

Répartition des masses pour une mission Mars Direct

Élément ERV	Masse en tonnes	Module d'habitation	Masse en tonnes
• Structure de la cabine	3,0	• Structure de l'habitat	5,0
• Systèmes de survie	1,0	• Systèmes de survie	3,0
• Consommables	3,4	• Consommables	7,0
• Panneaux solaires (5 kilowatts d'électricité)	1,0	• Panneaux solaires (5 kilowatts d'électricité)	1,0
• Systèmes de contrôle d'attitude	0,5	• Systèmes de contrôle d'attitude	0,5
• Communications et gestion de l'information	0,1	• Communications et gestion de l'information	0,2
• Mobiliers et aménagement	0,5	• Mobiliers et aménagement	1,0
• Combinaisons spatiales (4)	0,4	• Combinaisons spatiales (4)	0,4
• Équipements de rechange et marge (16 pour cent)	1,6	• Équipements de rechange et marge (16 pour cent)	3,5
• Bouclier d'aérofreinage	1,8	• Véhicule automobile pressurisé	1,4
• Véhicule automobile	0,5	• Véhicules automobiles ouverts (2)	0,8
• Réserve d'hydrogène	6,3	• Équipement de laboratoire	0,5
• Étages de propulsion	4,5	• Équipement scientifique de terrain	0,5
• Unité de production de propergol	0,5	• Équipage	0,4
• Réacteur nucléaire (100 kilowatts d'électricité)	3,5		
• Masse totale de l'ERV	28,6	• Masse totale de l'ERV	25,2



Don Dixon

3. LE VÉHICULE DE RETOUR SUR TERRE (ERV) décolle de la surface de Mars avec un équipage de quatre personnes. Les charges utiles de ce véhicule et du module habité sont détaillées dans le tableau.

Avec ce projet, personne ne reste en orbite, de sorte que tous les astronautes bénéficient de la gravité martienne et de la protection contre le rayonnement assurée par l'atmosphère. En conséquence, le retour sur Terre n'est pas urgent, contrairement aux projets qui comprennent un vaisseau-mère orbital et de petites expéditions sur la surface. À la fin de leur séjour, les astronautes reviennent par vol direct à bord du véhicule de retour. La série de missions constituera une chaîne de petites bases sur la planète, ouvrant de larges zones de Mars à une exploration humaine continue et, finalement, à une colonisation.

Planète Mars

En 1990, lorsque nous avons soumis le projet *Mars Direct* pour la première fois, la NASA le jugea excessivement novateur. Depuis, le groupe chargé de la conception des missions habitées vers Mars a décidé de le réexaminer.

En 1994, des chercheurs de ce groupe ont évalué les coûts d'un programme analogue à *Mars Direct*, mais deux fois plus ambitieux : le budget serait de 250 milliards de francs. En

1989, ce même groupe avait estimé le coût d'une approche classique fondée sur l'assemblage orbital d'un vaisseau unique à 3 000 milliards de francs. Avec une conception de la mission plus rigoureuse, je pense que notre projet coûterait 120 à 180 milliards de francs. Réparti sur dix ans, ce montant constituerait une dépense annuelle d'environ 20 pour cent du budget de la NASA, ou de un pour cent du budget militaire américain.

Afin de mobiliser le public pour l'exploration de Mars – par des systèmes automatiques et par des astronautes – et afin de chercher des crédits privés pour organiser les missions, nous avons créé l'Association Planète Mars (*Mars Society*) en 1998. Le premier projet de l'association est la construction d'une base de simulation martienne, dans le cratère d'impact météoritique Haughton, sur l'île Devon, dans l'Arctique canadien. La base MARS (*Mars Arctic Research Station*, soit «station de recherche arctique pour Mars»), située dans une région au climat et à la géologie similaires à ceux de Mars, servira aux tests des tactiques d'exploration humaine et des équipements, dont les modules d'habitation, les engins mobiles de surface,

les systèmes photovoltaïques et des dispositifs de forage spécialisés. La base MARS sera opérationnelle à l'été 2000.

Grâce à ce projet, nous augmenterons la confiance des investisseurs dans nos programmes, afin de contribuer au financement des missions automatiques vers Mars et à celui des expéditions humaines. Notre premier objectif est de montrer aux gouvernements pourquoi l'exploration de Mars est intéressante.

Je crois qu'un jour des millions de gens vivront sur Mars. Quelle langue parleront-ils? Quelles valeurs et quelles traditions emporteront-ils quand, de Mars, ils iront ailleurs dans le Système solaire et au-delà? Quand ils penseront à notre époque, quelle autre entreprise du passé leur semblera aussi importante que celle de l'Association Planète Mars? Nous avons aujourd'hui l'opportunité d'être les fondateurs d'une nouvelle branche de la famille humaine et d'imprimer notre marque au futur. C'est un privilège inestimable.

Robert ZUBRIN est président de la *Mars Society* et fondateur de la *Société Pioneer Astronautics*.

Mars via ses lunes

FRED SINGER

Phobos et Deimos, satellites de Mars, pourraient être des bases intermédiaires, à partir desquelles on explorerait la planète rouge.

Depuis 30 ans, le débat qui oppose les partisans des vols habités à ceux des missions automatiques n'a guère changé. Toutefois, au fil des ans, certains de ceux qui étudient les satellites robotisés ont adopté une attitude plus modérée : dans certaines circonstances, l'envoi d'êtres humains dans l'espace est plus rentable que le lancement de robots. L'exploration de Mars serait plus facile et plus fructueuse avec des vols habités.

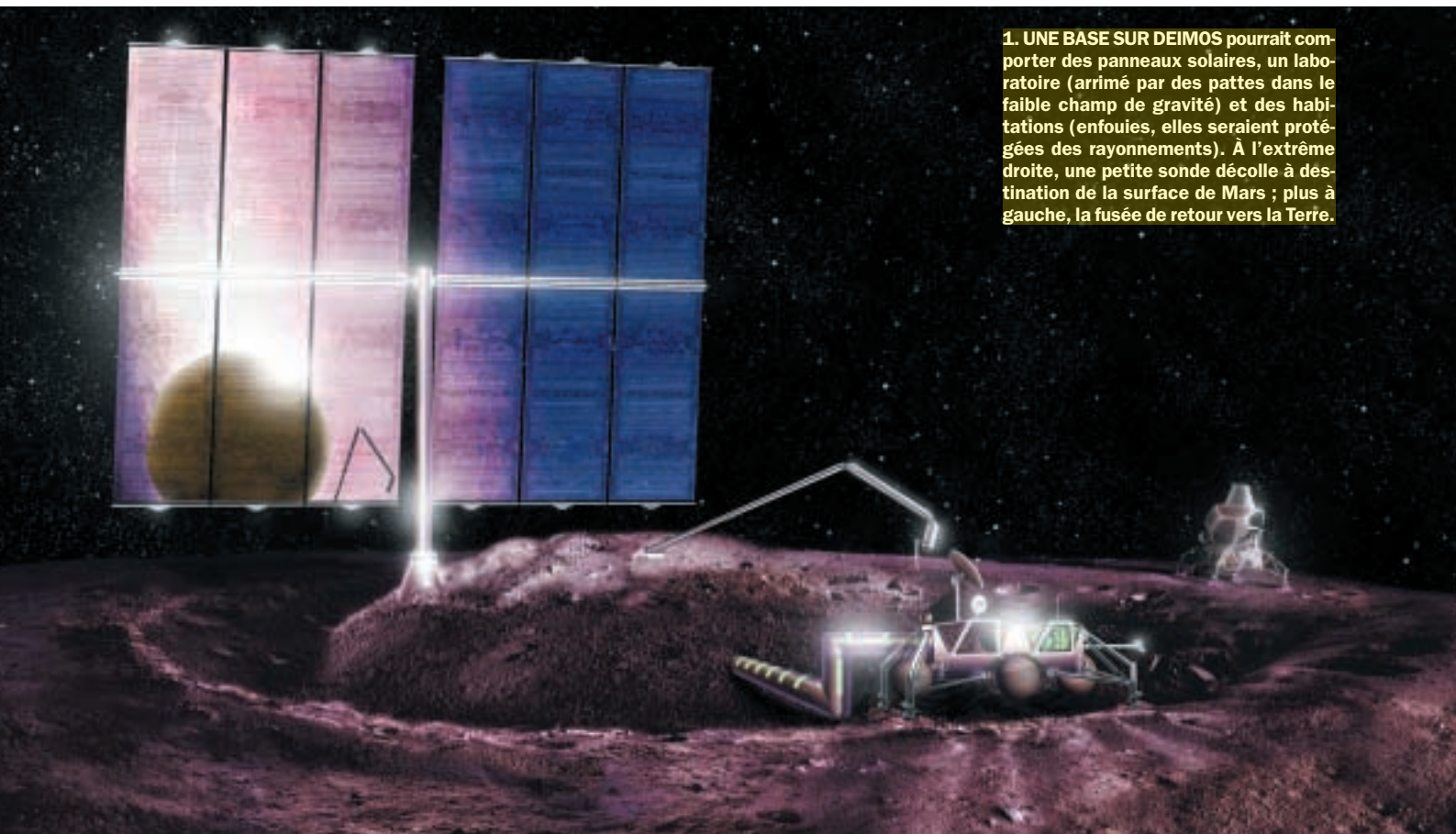
En effet, les astronautes ont l'avantage de pouvoir explorer Mars en temps réel, sans délais de communication, et concevoir de nouvelles expériences dans le prolongement de résultats antérieurs. Les robots, même après plusieurs décen-

nies de recherches, ne se débrouillent pas sans intervention humaine. Doit-on toutefois envoyer des astronautes jusqu'à la surface de Mars ? Cette solution évidente n'est pas nécessairement la meilleure. Lors de la première conférence « Plaidoyer pour Mars », en 1981, l'une des conclusions les plus hardies fut que les lunes martiennes, Phobos et Deimos, pourraient servir de têtes de pont relativement peu coûteuses.

La plupart des projets prévoient l'utilisation de deux engins spatiaux. Le premier déposerait sur Mars, ou dans son voisinage, du carburant et d'autres équipements lourds, tels des modules de rechange et des véhicules de retour. La durée du trajet n'étant

pas cruciale, ce vaisseau naviguerait par propulsion électrique et assistance gravitationnelle. Au contraire, l'engin qui conduirait les astronautes devrait être le plus rapide possible, afin que ses occupants ne s'attardent pas près des ceintures de radiations qui entourent la Terre et qu'ils ne manquent pas de vivres et d'oxygène. Les fusées qui emporteraient les astronautes doivent avoir un moteur chimique.

Après le rendez-vous de l'engin habité et du vaisseau cargo près de la planète rouge, le déroulement des opérations diffère selon les programmes. Dans l'ordre de difficulté et de coût croissants, les six solutions sont : un survol de Mars analogue aux premières mis-

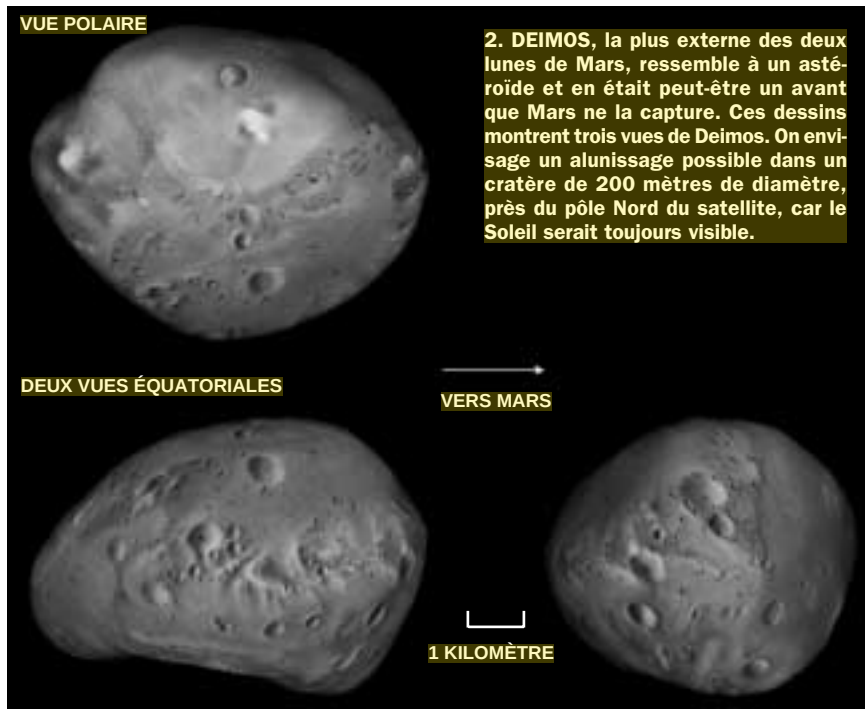


1. UNE BASE SUR DEIMOS pourrait comporter des panneaux solaires, un laboratoire (arrimé par des pattes dans le faible champ de gravité) et des habitations (enfouies, elles seraient protégées des rayonnements). À l'extrême droite, une petite sonde décolle à destination de la surface de Mars ; plus à gauche, la fusée de retour vers la Terre.

sions *Apollo*, suivi d'un retour immédiat vers la Terre ; un orbiteur martien autorisant un séjour prolongé près de la planète ; une mission Phobos-Deimos (Ph-D), qui comprend un transfert sur une orbite circulaire équatoriale, avec un alunissage et la constitution d'une base sur l'une des lunes de Mars, de préférence Deimos ; une mission hybride (Ph-D+) qui comporte aussi un bref séjour sur la surface de Mars ; un atterrissage sur Mars, avec un séjour de plus longue durée et un programme complet de recherche ; enfin, un séjour prolongé sur Mars, pendant lequel les astronautes érigent des structures permanentes et entament un séjour continu sur la planète.

Je crois que la première mission habitée doit être ambitieuse – l'aventure fait partie de l'attrait –, mais pas trop, surtout financièrement. Les missions Ph-D et Ph-D+ équilibrent remarquablement les coûts et les bénéfices.

Deimos conviendrait très bien à l'établissement d'une base pour l'étude de Mars : de là, les astronautes pourraient envoyer des sondes atmosphériques, des engins foreurs et des robots automobiles, qu'ils dirigeraient ensuite sur toute la surface de Mars. L'orbite quasi synchrone de cette lune permet



B.E. Johnson, Peter C. Thomas, Calvin Harrison et A. Tajiri Oniz

de conserver le contact avec un véhicule pendant près de 40 heures d'affilée. Phobos, plus proche de la planète, tourne plus vite et ne possède pas cet avantage. Cependant, quelle que soit la lune retenue, les astronautes pourraient analyser les échantillons récoltés sans craindre de contaminer la Terre par des formes de vie martiennes.

L'absence d'atmosphère sur ces satellites est un autre avantage : on manipulerait plus facilement des instruments de laboratoire qui ne fonctionnent que sous vide, comme des spectromètres de masse ou des microscopes électroniques. En se déplaçant sur le satellite – ce qui est aisé en raison de la gravité minime –, les astronautes se protégeraient des éruptions solaires et des chutes de météorites. En outre, les satellites martiens sont des corps fascinants par eux-mêmes. Des échantillons prélevés directement sur ces corps permettraient d'étudier leur origine.

Une base habitée à la surface de Mars serait bien plus difficile à gérer. Les véhicules déployés ailleurs sur la planète devraient toujours être télécommandés, ce qui nécessiterait un relais de commande par des satellites. La récolte d'échantillons loin de la base serait plus difficile. Des batteries d'appoint lourdes ou des générateurs nucléaires seraient indispensables pour alimenter la base pendant la nuit ou pendant les tempêtes de poussière.

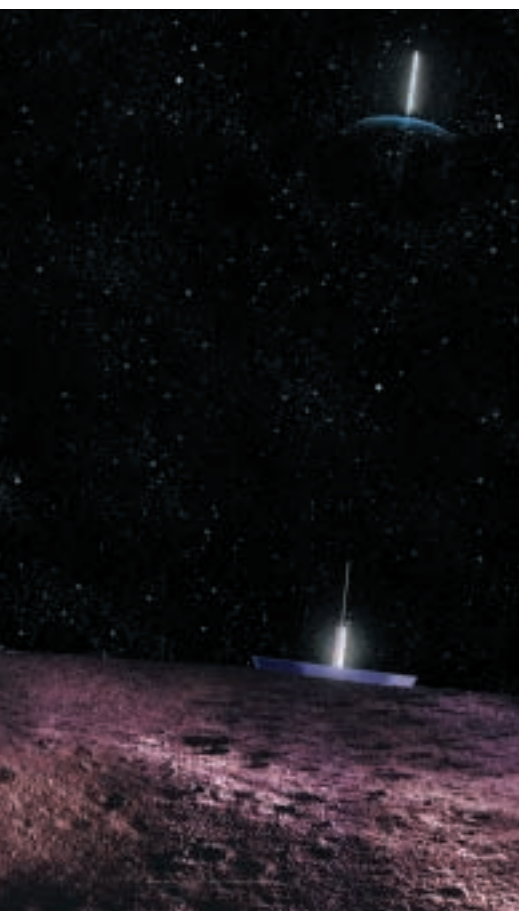
La plupart des avantages d'un vol habité vers Mars, tant sur le plan de

la science que sur celui de l'aventure, seraient obtenus par des vols habités vers les satellites martiens. Une petite navette suffirait, au lieu d'un module d'atterrissage élaboré, ce qui réduirait les coûts de la mission. Venant d'une base établie en orbite, les astronautes seraient en mesure de sélectionner le site d'arrivée sur Mars avec plus de flexibilité, alors que l'équipage d'un gros module d'atterrissage martien devrait jouer la sécurité, choisissant un site propice au lancement du voyage de retour vers la Terre.

Dans un avenir plus lointain, les satellites pourraient servir de haltes pour descendre sur Mars ou en remonter à l'aide de câbles. Les climatologues installés sur Deimos pourraient mener sans danger des expériences climatologiques, comme l'altération du climat ou la fusion des calottes polaires afin de tester les techniques de « terraformage » de Mars ou d'atténuation des changements de climat sur la Terre.

Les coûts et les bénéfices des divers scénarios restent difficiles à estimer, mais une enquête m'a montré que le projet Ph-D+ a la faveur des experts en missions martiennes. Toute la science, plus vite et moins cher ! Cette mission serait une bonne première étape pour établir une base et une colonie sur Mars.

Fred SINGER est professeur de planétologie à l'Université George Mason.



B.E. Johnson

Un autobus entre les planètes

JAMES OBERG • BUZZ ALDRIN

Grâce aux techniques d'assistance gravitationnelle, les coûts des trajets entre la Terre et Mars seraient considérablement réduits.

Gâce aux fusées à propulsion chimique, l'humanité a fait ses premiers pas dans l'espace. L'un de nous (B. Aldrin), porté jusqu'à la Lune par l'une d'entre elles, connaît leurs mérites, mais il sait aussi qu'elles n'emporteront pas les astronautes très au-delà du satellite naturel de la Terre.

Pour emmener un équipage sur Mars à l'aide de moteurs chimiques et en revenir, il faudrait tant de carburant que la plupart des projets envisagent sa production à la surface de Mars. Cette opération complique les mission projetées. Les fusées à propulsion plasmique, bien plus puissantes, n'équiperont sans doute pas de vaisseau habité avant une décennie.

Pourquoi, alors, ne pas accroître l'autonomie des fusées à propulsion chimique en profitant des forces gravitationnelles des corps célestes ? Si l'on faisait passer les engins spatiaux tout près des planètes, le champ gravitationnel de celles-ci modifierait la vitesse de l'engin. On a souvent utilisé cette méthode pour accélérer une sonde lancée vers les planètes du Système solaire qui, autrement, auraient été inaccessibles.

Les contrôleurs de mission commencèrent à employer l'assistance gravitationnelle dans les années 1970. Lors de la mission *Mariner 10*, lancée vers Mercure, on utilisa le champ gravitationnel de Vénus ; *Pioneer 11*, vers Saturne, profita de Jupiter ; et *Voyager 1*, catapulté par le champ gravitationnel prodigieux de Jupiter, erre aujourd'hui dans l'espace interstellaire à la vitesse de 62 000 kilomètres par heure. Même si, entre la Terre et Mars, il n'existe pas d'objets de taille adéquate, la trajectoire entre les deux planètes peut être calculée de manière à bénéficier de leur gravité.

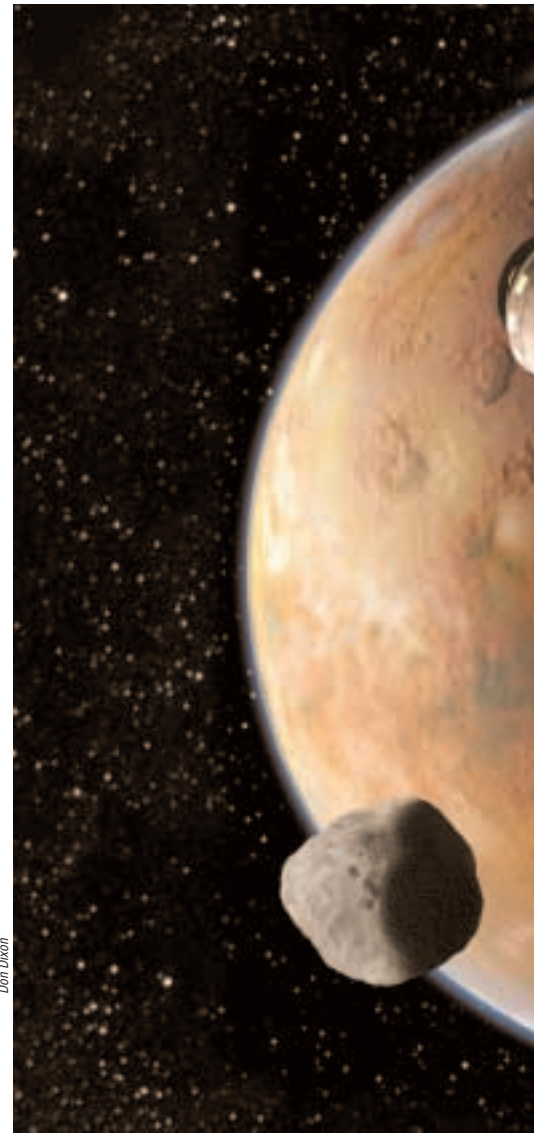
Rebond sur un mur gravitationnel

Une manœuvre d'assistance gravitationnelle s'apparente au rebond d'une balle sur un mur : l'engin spatial est comme la balle, et la planète comme le mur. Dans le cas de la balle, sa vitesse après le rebond augmente ou diminue selon que le mur s'approche ou s'éloigne de la balle au moment du choc. La relation entre les vitesses résulte de la conservation de la quantité de mouvement. La variation de la quantité de mouvement du ballon est égale à la variation inverse de la quantité de mouvement du mur. Si le mur avance vers la balle, la balle prend de la vitesse au mur, qui ralentit un tout petit peu (car il est bien plus massif que la balle).

Ainsi, lors d'une manœuvre d'assistance gravitationnelle, le vaisseau spatial entre en « collision » élastique avec le champ gravitationnel de la planète. Si la planète se meut dans la même direction que l'engin lorsque celui-ci s'approche de la planète, la vitesse du véhicule après « rebond » sera supérieure à sa vitesse d'approche. Comme dans le cas de la balle qui rebondit contre un mur, la quantité de mouvement est conservée : la quantité de mouvement de la planète change autant que celle du vaisseau. Cependant, en raison de l'immense différence de masse, la vitesse de la planète ne varie pas de manière appréciable.

Plus la planète est massive, plus la trajectoire de la sonde peut être modifiée. Jupiter, qui est la planète la plus massive du Système solaire, peut modifier la trajectoire d'une sonde de 160 degrés. Par cette méthode, non seule-

ment les contrôleurs de vol peuvent modifier la vitesse et la direction d'une sonde dans le plan orbital, mais ils peuvent aussi catapulter l'engin dans un plan orbital différent de celui de l'orbite de la planète autour du Soleil (grâce à l'assistance gravitationnelle de Jupiter, la sonde *Ulysse* a quitté le plan orbital des planètes en 1992).



Don Dixon