



PLANÈTE MARS



Numéro 51 Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris www.planete-mars.com

avril 12

ISSN 1772-0370

MARS EN SUSPENS

L'avenir des programmes martiens est en suspension. Le gouvernement américain vient de rejeter tout projet précis de missions robotiques au-delà de la mission Maven (étude de la haute atmosphère) prévue pour la prochaine fenêtre martienne de fin 2013. La mission européenne ExoMars peine aussi à trouver son lanceur pour 2016. En suspens également, la mission Curiosity, en vol de croisière et en attente de la phase critique qui devrait conduire à son atterrissage en douceur sur Mars le 5 août prochain. Certes Mars Express, Mars Odyssey et Mars Reconnaissance Orbiter sont en opération autour de la planète et le rover Opportunity l'est au sol. Quoique... on pourrait dire que lui aussi est en suspension car il attend, immobile, que l'hiver se passe.

Les petits ruisseaux faisant les grandes rivières, et les petites actions les grands programmes, notre association continue son activité de promotion de l'exploration martienne robotique et habitée par les moyens traditionnels de conférences, expositions ou groupes de travail thématiques. Mais les semaines et mois à venir verront aussi notre intervention dans des domaines plus opérationnels.

Ainsi serons-nous présents lors de la simulation d'exploration de grotte martienne organisée par le forum spatial autrichien (ÖWF), fin avril. Il s'agit là de conduire des expériences dans une grotte où se trouve de la glace permanente comme on peut espérer en trouver un jour sur Mars. Différents laboratoires et organismes seront présents avec leurs expériences et Planète Mars y sera aussi avec le Véhicule de Reconnaissance de Paroi, équipé d'un radar du LATMOS.

Depuis la fin de l'année dernière nous participons avec un groupe d'étudiants de Centrale Lille et leurs professeurs à la préparation d'une expérience qui devrait être conduite en microgravité dans l'Airbus zéro G à l'automne prochain. Il s'agit d'effectuer une première démonstration de mise en rotation d'un vaisseau habité accroché à l'étage fusée qui l'aura envoyé vers Mars, afin de créer une gravité artificielle, comme cela est proposé dans le scénario Mars Direct. Bien évidemment sur des maquettes. A suivre.

Alain Souchier

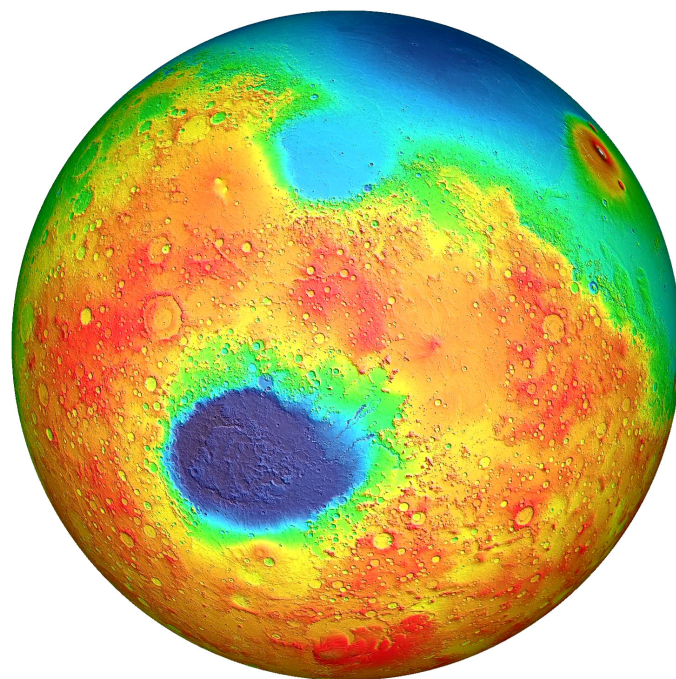
président de l'Association Planète Mars

Dans ce numéro :

-Édito : Mars en suspens	p.1
-Oceanus Borealis ?	p.1
-La vie de l'association	p.4
-La question de la sécurité	p.6
-Un bien beau diable	p.8

OCEANUS BOREALIS ?

Les cartes de la planète Mars représentent souvent en bleu les plaines du Nord, incitant à penser que leur surface lisse, bien en dessous de l'altitude moyenne des élévations de surface par rapport au centre de la planète (le « datum » martien), a jadis accueilli un vaste océan. Il faut cependant ne pas se laisser entraîner à accepter cette conclusion sans examiner avec attention ce que nous dit la géologie.



Carte du relief martien obtenue grâce à l'altimètre laser MOLA (en bleu, les régions les plus basses, en rouge les plus hautes).

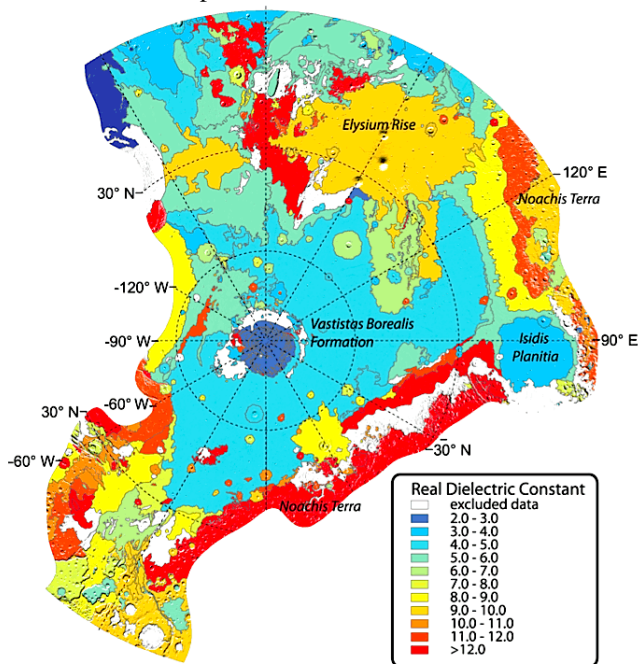
(doc. MOLA/Univ. Arizona)

Il faut d'abord décrire la géographie.

Si l'on regarde la carte topographique MOLA de Mars (pour « Mars Orbiter Laser Altimeter », instrument embarqué sur le satellite de la NASA, maintenant inactif, « Mars Global Surveyor »), on constate une « dichotomie crustale », c'est-à-dire un hémisphère Nord très différent de l'hémisphère Sud. En l'occurrence la plus grande partie de l'hémisphère Nord (environ 40% de la surface de la planète) constitue une vaste dépression (jusqu'à 5.000 ou 6.000 mètres en dessous du datum), centrée sur le Pôle Nord actuel et se distinguant par sa surface plate et lisse, l'hémisphère Sud étant beaucoup plus accidenté (cratérisé). Puisque ces étendues (Vastitas borealis) sont plates et basses et que l'on sait qu'il y a eu de l'eau sur Mars (mais qu'il n'y en a plus en surface sauf sous forme de glace), la première réaction a été de dire qu'elles avaient été le réceptacle d'un océan que l'on pourrait appeler « Oceanus borealis ».

La géologie tient un autre langage.

On trouve des roches hydratées (dont la nature chimique a été transformée par l'eau) un peu partout à la surface de Mars dans l'hémisphère Sud, quoique leur diversité (argiles de type phyllosilicates) soit moindre que sur Terre et notamment qu'il y ait très peu de carbonates (aucun à la surface des basses terres boréales). Or les hautes terres, très cratérisées, sont les plus anciennes. Il faut donc se rendre à l'évidence que l'eau a certes pu être durablement stable en surface de Mars à la période la plus ancienne de son histoire géologique mais que les conditions de température ainsi que de pression atmosphérique n'ont pas permis à un océan de séjourner durablement sur le sol que l'on voit aujourd'hui des basses terres du Nord. D'ailleurs la nouvelle étude de Messieurs Mouginot et al. (1), publiée dans la revue *Geophysical Research Letter* et réalisée d'après les données recueillies par MARSIS (« Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding », embarqué sur Mars Express, satellite martien de l'ESA), ne dit pas que ce radar a trouvé des roches chimiquement hydratées dans les couches stratigraphiques supérieures des plaines du Nord (jusqu'à 80 mètres) mais simplement des indices physiques (diélectricité basse) de sédiments épais résultant de dépôts dans une eau abondante. Ce n'est pas la même chose.

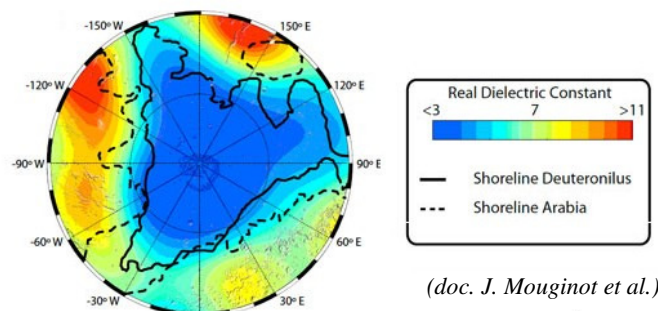


Variations régionales de la « constante » diélectrique du sous-sol de l'hémisphère Nord. Les valeurs faibles correspondraient à des matériaux de faible densité et/ou à la présence de glace d'eau, les fortes à des matériaux volcaniques denses. (doc. J. Mouginot et al.)

Les explications par l'Histoire.

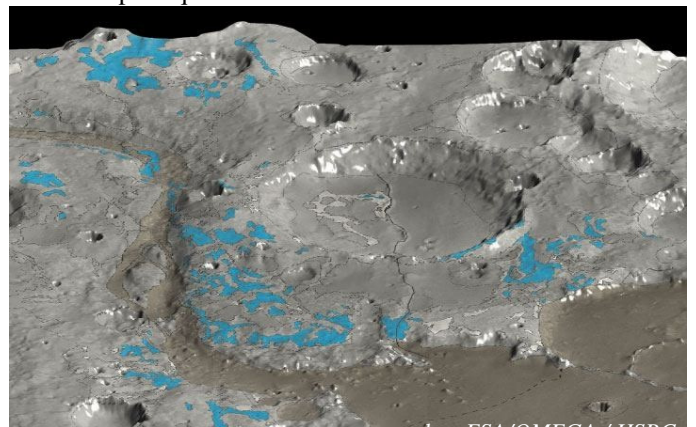
La formation de Mars a commencé, comme celle de la Terre, il y a 4,55 milliards d'années. Les « ingrédients » constitutifs étaient, dans les deux cas, à peu près les mêmes puisque situés dans la même région du disque proto planétaire. Malheureusement pour Mars, la migration de Jupiter de son orbite d'origine vers le Soleil a confisqué au profit de la planète géante une part importante de ces « ingrédients » et a limité l'accrétion de sa masse à environ un dixième de celle de la Terre. Elle a aussi davantage « protégé » Mars que la Terre du bombardement intensif de comètes venant des confins du système solaire, apportant à toutes deux l'eau qui manquait dans cette zone du

disque proto-planétaire (trop proche du Soleil). La Terre a assimilé cette eau dans son magma (surtout à l'occasion de l'impact qui a créé la Lune et qui a remis la surface du globe « à vif »). Mars n'a pu le faire au même degré. Le magma martien moins chaud (du fait de la masse plus réduite de la planète) et moins fluide n'a pu permettre la création d'un effet dynamo aussi puissant, générant un champ magnétique vraiment protecteur de l'atmosphère. Par ailleurs sa gravité plus faible n'a pu retenir une masse gazeuse relativement aussi importante qu'a pu le faire la Terre. De ce fait l'atmosphère primordiale martienne, constituée essentiellement de gaz carbonique et secondairement d'azote, a été rapidement et largement soufflée par le puissant vent solaire des premiers âges. Selon Cédric Gillmann, les pertes étaient déjà telles, aux alentours de - 4 milliards d'années, que la pression de l'atmosphère était de l'ordre de ce qu'elle est aujourd'hui (6 mb en moyenne en surface).



Carte identique à la précédente mais à moindre résolution, avec les deux profils côtiers putatifs (shorelines) d'un océan. La corrélation avec la zone de faible constante diélectrique est notable.

Après le bombardement primordial (vers - 4,5 milliards d'années) et avant que la densité de l'atmosphère ne tombe en dessous du seuil permettant à l'eau de rester liquide, il s'est cependant probablement écoulé quelques centaines de millions d'années. Cette période a pu durer jusqu'au Grand bombardement tardif (« Late Heavy Bombardement » ou « LHB »), entre - 4 et - 3,8 milliards d'années, résultant probablement des perturbations causées par le retour de Jupiter et de Saturne vers l'extérieur du système solaire, vers la zone où ces planètes se trouvent aujourd'hui. Cette durée, conjuguée à la chaleur et à la pression, a suffi pour le maintien d'étendues d'eau liquide en surface et pour qu'au fond de cette eau la roche soit altérée.



En bleu, phyllosilicates (argiles) détectés par l'instrument OMEGA de Mars Express, témoignant d'une présence passée d'eau liquide.

Comme on trouve des roches hydratées de type phyllosilicates un peu partout à la surface la plus ancienne du globe (hémisphère Sud) on peut en déduire que l'eau était partout (proba-

blement une « mosaïque d'étendues non communicantes » comme le dit J-P. Bibring, par exemple sous la forme de lacs). En fin de période, du fait de la chute de pression atmosphérique, l'eau s'était évaporée et avait en grande partie été entraînée, avec l'atmosphère, dans l'espace, ou bien elle avait pénétré dans le sol où elle s'était acidifiée et glacée, ou encore elle s'était solidifiée en surface.

Les plaines du Nord devaient déjà exister. La cause de leur formation est probablement un impact géant à l'échelle de Mars, presque de l'importance de celui qui sur Terre a créé la Lune et contemporain de cet événement (fin du bombardement primordial, environ 20 millions d'années après le début du processus d'accrétion). Selon Gregor Golabek (2), l'impact aurait eu lieu à l'opposé de ces (futurs) plaines. Le noyau de l'astre impactant serait allé rejoindre les éléments les plus lourds de la proto-Mars, déjà constitutifs de son noyau. Les éléments plus légers se seraient répandus en surface, à partir du point d'impact, sans recouvrir la totalité de la planète (d'où la dichotomie de la croûte). Parallèlement, le magma resurgissait en surface dans les terres du Nord devenues, par différence avec la croûte additionnelle au Sud, des terres basses. L'impact aurait accessoirement causé la création de Phobos et Deimos (ce que l'on aurait aimé vérifier avec la sonde Phobos Grunt), ces satellites étant au demeurant beaucoup trop légers pour stabiliser l'axe de rotation de Mars, comme la Lune a pu le faire pour la Terre.



Reconstitution de l'impact géant supposé à l'origine de la dichotomie de la surface de Mars. (doc. DR)

Lors du LHB, les plaines du Nord ont donc dû subir la même cratérisation que les hautes terres du Sud. Puisque ce bombardement est le second, c'est évidemment ses traces qui sont les plus visibles à la surface de Mars. Si elles sont absentes des basses terres du Nord, c'est parce qu'après le LHB est intervenu un autre phénomène, le volcanisme. Avec la diminution forte de l'atmosphère et le volcanisme, on sort de l'ère Noachienne / Phyllosienne et on entre dans l'ère Hespérienne / Theiikienne.

Vers cette époque (fin du LHB), la croûte de la planète s'était probablement épaissie et durcie tandis qu'à l'intérieur, le manteau avait été chauffé par la pression interne résultant de la masse de la planète et par la désintégration naturelle des éléments instables, tels que l'Uranium 235, le Thorium 232 et le Potassium 40. Peut-être aussi le LHB avait-il déstabilisé la croûte en y créant des failles. Les conditions étaient propices

pour amorcer des mouvements tectoniques.

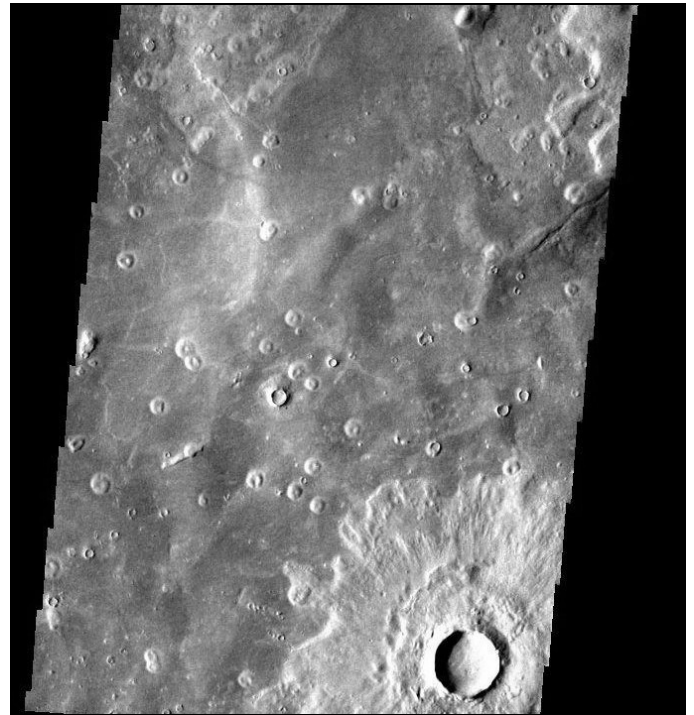
Les mouvements de convection, s'exprimant par des poussées magmatiques, firent sortir un peu partout, mais surtout dans la région de Tharsis, là où la croûte était la plus épaisse (et donc peut-être là où s'était situé l'impact géant), d'énormes volcans. Ceux-ci répandirent leur lave très liquide sur les plaines du Nord, tout en régénérant fortement l'atmosphère en gaz (notamment des composés soufrés). Ce sont ces épanchements de lave qui ont lissé la surface des plaines du Nord et dissimulé les roches hydratées de la période géologique précédente.

L'atmosphère s'épaissit avec les éruptions de gaz volcaniques mais sans jamais retrouver la densité qu'elle avait au début de l'histoire géologique. Cédric Gillmann estime qu'elle n'a pas pu dépasser une vingtaine de mbar, ce qui serait donc insuffisant pour que l'eau liquide soit redevenue stable en surface.

Les pressions sur la croûte résultant du volcanisme finirent par la faire céder et créer au pied du socle de Tharsis (l'élément le plus massif) la faille de Valles Marineris, qui aurait pu devenir le côté d'une plaque tectonique si la croûte globale avait été moins épaisse et le magma plus liquide.

Sous l'effet de la chaleur du volcanisme et des mouvements tectoniques, l'eau présente dans la croûte sous forme de glace s'en est échappée de façon cataclysmique à plusieurs reprises et a créé des vallées de débâcle un peu partout en surface et surtout, bien sûr, à proximité des centres les plus marqués par l'activité tectonique.

Beaucoup de cette eau a évidemment rejoint par gravité les basses plaines du Nord avant de disparaître dans le sol ou d'être sublimée dans l'atmosphère. De par les traces qu'elle a laissées, elle a été forcément très abondante mais sans que les conditions de températures et de pression (donc de stabilité) soient réunies pour une quelconque transformation chimique des roches.



Volcanisme de boue dans Acidalia Planitia. (doc. NASA/JPL/ASU)

Outre les nombreux lits de fleuves et deltas d'alluvions, un trait de relief particulier pourrait s'expliquer par des volumes d'eau intermittents très importants : le volcanisme de boue que l'on

constate au sud d'Acidalia Planitia (une des grandes baies du sud de l'« Océan boréal », au nord de Chryse Planitia, au débouché de Valles Marineris dans les plaines du Nord). A cet endroit, sans qu'il y ait différenciation géologique nette des roches, on constate la présence d'une multitude (plusieurs milliers) de cheminées débordantes caractéristiques de ce type de relief, qui résulte d'une accumulation importante de boues générant par leur épaisseur même un phénomène de chauffe interne puis de résurgences.

Ce n'est donc pas sur les lits de sédiments arrachés aux hautes terres que l'on trouvera la trace d'un deuxième océan martien, spécifique aux plaines basses du Nord. Il est fort improbable qu'il y ait jamais eu d'Oceanus Borealis pérenne. On peut plutôt imaginer d'immenses champs chaotiques de glace, mêlée de sédiments et de rejets volcaniques, disparaissant petit à petit, après quelques centaines ou quelques milliers d'années, et se reconstituant après une nouvelle éruption volcanique.

Tout au long de l'Hespérien / Théiikien, l'eau du sous-sol immédiat a ainsi lentement disparu et les couches de sédiments se sont accumulées. Pendant cette période, et surtout vers la fin, après les premiers épisodes volcaniques (et les premières débâcles cataclysmiques) qui ont dû être très spectaculaires, il y a eu continûment des percolations lentes, une multitude de petites résurgences acides, qui ont créé des sulfates du fait de la richesse en soufre de l'atmosphère, renouvelée périodiquement par le volcanisme.

Après cette époque, à partir de - 3,5 milliards d'années, la planète s'est encore davantage desséchée, sous une atmosphère sans cesse plus ténue. Elle est entrée dans une nouvelle ère beaucoup plus tranquille (le Sidérien de Jean-Pierre Bibring), même si elle a été encore réveillée de temps en temps par du volcanisme (jusque presque à notre époque) ou bien par des changements erratiques d'inclinaison de son axe de rotation (jusqu'à 45° par rapport à l'écliptique) causant la fonte des calottes polaires ou des banquises enterrées sous la poussière (formations de Medusa Fossae ?). Au cours de cette période, les percolations d'eau, de plus en plus faibles et de plus en plus acides, donnèrent les petites billes d'hématite omniprésentes en surface. Le gaz carbonique de l'atmosphère oxyda très lentement les éléments ferreux du sol, lui donnant la couleur rouge ocre que nous lui connaissons.

Conclusion

Il y a eu probablement sur Mars de l'eau liquide en surface, mais ce fut à une époque très ancienne, sur une planète mal refroidie et avec des contours indéfinis sans cesse remis en cause par les mouvements internes et les chutes de météorites. Mars a connu des mouvements tectoniques causés par un intérieur fluide et animé de convection, mais ces mouvements n'ont jamais été assez puissants pour donner une tectonique de plaques. Mars a engendré certaines forces électromagnétiques mais elles ont été trop faibles pour créer une véritable magnétosphère protectrice de l'atmosphère. L'hydratation des roches a été amorcée mais elle ne s'est pas généralisée. L'atmosphère est devenue trop ténue avant que son gaz carbonique ait eu le temps de précipiter abondamment en calcaire au fond des eaux de surface. Les fleuves ont commencé à couler mais ils n'ont jamais pu remplir un océan durable dans le réceptacle qui aurait pu l'accueillir.

Il ne faut donc pas rêver de Mars en imaginant ce qu'elle n'a pas été (une autre Terre) mais on peut se réjouir de ce que la

nature ait placé, à une distance accessible, un monde qui ait gardé les traces d'une histoire parallèle à la nôtre depuis l'aube des temps. Si la vie a commencé sur Terre par un processus naturel il y a environ 4 milliards d'années, nous pourrions le retrouver sur Mars, en supposant bien sûr que nous saurons identifier ce qu'ont été les prémices de la vie, alors que nous ne pouvons que les extrapoler d'après notre expérience terrestre.

Pierre Brisson

Références :

- Jérémie Mouginot (1) et al. : *Dielectric map of the Martian northern hemisphere and the nature of plain filling materials ; Geophysical Research Letter*, Vol. 39, published 19th January 2012. (1) Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble.
- Jean-Pierre Bibring; Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay, *L'exploration spatiale de Mars : tout commence; conférence du 24 janvier 2012 ; Les Mardi de l'espace des sciences, au Champs Libres à Rennes, Partenariat Université de Rennes 2 / CREA*
- Cédric Gillmann (1) et al. : *The Long Term effects of volcanism and atmospheric escape on the evolution of Mars surface conditions . Earth and Planetary Science Letters*, 5 Feb 2011. (1) Institute für Geophysik, Dept of Earth Sciences; ETH Zürich, Switzerland.
- Grégor Golabek (1) / Tobias Keller (1) et al. *Modeling of Core formation, onset of Mantle convection and Crust formation on Mars*, 6 March 2009. (1) Institute für Geophysik, Basel, Switzerland.
- Bethany Ehlmann et al.: *Subsurface water and clay mineral formation during the early history of Mars. Nature* 479, 53-60 (3 nov. 2011) doi:10.1038/nature10582; published online 2 Nov 2011.

LA VIE DE L'ASSOCIATION

L'assemblée générale s'est tenue le 10 mars à la maison des associations du 14^{ème} à Paris. **Elisa Cliquet**, **Boris Segret** et **Alain Souchier** ont été réélus au conseil d'administration et **Jean-Marc Salotti** y fait son retour.



L'assemblée générale du 10 mars. (doc. A. Souchier)

La réunion s'est terminée par une conférence d'**Alexandre Mangeot** sur la mission de simulation MDRS 113 qu'il a dirigée en février, mission pendant laquelle il nous avait envoyé des nouvelles régulières publiées sur le site Internet.



La simulation MDRS 113. (doc MDRS113/A. Mangeot)

François Leroy a publié une nouvelle édition, bilingue français et anglais, de son roman « Sergio et Ingrid ». L'association était présente le 17 mars à la 6^{ème} Mega Star Party de Triel. **Olivier de Goursac** et **Alain Souchier** y ont participé à une table ronde animée par Gilles Dawidowicz, avec Francis Rocard et François Forget.



Le stand de l'association à Triel. (doc. A. Souchier)

Alain Souchier a donné des conférences sur l'exploration martienne au lycée Hoche de Versailles le 20 mars, à la maison des Arts et Métiers le 26 mars et à la médiathèque d'Yvetot le 10 avril. **Jean-Marc Salotti** a présenté la problématique du voyage martien à Snecma Propulsion Solide à Bordeaux le 22 mars. Du 26 au 31 mars l'association a été présente avec une très belle exposition au prieuré de Vivoin dans la Sarthe pendant la semaine de Rencontres Sciences et Fiction « BienVenus sur Mars ».



Du 13^{ème} au 21^{ème} siècle à Vivoin. (doc. A.Souchier)

Jean-François Pellerin a dédié son livre « Aventures dans l'espace », qui inclut l'opération Mars 500, lors d'une exposition spatiale organisée par la Cité de l'Espace à Vélizy le 31

mars et le 1^{er} avril. **Richard Heidmann** a continué à orienter et soutenir le groupe d'étudiants de Centrale Lille qui prépare une opération de démonstration de gravité artificielle par rotation, qui devrait voler à bord de l'Airbus zéro G à l'automne. Le planning reste tendu. **Alain Souchier** prépare la participation de l'association à l'opération de simulation de grotte martienne montée par le forum spatial autrichien. Prévue sur plusieurs jours fin avril, cette opération réunira de nombreux organismes. Le Véhicule de Reconnaissance de Paroi de l'association sera essayé sur pente de glace. Il est même prévu l'emport d'un prototype du radar de sondage de sous-sol du LATMOS destiné au rover ExoMars.

Début mars nos collègues de la Mars Society allemande ont ouvert un site Internet destiné à servir de portail d'entrée aux différentes branches européennes de la Mars Society (www.marssociety-europa.eu), comme cela avait été décidé lors de la conférence EMC11 à Neuchâtel.



Le nouveau site « Mars Societies in Europe ». (doc. DR)

Les études de rover pressurisé et de rentrée atmosphérique martienne conduites par des élèves de l'IPSA et pilotées par **Richard Heidmann**, **Yves Monier**, **Jérôme Daniel** et **Florent Mennechet**, ont abouti lors du premier trimestre.

Boris Segret a organisé une conférence de Jean-Louis Berteaux qui aura lieu à Paris, le 12 mai (cf. ci-dessous).

Enfin **Richard Heidmann** et **Etienne Martinache** seront présents à Pasadena début août pour nous représenter à la 15^{ème} Convention annuelle de la Mars Society et assister au Jet Propulsion Laboratory à l'atterrissage de Curiosity. Ils nous informeront ainsi en temps réel du déroulement de l'événement.

Alain Souchier

ÉVÉNEMENTS À NOTER :

* 12 mai, à 14h30, Université de Jussieu (Paris), amphi HERPIN, conférence de Jean-Loup Berteaux, Directeur de recherche émérite CNES au LATMOS/IPSL :

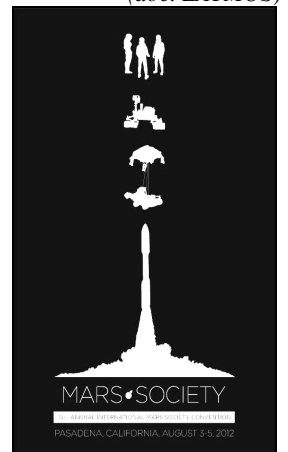
« Explorer Mars, sur la piste des extra-terrestres ». Entrée libre.

* 3 au 5 août, 15^{ème} Convention de la Mars Society, à Pasadena.

* 12 au 14 octobre, 12^{ème} Convention Européenne, à Munich.



(doc. LATMOS)



LA QUESTION DE LA SÉCURITÉ

Le président de la Mars Society a récemment publié un article au titre plutôt provocateur : « Combien vaut la vie d'un astronaute ? »¹. Il y explique que les efforts d'amélioration de la sécurité des explorateurs martiens ne sauraient être accrus et prolongés indéfiniment, et qu'il est possible d'en mesurer la rationalité par rapport aux autres attributs du projet (coût de développement, retour scientifique...). Il fustige ainsi ceux qui brandissent la sécurité pour réfuter la faisabilité du projet.

Programme et sécurité

Il est vrai que la sécurité (des équipages) tient un place à part dans la liste des attributs programmatiques, du fait de sa sensibilité aux yeux des décideurs et du public² : il peut paraître cynique de parler d'un objectif de probabilité de « perte de l'équipage » (*Loss Of Crew, LOC*). Il est par ailleurs difficile d'évaluer cette probabilité et d'en démontrer le respect...

Mais la difficulté vient surtout du fait que ce programme ne peut être endossé politiquement, soutenu sur le long terme et achevé avec succès que moyennant une optimisation multicritère. Parmi ces critères (ou attributs), citons, au-delà de la sécurité : le budget, le calendrier, le succès des étapes-clés intermédiaires, l'accomplissement des objectifs opérationnels d'exploration, la valeur des retombées économiques, les perspectives de suite au programme...

Pour les promoteurs du projet, qui reste à décider, une autre difficulté s'ajoute : l'optimisation doit être conduite en fonction d'un double objectif ; il s'agit en effet non seulement de maximiser les chances de succès opérationnel, avec retour des équipages sains et saufs, mais aussi, en premier lieu, d'obtenir la décision politique de lancement du programme !

Ainsi, pour sensible qu'elle soit, la sécurité doit être prise en compte conjointement à bien d'autres considérations...

Comment définir un objectif ?

Ce pas n'a pas été encore franchi par la NASA en ce qui concerne les vols au-delà de l'orbite basse terrestre³. L'objectif doit combiner des contraintes à la fois d'*acceptabilité* (politique et publique) et de *faisabilité* (technique et budgétaire). Cette démarche devrait être menée par un groupe de représentants des différentes parties prenantes (astronaute, scientifique, décideur politique, chef de projet, industriel, médecin, etc.) et s'appuyer sur plusieurs approches :

- comparaison directe de la sécurité aux autres attributs ;
- enquêtes d'acceptabilité dans chacun des milieux dont les membres sont des représentants ;
- référence aux programmes historiques, spatiaux (Apollo, Mir, Skylab, ISS, Navette) ou autres (explorations ou raids extrêmes, opérations militaires).

Notons encore :

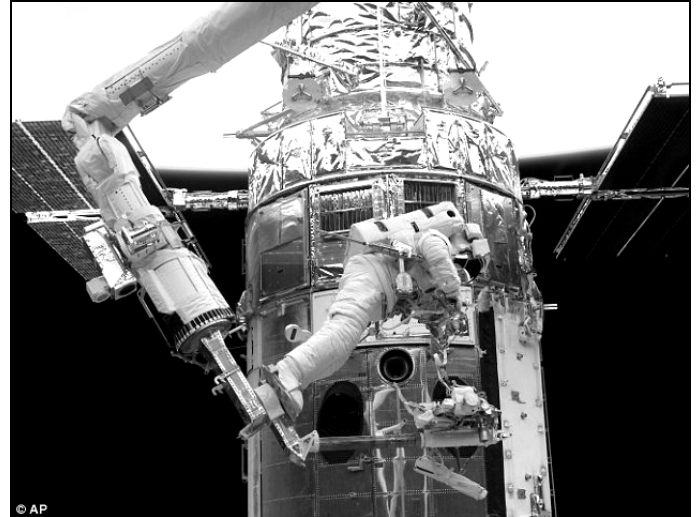
-qu'il est utile de considérer des gradations dans les défauts de sécurité : incident technique, erreur humaine ou maladie, nombre de membres touchés ;

-que les analystes et les décideurs doivent être pénétrés de l'idée qu'il s'agit d'exploration, donc par définition d'affronter une part d'inconnu et d'accepter une dose de risque à hauteur des enjeux.

Chiffrer la vie d'un astronaute ?

En ce qui concerne la comparaison aux autres attributs, on se

heurte évidemment à la difficulté de comparer des grandeurs (et les incertitudes qui s'y rattachent) de natures différentes, ce qui ouvre la porte à des comparaisons difficiles à objectiver. C'est pour pallier cette difficulté que Robert Zubrin propose carrément dans son article de considérer une « valeur en dollars » de la vie d'un astronaute ! Pour ce faire, il se base sur ce que l'état dépense au titre des diverses mesures visant à améliorer la sécurité publique (aménagements routiers, campagnes de vaccination, etc.) et sur l'évaluation du nombre de vies ainsi épargnées. C'est une approche radicale qui ne pourrait être pratiquée qu'à titre de contrôle de cohérence, mais sans s'attacher dans l'absolu aux valeurs calculées. D'ailleurs, il reconnaît lui-même qu'un astronaute n'est pas un citoyen ordinaire, du fait du symbole qu'il constitue.



Suite à la catastrophe de Columbia en 2003, la NASA décida de ne pas exécuter l'ultime mission de maintenance du télescope spatial, jugée trop risquée... R. Zubrin se porta à la pointe du combat contre cette décision irresponsable. La mission (STS125) fut finalement menée, sauvant un instrument d'une valeur scientifique inestimable et ayant coûté 5 milliards \$. Une prise de risque largement justifiée, même sans avoir à chiffrer la vie d'un astronaute ! (doc. NASA)

Les facteurs pénalisants spécifiques de la mission

Les détracteurs du projet martien jouent volontiers de ce critère sensible de la sécurité pour affirmer que l'entreprise est infaisable. Leur scepticisme s'appuie sur les caractéristiques de l'expédition les plus pénalisantes.

En premier lieu, c'est *la durée* de la mission qui est pointée (2,5 années au total), car elle accroît les probabilités de pannes d'équipements et d'apparition de problèmes de santé, tout en renforçant le stress psychologique des astronautes (à noter cependant : l'ISS vole depuis des années, et les séjours spatiaux de 6 mois y sont routine).

Le deuxième facteur pénalisant est *l'éloignement* : on ne peut compter que sur les ressources propres (ou in situ sur Mars) et sur l'ingéniosité de l'équipage pour résoudre les problèmes. Cet éloignement interdit aussi toute perspective de mission de secours rapide ou de retour sur Terre à court terme.

Le troisième facteur majeur est *la complexité* intrinsèque du projet, même s'il faut admettre que la NASA semble s'y complaire ! Il est heureusement possible de faire bien plus simple que la mission de référence ampoulée de l'agence américaine, comme le démontre la proposition Mars Direct.

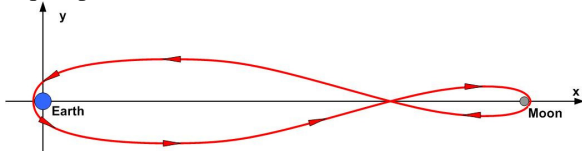
La sévérité des contraintes *d'environnement* est aussi mise en avant, mais il s'agit d'un problème que des dispositions

1 La traduction de cet article a été postée sur notre site, dans la rubrique des nouvelles, le 21 février 2012.

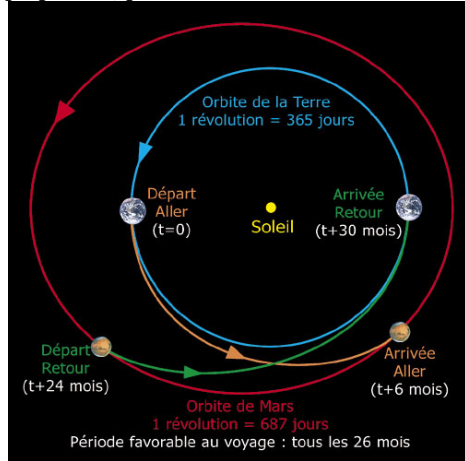
2 Voir notre article du numéro 12 du bulletin.

3 Dans l'étude de mission lunaire du programme Constellation n'était affichée qu'une *évaluation* de la probabilité de LOC (2 %).

techniques permettront de maîtriser et de débarrasser d'aléas.



Vers la Lune, une trajectoire de « libre retour » (càd sans besoin de propulsion) permet de retrouver la Terre en moins d'une semaine.



Pour Mars, on choisit aussi, pour optimiser la sécurité, une trajectoire de libre retour (en orange sur la figure). Mais la moins longue de ces trajectoires conduit à ne retrouver la Terre qu'au bout de deux ans ! La philosophie « trouver refuge sur Mars » (Abort to Mars) en découle.

(doc. R. Heidmann)

Des modalités significatives pour construire la sécurité

Sur ces bases, les sceptiques ont-ils raison de recommander l'abandon de l'ambition martienne ? Eh ! bien non, car le génie humain peut jouer sur d'autres facteurs, positifs ceux-là, pour maîtriser la sécurité.

Le plus évident de ces moyens est la **redondance**. La longue durée nécessitera d'y avoir recours pour la plupart des équipements, mais on devra l'appliquer aussi aux différents niveaux de l'architecture de mission, y compris, peut-être au plus haut, en lançant deux expéditions jumelles en parallèle, proposition de von Braun en 1969, concept réétudié récemment par notre collègue **Jean-Marc Salotti**¹.

Le choix d'une **architecture « Split »**, où on établit sur Mars un maximum d'infrastructures avant d'expédier l'équipage (à la fenêtre suivante), permet non seulement de vérifier le bon fonctionnement de ces installations avant le départ, mais aussi d'offrir une redondance supplémentaire : en cas de gros problème, on peut utiliser en secours les équipements prévus pour la mission suivante. Une redondance majeure « gratis ».

Autre grand principe : « **Mars Refuge** », imposé par l'impossibilité d'un retour rapide sur Terre. Il implique de prévoir un stock de consommables (eau, nourriture) suffisant pour assurer un séjour prolongé de 26 mois en mode secours.

D'une manière plus générale, la conception de l'architecture de mission doit s'efforcer d'offrir pour chaque phase une **voie de secours**, éventuellement dégradée en termes de résultats mais renforçant la sécurité.

Enfin, toujours au niveau d'ensemble, il faut rechercher la **simplicité** (nombre de vaisseaux, de phases, de manœuvres...), quitte à dégrader performances ou coût récurrent.

Au niveau des équipements et des systèmes, un point capital : tirer parti de la **présence d'êtres humains**. Celle-ci fait certes la difficulté de la mission, mais c'est aussi un atout puisqu'il devient possible d'investiguer in situ, de réparer, de reconfigurer. Exploiter à fond ce potentiel implique une sorte de révolution culturelle en matière de conception des systèmes spatiaux, plus habituellement conçus automatiques et non réparables. Des exigences supplémentaires en découlent pour concourir à

la réparabilité : modularité, contrôlabilité, démontabilité, communalité, lisibilité, etc. Toutes choses dont la Station Spatiale nous donne déjà une solide expérience.

En « réparant » un garde-boue de leur jeep avec une simple carte et une pince à documents, l'équipage d'Apollo 17 a pu continuer ses traversées géologiques et sauver ainsi une bonne part de sa récolte scientifique. (doc. NASA)



Facteurs humains

Il convient, pour finir, de souligner l'importance cruciale d'une prise en compte approfondie des facteurs humains pour renforcer la sécurité. En matière d'interface homme-machine, les connaissances sont très développées et seront mises pleinement à contribution. Par contre, les spécificités de la mission en matière psychologique : enfermement, promiscuité, coopération forcée, arrachement à la Terre, isolement radical, éloignement des proches, impossibilité des secours... créent des risques accrus. Ceux-ci concernent bien sûr la santé mentale, voire physique, des astronautes, mais peuvent aussi conduire à des erreurs, à des comportements inappropriés, à des conflits internes ou avec le contrôle sol, sources de risques pour la mission. Ces problèmes font d'ores et déjà l'objet d'études et de retours d'expérience (bases polaires, sous-marins, opération Mars500), mais beaucoup reste à faire.

Notre collègue **Stéphane Grès** et l'UTC ont proposé une méthode² permettant de **faire émerger les risques par les acteurs** eux-mêmes et d'en déduire des préconisations. Un point crucial est d'établir un consensus sur les relations sol-bord et sur le degré d'autonomie à accorder à l'équipage.

Les **campagnes de simulation** en isolement joueront dans ces études un rôle de plus en plus important, même si, bien entendu, elles ne permettront jamais de reproduire la vraie situation. Dans la préparation des missions, le **processus de sélection** devra comporter deux niveaux : individu et équipage constitué ; il s'agira de vérifier, dans des stations de simulation, la robustesse des équipages pressentis. Que le meilleur gagne !

Optimiser le projet

L'optimisation multicritère du projet va s'appuyer sur :

- des méthodes d'**analyse des risques**, au niveau des grandes options (analyses de scénarios, simulations statistiques), au niveau des systèmes techniques (modèles de fiabilité, de réparabilité, analyses de modes de défaillance) et, enfin, à celui des facteurs humains ;

- des méthodes d'**analyse décisionnelle**, à appliquer aux différents échelons du projet en vue de présenter aux décideurs comment les incertitudes (risques) afférents à chacun des attributs, selon la valeur visée, se combinent.

En fin de compte, c'est encore le facteur humain qui prévaudra, en la personne des managers qui auront à décider ! Or, leurs choix seront fonction de leur propre profil psychologique, plus ou moins enclin à la prise de risque ou, a contrario, à la garantie des résultats. L'analyse de leurs profils doit donc elle-même être prise en compte dans le processus d'analyse décisionnelle !

Richard Heidmann

¹ Voir les articles des numéros 42 et 49 de notre bulletin.

² Méthode PAT®, Université Technologique de Compiègne.

UN BIEN BEAU DIABLE



(doc. NASA/JPL)

Les « *Dust Devils* » (diables de poussière) sont observés sur Terre mais aussi, fréquemment, sur Mars. Ce sont des colonnes tournoyantes d'air réchauffé au contact d'un sol ayant emmagasiné la chaleur du rayonnement solaire. Ils sont rendus bien visibles par la poussière qu'ils entraînent, tout spécialement sur Mars, où une poussière très fine abonde sur la plupart des terrains. Attention, les couleurs ont été faussées pour rendre le phénomène plus visible ; la couleur blanche ne doit pas être attribuée à la condensation de vapeur d'eau, elle est produite par la diffusion lumineuse des grains de poussière. Pour donner une idée de l'échelle de cette vue, prise le 16 février dernier par le Mars Reconnaissance Orbiter de la NASA, le diamètre du panache est d'une trentaine de mètres. La formation est distincte jusqu'à une altitude de 800 mètres, projetant au sol une ombre bien nette.

Il est remarquable que ces *Dust Devils* se produisent à cette période de l'année martienne, au moment où la planète se trouve le plus éloignée du soleil et en reçoit par conséquent le moins d'énergie. La région survolée est Amazonis Planitia.

Richard Heidmann

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson,
Richard Heidmann, Alain Souchier.
Achevé d'imprimer : Graphicoul'Eure 27120-Gadencourt.
Dépôt légal : avril 2012