



PLANÈTE MARS



Numéro 18 *Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris* www.planete-mars.com Janvier 2004

UNE PAGE EST TOURNÉE

« Ils ne sont pas morts pour rien »... Cet hommage aux astronautes de Columbia prendra-t-il tout son sens suite à la récente déclaration de politique spatiale du président Bush ? Peut-on accorder plus de crédibilité à cette initiative qu'à celle de 1989, l'infortunée « Space Exploration Initiative » ? Le fait nouveau majeur, c'est que le Congrès lui-même en est cette fois à l'origine. Traumatisé par la catastrophe de Columbia, constatant avec amertume la minceur des résultats produits par les grands programmes de l'agence, il a en effet exigé qu'un but à long terme porteur soit donné aux vols spatiaux. Dans ce but, certains parlementaires proposent d'accroître le budget de la NASA de 15 à 20 milliards de dollars en 5 ans. Mais un tel dossier, qui exige un fort consensus, ne risque-t-il pas au contraire de devenir, en période électorale, un objet de polémique ? En tout état de cause, on ne reviendra pas en arrière : une page est tournée et les politiques se trouvent confrontés à des perspectives entièrement nouvelles.

Si Mars est bien l'objectif à terme, l'accent est cependant mis sur les opérations lunaires, ce qui permet à la Maison Blanche d'afficher une démarche progressive, plus facile à endosser par les décideurs. Utiliser la Lune comme terrain de qualification de certains des équipements permet effectivement de s'avancer avec plus de sûreté sur la route de Mars, tout en offrant des résultats intermédiaires visibles. Mais en s'écartant de la simplicité de « Mars Direct », on court le risque majeur de multiplier les réalisations et donc d'enfler le budget au delà du raisonnable. Surtout si viennent s'y greffer les spéculations sur les ressources lunaires, meilleur moyen d'asphyxier le programme ! Le syndrome de la désastreuse « étude de 90 jours », fatale à l'initiative de 1989, menace à nouveau.

Comment l'Europe va-t-elle réagir ? Malgré la désillusion de la Station Spatiale, elle doit -nous devons- percevoir les enjeux de la situation nouvelle créée par la déclaration du 14 janvier.

Richard Heidmann, Président de « Planète Mars »

Dans ce numéro :

- Edito p. 1
- Munich station terminus astéroïdes p. 1
- Tir groupé p. 1
- La vie de l'association p. 4
- Vos questions p. 5
- Comment la quitter ? (le retour) p. 5

prochain numéro : avril 2004

MUNICH STATION TERMINUS ASTÉROÏDES : des cratères en Allemagne

Mars, la Lune, Mercure et de nombreux satellites des planètes du système solaire sont abondamment couverts de cratères d'impact.

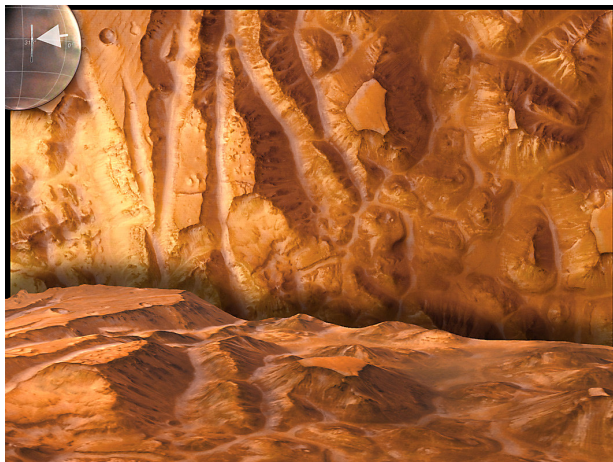


*à l'ère tertiaire le cratère est rempli par un lac et le mont central est une île (diorama du musée de Steinheim) (doc. A. Souchier)
(suite page 2)*

TIR GROUPÉ

1) Mars Express : 1^{er} succès martien de l'Europe spatiale

Le 2 juin 2003 décollait depuis le pas de tir de Baïkonour (Kazakhstan) la première mission de l'Europe à destination de la planète Mars. A son bord, un orbiteur (Mars Express) et un lander (Beagle 2).



*Valles Marineris survolée par Mars Express : en couleur et en relief ! (doc. ESA)
(suite page 8)*

(suite de l'article page 1 : Munich)



Le cratère de Steinheim am Albuch vu depuis le rempart sud. L'élévation au centre est due au rebond du sol après l'impact. Les collines boisées, derrière, constituent le rempart nord. (doc. A. Souchier)

Sur la Terre, les processus d'érosion ont fait disparaître la grande majorité des cicatrices laissées par les chutes d'astéroïdes de toutes tailles.

Depuis 50 ans on identifie de plus en plus de cratères, ou restes de cratères, sur notre planète. L'excellente base de données établie par le Geological Survey du Canada et le Planetary and Space Science Center de l'université du New Brunswick (voir www.unb.ca/passc/ImpactDatabase) identifie 168 cratères terrestres depuis le plus grand, le Vredefort de 300 km de diamètre en Afrique du Sud, jusqu'au plus petit, le Haviland de 15 m de diamètre au Kansas ! Le Vredefort est aussi le plus vieux avec 2 milliards et 23 millions d'années (plus ou moins 4 !). Le Haviland a environ 1000 ans et n'est pas le plus jeune : le cratère Sikhote Alin en Russie n'a que 55 ans ; il mesure 27 m de diamètre.



Le clocher de 90 m de l'église de Nördlingen est construit en roches d'impact. Au loin, à 25 km, la ligne de forêts indique le rebord opposé du cratère. (doc. A. Souchier)

Si lors d'un voyage vous souhaitez visiter un cratère, ce qui jusqu'à présent est plus facile sur la Terre que sur Mars ou même la Lune, consultez le site indiqué ci-dessus ; une carte vous permet de voir si un objectif intéressant est à portée de détour. Dans nos régions les opportunités sont faibles. En France n'a été identifié que le cratère de Rochechouart (et seulement au début des années 70). La zone est géologiquement très intéressante, mais 214 millions d'années d'érosion ont gommé l'aspect cratériste. La chute de la météorite responsable de cette formation se serait d'ailleurs produite au même moment que celle qui a créé le Manicouagan au Canada (voir bulletin d'avril 2003). En Allemagne, près de Munich, se trouvent les cratères jumeaux de Steinheim et du Riess. Plus à l'est, en Pologne, 7 fragments sont tombés en même temps à Morasko, engendrant des structures dont la plus grande atteint 100 m. Dans le nord de l'Europe, sur le vieux bouclier graniti-

que scandinave, les cratères se sont mieux conservés et on en dénombre 18, de la Norvège à l'Estonie, en passant par la Suède et la Finlande.

En mars 2003, huit mois après avoir vu le Manicouagan et le Charlevoix et quatre mois après l'excursion en scaphandre à Upheaval Dome dans le cadre de la mission MDRS 7 dans la Mars Desert Research Station de la Mars Society en Utah, j'ai eu l'occasion de visiter les cratères de Steinheim et du Riess, situés à 200 km au nord-ouest de Munich. Les deux impacts se sont produits simultanément, il y a 15 millions d'années, mais les deux astéroïdes, ayant des tailles très différentes, ont engendré des structures de 3,8 km de diamètre à Steinheim et 24 km de diamètre au Riess. Les reliefs sont encore bien marqués et, surtout à Steinheim, dont les dimensions sont plus à l'échelle humaine, l'origine météoritique est bien perceptible. D'ailleurs les astronautes d'Apollo 14 y sont venus préparer leur mission lunaire. Comme la plupart des autres cratères terrestres, Steinheim et le Riess sont devenus, pendant une période évaluée à un ou deux millions d'années, des lacs. Sur Mars aussi, Nathalie Cabrol et Edmond Grin ont pu identifier 170 cratères qui ont été, à un moment de leur histoire, des lacs. Les datations ont donné, pour ces périodes lacustres, des âges compris entre 3,5 milliards et 400 millions d'années.

Le lac de Steinheim a vu le développement d'une vie abondante à l'ère tertiaire, en particulier des escargots dont la forme a évolué sur plus d'un million d'années.



Le rocher de Steinhirt, dernier témoin de la couronne d'algues calcaires fossilisées entourant le mont central. (doc. A. Souchier)

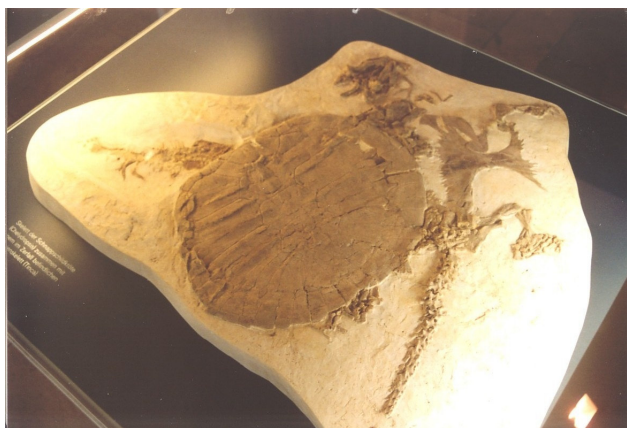
Dès 1867, Franz Hilgendorf était en mesure de présenter l'arborescence de l'évolution de ces escargots lacustres à l'appui de la théorie de l'évolution défendue par Charles Dar-

win, encore très controversée à l'époque. Dans les eaux du lac se sont développées des algues encroûtantes qui ont construit un récif de calcaire (aragonite) de 10 m de haut autour de l'île centrale. Vers 1860, la plus grande part de cette aragonite a disparu, utilisée pour la constitution du ballast des voies ferrées allemandes. Il ne reste plus aujourd'hui qu'une butte témoin où les strates d'algues se distinguent nettement.



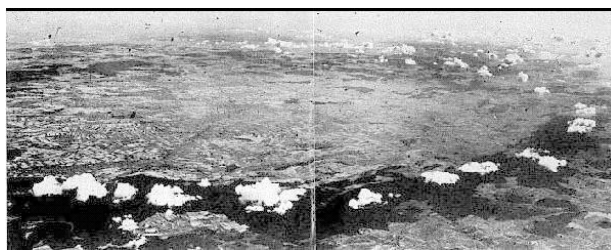
les fines strates de fossiles d'algues encroûtantes qui occupèrent les bords du lac de cratère (doc. A. Souchier)

Pourrait-on trouver un jour la même chose sur les bords des lacs martiens disparus ? Il faudrait pour cela que l'éventuelle vie des premiers âges martiens ait eu le temps d'atteindre le stade des organismes pluricellulaires, ce qui sur la Terre ne s'est produit que dans les derniers 900 millions d'années, la cellule à noyau elle-même étant apparue il y a 1,4 milliard d'années.



ce que l'on ne trouvera vraisemblablement pas sur Mars : des fossiles de tortue et de tanche découverts à Steinheim, témoins de la vie lacustre abondante dans le cratère (musée de Steinheim) (doc. A. Souchier)

Le cratère du Riess est situé à 30 km au nord-ouest de Steinheim. Il est certain que les deux astéroïdes sont arrivés en même temps, vraisemblablement du sud-ouest, projetant jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres vers le nord-est des tektites, gouttelettes de silice fondue, qui ont pris le nom de moldavite, du nom de la province où elles ont atterri. L'astéroïde « Steinheim », de 200 m de diamètre, était un satellite de l'astéroïde « Riess », de 1200 m de diamètre. Bien qu'il atteigne près de 25 km de diamètre, le cratère du Riess reste perceptible dans sa globalité lorsque l'on découvre la vaste plaine circulaire cultivée qui entoure la ville de Nördlingen, depuis la route qui franchit le rempart au sud-ouest ; les collines, résidus des remparts, sont couvertes de forêt et sont donc bien visibles, même jusqu'au côté opposé, à 25 km.



sur cette photo le rempart boisé et les nuages soulignent la forme du cratère du Riess (doc. D.R.)



au sol, depuis un contrefort du rempart sud-ouest, les collines boisées du rempart d'en face restent apparentes à l'horizon, à 25 km de distance derrière la ville de Nördlingen (doc. A. Souchier)

Aussi bien à Steinheim qu'au Riess, on retrouve les roches et signes caractéristiques d'un impact. Les brèches sont un mélange de roches fondues et de « grumeaux » non fondus. Certaines brèches grises contenant des fragments noirs, désignées suévites, ressemblent fortement au régolite lunaire.

D'autre part, de nombreuses roches calcaires présentent des cônes de percussion (shatter cones en anglais), traces de la propagation de l'onde de choc de l'impact. Toutes ces caractéristiques ont permis à Eugene Shoemaker, en juillet 1960, d'établir l'origine météoritique de la structure du Riess. Cette origine était contestée jusque là, même si l'hypothèse avait été avancée dès 1904 par le géologue allemand E. Werner.



cônes de percussion dans un bloc de calcaire jurassique de 40 cm (musée de Steinheim) (doc. A. Souchier)



Brèche calcaire avec cône de percussion dans l'éclat en bas à gauche. Échantillon récolté dans la carrière de Burgstall à Steinheim. (doc. A. Souchier)

Le 3 janvier 2004 MER A Spirit s'est posé dans le cratère Gusev. Avec 170 km de diamètre, cette structure est 40 fois plus étendue que le Riess en surface. Souhaitons une longue vie opérationnelle au rover afin que, trouvant cônes de percussion, brèches, sédiments lacustres et autres fossiles (!?), il nous dévoile quelques secrets des lacs martiens passés.

Alain Souchier

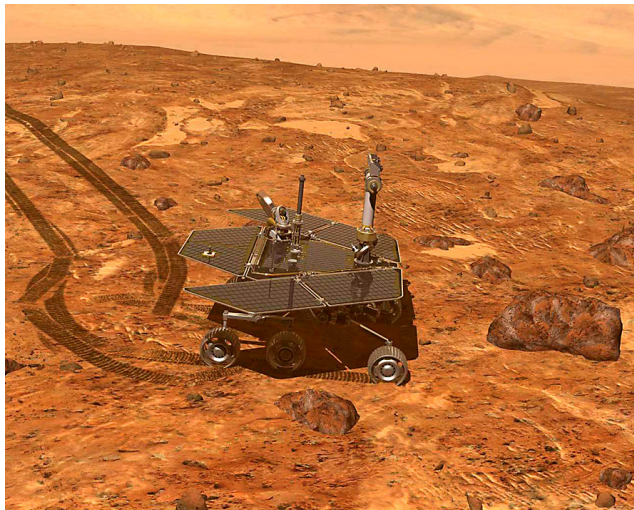


image de synthèse d'un rover MER (doc. NASA)

LA VIE DE L'ASSOCIATION

ASSOCIATION PLANÈTE MARS

En matière de communication, le point culminant de la période actuelle a indéniablement été l'opération menée par l'association, en coopération avec la Cité de l'Espace de Toulouse, à l'occasion de l'atterrissage de Spirit. Malgré la date et l'heure défavorables (le dernier dimanche des vacances scolaires, à 5h35 du matin), la journée a été un succès, y compris sur le plan relationnel et médiatique (nous sommes passés sur France Info, en national). Grâce à la présence au JPL de Gilles Dawidowicz et d'Olivier de Goursac, avec qui nous étions en liaison téléphonique, nous avons eu la chance de vivre en direct le suspense de la descente et l'immense joie de cette belle réussite. Le professeur Dollfus nous avait honorés de sa présence.

Les événements spatiaux de la période ont provoqué un regain de médiatisation (avec des interventions de G. Dawidowicz, C. Frankel, R. Heidmann, A. Souchier...).

Le 3 octobre, nous avons pris part à une table ronde organisée par la SAF à Paris sur le thème « homme et robot », qui a attiré près de 200 personnes. L'occasion d'entendre développer des thèses avant-gardistes sur les automates intelligents et d'exposer les raisons qui militent pour la présence de l'homme, qui vont bien au delà des seules considérations de productivité scientifique.

A noter l'organisation en janvier de deux expositions, l'une à Lisieux, l'autre à Cannes, agrémentées de deux conférences et réutilisant les panneaux et posters édités pour la fête de la Science.

Alain Souchier a procédé début janvier aux premiers essais en falaise de son nouveau prototype de VRP (Véhicule de Reconnaissance de Paroi), que notre collègue Anne Pacros devrait expérimenter dans l'Utah lors de sa mission prévue en Février.

Au plan institutionnel, le président de l'association est intervenu officiellement auprès du président du CNES pour sout-

nir le programme Aurora de l'ESA, plus particulièrement la poursuite des études du projet Exo-Mars.

Notre Assemblée Générale Ordinaire est fixée au Samedi 20 Mars prochain, 14 heures, à la salle de l'espace, au CNES Paris (2 place Maurice Quentin, 75001 Paris, M° Les Halles).



premiers essais du VRP3, d'une conception totalement nouvelle (doc. R. Heidmann)

MARS SOCIETY

Le projet d'exposition d'Euro-MARS à Bruxelles n'a pu finalement aboutir, malgré le soutien déterminé de la région Bruxelles-Capitale, suite au retrait de l'autre sponsor institutionnel qui s'était déclaré intéressé.

Aux Etats-Unis, la grande affaire de la fin d'année a été la lutte pour faire sortir la NASA de son inertie vis-à-vis de l'avenir du vol spatial, dans le sillage de l'accident Columbia. Le président Robert Zubrin a dans ce cadre témoigné devant le Sénat américain. La presse spécialisée s'est largement fait l'écho de ses positions, d'ailleurs partagées par d'autres associations influentes, comme la Planetary Society. Désormais, la nécessité de redonner un sens à l'effort spatial américain est largement reconnue. Reste à obtenir que l'objectif Mars, le seul porteur d'enjeux déterminants, capable de galvaniser les énergies et de mobiliser durablement l'adhésion du public, soit clairement affiché. La déclaration du président Bush du 14 janvier, commentée dans notre éditorial, constitue une avancée politique déterminante, quelle qu'en soit l'issue, même si certains développements peu crédibles sur les opérations lunaires en discréditent la portée.

Richard Heidmann



R. Zubrin témoignant devant des sénateurs américains (doc. TMS)

VOS QUESTIONS

Q : Faut-il accepter un certain niveau de risque pour la mission habitée, ou vouloir le risque zéro ?

R : Le risque zéro est un leurre, voire un alibi pour ceux qui n'ont pas compris la vraie portée de l'entreprise : celle de la découverte, de la poursuite de l'aventure humaine. La jeune histoire de l'aéronautique démontre d'ailleurs qu'un niveau de risque non négligeable est dans les faits accepté (quasi-catastrophe Apollo 13, drames Challenger et Columbia). Si aucune spécification officielle de sécurité n'existe pour le moment, il nous semble qu'une valeur inspirée de ce qu'on peut percevoir du niveau Apollo devrait être visée ; 95 % de probabilité de retour sain et sauf (cf. article du numéro 15), représenterait un compromis à la fois acceptable et réalisable. Mais c'est une question politiquement très sensible.

Q : Ne peut-on envisager de modifier la Station Spatiale et de l'envoyer sur orbite autour de Mars ?

R : Suite à l'entrée dans le programme de la Russie, qui a souhaité que son territoire puisse être largement survolé, la station spatiale a été placée sur une orbite très inclinée. Il est donc pratiquement impossible d'expédier cet objet (de 400 tonnes !) vers Mars, dans le plan de l'écliptique. Par ailleurs, la station n'est pas conçue pour un tel usage et beaucoup de ses équipements représenteraient en réalité des poids morts ou devraient être considérablement modifiés. Et puis, quelle serait l'utilité d'une station spatiale aussi massive en orbite martienne ?

Q : Est-il possible de trouver de l'eau liquide à la surface de Mars ?

R : Compte tenu des conditions de température négative et de faible pression régnant à la surface de Mars, l'eau liquide ne peut y exister sauf, en théorie, dans des circonstances très exceptionnelles (dépression de faible altitude, conditions atmosphériques de haute pression, température positive). Pourtant, la découverte récente de nombreuses traces de ravinements frais semble indiquer que de l'eau a coulé à des époques géologiquement très récentes. Les scientifiques en débattent actuellement. Une des thèses qui prévaut imagine qu'il s'agirait d'écoulements sous des glaciers mis en place par des chutes de neige. Celles-ci se produiraient à l'occasion de périodes d'inclinaison de l'axe des pôles plus importantes (cette inclinaison varie sur des périodes de l'ordre de 50 000 à 100 000 ans).

COMMENT LA QUITTER ? (le retour)

Une phase critique

L'arrachement au domaine martien constitue, quelle que soit l'architecture de mission retenue, la phase la plus critique du voyage Terre-Mars. Naturellement, toutes les phases d'une mission spatiale aussi complexe sont critiques, car de leur bon déroulement dépend le succès de la mission. Il y a néanmoins des degrés dans cette criticité, et ceci sur les deux plans à considérer : celui, central, de la sécurité, mais aussi celui du coût, fonction des masses et de la complexité.

Considérons par exemple la phase de lancement : critique pour le succès de la mission, du fait du nombre non négligeable de lancements requis (6 dans le cas du scénario de référence NASA, la DRM – *Design Reference Mission*), elle l'est beaucoup moins du point de vue de la sécurité ; d'abord parce qu'un seul des lancements emportera l'équipage, ensuite parce que le lanceur comportera des dispositions de secours (moteur

d'extraction en cas d'explosion, possibilité de tir avorté, etc.). Pareillement, le facteur de coût déterminant pour l'expédition restant la masse à placer en orbite terrestre, et la conception du lanceur n'influant pas, en première approximation, sur le coût du kg en orbite, les modalités de cette phase ne sont pas critiques de ce point de vue.

Il en va tout autrement de la phase d'extraction du domaine martien. Il est en effet beaucoup plus contraignant et coûteux d'y étoffer les équipements (redondance ou surdimensionnement) et d'y prévoir des modes de secours.

Sécurisation

Toute *redondance* d'équipement se traduit par une pénalité de masse initiale grevée d'un facteur multiplicatif important par rapport à la masse de l'équipement lui-même. En effet, celui-ci doit être lancé en orbite terrestre, propulsé vers Mars, freiné, remonté en orbite martienne, et enfin réinjecté vers la Terre, ce qui représente évidemment un supplément de propergol¹ (et de taille des réservoirs...). On peut grosso modo évaluer ce facteur à 4 ou 5. Le cas extrême de la redondance, c'est de carrément doubler les moyens de retour (étage et capsule de remontée, vaisseau de transfert Mars-Terre).

Il existe un autre moyen de sécuriser, c'est de concevoir les systèmes avec des *marges* fonctionnelles ou dimensionnelles plus importantes : mais, là aussi, le facteur multiplicateur dû à l'éloignement s'avère très pénalisant. Par exemple, on pourrait préférer un moteur de remontée sans turbopompes d'alimentation (réservoirs pressurisés) et brûlant des liquides qui s'enflamment par simple contact (pas besoin d'allumeur) ; problème : sa consommation sera 25 % plus élevée et les réservoirs plus épais (ce fut pourtant le choix pour le moteur de remontée du module lunaire...).

Enfin, l'architecture de mission est pourvue au maximum en *modes de secours* (modes dégradés) permettant de sauver l'équipage, voire la mission elle-même, en cas de défaillance importante. Bien entendu, il convient ici de tirer au mieux parti de la présence de l'équipage pour créer un maximum d'opportunités de secours, en exploitant le large spectre des modalités : réparation, remplacement d'équipement défaillant, prise de contrôle manuelle, reconfiguration matérielle ou opérationnelle non prévue...

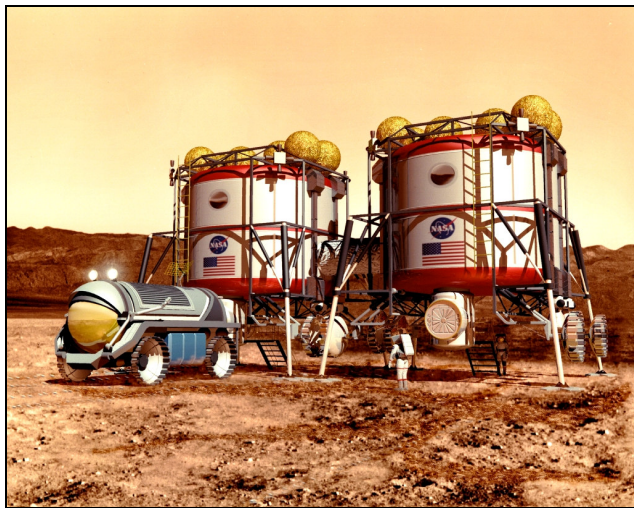


retour de la Lune : un moteur des plus simples (doc. NASA)

Comme on l'a vu, des modes secours existent pour la phase de lancement. La situation est déjà beaucoup plus contraignante pour le transfert aller : le simple fait de donner la possibilité de

¹ Propergol : produits dont la combustion fournit à la fois l'énergie et le fluide propulsif d'un moteur-fusée chimique (ex. : hydrogène/oxygène)

renoncer à une mise en orbite martienne, par exemple, oblige à doter le vaisseau spatial de stocks de survie et de moyens de manœuvre adaptés à un retour sur Terre forcément tardif. Pour le retour, en-dehors des redondances et choix de dimensionnement évoqués ci-dessus, la seule solution imaginée est en fait de permettre à l'équipage de séjourner en sécurité dans la base martienne jusqu'à la prochaine fenêtre astronomique, pour autoriser l'arrivée d'un vaisseau de secours... C'est ce qui a conduit Robert Zubrin dans Mars Direct, et la NASA après lui, à concevoir l'habitat martien comme un « safe haven », un « refuge ».



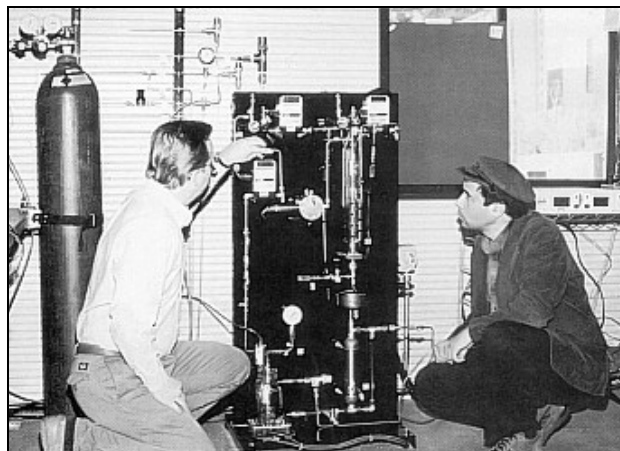
2 missions sur le même site : refuge redondé ! le rover offre un mode secours supplémentaire en permettant de rejoindre le site de la mission suivante (doc. NASA)

Rendez-vous ou retour direct ? Bilan des masses

Utiliser un seul et même vaisseau pour décoller, remonter en orbite martienne et s'élancer enfin sur la trajectoire de retour Mars - Terre est l'idée qui vient la première à l'esprit. Tout à fait au début du projet Apollo, cette option avait d'ailleurs été envisagée, avant d'être vite abandonnée. C'est que, malgré le mérite de sa simplicité, cette solution est beaucoup moins avantageuse du point de vue masse que celle finalement retenue pour Apollo, où le vaisseau décollant du corps céleste se limite à la remontée en orbite, où il effectue un rendez-vous avec un vaisseau de retour resté en attente. Dans ce cas, on évite en effet d'avoir à faire atterrir et remonter la masse de propergol - importante - nécessaire à donner l'élan vers la Terre. On est également moins limité quant à la taille du vaisseau servant d'habitat pendant le trajet de retour puisque celui-ci n'a pas à être remonté du sol ; une capsule exiguë, de masse limitée, est utilisée pour cette remontée, l'équipage prenant ensuite possession d'un vaisseau beaucoup plus confortable pour le long transfert interplanétaire. La vitesse de libération du domaine martien étant nettement plus élevée que dans le cas de la Lune (5 km/s contre 2 km/s), cette solution du rendez-vous, pourtant moins attrayante, semble donc devoir s'imposer. A moins...

A moins de fabriquer tout ou partie de ce propergol à partir de ressources martiennes (ISPP : In Situ Propellant Production). Dans ce cas, un retour direct devient intéressant, car il permet d'économiser la masse supplémentaire qu'il faudrait consentir pour amener en orbite martienne ce propergol nécessaire au transfert Mars-Terre. Il faut cependant, en parallèle, limiter la taille du vaisseau de retour, car celui-ci doit dans ce cas être remonté du sol martien... C'est ce que consent le schéma

Mars Direct, considérant que les astronautes, ayant effectué leur travail, peuvent être traités de façon plus spartiate et confinés dans une capsule ! Trop désinvolte ?... Il existe une solution intermédiaire, consistant bien à puiser le propergol dans les ressources martiennes, tout en effectuant un rendez-vous avec un vaisseau de retour mieux dimensionné, resté en orbite.



démonstrateur de réacteur ISPP testé par R.Zubrin (à droite, doc. TMS)

Le bilan coût et le réalisme de ces différentes options dépendent fortement du mode de production de propergol in situ. A l'époque pré-Mars Direct, où l'on n'avait pas envisagé d'importer d'hydrogène depuis la Terre et où l'on était donc contraint de tabler sur le couple CO/O₂, aux performances désastreuses¹, le retour direct était tout simplement impossible. La simple remontée requérait déjà un volumineux bi-étage. A l'inverse, la version « a minima » de l'ISPP, retenue dans une des ultimes variantes de la DRM, où seul l'oxygène est produit sur place (à partir du gaz carbonique atmosphérique), réduit l'intérêt du retour direct.

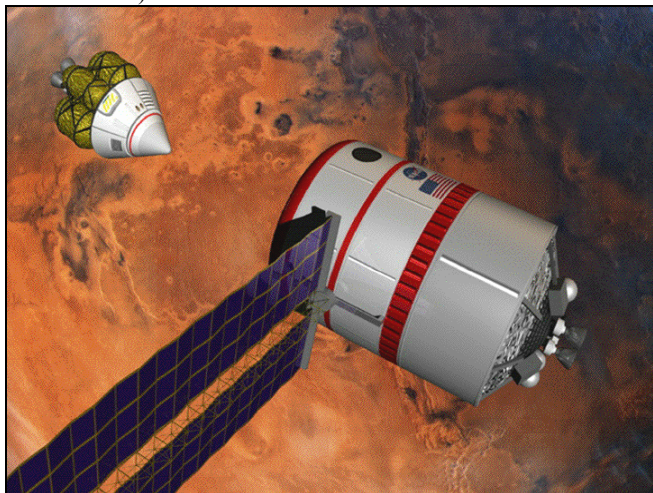
Rendez-vous ou retour direct ? Bilan sécurité

La principale raison avancée par la NASA pour l'introduction du rendez-vous orbital dans la DRM, par rapport à Mars Direct, est la sécurité. L'idée est de garder la possibilité de renoncer à la descente sur Mars, au cas où un incident technique viendrait à l'interdire ou à le rendre problématique. Dans l'option de retour direct en effet, le vaisseau de retour étant pré-positionné sur le sol de la planète, on est contraint d'atterrir... L'argument ne manque pas de poids. Pourtant, cette option n'est pas sans contrepartie : l'opération de rendez-vous, maîtrisée mais complexe, avec un vaisseau orbital inhabité, qui aura stationné trois ans et demi en orbite, et sans le support direct de la Terre (du fait des délais de transmission), réduit la fiabilité et la sécurité. A vrai dire, il est difficile de juger quel est le meilleur choix sans se livrer à une analyse technique détaillée. Il s'agit en particulier d'évaluer et de comparer avec précision les risques d'incidents (identifiables à l'avance !) redoutés pour la phase de rentrée atmosphérique et d'atterrissage (par exemple : une fonction altimétrique hors service, un défaut du bouclier thermique de freinage...) et ceux liés à une opération de rendez-vous.

¹ On pourrait imaginer tirer le précieux hydrogène, par électrolyse, de la glace d'eau présente dans le sol. Mais « miner » cette glace demande des moyens lourds qui ne pourront être mis en œuvre que dans une phase ultérieure de l'exploration (base permanente).

L'ISPP : une option déterminante

La production du propergol de retour in situ, de façon simple et performante grâce à l'importation d'hydrogène terrestre, est à la base de la révolution astronautique martienne des années récentes. Elle est déterminante pour le bilan des masses, même dans sa version la plus simple où seul l'oxygène liquide est fabriqué sur place. Elle permet d'envisager le retour direct. Force est cependant de reconnaître qu'elle représente un sérieux défi en matière de fiabilité, car il s'agit de faire fonctionner, en mode automatique, une petite installation de physico-chimie capable de manipuler des gaz réactifs, des liquides cryogéniques, à l'aide de compresseurs, échangeurs, radiateurs, réacteur chimique, vannes diverses... La faisabilité a été démontrée en laboratoire ; *il reste à démontrer la durée de vie* en conditions de fonctionnement réelles (déploiement automatique, environnement martien).



mission de référence NASA : rendez-vous entre l'étage de remontée et le vaisseau de retour (doc. NASA)

Cette difficulté a amené les concepteurs de mission à retenir l'architecture « *split* » (coupée), où le module d'ISPP est envoyé lors de la fenêtre astronomique précédente, de façon à n'envoyer l'équipage qu'après constat d'un fonctionnement satisfaisant. La solution est élégante au plan de la sécurité... mais défavorable pour la fiabilité, puisque l'on se prive d'interventions humaines (pour débloquer une vanne, resserrer un joint...).

A tel point que la NASA, cette fois non pas pour des considérations de sécurité (qui n'est pas en cause ici) mais de probabilité d'échec de la mission (et de ses conséquences politiques...) a envisagé que la première expédition parte avec son propergol de retour, tout en accompagnant un module ISPP destiné à la mission suivante. Ainsi la défiabilité de l'ISPP est-elle éliminée pour la mission en cours, tandis que la présence d'hommes permet de fiabiliser le fonctionnement du module destiné à la mission suivante ! Cette option intéressante présente de sérieux inconvénients opérationnels : l'emport du propergol de retour alourdit la première expédition, qui doit renoncer à une bonne partie de ses équipements scientifiques ; d'autre part, les missions successives doivent toutes atterrir sur le même site, ou en tout cas à des distances accessibles sans risque pour des opérations de maintenance du module ISPP.

C'est encore à la recherche de la fiabilité que différentes variantes du processus ISPP ont été étudiées. Ainsi en est-il de l'option déjà signalée, consistant à se limiter à la production d'oxygène liquide à partir du gaz carbonique atmosphérique. De même, la capture de ce CO₂ peut être obtenue par un procédé statique (sans compresseur), à l'aide d'un lit de minéraux adsorbants

(zéolithes) qui captent le gaz froid de nuit, pour le restituer à la chaleur du jour.

Des modes de retour plus exotiques

Même s'ils ne sont pas envisagés dans les scénarios de référence, signalons qu'il existe d'autres schémas. L'un d'eux, appelé « *split-sprint* » consiste à envoyer le vaisseau aller et le vaisseau retour en même temps, mais avec un peu d'avance pour le premier. Celui-ci accomplit la mission sur Mars, remonte en orbite et fait rendez-vous avec le deuxième qui, placé sur une trajectoire de retour direct, ne « fait que passer » ! Avantage : durée de la mission limitée à deux ans ; inconvénients : il s'agit de ne pas rater le rendez-vous, et il faut une sérieuse capacité propulsive pour fournir à la capsule de remontée l'impulsion nécessaire pour rejoindre le vaisseau porteur.

Le schéma imaginé par Buzz Aldrin avec le *cycler* s'inspire du même principe, en le poussant à l'extrême ; car ici, le vaisseau principal reste constamment sur une trajectoire Terre-Mars-Terre qui se répète, et ce sont des « taxis » qui depuis la Terre (ou la Lune) et depuis Mars transfèrent vers cet « hôtel » de l'espace passagers et fret !

Autres considérations sur le retour

Nous n'avons évoqué ici que les aspects relatifs à l'extraction du domaine gravitationnel martien, les plus critiques. Bien d'autres caractéristiques du retour des astronautes méritent l'attention. Parmi celles-ci, la *durée de la trajectoire de retour*, dont dépendent les probabilités de panne des équipements fonctionnant en permanence (et la dose de rayonnements cosmiques), est un paramètre important. On tend à la raccourcir (6 mois) par rapport à l'optimum de consommation de propergol. On s'est aussi posé la question de savoir si l'on pouvait procéder à une *rentrée directe* dans l'atmosphère terrestre ou s'il fallait passer par une station orbitale, pour des raisons de quarantaine... Mais en fait, l'équipage, déjà soumis à l'environnement martien depuis deux ans, viendra d'accomplir une quarantaine de 6 mois pendant le trajet de retour : passer par une station représente une complication et une défiabilisation inutiles.

Enfin, la question des possibilités de *retour prématuré* (« free return trajectories ») en cas d'incident majeur, est un des sujets centraux dans les discussions sur la sécurité de la mission. Mais elle mérite un article en lui-même. Disons seulement ici que la durée inévitablement très longue de tels retours, dans les conditions difficiles et préjudiciables de l'environnement interplanétaire, conduira, chaque fois que possible, à plutôt chercher refuge dans l'habitat martien prépositionné... (philosophie « abort to Mars »).

Richard Heidmann

(suite de la page 1 : tir groupé)

La mission Mars Express est née d'une décision de l'Agence Spatiale Européenne, prise en juin 1997, de poursuivre l'exploration de Mars après l'échec de la mission russe Mars 96, à bord de laquelle la France tenait une place très importante. Non sans difficultés techniques et financières, ce premier projet martien fut mené par l'Europe de manière exemplaire.

L'orbiteur Mars Express est chargé d'effectuer la cartographie globale à haute résolution (10 m) et, pour certains sites, à très haute résolution (2 m) de la surface de Mars, pour venir com-

pléter les données acquises par les sondes Viking Orbiter, Mars Global Surveyor et Mars Odyssey. Mais Mars Express doit également réaliser la cartographie minéralogique (à 300 m de résolution) de la planète et ceci afin de dresser l'inventaire détaillé des ressources de cet autre monde. La sonde, très bien équipée, doit en outre étudier la circulation et la composition atmosphérique globale de la planète, réaliser des sondages du sous-sol par ondes radar, afin de rechercher la présence de glace et d'eau liquide dans le premier kilomètre sous la surface, et enfin réaliser l'étude des interactions de l'atmosphère avec le milieu interplanétaire.

Le 25 décembre 2003, après un voyage de 205 jours et 400 millions de km parcourus, Mars Express se satellisait correctement autour de la planète Mars pour rejoindre rapidement une orbite polaire. La sonde allumait son moteur principal à 3h47min (heure de Paris) pendant 37 minutes pour réussir cette manœuvre délicate, jamais tentée par l'Europe. La manœuvre lui a imprimé une impulsion qui lui a permis d'être capturée par le champ gravitationnel de la planète. L'insertion orbitale a été un succès complet réalisé avec une redoutable précision.

Depuis, d'autres manœuvres orbitales ont été réalisées et la sonde est désormais placée sur son orbite de travail dont l'altitude par rapport à Mars varie entre 258 et 11 560 km, son apogée (point le plus haut de son orbite) étant 20 fois moins élevé que lors de sa mise en orbite initiale.

La sonde a maintenant commencé son travail de cartographie globale et l'on peut regretter que l'Agence Spatiale Européenne ait tardé à rendre publiques les premières observations, alors que la NASA communiquait les siennes en temps réel au monde entier.

A propos des résultats scientifiques, David Southwood, Directeur du Programme scientifique de l'ESA, a déclaré : "avec Mars Express, nous disposons d'un observatoire très performant en orbite autour de Mars et nous attendons avec impatience de recevoir ses premières observations. Ses instruments permettront de sonder la planète depuis sa haute atmosphère jusqu'à plusieurs kilomètres au-dessous de sa surface, où nous espérons trouver des réponses à des questions cruciales concernant l'existence de conditions propices à la vie, notamment des traces d'eau. Cette mission nous permettra de mieux comprendre le passé et le présent de cette planète, qui est notre voisine, et répondra à bon nombre de questions que se pose la communauté scientifique, ce qui ne manquera pas d'en soulever beaucoup d'autres, tout aussi passionnantes. J'espère que nous pouvons considérer qu'il s'agit là, pour l'Europe, d'une ère nouvelle dans le domaine de l'exploration spatiale".

2) Beagle 2 : l' échec !

Le 19 décembre 2003, la sonde européenne Mars Express larguait peu avant son arrivée en orbite martienne le module britannique Beagle 2. Elle le positionnait parfaitement en vue d'une rentrée balistique dans l'atmosphère de Mars, programmée pour le 25 décembre suivant, dans la région d'Isidis Planitia. Comme prévu, le 25 décembre au matin, à 3h47min, le module pénétrait dans l'atmosphère à 20 000 km/h pour un ultime trajet de 7 minutes après presque 7 mois de voyage interplanétaire et 400 millions de kilomètres parcourus.

Une rentrée à hauts risques

Se poser sur Mars n'est pas une chose simple, car même si l'atmosphère est ténue elle n'en est pas moins existante et représente un danger pour les sondes qui y pénètrent. Mais que

s'est-il passé lors de la rentrée de Beagle 2 ? D'abord, la sonde fut correctement insérée par Mars Express tout exprès réorientée temporairement dans ce but, peu avant le largage du module. Elle ne pouvait donc ni rebondir sur l'atmosphère de Mars, ni brûler en y pénétrant avec un angle trop important. La phase de rentrée est tellement complexe que mille pannes ont pu ensuite se produire. Le module n'a pourtant probablement pas brûlé dans l'atmosphère martienne, alors ? Bien que la séquence atmosphérique soit très complexe, l'ESA et les britanniques n'ont pas jugé utile d'y introduire des éléments de télémétrie. Nous en sommes donc réduits à faire des hypothèses.

Deux possibilités majeures existent :

1/ Soit le lander est sain et sauf mais ne peut communiquer momentanément ou durablement ni avec la Terre (via les radiotélescopes, dont celui de Jodrell Bank au Royaume-Uni), ni avec les sondes orbitales (Mars Odyssey et Mars Express). Plusieurs raisons sont possibles pour expliquer ce silence : des problèmes techniques d'alimentation des panneaux solaires, des problèmes techniques de communication, des problèmes d'inclinaison...

2/ Soit le lander s'est « crashé » pour une raison inconnue. Or, durant la rentrée atmosphérique, qu'a-t-il pu se produire de fatal pour le module ?

- le bouclier thermique a pu ne pas résister aux 1 700°C de la rentrée atmosphérique,
- les parachutes ont pu ne pas s'ouvrir, se mettre en torche ou encore ne pas se séparer,
- le bouclier arrière a pu ne pas être largué,
- le radar RAT a pu ne pas fonctionner correctement, voire ne pas fonctionner du tout (évaluant mal la distance au sol),
- le bouclier thermique a pu ne pas être largué,
- les 3 airbags peuvent ne pas s'être gonflés ou avoir éclaté lors du 1^{er} contact avec le sol, ou encore ne pas s'être séparés du module, ou enfin ne pas s'être dégonflés.

Dans chacun de ces cas, la panne a pu être fatale.

Par ailleurs, une fois au sol, il est possible que les pétales de Beagle 2 ne se soient pas correctement ouverts (panne, obstruction naturelle...) laissant alors le lander dans un profond silence !

De plus, une autre cause de ce silence peut provenir du site d'atterrissage lui-même. En effet, il est possible que Beagle 2 se soit posé dans un cratère d'impact plus ou moins profond ou sur l'une de ses pentes. Dans ce cas, soit le lander est perdu, soit il est obligé de communiquer avec un satellite situé à sa verticale, ce qu'a fait Mars Express à plusieurs reprises depuis le 4 janvier dernier... sans succès ! Enfin, une chose est sûre : la météo martienne ne peut être mise en cause car la zone était globalement dégagée lors de la rentrée de Beagle 2.

Bref, dans tous les cas, on sait qu'aujourd'hui la sonde est définitivement perdue.

Des objectifs ambitieux reportés

Au delà de l'échec britannique et, avec lui, européen, et alors que les américains savourent le succès de l'atterrissage de Spirit, Beagle 2 représentait une mission certes à hauts risques mais toutefois très ambitieuse. Beagle 2 avait des objectifs incroyablement complexes et tout à fait fondamentaux comparativement à sa faible masse (d'une trentaine de kilogrammes seulement). On prévoyait en effet d'investiguer des critères permettant de prouver l'existence d'une vie passée sur Mars : la présence d'eau, l'identification de carbonates ou de résidus organiques. On prévoyait également de rechercher des espèces atmosphériques comme le méthane (caractéristiques d'une vie actuelle sur Mars) et enfin, ce qui n'est pas le moindre, la datation des roches avoisinantes.

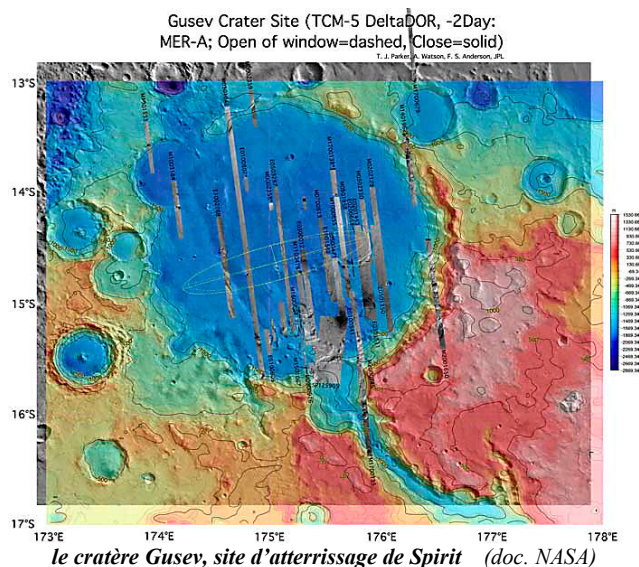
Une des techniques utilisées par Beagle 2 devait consister à réaliser une combustion en présence d'oxygène à température croissante de 200 à 500 °C d'échantillons prélevés par le bras robotique. Cette technique devait permettre de distinguer le carbone d'origine organique de celui d'origine inorganique, qui peuvent être associés respectivement soit à des résidus biologiques, soit à des carbonates d'origine minérale. De plus, la mesure du rapport isotopique $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ devait permettre de remonter à une éventuelle origine biologique du carbone qui, dans ce cas, est enrichi en carbone courant plus léger ^{12}C .

Bref, tout ce beau programme était censé fonctionner mais, si l'on se souvient bien, à quelques jours du départ des composants électroniques avaient été changés à la hâte, révélant par là même le cruel manque de temps pour les ingénieurs pour tester et re-tester leur engin. Cruel manque de temps ... et d'argent, car le budget de ce programme initialement privé fut bouclé lui aussi péniblement, grâce à des financements imprévus d'une Agence Spatiale Européenne venue au secours d'un programme 10 fois moins coûteux que celui des Américains... Finalement, faire des économies ne rapporte pas autant qu'on le croit !

Le signal qui devait indiquer que Beagle 2 a atterri avec succès était une musique originale du groupe britannique Blur. Cette musique ne sera jamais jouée sur Mars.

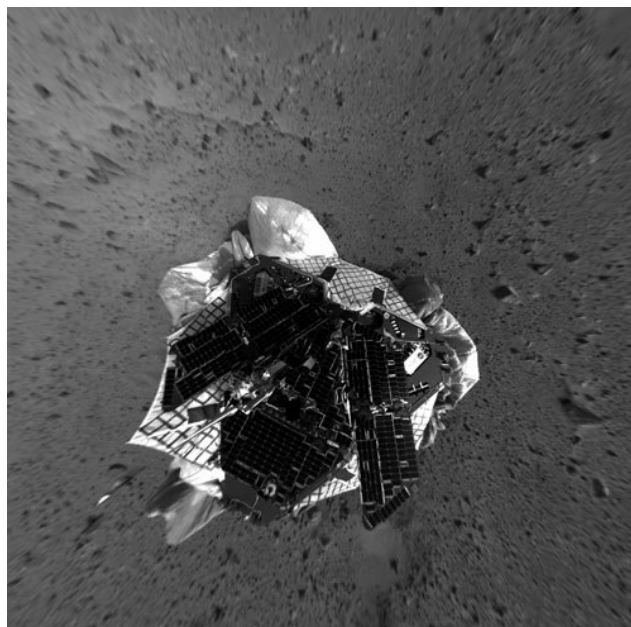
3) Spirit révèle l'esprit de Gusev

Le samedi 3 janvier 2004 (en Californie) restera gravé dans les mémoires martiennes et particulièrement dans celles d'Olivier de Goursac et de moi-même, tout spécialement partis pour le JPL à Pasadena. Pour la première fois depuis plus de 6 ans, la NASA revenait sur Mars avec succès grâce à son émissaire électronique, la sonde Spirit. Posée au fond du cratère d'impact Gusev (d'un diamètre de 170 km), Spirit était partie de la Terre le 10 juin 2003. Après un voyage de près de 487 millions de km, la sonde de 185 kg a, comme prévu, heurté violemment la surface de Mars le 3 janvier à 20h35 heure locale (le 4 janvier à 4h35 TU, 5h35 en France), pour s'immobiliser 10 minutes plus tard à 1 kilomètre de là environ, après une trentaine de rebonds successifs.



Gusev, sélectionné avec enthousiasme par Nathalie Cabrol et Edmond Grin voilà plus de 10 ans comme un site prioritaire à explorer, est interprété aujourd'hui comme étant un ancien lac alimenté par une vallée martienne (Ma'adim Vallis) longue de

quelques 900 km, aujourd'hui asséchée.



Spirit s'est photographié lui-même !
(mosaïque d'images, doc. NASA/JPL)

Enveloppée dans une grappe de 24 airbags amortisseurs assemblés en tétraèdre, la sonde s'est déployée normalement en surface pour commencer sa mission par une série de photographies panoramiques à haute résolution (au total 63 images différentes le premier sol) assemblées en temps réel et envoyées sur Terre moins de deux heures après l'atterrissage. Le spectacle retransmis en direct par Olivier et moi à la Cité de l'Espace de Toulouse (grâce à une liaison téléphonique obtenue avec l'aide d'Alain Souchier) fut éblouissant et remarquable. Le flux d'images nous submergeait et nos esprits étaient abreuvés de ces nouveaux paysages à interpréter. Nous tentions alors de faire découvrir et partager à nos auditeurs leur spectaculaire beauté...



premier objectif de MER : le curieux rocher
« Adirondack » (doc. NASA/JPL)

Les ingénieurs et les scientifiques ont pendant les premiers sols fait le bilan complet de la sonde et préparé les premiers tours de roues du rover prévus initialement pour le sol 9, puis reportés au sol 12... En fait, suite à un mauvais repliement

Ont collaboré à ce numéro : Gilles Dawidowicz, Richard Heidmann, Alain Souchier

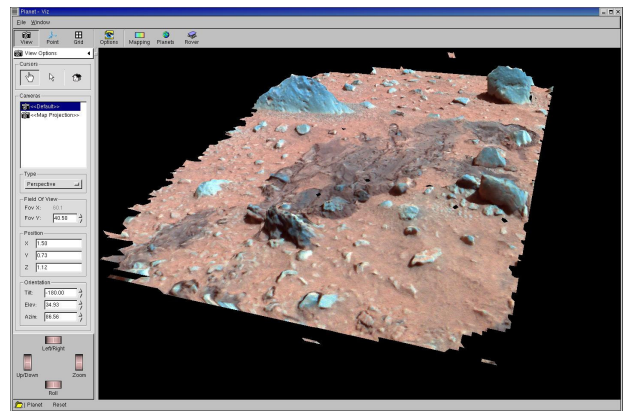
d'un airbag, une surélévation dangereuse risquait de faire se renverser le rover à son passage...



une des premières images haute définition du paysage
(doc. NASA/JPL)

Les images noir et blanc comme les images en couleur sont d'une netteté exceptionnelle et montrent des détails incroyables de la surface de Gusev, du jamais vu sur Mars. Parfaitement plane, cette surface est constellée de cratères d'impact de petite taille (probablement des impacts secondaires à des chocs plus importants) très érodés et peu profonds (quelques dizaines de centimètres), comblés partiellement par des sédiments éoliens. Par ailleurs à cet endroit, le fond de Gusev est recouvert de petits blocs plus ou moins polis et plus ou moins arrondis dont certains rappellent des galets. L'homogénéité granulométrique pourrait confirmer la thèse du lac asséché même si, sur Terre, les lacs asséchés sont souvent moins encombrés de petits blocs... Les roches visibles sur les clichés sont petites et ennoyées dans

des fines, tandis que quelques rares blocs erratiques plus gros et très anguleux parsèment çà et là la surface, comme posés sur le sol. Très peu de roches présentent, comme sur les sites Viking Lander 1, Viking Lander 2 et Pathfinder, des alvéoles caractéristiques de roches volcaniques, du type andésites ou basaltes. De plus, les endroits où les airbags se sont repliés sur eux-mêmes en frottant légèrement la subsurface laissent apparaître un sol dont la nature semble assez visqueuse, ce qui n'est pas sans rappeler une pâte boueuse formée d'un cortex de type « duracrust ». Si tout se passe bien, nous saurons dans les prochaines semaines quelle est la nature exacte de ces terrains. Enfin deux roches ont attiré l'attention des planétologues : l'une est cassée en deux comme par l'action du gel/dégel et l'autre, oblongue, semble creuse comme un os, probablement cariée par l'altération chimique. L'avenir devrait nous en dire plus...



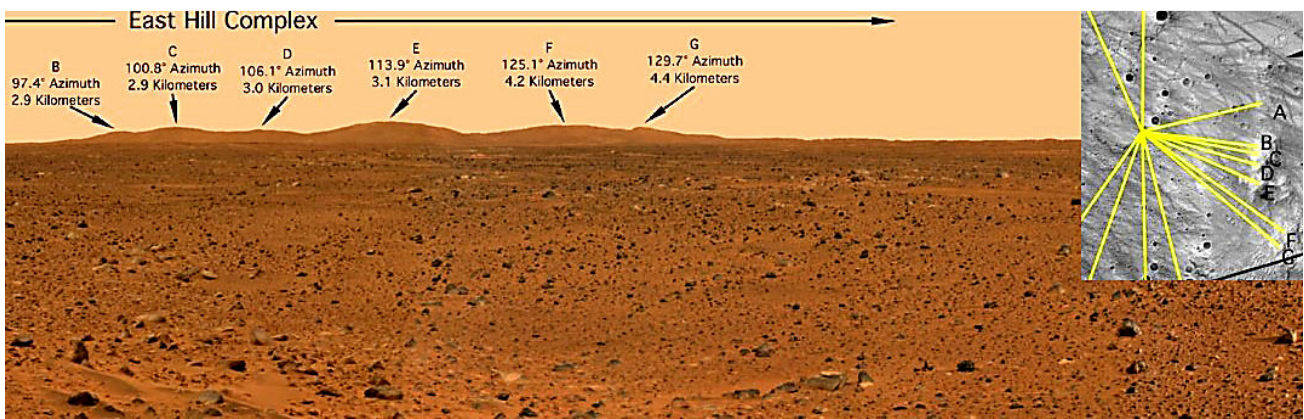
vue reconstituée de l'étrange trace de rétraction d'un airbag
(doc. NASA/JPL)

Enfin, à l'horizon, on distingue des collines d'environ 140 mètres de haut, distantes de moins de 3 km et portant peut-être des traces d'érosion laissées autrefois par l'eau en phase liquide. Bien qu'éloignées, ces collines pourraient dans les prochaines semaines faire l'objet d'une exploration par le rover...

4) Dernière minute : Opportunity, le doublé !

Le jumeau de Spirit a réussi un atterrissage parfait. Un événement vécu en direct à Triel sur Seine (78), grâce à Planète Mars et au Parc aux Étoiles (compte-rendu dans notre prochain numéro)...

Gilles Dawidowicz



(doc. NASA/JPL)