de base.

Les premières implantations martiennes seront construites selon des concepts souterrains (en utilisant aussi à cet effet les premiers modules de débarquement), puis sous « bulles protectrices » faisant appel à des verres très résistants et filtrants pour stopper le rayonnement UV. Déjà, rien qu'à ce niveau, il faudra, pour assurer la vie des premiers colons martiens, que soient totalement fiabilisées et maîtrisées d'ici 2015 diverses technologies, dont certaines sont déjà à un stade avancé de leur développement. Leurs retombées apparaissent évidentes pour ce qui concerne la protection de l'environnement sur Terre. Celles-ci sont au nombre de quatre :

- les techniques de support-vie et de recyclage des déchets en circuit fermé.

- la production de nourriture sur place par cultures hydroponiques sous serres en verre et plastifiées. Ces cultures « hors-sol », baignant au niveau de leurs racines dans un milieu nutritif enrichi au lieu d'un sol, ont été notamment développées dans des centres de recherche comme celui de

Tsukuba, au Japon, et aux Etats-Unis par la société Lockheed-Martin (système CEA du laboratoire de Sunnyvale en Californie) et l'université de Purdue en collaboration avec la NASA (système CELSS). Les Soviétiques, avec leur programme multiforme « Bios », ont également effectué des recherches poussées dans ce domaine. Ce type de culture permet de multiplier la productivité d'un facteur de trois à quatre par rapport aux cultures traditionnelles et d'obtenir jusqu'à quatre récoltes par an. Toutefois, ces systèmes nécessitent aussi une consommation d'énergie multipliée d'un facteur de deux à trois.

- l'extraction et le recyclage de l'eau qui existe en grandes quantités sur Mars, mais dans le sous-sol et intégrée au « permafrost » ou « pergélisol ». Celui-ci est un mélange de glaces, de sables, d'argiles et de roches compactes et durcies par l'intense froid martien.

- l'élimination des déchets non recyclés.

Il ne faut pas sous-estimer le défi représenté par les problèmes que nous venons d'exposer (rappelons-nous le semi-échec de l'expérience « Biosphère 2 ».). Cependant, pour assurer le succès de notre stratégie, il est un facteur encore plus important à prendre en compte : celui de l'énergie. Du fait de sa distance par rapport au Soleil, la planète Mars ne bénéficie pas des 1395 Watts/m<sup>2</sup> qui caractérisent la densité de puissance transmise par l'énergie solaire au niveau de l'orbite terrestre. Du fait que cette densité diminue comme l'inverse du carré de la distance par rapport au Soleil, Mars ne reçoit dans les meilleures conditions d'ensoleillement que

*Pour cet illustrateur, il n'y a pas de doute, on trouvera des formes de vie fossilisées sur Mars. L'installation des premières bases permanentes comporteront les équipements nécessaires à l'exploration scientifique, des systèmes de survie et de recyclage, des systèmes primaires de production d'énergie et de traitement des matériaux martiens, des machines-outil, des systèmes agricoles clos,...*

38 à 40% de la puissance qui parvient au niveau de la Terre. Conséquence de ceci, et en dépit des considérables quantités de cette énergie arrivant chaque année jusqu'à Mars (et que pourraient utiliser les plantes, comme le suggère McKay), celle-ci n'est pas suffisante pour des implantations scientifiques et industrielles.

A cause de la puissance incroyable des vents martiens, notamment au printemps, il sera possible d'utiliser des éoliennes pour fournir l'énergie aux cultures hydroponiques après que cette énergie ait été convertie en électricité. Néanmoins, pour ce qui concerne l'apport énergétique indispensable à notre plan de conquête martien, nous avons besoin sur Mars de beaucoup plus d'énergie par personne que dans la plupart des pays industrialisés terrestres ! Les industries que nous créerons pour produire les matériaux essentiels à partir des ressources disponibles in situ opéreront à des températures plus élevées que dans n'importe quelle industrie lourde sur Terre, d'où l'utilisation de la fusion thermonucléaire (par confinement magnétique ou inertiel, ou au moyen d'autres voies exotiques imaginées par des scientifiques comme Sakharov ou Leon Lederman). La fusion thermonucléaire, dans des étapes ultérieures, pourra également contribuer aux opérations de fonte des glaces des calottes polaires martiennes en vue de recréer progressivement une atmosphère sur la Planète Rouge : des batteries de stations, posées sur des plate-formes surélevées, pourraient bombarder en permanence ces glaces jusqu'à leur fonte presque totale. Il serait également possible de réchauffer le sol martien en

installant à quelques centaines de mètres de profondeur sous la surface de véritables cavernes à partir desquelles on ferait diffuser d'intenses sources de chaleur vers la surface. Ces cavernes pourraient être formées selon la technique dite des FAS (Fours atomiques souterrains) basée sur des micro-explosions atomiques. Pour des opérations locales ponctuelles, l'homme pourra également utiliser deux techniques appelées à devenir les premiers outils industriels martiens : les lasers de grande puissance et les faisceaux de particules cohérents sur lesquels des recherches poussées ont été effectuées dans le cadre du programme américain SDI, et de son équivalent soviétique KSO.

Les étapes ultérieures (à partir de 2025) nécessiteront l'envoi de flottilles composées de plusieurs vaisseaux spatiaux géants dont les éléments auront été construits sur la Lune et éjectés dans l'espace. Ces vaisseaux seraient alors assemblés près d'une grande station comparable à un chantier naval : seuls les moteurs nucléaires, les équipements les plus sophistiqués et les systèmes de support-vie pour les astronautes viendraient de la Terre.

## Des premières implantations à la terraformation

Si, dans un avenir difficilement prévisible, le pari de *terraformation* martienne est gagné, c'est-à-dire si l'on réussit à créer sur Mars une atmosphère et un environnement similaire à ce que nous connaissons sur Terre, on peut être certain que c'est seulement *sur place* que seront trouvées les solutions !

Pour de nombreuses raisons compréhensibles, le passage des premières étapes à notre objectif ne peut s'effectuer que dans un laps de temps très long, même si des gens peu réalistes comme l'Américain Burns pensent pouvoir créer des niches écologiques habitables en faisant percuter le sol de la planète par des astéroïdes, c'est-à-dire en creusant très profondément par le biais de ces impacts. Si on réussit à terraformer un jour notre étrange voisine, ce sera grâce à une science et une technologie d'un niveau extraordinairement élevé, et non

par une variante téléguidée de catastrophisme.

Si l'objectif lointain de la transformation du milieu martien (modification des conditions atmosphériques, réchauffement de la planète) doit être la matrice de réflexion pouvant catalyser nos efforts futurs, il faut bien comprendre que tout ceci implique des progrès fondamentaux en matière de connaissance des processus vivants et de leur interaction avec un environnement dans ce cas créé de toutes pièces. Il faut aussi tenir compte de ce qui peut se cacher dans le sous-sol martien et qui, brusquement tiré de sa semi-léthargie, peut évoluer, confronté à un changement environnemental, vers des formes de micro-organismes dangereux pour l'homme ou pour les plantes que nous chercherons à implanter. Sur ce point nous ne pouvons être réduits qu'à la spéculation : on pense notamment à la possibilité de l'existence, dans des milieux martiens souterrains semi-clos et bénéficiant de l'apport de nappes aquifères enrichies par le contact avec des roches magmatiques, de bactéries « chimiosynthétiques » décomposant l'hydrogène sulfuré contenu dans ces eaux. De telles bactéries, opérant sur des registres différents, existent sur Terre, à la sortie des cheminées hydrothermales de certaines fosses océaniques (« fumeurs noirs ») et dans la fameuse grotte de Movilé en Roumanie. Toutefois, il faut retenir le fait que, si des reliefs comparables aux reliefs « karstiques » sur Terre peuvent exister dans le sous-sol martien, l'épaisseur de la croûte martienne semble plutôt un obstacle à ce que des eaux souterraines puissent être captées juste au-dessus de roches magmatiques, sauf peut-être dans les zones volcaniques des Tharsis Montes.

Une autre possibilité serait qu'il existe une vie de surface du type de celle détectée en Antarctique par Imre Friedmann, cachée en léthargie dans les anfractuosités des rochers et toujours à la recherche d'un petit apport d'eau liquide provoqué par de légères fontes des glaces lors du relèvement de températures saisonnières. C'est plutôt vers l'Equateur que l'on peut espérer trouver une telle forme de vie car, aux moments les plus favorables, des températures de 22° C à midi y ont été relevées.

En fait, en dépit des résultats ambigus des sondes Viking, toutes les hy-

pothèses concernant l'existence actuelle de processus vivants sur Mars ne peuvent être balayées. Il est vrai que, refaites en Antarctique, les expériences des sondes Viking n'ont pas détecté de vie dans des endroits où elle existe pourtant. Il est également tout aussi exact que sur Terre, avec de petites « bouteilles thermos martiennes » reproduisant les conditions de la planète Mars (rayonnement reçu au niveau du sol, températures, degré d'hygrométrie, faible pression atmosphérique), des résultats probants ont démontré que certaines bactéries de type terrestre s'adaptent parfaitement à un monde similaire à celui de la Planète Rouge.

D'autres expériences similaires concluantes avec des phytotrons ont été effectuées par le Soviétique Kursanov dans un centre de recherches de la ville de Krasnoïarsk. Un phytotron est une enceinte artificielle où il est possible de recréer tous les paramètres environnementaux d'un milieu à étudier (sol, atmosphère, humidité, pression) en les modifiant à volonté au fur et à mesure des nécessités des expériences. Ainsi, les études de Kursanov ont confirmé les études bactériennes américaines précédentes mais aussi démontré quelque chose de beaucoup plus intéressant et concernant certaines plantes terrestres, parmi lesquelles des variétés de mousses et de lichens, ces derniers étant des organismes « symbiotes » basés sur l'association d'un champignon et d'une algue. On sait aussi que ces lichens s'adaptent à des conditions variables et extrêmes de température et d'humidité, ce qui fait qu'on les trouve aussi bien dans les régions arctiques très froides que dans des déserts très chauds et secs. Dans ces conditions, a priori peu engageantes, ces lichens se caractérisent par un cycle de vie « alternatif » au cours duquel ils sont l'objet d'un fort taux de croissance (en période de pluie pour les milieux très secs, quand la chaleur s'élève un peu dans les milieux arctiques) suivie d'une phase de léthargie prolongée lorsque les conditions deviennent moins favorables.

Au cours des expériences de Kursanov, ces plantes et ces lichens, soumis sur quelques mois à des variations progressives mais importantes de l'atmosphère, ont pu peu à peu s'adapter d'une atmosphère de type terrestre (78% d'azote, 21% d'oxygène, 0,9 % d'argon et 0,03 % de gaz

**L'annonce de la découverte de traces de vie fossile (voir photo) dans une pierre martienne trouvée dans l'Antarctique a fait la une des médias. Qu'en est-il vraiment ? Nous avons interrogé à ce sujet Michel Maurette, spécialiste mondialement connu de l'étude des météorites et qui a été, dans le passé, un des premiers co-investigateurs sur l'étude des roches lunaires, ramenées sur Terre lors du programme Apollo.**

**Que pensez-vous de la découverte par l'équipe américaine de David McKay et Everett Gibson concernant la pierre martienne ALH-84001 ?**

**Michel Maurette :** Sur certains points, ALH-84001 n'est pas très différente d'un certain nombre de météorites où ont été trouvées des molécules organiques. Ceci ne saurait en aucun cas être considéré comme une preuve que les anfractuosités de cette pierre aient pu servir de refuge à des processus vivants primitifs. Cette météorite traînait depuis 1984 sur une étagère sans que rien de particulier n'ait été signalé à son égard.

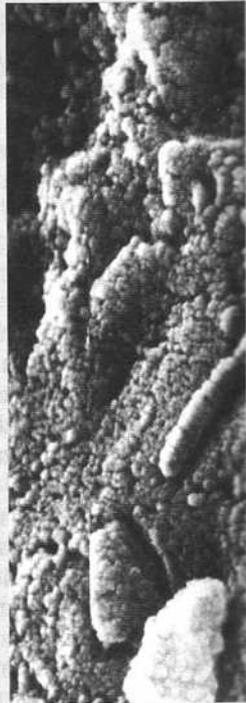
Toutefois, je reconnais que l'article publié par nos collègues américains dans *Science* est intéressant et nous oblige à revoir certains paramètres concernant Mars, notamment tout ce qui concerne la météorologie martienne et la proportion de roches ignées. Malgré tout, la communauté internationale des spécialistes ressent un malaise à propos de l'attitude des Américains dans cette affaire. En effet, nous faisons tous partie d'une commission internationale « météorites » qui se réunit régulièrement, et dont la dernière réunion annuelle a précédé de peu l'annonce américaine concernant ALH-84001. Or, les Américains ne nous ont absolument rien dit à ce sujet et n'ont fait aucun envoi de résumé, comme il est de règle habituellement ! On peut regretter la médiatisation excessive d'un tel événement qui nécessite pour le moins des analyses approfondies.

**Quelles sont les preuves que cette pierre vient bien de Mars ? Le terme de « météorite » est-il vraiment approprié, dans le sens où cette pierre a été éjectée d'un corps planétaire, à la suite d'un processus catastrophiste ?**

**Michel Maurette :** Tout d'abord, cette pierre est bel et bien une météorite. Est considéré comme météorite tout ce qui arrive sur Terre par freinage aérodynamique, quelle que soit son origine, et qui survit à l'entrée dans l'atmosphère à la suite de phénomènes de chauffage, de friction et d'ablation. Selon la composition de l'objet considéré, cette perte de masse peut varier de 50 à 90%. Quant à l'origine de la pierre en question, nul doute qu'elle vient bien de Mars car on y retrouve, piégé au cœur, le même type de composition que celui de la Planète Rouge. De plus, elle présente toutes les caractéristiques typiques d'un choc frontal d'impact avant son éjection. D'ailleurs, l'examen au microscope électronique à balayage et au microscope optique montre qu'elle contient du verre qui n'est pas assemblé, et que celui-ci caractérise au plus haut point le phénomène d'impact cosmique sur des minerais particulièrement sensibles.

**Pourrait-on retenir aussi l'hypothèse de l'éjection de cette pierre par un phénomène volcanique, étant donné le gigantisme du volcanisme martien et la violence de ses éruptions passées ?**

**Michel Maurette :** Il existe de nombreuses coulées de lave sur Mars mais, dans ce cas, la projection de pierres martiennes vers l'espace nécessite tout de même un apport cosmique représentant une collision très particulière. D'autre part, l'activité volcanique martienne (les dernières éruptions remontent à environ 80 millions d'années) est trop récente pour expliquer ALH-84001 dont l'âge de cristallisation (évalué à 4,5 milliards d'années) semble très ancien par rapport à ces phénomènes. Mais pour les scientifiques cette pierre représente un mystère : comment a-t-elle pu être préservée à ce point ? Nous avons certes quelques exemples de météorites lunaires très anciennes venues de la face cachée de la



Lune, et parvenues jusqu'à nous à la suite de collisions d'astéroïdes, mais l'âge de la pierre de Mars n'est pas sans intriguer.

**Que pensez-vous des arguments exposés par les scientifiques américains pour justifier la présence de résidus biologiques, à savoir HAP (molécules aromatiques polycycliques), carbonates, magnétite, sulfure de fer ?**

**Michel Maurette :** De mon point de vue, il n'y a rien là de bien déterminant, en prenant chacun de ces arguments isolément, et il serait intéressant de pouvoir récupérer d'autres météorites de ce type n'ayant pas séjourné très longtemps à la surface, ou enfouies au fond des glaces, pour effectuer des comparaisons.

Pour ALH-84001, tout tend à confirmer que cette pierre, après remontée, est restée au moins 13.000 ans à la surface de l'Antarctique !

Disons que la présence des HAP dans les anfractuosités de cette météorite martienne n'est pas une preuve de traces de vie fossile en elle-même. En effet, ce type de molécules est massivement présent dans les nuages interstellaires et les « nébuleuses primitives » donnant naissance aux étoiles et à leur cortège planétaire. Pour ce qui concerne les carbonates trouvés sur ALH-84001, là encore la preuve que leur présence constitue une trace de vie fossile reste à établir, en dépit, il est vrai, de leur forme troublante. On peut aussi expliquer leur présence par un phénomène « d'altération cryogénique » basé sur la récupération de vapeur d'eau pénétrant les fractures de la météorite. Un tel phénomène peut également produire des carbonates et ce processus explique souvent la formation de stalactites sur Terre. On peut également penser à un problème terrestre de « contamination biogénique ». Mais cette hypothèse n'est pas non plus sans failles puisqu'il faudrait expliquer par quel processus ont vécu pendant plus de 10.000 ans des organismes terrestres sur cette météorite ! Et il ne faut pas oublier non plus que l'on trouve beaucoup de ces carbonates dans des météorites carbonées.

Quant à la présence de magnétite, on la trouve également dans des pierres tout à fait ordinaires, associée avec du pyroxène et des inclusions de fer et de manganèse.

Par contre, pour ce qui concerne la présence de sulfure de fer, donnée par les Américains comme autre élément allant dans le sens de leur thèse biologique, j'avoue que c'est le seul élément

vraiment favorable et le plus probant. Mais avant de claironner médiatiquement un résultat, il vaut mieux effectuer de longues recherches complémentaires. D'ici quelques semaines, je dois aller travailler quelque temps au laboratoire de Richard Zare à cet effet. Les photographies des coupes qui m'ont été envoyées n'ont toutefois pas entamé ma position de réserve à l'égard de l'annonce de mes collègues américains.

**Que comptez-vous faire au niveau du CNRS dans ce domaine ?**

**Michel Maurette :** En travaillant en liaison avec nos collègues américains, nous souhaitons doter rapidement nos équipes d'instruments perfectionnés dont disposent seulement quelques laboratoires. C'est le cas de l'excellente microsonde ionique du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques du CNRS, permettant notamment de mesurer les rapports isotopiques de l'oxygène. Dans ALH-84001, le problème de ces carbonates reste posé. Je pense qu'ils ont été produits par altération aqueuse mais il reste toutefois effectivement la faible possibilité qu'ils soient aussi la signature d'une forme de vie ancienne. Pour en être sûr, il nous faut impérativement examiner des tranches ultra-minces de ces carbonates avec un microscope électronique sophistiqué, dit à transmission. Il faut pouvoir étudier en détail les inclusions de chromite de ces carbonates qui ont pris dans la roche la place du carbone minéral initial. Il nous faut également effectuer des travaux de comparaison de cette roche ignée avec des roches ignées non martiennes possédant des fractures de type semblable et que l'on puisse exposer un certain temps à l'environnement antarctique. Il faudra refaire les études depuis le départ, ce qui constitue un travail intense de plusieurs années.

carbonique) à un milieu comportant uniquement de l'azote et du gaz carbonique. Le phénomène de la photosynthèse intervenait comme d'habitude, transformant le  $\text{CO}_2$  en  $\text{O}_2$ , mais l'on constata un curieux phénomène : les plantes fixaient dans leurs racines une part majoritaire de l'oxygène issu de la décomposition, et celui-ci était libéré dans le sol avant de remonter peu à peu vers la surface. Il est intéressant de noter que ces expériences ont pu être reproduites aux Etats-Unis avec des végétaux vivant en haute altitude dans les montagnes de l'Himalaya, et que notre milieu artificiel ressemble par certains côtés à l'atmosphère martienne. Celle-ci comporte 95,3% de gaz carbonique, 2,7% d'azote, 1,6% d'argon, et quelques traces d'oxyde de carbone, d'oxygène et de vapeur d'eau.

## Modifier l'atmosphère martienne

Il n'est pas utopique de considérer que des plantes, adaptées par sélection progressive aux conditions martiennes, pourraient contribuer, sur un laps de temps se situant entre 50.000 et 100.000 ans, à modifier cette atmosphère par photosynthèse. A ce sujet, Christopher McKay déclarait : « *Ce dont on aimerait disposer, c'est d'un petit mécanisme (...) qui utilise l'énergie ambiante et qui s'auto-réplique pour changer le gaz carbonique en oxygène. Si l'on y songe bien, de telles machines existent. On les appelle « plantes » (...). D'une certaine manière, l'évolution a développé et ajusté un système qui est parfaitement adapté au travail spécifique que nous voulons faire. (...) On peut imaginer quelques petites améliorations dans leur conception, ou des adaptations pour Mars. (...) L'assortiment de plantes que l'on trouve sur Terre est probablement aussi satisfaisant que possible. (...) nous comptons sur les plantes, en tant que machines auto-réplicatrices qui pourront effectuer la transformation chimique en utilisant la lumière du Soleil comme source d'énergie. (...) Si vous comparez la quantité de lumière solaire qui arrive sur Mars à la quantité d'électricité totale produite dans le monde, cette dernière est insignifiante. Il faut donc trouver quelque chose qui soit capable de capter cette immense source d'énergie. Les plantes sont toutes dési-*

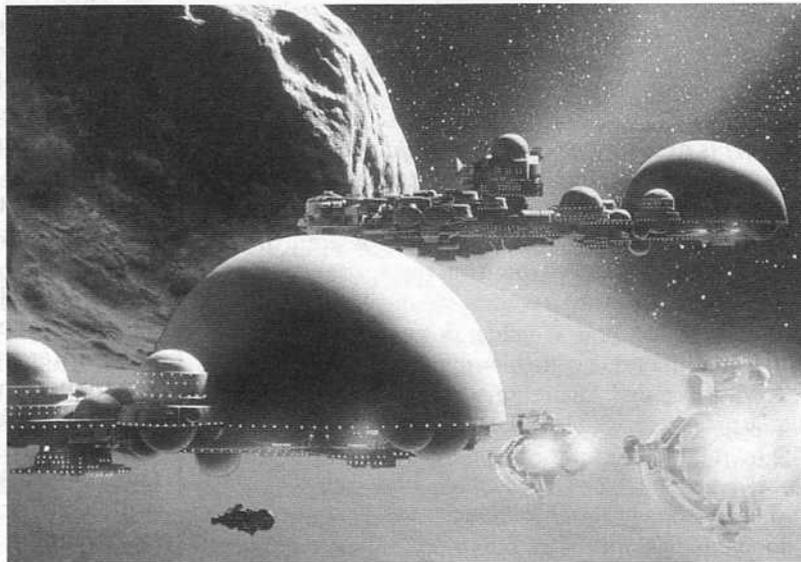
gnées. En fait, dans nos calculs, nous misons sur l'utilisation des plantes, en prenant l'efficacité des écosystèmes terrestres ordinaires comme indication de ce que l'on pourrait obtenir sur Mars. (...) Nous considérons que les conditions sont un peu plus sévères sur Mars, mais nous pourrions peut-être adapter ces plantes afin qu'elles opèrent aussi bien que sur Terre ».<sup>9</sup>

Christopher McKay estime qu'une telle forme de transformation pourrait prendre environ 100.000 ans et il est vrai qu'à l'époque où il travaillait au laboratoire de physique atmosphérique planétaire de l'université du Colorado, il

avait déjà présenté des modèles audacieux de transformation du milieu martien en collaboration avec l'association privée Colmek.

Un des points importants de l'option suivie par McKay (l'obtention d'oxygène à partir du gaz carbonique et l'élévation de la température en elle-même n'étant pas suffisantes) consiste, entre autres, à augmenter la quantité d'azote de l'atmosphère martienne (2,7%) de façon à ce qu'elle se rapproche de la proportion terrestre (78%) en atteignant au moins 50%. De nombreux scientifiques pensent que, sur Mars, cet azote pourrait être contenu massivement dans le pergélisol très froid qui associe massivement glaces, conglomérats de boues gelées issus de remontées catastrophistes et peut-être quelques clathrates hydrates du type de ceux que l'on trouve en Sibérie. Cet azote s'y trouve probablement sous forme de nitrates.

Pour le faire s'évader du sol martien, il faudra bien sûr réchauffer ce dernier, et la possibilité de cette opération dépend aussi des autres processus permettant auparavant le réchauffement de l'atmosphère, l'augmentation de sa densité et de sa pression jusqu'à ce qu'y circule en surface de nouveau l'eau à l'état liquide. Tout ceci n'est pas une mince affaire et, sur un point bien précis, les calculs mon-



**Une fois la colonisation martienne assurée, de gigantesques « spatioports », en orbite autour de la Planète Rouge, serviraient de « gares de triage » à des vaisseaux allant d'une orbite terrestre (ou lunaire) à une orbite martienne.**

**A partir d'une telle position, il sera également possible de lancer de grandes expéditions, vers les parties externes du système solaire et vers les astéroïdes.**

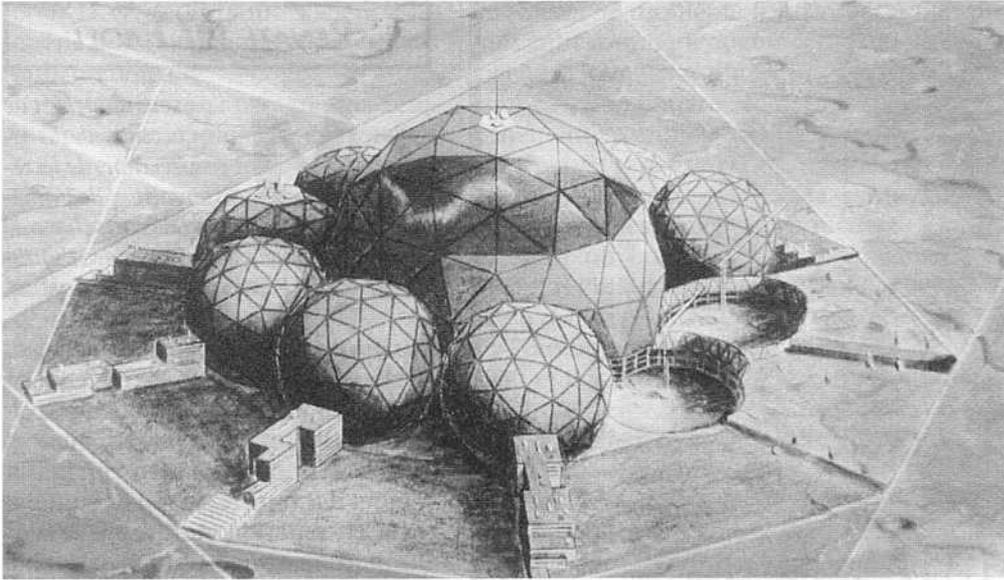
trement qu'il nous faut augmenter probablement la quantité de gaz carbonique dans l'atmosphère de Mars (tout en réduisant parallèlement son pourcentage au niveau de la composition de celle-ci) pour obtenir une certaine « masse critique ». Il ne faut pas oublier que l'atmosphère martienne est en effet très ténue et que la pression ne dépasse pas 6 à 7 millibars...

Un des endroits où il serait possible d'agir dans cette direction est incontestablement les calottes polaires où existent des quantités importantes d'eau sous forme de glaces et de dioxyde de carbone sous forme de carboglace. En supposant acquise la maîtrise des générations ultérieures des technologies nous ayant permis d'apporter tout le matériel de première génération sur Mars (nucléaire spatial devant déboucher sur les concepts de propulseurs à fusion chers à Winterberg), il serait parfaitement possible d'envisager de les utiliser pour récupérer les composants et les poussières d'astéroïdes. Ceux-ci auraient été préalablement broyés et concassés par de très puissants systèmes-laser dont certains auraient pu émerger des recherches de type SDI et ont été envisagés par Krafft Ehrlicke pour son système « Androcels ». Par la suite, il serait possible de recouvrir les calottes martiennes de ces « pous-

sières noires » qui, du fait de leur faible albedo (4 à 6%), joueraient le rôle d'effet de serre en piégeant la lumière solaire et en bloquant la majeure partie de la réémission de celle-ci en infrarouge. Il est infiniment probable que par ce moyen une partie importante de ces calottes serait sublimée en oxygène, gaz carbonique et vapeur d'eau, mais le temps nécessaire pour l'efficacité d'une telle opération est difficile à évaluer.

Une autre façon visant à obtenir le même résultat, beaucoup plus vite et de façon plus efficace, consisterait à utiliser une solution « Mar-

chal-Burns », mais cette fois-ci en visant les calottes martiennes au moyen d'astéroïdes détournés de la « ceinture principale » (située entre Mars et Jupiter) et ramenés en orbite martienne au moyen de gros vaisseaux à propulsion nucléaire ou d'accélérateurs électromagnétiques spatiaux. Il serait alors possible de contrôler leurs paramètres directionnels et de jouer sur leur angle d'incidence avant pénétration dans l'atmosphère martienne. Une telle opération ne prendrait que quelques années mais, pour qu'elle réussisse, il nous faut davantage modéliser les paramètres entrant en jeu : épaisseur, température et niveau de dureté et de résistance des couches de glaces, vitesse nécessaire et taille de l'impact « idéal », effets d'énergie cinétique sur le processus de transformation instantanée de la matière environnante, risques d'agitation thermique élevée pour les molécules de gaz pré-atmosphérique dégagées par les impacts, conséquences éoliennes certaines pour les autres parties de la planète et, aussi, risques de réveil du volcanisme martien. On sait, en effet, que le gigantisme des volcans martiens situe le phénomène à une tout autre échelle que nos pires éruptions terrestres : les plus grands de nos volcans sont en effet des lilliputiens en comparaison avec l'Olympus Mons et les géants de la



**Kepleropolis.** Ce type de ville martienne constitue un progrès de plusieurs ordres de grandeur, et presque de nature, par rapport aux habitats de première génération. C'est d'une certaine façon une forme de « préterraformation ». Chaque nouvelle « cité » constitue une forme de « victoire » sur le monde hostile caractérisant l'environnement actuel de Mars.

chaîne des Tharsis Montes. Apparemment « éteints » depuis 80 à 100 millions d'années, nul ne peut écarter l'éventualité d'un réveil brutal dans le cas où un impact percuterait la surface de Mars.

Sur ce point tenant à la terraformation de Mars, il ne faut pas oublier non plus le très difficile problème du contrôle des proportions des composants atmosphériques qui reste posé de toute façon dans le cas de l'option catastrophiste dirigée par l'homme.

En fait, il est probable que la transformation du milieu martien s'effectuera selon un processus technologique extrêmement long. Le facteur essentiel de ce processus sera basé sur une révolution scientifique et technologique.

Si l'on veut un jour « faire renaître la vie sur Mars », cette grande révolution scientifique s'effectuera forcément aussi dans le domaine des sciences biologiques, et particulièrement celui de « l'optique biophysique ». Cette discipline étudie l'interaction entre les rayonnements électromagnétiques cohérents et la matière vivante. Selon cette approche, des processus non linéaires de résonance dans des bandes de fréquences étroites, mais dispersées sur le spectre électromagnétique, donnent lieu à des effets biologiques non thermiques, même à faible dose de rayonnement. Fritz Popp a montré que ces phénomènes entrent en jeu dans la communication cellulaire. Une des applications possibles consisterait à activer le phénomène de division cellulaire.

Armé de ces techniques, et une fois installée l'infrastructure scienti-

fique et industrielle nécessaire, l'homme pourra alors entreprendre de multiples essais-pilotes. Parmi ceux-ci, on peut envisager le développement « dirigé » de chaînes alimentaires à partir de bactéries chimiosynthétiques, puis de levures d'algues et de champignons. Ensuite, dans des cavernes, il serait possible d'envisager des élevages de poissons et de crustacés. Ces essais seront menés à la fois sur le milieu martien lui-même par le biais de petites stations (visitées à intervalles réguliers par des hommes en scaphandre et des robots) et dans de gigantesques enceintes closes qui seront de véritables phytotrons martiens : placées à l'extérieur des villes martiennes de type « Kepleropolis » qui, grâce à la gravité martienne favorisant l'implantation de structures de grande taille, pourront atteindre la taille et le volume du Palais du CNIT à la Défense !

Les programmes martiens conduisent quasi « naturellement » à la terraformation de Mars, mais le délai nécessaire pour disposer pour ce faire de moyens d'action très efficaces est difficile à évaluer : les 100.000 ans considérés comme « possibles » par Christopher McKay constituent certes une avancée considérable en comparaison de ce que le chercheur américain appelle lui-même le « processus naturel historique de la Terre ». Néanmoins, il n'est pas complètement interdit de penser que ce délai puisse être réduit en cas d'arrivée d'invités inattendus du progrès scientifique et technologique.

Toutefois, bien avant cette étape lointaine, l'homme aura acquis, grâce à la conquête martienne, tout le

savoir-faire nécessaire à une extension totale et nécessaire de ses activités hors de sa biosphère. Comme l'a déclaré James R. French, ancien directeur des programmes martiens au JPL/NASA, « Il faut aller sur Mars pour des raisons philosophiques... L'humanité a besoin d'un grand objectif et chaque fois qu'une société y renonce, elle se sclérose et disparaît ».

#### Notes

1. Christopher McKay, avec Penelope Boston, Tom Meyer, Carl Stoker et Steve Welch, est l'un des animateurs du fameux groupe des « Mars Underground ». Tous ces scientifiques sont également partisans d'une colonisation de Mars, allant bien au-delà des seuls objectifs scientifiques.

2. Entretien avec Christopher McKay, *Fusion*, n°45, mars-avril 1993.

3. Les pionniers de la radioastronomie à longue base sur Terre ont été les Australiens (avec leur célèbre « Croix de Mills ») et l'Anglais Martin Ryle qui partagea, en 1974, le Prix Nobel de Physique avec Anthony Hewish.

4. Philippe Jamet, « Tirer la croissance économique par la conquête de l'espace », *Fusion*, n°41, juin-juillet-août 1992.

5. Ce concept fut lancé sur le plan théorique, pendant la Deuxième Guerre mondiale, par le physicien Pascal Jordan et le Dr Burkhardt Heim, professeur de physique théorique à l'université de Göttingen.

6. Les propulseurs à fusion ont été imaginés par les Germano-Américains F. Winterberg et W.A. Reupke, les Américains Kammash et D. Galbraith ; et les propulseurs matière-antimatière par les Américains R.L. Forward et R. Zito.

7. *Air et Cosmos*, 21 juin 1996

8. La Documentation Française, 1994.

9. Entretien avec Christopher McKay, *Fusion*, n°45, mars-avril 1993.