

LE VOL HABITÉ VERS MARS : UNE ÉTUDE DE L'ESA

Christian Muller

B.USOC et Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

L'Agence Spatiale Européenne vient de rendre public son premier rapport sur une mission habitée vers la planète Mars à effectuer vers 2030 dans le cadre du programme AURORA, ce document de 422 pages est disponible sur ftp://ftp.estec.esa.nl/pub/aurora/Human_Missions_to_Mars/HMM_Technical_Report_Final_Version.pdf et donne une idée spectaculaire de ce que serait une mission martienne utilisant la technologie actuelle.

"This cause of exploration and discovery is not an option we choose; it is a desire written in the human heart."

President George W. Bush,
février 2004.

européens sur Mars en 2030 et un retour sur la Lune dans l'intervalle !

Aurora a été présentée comme une réponse à la mission confiée en 2000 à l'ASE par les Ministres, visant à préparer les prochaines étapes de l'exploration de l'univers par l'homme. Le programme Aurora et son principe ont été approuvés à l'unanimité par le Conseil de l'ASE au niveau ministériel qui s'est tenu à Edimbourg en 2001.

Introduction : Pourquoi un vol habité ?

Explorer constitue un des plus vieux rêves de l'humanité et le désir d'aller voir et toucher les étoiles est universel. Cependant, les missions martiennes en cours : Mars-Express, Mars-Odyssée, Mars Global Surveyor et les deux robots SPIRIT et OPPORTUNITY ne cessent pas de prouver qu'un programme scientifique détaillé peut être accompli avec l'assistance d'opérateurs au sol. Dans le cas des robots, les opérations ont même été conduites en continu, le temps étant mesuré en journées martiennes ou sols. Les progrès rapides de la télésience et des automatismes ne cessent pas et on peut imaginer

bientôt des explorateurs robotiques autonomes plus en dialogue avec les équipes au sol que commandés par elles. On peut donc défendre l'opinion que l'explorateur humain sur place, avec ses besoins en produits consommables et ses exigences physiologiques sera une bien piètre addition à un programme robotique bien conçu et piloté agressivement d'une base terrestre. On notera aussi que la survie à long terme de l'être humain dans l'environnement spatial doit encore être démontrée. Cependant, le mythe de l'Homme en charge de son projet est tel que le public et son expression, le politique, décideront à l'instar du président des Etats-Unis d'orienter la recherche spatiale vers l'exploration habitée du système solaire.

Conçu suite à une vaste étude menée avec les communautés scientifique et industrielle, le programme Aurora définit, et mettra en oeuvre, la stratégie européenne d'exploration du Système solaire et de planètes susceptibles de receler des formes de vie. Aurora est actuellement en phase préparatoire.

D'ici 2015, Aurora préparera des missions robotiques à destination à la fois de la Lune et de Mars, en vue de missions habitées vers ces deux planètes. L'objectif final est de permettre à des astronautes européens d'atteindre Mars dans le cadre d'un projet international, d'ici une trentaine d'années. »

« Aurora est à la fois : un objectif source d'inspiration pour les générations actuelles et futures, un atout majeur pour l'enseignement; une source incontournable d'innovation et de recherche dans le domaine de la technologie, de la science planétaire, de l'astrobiologie et des sciences de la vie, offrant des retombées précieuses pour la Terre et représentant une solide approche interdisciplinaire. »

Cette description montre l'ambition du programme. Cependant, la réalité est légèrement en dessous car AURORA ne fait pas partie du programme obligatoire de l'ESA et un des grands pays, l'Allemagne, n'y participe pas. AURORA constitue cependant le seul cadre où ce type

Le programme AURORA de l'Agence Spatiale Européenne.

Dans les propres termes de l'Agence Spatiale Européenne (ASE) http://esamultimedia.esa.int/docs/Aurora/Aurora625_2.pdf, « AURORA est un programme européen d'exploration spatiale avec comme points culminants l'envoi d'astronautes

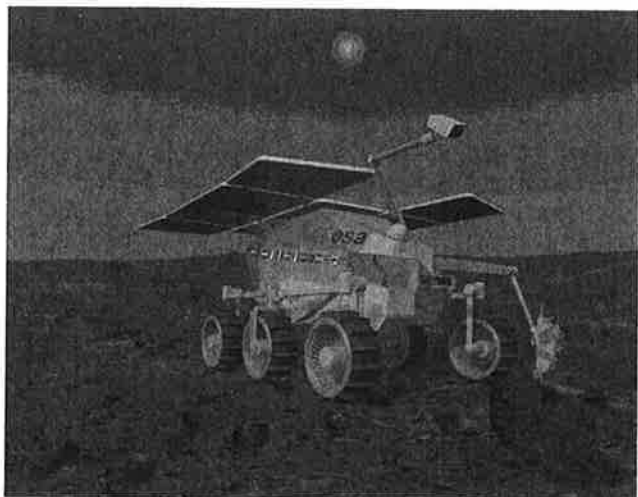


Fig.1 : Représentation de la mission EXOMARS, ce robot à six roues transporte la charge utile PASTEUR destinée à mesurer les traces d'une vie contemporaine ou éteinte. (Document ESA)

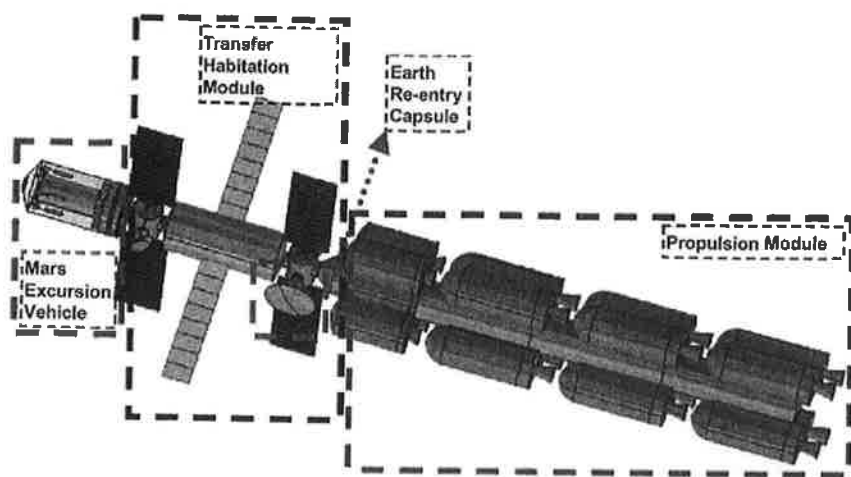


Fig. 2 : Représentation du train spatial au départ de la Terre, la longueur totale en est de 102 m. La capsule de rentrée est le seul module pour lequel le rapport ne donne pas d'étude détaillée. (Rapport ESA)

d'études peut dépasser le niveau du travail d'étudiant et faire l'objet de simulations réalistes. Il réconcilie aussi la nombreuse communauté scientifique impliquée dans la Station Spatiale Internationale avec le reste de la communauté spatiale plus favorable aux satellites automatiques. AURORA est également un excellent point de départ pour l'expansion de la nouvelle science de l'astrobiologie.

La première mission spatiale vers Mars d'AURORA devrait être l'atterrisseur EXOMARS en 2009 destiné à détecter les conditions de la vie sur Mars avec le secret espoir d'avoir la première preuve positive d'une vie contemporaine. L'Institut d'Aéronomie Spatiale y participe avec plusieurs propositions dont un senseur de l'ultraviolet martien. Le but de cet instrument sera de déterminer la pénétration réelle du rayonnement abiotique. EXOMARS est cependant loin d'être décidé entièrement et l'ESA considère en option pour 2009, la participation d'une partie de la charge utile à un véhicule automatique de la NASA simultanément au développement d'un démonstrateur européen d'atterrissage qui ne déposerait qu'une sonde légère à la surface.

Ensuite, le programme se développe rapidement jusqu'à demander des moyens qui n'ont encore jamais été envisagés à l'ESA : retour d'échantillons, essais du matériel sur la Lune et finalement vers 2030, le vol habité.

Présentation du vol habité européen

Le rapport « Human Missions to Mars » présenté par l'ESA constitue en soi déjà une réalisation du programme AURORA. C'est la première application du programme GRID qui est l'évolution future du réseau internet (world wide web) et qui permet à des concepteurs de travailler en réseau aussi efficacement que s'ils étaient situés sur un même site. Ce mode de fonctionnement préfigure les instituts virtuels du futur. De plus, l'ESA utilise la méthode de « conception concurrente » au lieu de la technique habituelle de conception centralisée. Cette technique fait ressembler le bureau des concepteurs à un centre d'opération disposé en fer à cheval devant un écran de téléconférence. Une description de ces systèmes, en constante évolution, peut être obtenue en consultant les liens suivants :

<http://www.estec.esa.nl/pr/facilities/cdf.php3>
http://www.esa.int/SPECIALS/CDF/SEMA9067ESD_0.html

Un autre point intéressant de l'étude est qu'elle n'utilise que des matériels existants et des techniques connues. Elle exclut notamment la propulsion nucléaire. Elle permet donc de chiffrer les coûts d'une mission dans le cadre des moyens disponibles. Les raisons du rejet de la propulsion électrique solaire, de la propulsion nucléaire électrique et de la propulsion nucléaire thermique sont essentiellement le manque de maturité des techniques et le désir d'avoir une mission la plus simple possible. La stratégie globale consiste à assembler un vaisseau en orbite basse autour de la Terre et de partir ensuite vers Mars. L'équipage comptera six astronautes dont trois séjourneront sur Mars.

L'assemblage en orbite terrestre, contrairement à APOLLO, demandera jusqu'à 29 tirs, et l'estimation faite amène à une masse à mettre en orbite supérieure à 1500 tonnes, ce qui est possible en utilisant une combinaison de la fusée russe ENERGIA (80 tonnes par tir) et d'ARIANE 5 (20 tonnes par tir), les équipages étant amenés par Soyuz et deux navettes spatiales américaines intervenant pour les opérations d'assemblage. Cette opération devrait prendre environ quatre ans et pas plus pour éviter que le matériel ne soit déjà vieilli au départ. L'ATV (Automatic Transfer Vehicle) sera utilisé aussi pour approvisionner le chantier et le maintenir en orbite à une altitude d'environ 400 km, retrouvant donc le mode de fonctionnement et les matériels utilisés pour la station

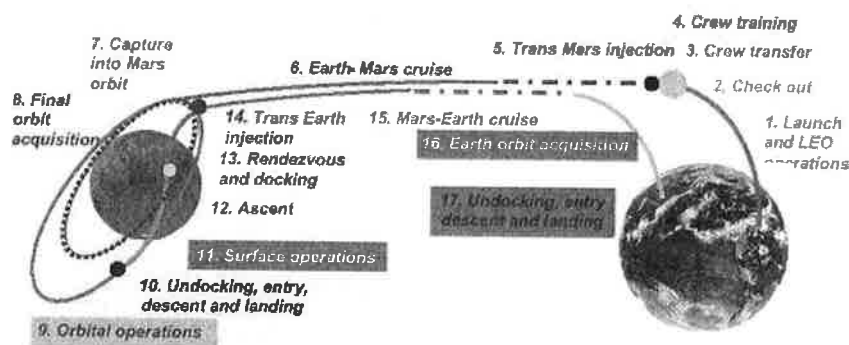


Fig. 3 : Schéma de la première mission. Le départ de l'orbite terrestre est prévu en avril 2033, l'arrivée en octobre 2033; le départ de Mars en avril 2035 et le retour en novembre 2035. (Rapport ESA)

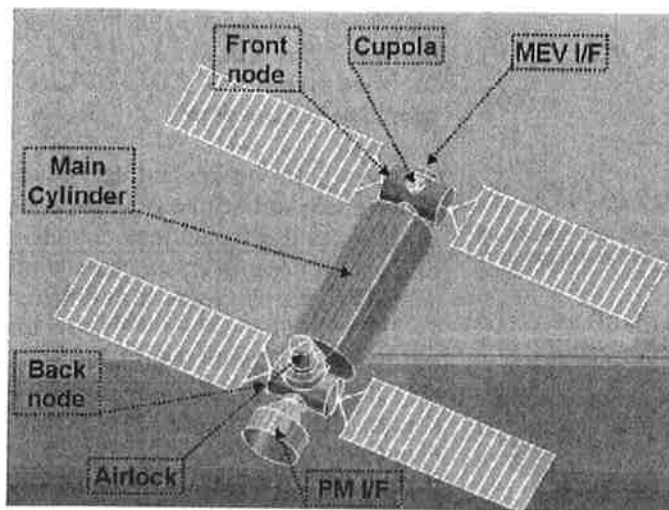


Fig.4 : Le module de transfert et d'habitation. MEV signifie Mars Exploration Vehicle et PM : Propulsion Module. Ce module se compare à un assemblage d'éléments de la station spatiale internationale. Il reprend notamment le concept de la coupole d'observation et de navigation, nécessaire à la fois du point de vue technique et psychologique. (Rapport ESA)

spatiale internationale.

L'assemblage étant terminé en un délai raisonnable, le train spatial peut recevoir son équipage final et commencer son voyage vers Mars. La mission prévue envisage une mission à la conjonction avec un séjour de 30 sols sur Mars et une année martienne en orbite de manière à optimiser le retour. Ce très court séjour devrait permettre sept sorties à une distance d'environ un kilomètre. Cette géométrie permet de ne devoir mettre en orbite que 1336 tonnes contrairement à 45938 tonnes nécessaires pour une mission à l'opposition avec aussi trente jours au sol.

La croisière se déroule dans le module d'habitation avec une différence fondamentale par rapport à la station spatiale: il n'y plus de ravitaillement possible, ni en consommable ni en matériel de rechange. Ceci demande donc une fiabilité sans faille et le plus de recyclage possible. L'étude indique 10,2 tonnes de consommable pour une mission de 963 jours, ce chiffre passe à 52,6 tonnes si ces produits sont utilisés en circuit ouvert. Ces dix kilos par jour pour un équipage de six sont pour le moment largement dépassés sur la station spatiale où la consommation n'est jamais descendue en dessous de cinq kilos par jour et par astronaute et atteint même parfois 15 kilos par astronaute. L'étude ne donne pas le détail des techniques

possibles mais différents projets en relation avec la station spatiale sont en cours pour résoudre ce dilemme. Deux voies sont possibles, la bio-régénération et la voie physicochimique classique. Elles demandent toutes d'importantes sources d'énergie.

Problèmes médicaux liés au vol habité.

Les problèmes médicaux du vol sont immenses: le premier est d'éviter la prolifération microbienne, le deuxième, de contrer les effets physiologiques de la microgravité, le troisième, la protection contre les radiations et finalement les difficultés psychologiques liées à l'isolement d'un groupe de six personnes pendant plusieurs années. L'étude ne pose en détail que le problème de radiation sans y apporter la solution. Cependant, grâce à la station spatiale, des éléments de réponse apparaissent de plus en plus pour tous les aspects.

La situation bactériologique est celle pour laquelle le plus de progrès a été accompli. L'actuelle ISS est dans un état propre et stable contrairement aux stations précédentes SKYLAB et MIR où de véritables tapis microbiens

se sont formés en particulier derrière des panneaux. Il reste maintenant à y tester un équipage de six et l'équipement de recyclage des déchets et à voir si la situation reste aussi bonne.

Une grande partie des études en cours sur la station spatiale concerne les systèmes osseux, musculaires et cardiovasculaires des astronautes. Les altérations observées correspondent à un vieillissement accéléré qui peut être retardé par des exercices que trente ans de recherche permettent d'identifier. Étonnamment, les accélérations liées à des chocs tels que ceux produits par la course à pied donnent de meilleurs résultats que des exercices plus liés. L'étude envisage sans la retenir la production d'une pesanteur artificielle par une centrifugeuse.

Les rayonnements ionisants ont déjà posé des difficultés à diverses professions du 20^e siècle, entre autres les médecins radiologues et le personnel des sous-marins nucléaires. Chaque fois, les solutions ont été de réduire les temps et les doses d'exposition par des blindages et des écrans. Le dommage principal se fait au niveau de la moelle produisant les globules rouges du sang, son fonctionnement est inhibé et conduit à l'anémie. Des cancers peuvent également s'y développer. Les autres organes sont aussi sensibles à des degrés moindres. Les recherches les plus récentes s'orientent vers une prévention médicamenteuse, celle-ci n'est malheureusement pas encore démontrée. On peut aussi noter que, comme pour toutes les pathologies, les sujets les plus robustes sont

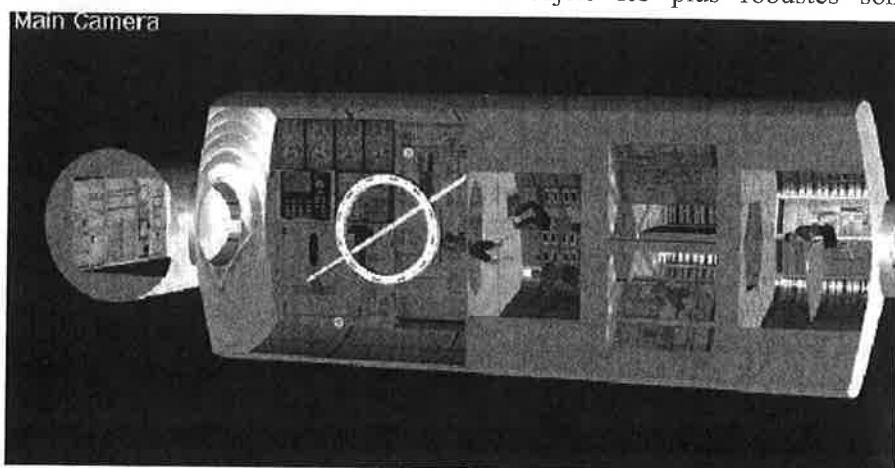


Fig.5 : Occupation intérieure par six astronautes du module de transfert. On voit que la référence à un plancher et à un plafond n'est plus conservée. (Rapport ESA)

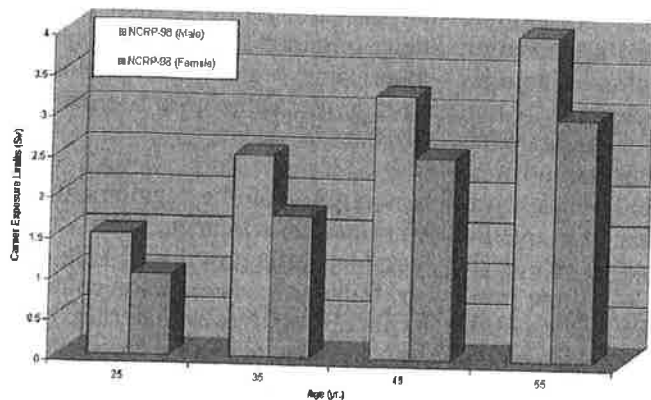


Fig. 6 : Expositions maximales aux rayonnements cosmiques. L'unité est le sievert (valant 100 rems). On voit qu'un homme de 55 ans est environ 4 fois moins sensible aux rayonnements qu'une femme de 25 ans. (Rapport ESA)

moins vite atteints et que dans la combinaison d'exercices et d'une bonne alimentation, nécessaire pour éviter la décalcification et la perte de la masse musculaire, constitue déjà une aide. Les effets nocifs sur la production de sang diminuent avec l'âge et dépendent du sexe, un homme de 55 ans étant quatre fois moins sensible qu'une femme de 25 ans. Si les risques de mutations liées à la reproduction sont pris en compte, l'envoi de jeunes femmes paraît exclu. Le corps médical est cependant peu convaincu de l'avantage d'envoyer des hommes âgés en raison de la présence d'autres difficultés, notamment cardiaques, liées au vieillissement.

Les problèmes psychologiques constituent une inconnue encore plus grande. La simulation par des expériences d'isolement paraît difficile car, non seulement, il faut rassembler des sujets mais en plus, pour être réaliste, il faut leur donner un objectif. Enfin, pour déterminer des lois générales, une expérience ne suffirait pas. Il faudrait pendant plusieurs années suivre des groupes isolés parallèles. Ici, de nouveau, les premières sources d'information sont la station spatiale et la MIR, les astronautes y ont toujours fait preuve d'un professionnalisme parfait même dans des conditions difficiles car, durant les vols, ils donnaient la priorité à la mission. Ils ont malheureusement toujours été moins de six et aucun équipage complet n'a dépassé les six mois. A titre personnel, je pense que des conclusions valables ne pourraient être tirées que de missions réelles comme des stations polaires,

sont fondamentaux car le critère de succès est le retour des astronautes. Il ne peut être question comme pour Magellan ou Cook de perdre des centaines d'hommes dont le chef de l'expédition dans un voyage d'exploration. La mort accidentelle ou même naturelle ne constitue plus un risque acceptable.

Opérations sur Mars.

Après une longue croisière, le véhicule d'exploration martien détache ses 46,5 tonnes du train spatial et les astronautes supervisent le gonflage d'un aérofrein de 490 m² de surface. Ce dispositif permet de descendre de 500 km à 10 km d'altitude où un parachute et des rétrofusées prennent le relais pour assurer un atterrissage vertical en douceur. L'étude insiste beaucoup sur la détermination des accélérations impliquées.

Les trois astronautes ayant atterri doivent d'abord s'adapter à la gravité martienne avant la sortie. Ensuite, ils effectuent un minimum de sept sorties de six heures par groupe de deux. Ce séjour sera très dur physiquement car l'étude n'a pas pu reprendre plus que les systèmes de survie du SOYUZ TM, en particulier, l'eau sera limitée à 1,7 litres par jour disponible uniquement pour la boisson.

Au moins quatre sorties seront consacrées à des objectifs scientifiques non définis dans l'étude. On peut penser que la sélection et le prélèvement d'échantillons en feront partie.

sous-marines ou souterraines justifiées par des observations originales. L'équilibre optimal entre les âges, sexes, origines et niveaux d'autorité reste une inconnue et devra être considéré avec soin dans l'analyse des simulations.

Ces aspects médicaux

Les règles de protection planétaire ont été considérées par l'ESA: les fuites sont minimisées et tous les déchets sont stockés dans des conteneurs étanches. Ces mesures sont clairement insuffisantes si la question de la stérilité ou de l'activité biologique de Mars n'est pas résolue en 2030. Il y a donc une priorité à l'étude de ce problème maintenant que le diagnostic de stérilité émis après les missions VIKING est remis en question.

La mission terminée, les trois astronautes prennent place dans le MAV (Mars Ascent Vehicle) et décollent jusqu'à une orbite de rendez-vous avec le module d'habitation, le retour vers la Terre s'effectuant ensuite jusqu'à l'atterrissage au moyen d'une capsule inspirée par le programme APOLLO.

Le document de l'ESA est une étude d'architecture et ne définit pas de programme scientifique. Il est donc du rôle des spécialistes de Mars et du spatial habité d'optimiser le rôle de l'opérateur sur Mars par la conception d'outils appropriés. Il faut également concevoir un programme utilisant les capacités spécifiques des astronautes durant la très longue croisière et le séjour en orbite martienne.

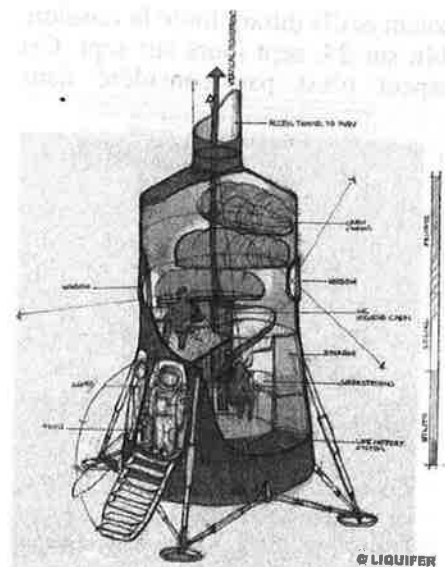


Fig. 7 : Le véhicule d'exploration martien posé sur la surface martienne: on comprend la limitation de la mission à 30 jours. (Rapport ESA)

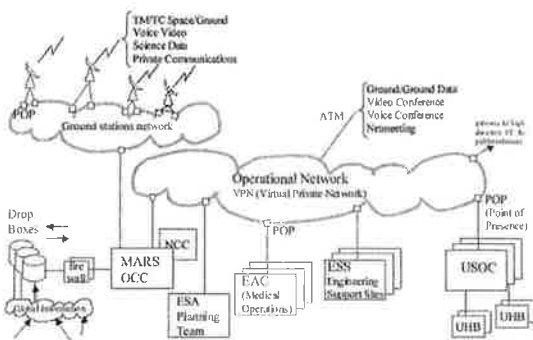


Fig. 8 : Schéma des communications reçues au sol. L'EAC est l'ESA Astronaut Centre à Cologne. La science est gérée par les USOC (User Support and Operation Center) qui distribuent les données, conversations et les images vers les Users Home Base. Ces derniers sont des centres distribués qui ont aussi la possibilité de communiquer avec les astronautes par l'intermédiaire des USOC ainsi que de préparer des fichiers de commande. (Rapport ESA)

Suivi au sol de la mission.

L'ESA accordera une importance maximale à la communication avec les astronautes, à la fois pendant la croisière, la descente et la mission au sol. Comme actuellement, sur la station spatiale, des communications privées seront possibles. Elles sont entre autres importantes pour assurer la confidentialité des consultations médicales et des contacts avec les familles. Par ailleurs, toutes les fonctions techniques et scientifiques doivent pouvoir être assurées y compris pendant le sommeil des astronautes et donc il est important que les différents centres d'opération soient actifs durant toute la mission, 24h sur 24, sept jours sur sept. Cet aspect n'est pas considéré dans

l'étude mais ne peut être pris en compte que par l'organisation de cinq équipes minimales de huit heures équivalentes pour chaque position et renforcées aux périodes de veille. Pendant le séjour sur Mars, le rythme passe des jours terrestres aux sols martiens et devrait pouvoir être soutenu par trois équipes durant la durée de trente jours de la mission. Le rôle des scientifiques dans leurs « User Home Base » (UHB) devient alors fondamental car en équipe, ils

peuvent suivre et analyser toutes les opérations des astronautes et éventuellement requérir des modifications de procédure.

Conclusions.

L'étude de l'ESA a pour première qualité le réalisme. Elle montre comment, si aujourd'hui l'Europe prenait la décision d'aller vers Mars, elle pourrait procéder immédiatement. Le point faible serait la remise en service du lanceur lourd ENERGIA. Les possibilités s'accroissent si on tient compte des progrès techniques, par exemple, des études de remise en état du télescope spatial Hubble par des moyens robotiques ouvrent de nouvelles perspectives pour

l'intégration de satellites en orbite et permettraient de se dispenser des deux missions de la navette spatiale américaine dont, rappelons-le, l'usage n'est plus garanti à partir de 2010.

La NASA étudie également des missions martiennes. Une étude complète effectuée il y a 14 ans avait été rejetée en raison de son coût. Elle utilisait de nouveaux matériaux basés sur des technologies classiques et arrivait à une dépense totale de 450 milliards de dollars. Les nouvelles études en cours depuis février 2004 privilégient les techniques nouvelles et en particulier l'assemblage d'une centrale nucléaire en orbite.

Le programme scientifique au sol, absent de l'étude européenne, mérite certainement une étude détaillée et tous les moyens pouvant l'optimiser devraient être envisagés, y compris l'envoi préalable d'outils robotiques et de provisions de survie à la surface martienne permettant ainsi d'établir un début de base martienne.

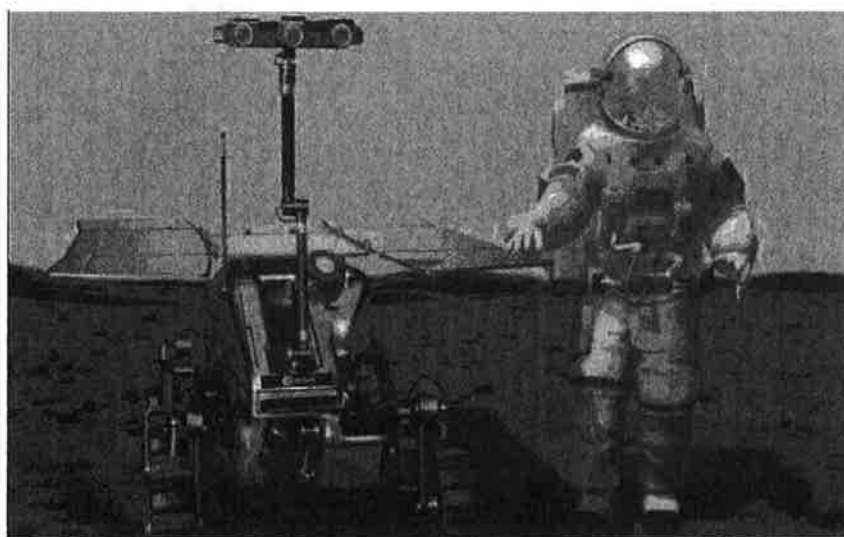


Fig. 9 : Un astronaute de l'ESA retrouve un véhicule automatique de l'ESA sur Mars (Document ESA)

Références

- Rapport de l'ESA :
ftp://ftp.estec.esa.nl/pub/aurora/Human_Missions_to_Mars/HMM_Technical_Report_Final_Version.pdf
- Brochure du programme AURORA :
http://esamultimedia.esa.int/docs/Aurora/Aurora625_2.pdf
- Opérations des USOC's durant les vols habités :
<http://www.busoc.be/>
J. Vanhaverbeke, R. Coszach, E. Haumont, D. Moreau, C. Muller, X. Stockman, J. Wisenberg, C. Lippens, C. Noël, E. Van Ransbeeck, R. Vanlaer, P. Queeckers, M. Lefebvre, S. Varet Telescience and Space Missions
- Operations at the Belgian User Support and Operation Centre, Rapport à SpaceOps 2004, Montréal, Canada, 2004
- Document NASA: the vision for space exploration, 2004.
http://www.exploration.nasa.gov/documents/vision_space_exploration.pdf