



PLANÈTE MARS



Numéro 56 Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris www.planete-mars.com

juillet 13

ISSN 1772-0370

L'HOMME, FACTEUR CLÉ DE SUCCÈS DES MISSIONS SPATIALES

L'homme à bord d'un engin spatial autorise des prouesses qui ne sont pas encore à la portée du robot. Le 11 mai dernier, les astronautes C. Cassidy et T. Marshburn ont remplacé, à l'extérieur de la station ISS, une pompe de refroidissement de 120 kg d'un des générateurs solaires, qui présentait une fuite. La sortie, non prévue au programme, a été préparée en 48 h.

Cet épisode est une belle démonstration du rôle de l'homme en support d'une mission spatiale. Plus particulièrement, il faut rappeler que l'habitat qui sera occupé par les astronautes d'une mission martienne dans les 6 mois de l'aller, puis les 6 mois du retour, est une petite station avec tous ses systèmes de génération électrique, contrôle d'environnement, communications, etc. Notons aussi que, dans certains scénarios, cet habitat tourne pendant 500 jours autour de Mars pendant que les astronautes explorent la planète ; il faut donc le maintenir en état pendant deux ans et demi. L'ISS présente l'intérêt de déterminer les maillons faibles des différents systèmes, donc la politique de rechange et de maintenance et, sur ce dernier point, de voir ce que l'astronaute peut faire. Certes l'ISS est de taille trop importante vis-à-vis de l'objectif « habitat de transfert interplanétaire », mais l'utilité n'en est pas moins réelle.

Si les astronautes ont pu installer une nouvelle pompe, c'est parce que sur chaque module de panneaux, avec deux pompes opérationnelles, se trouvaient deux rechanges.

Parfois l'intervention ne se borne pas à l'échange standard. En 2007 les astronautes ont nettoyé et regraissé les pistes de deux joints rotatifs (SARJ) de deux panneaux solaires et changé, sur l'un de ces joints, 11 de ses 12 roulements. D'autres interventions ont démontré, au fil des ans, la capacité des astronautes à maintenir leur habitat : détection (aux ultrasons) et réparation d'une fuite d'air, réparation d'une déchirure de 75 cm de long sur un panneau solaire, remplacement d'une pompe du système de refroidissement, remplacement d'une unité de commutation du bus principal d'énergie (et là aussi la pièce de rechange était déjà à bord). Toutes ces opérations, sauf la première, ont eu lieu en sortie extravéhiculaire.

Nul doute que cette expérience sera utile pour préparer la mission Inspiration Mars proposée par Dennis Tito, qui consiste à envoyer deux astronautes passer à proximité de Mars et revenir sur Terre en 500 jours.

Alain Souchier

président de l'association Planète Mars

A LA RECHERCHE D'UNE BIOSPHÈRE MARTIENNE

Pour que le processus de vie puisse se manifester, il semble nécessaire que certaines conditions soient remplies : présence d'éléments chimiques particuliers, niveaux de température et de pression minimaux, présence d'eau liquide, source d'énergie, durée minimum. Nous n'avons aujourd'hui qu'une référence, la vie terrestre, mais la planète Mars, constituée des mêmes éléments que notre Terre, qui en est relativement proche et qui a connu une histoire géologique très semblable à la nôtre pendant le premier milliard d'années de son existence, est l'endroit de l'univers le plus accessible où nous pouvons aujourd'hui chercher si ce processus a commencé aussi ailleurs. C'est là que, sur le plan scientifique, réside l'attrait principal de l'exploration de Mars. Que peut-on dire aujourd'hui des possibilités de satisfaction de ces conditions ? Savoir ensuite si elles ont été suffisantes relèvera de la recherche sur le terrain.



(doc. NASA/Bernstein)

L'univers contient toutes sortes de molécules organiques simples, d'origine non biologique mais dont les planètes ont étéensemencées et qui pourraient avoir joué un rôle dans l'apparition de la vie.

Les éléments chimiques

Les éléments chimiques nécessaires à la vie de type terrestre sont, pour 96 % : C, H, O, N ; pour 4 % : P, S, Cl, K, Na, Ca, Mg, et pour de plus faibles quantités (traces) : Fe, B, I, Mn... Tous ces éléments ont été identifiés sur Mars. Évidemment leur combinaison en organismes vivants résulte d'un processus dont toutes les étapes ne sont pas encore complètement comprises, ni même connues.

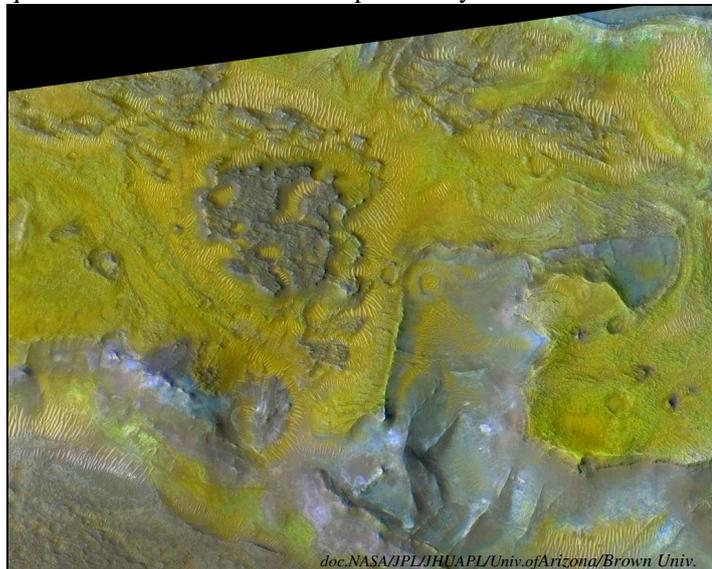
Nous recherchons la vie organique c'est-à-dire celle dont les molécules sont organisées autour de l'atome de carbone (par suite d'un processus biologique ou simplement géologique). En effet cet atome, du fait de ses quatre liaisons covalentes possibles, est très bien adapté à la construction de molécules tridi-

Dans ce numéro :

- A la recherche d'une biosphère martienne p.1
- Et si on envoyait 3 astronautes plutôt que 6 ? p.5
- La vie de l'association p.6
- Simulations martiennes à bord de l'ISS ? p.7

prochain numéro : octobre 2013...

mensionnelles complexes. Il y a du carbone dans tout l'univers proche. Sur Mars sa présence est certaine. L'atmosphère en est particulièrement riche puisque composée à 95,9 % de dioxyde de carbone. Au sol on a identifié quelques dépôts de carbonates, mais curieusement pas encore de molécules organiques. Pour le moment on pense que leur présence est cachée par les perchlorates, omniprésents sur le sol, qui les détruiraient lorsqu'on chauffe des échantillons pour analyse.



Détail de la région de Nili Fossae montrant la présence de carbonate de magnésium (vert), associé à de l'olivine (jaune).

La pression

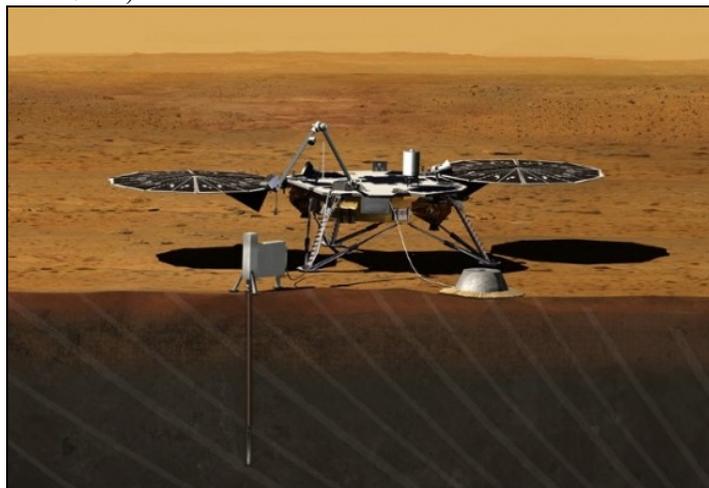
La masse de Mars, étant seulement 1/10^{ème} de celle de la Terre, génère une force de gravité beaucoup moins forte et la pression qui en résulte à l'intérieur de cette masse progresse beaucoup moins vite de la surface vers le centre planétaire. En surface la pression atmosphérique moyenne n'est que de 611 pascal (0,006 bar) avec des valeurs extrêmes sensiblement différentes : de 0,011 bar au fond du bassin d'Hellas (altitude -8.500 m), à 0,0003 bar au sommet d'Olympus Mons (altitude +21.000 m). On n'atteint donc 0,3 bar qu'en profondeur du sol ou à l'intérieur des roches. Ce seuil est significatif car c'est celui en deçà duquel la vie « active » n'est pas observée dans l'environnement terrestre. A noter toutefois que cela ne veut pas dire que des organismes terrestres ne pourraient pas supporter une telle pression en mode dormant mais simplement qu'ils ne pourraient pas y prospérer.

A l'autre extrême, la pression atteint 10⁴ bar à 310 km de la surface moyenne planétaire, niveau le plus profond auquel l'eau pourrait rester à l'état liquide (75 km sur Terre). Cette profondeur est cependant théorique car on est probablement déjà sous la croûte la plus épaisse de la planète, donc au sein de son manteau.

Il faut aussi de l'espace libre pour envisager la présence d'eau. Compte tenu de la force de gravité, ces espaces sont plus importants que sur Terre. Il s'agit d'abord de cavernes, poches ou cavités sans communication avec l'extérieur. Sur Terre on peut trouver des cavernes jusqu'à 2 km de la surface ; sur Mars, on pourrait descendre jusqu'à 5 km (en fonction bien sûr de la composition du sol). Il s'agit ensuite des interstices et failles ainsi que des pores de certaines roches qui, sur Mars, pourraient atteindre la profondeur de 85 km.

La température

La température impose également ses bornes. Joseph Michalski*, avec Junge et al. (2004), considère que -20°C est la limite inférieure pour que l'eau permette une vie active (à noter que selon les solutés et la pression l'eau pourrait rester liquide jusqu'à -100°C). Cette limite basse ne peut se constater qu'en surface de Mars et dans le sous-sol immédiat puisque la température va monter plus on s'enfoncera à l'intérieur de la planète. La chaleur à l'intérieur de la planète provient de l'énergie cinétique primordiale constitutive de l'astre (accrétion) et de la radioactivité de ses composants, à commencer par ²³⁸U, ³²Th et ⁴⁰K. La conservation de chaleur au cours du temps est d'autant plus forte que les différentes couches planétaires la diffusent moins par convection et conduction vers l'extérieur plus froid. Au dernier niveau, la croûte planétaire de Mars, à la différence de celle de la Terre, ne s'est pas renouvelée par tectonique des plaques et a donc constitué un couvercle thermique assez imperméable. A contrario, compte tenu d'une masse plus faible, la chaleur initiale de Mars était plus faible que celle de la Terre et la chaleur générée ensuite par radioactivité a été moins importante. Également, du fait de sa taille plus petite (surface 144 M km², pour un diamètre de 6.780 km), Mars a un rapport surface / volume plus favorable (le double) au refroidissement que celui de la Terre (surface 510 M km², pour un diamètre de 12.740 km).



L'atterrisseur InSight (lancement en 2016) sera doté d'une sonde thermique qui permettra de mesurer le gradient thermique local.

(doc. NASA/JPL)

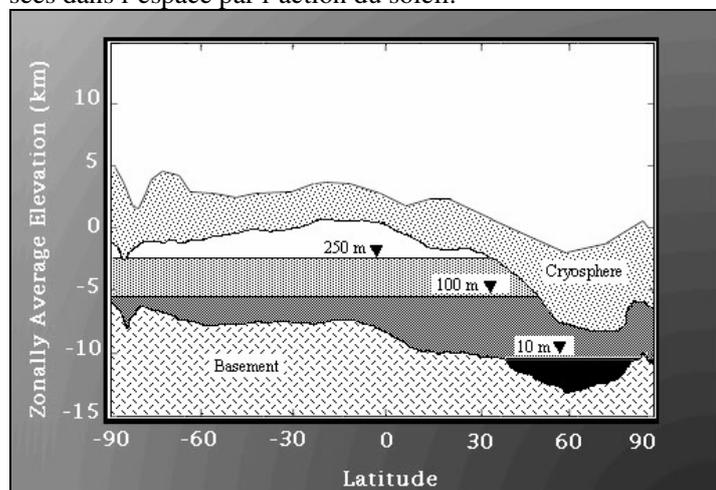
Synthétisant ces différents effets, on a estimé pour Mars un « gradient géothermique » qui dans la croûte devrait théoriquement avoir une valeur de 5 K (degrés Kelvin) par km, contre 25 K par km pour la Terre. D'après ce gradient, la température de -20°C ne serait atteinte sur Mars qu'à une profondeur de 7 km, mais il s'agit là d'une moyenne et il est bien évident que la température est nettement plus élevée à la surface du sol au niveau de l'équateur et dans les zones tropicales (températures légèrement positives pendant la période diurne de nombreux jours de l'année) que dans les régions polaires ou de hautes latitudes. Plus on s'enfonce dans la croûte, plus les températures deviennent sans doute homogènes, à l'exception de certains points chauds où le magma du manteau se trouve plus proche (régions de volcanisme « récent »).

On atteint les 122°C, température au-delà de laquelle des manifestations de vie terrestre ne sont plus observées, à environ 36 km en moyenne (avec possibilités de variation de -6 km à -50

km). Ces 36 km constituent donc la limite basse de toute éventuelle biosphère martienne.

L'eau

L'eau a été présente en surface de Mars au début de son histoire, peut-être dans des proportions comparables à celles de la Terre. Compte tenu de la distance de Mars au Soleil, de la densité de l'atmosphère primitive et de la chaleur interne de la planète, cette eau était liquide. Pendant les premières centaines de millions d'années du Noachien, elle a hydraté les roches de la croûte planétaire. Mais, en raison (1) d'une gravité trop faible due à sa masse relativement petite et (2) de la disparition de sa magnétosphère due à l'arrêt précoce de sa dynamo interne (résultant également de sa trop faible masse), l'atmosphère primitive de Mars s'est très tôt majoritairement dissipée, conduisant à un refroidissement considérable. L'eau liquide en surface a gelé ou s'est retrouvée séquestrée dans le sous-sol. Progressivement les étendues gelées se sont sublimées et les molécules de vapeur d'eau décomposées et expulsées dans l'espace par l'action du soleil.



Représentation schématique des différents états de la présence de l'eau dans le sous-sol, en fonction de la latitude. Entre la zone de sol gelé (cryosphère) et le socle (basement) devraient exister des aquifères, dont l'importance et la hauteur seraient fonction des quantités d'eau piégées dans le sol. (doc. Clifford)

La cryosphère moderne contient une couche planétaire équivalente d'eau (« EGL ») estimée à 35 mètres d'épaisseur. On la trouve bien sûr dans les deux calottes polaires mais aussi dans le sous-sol immédiat proche des calottes polaires puis dans quelques régions de latitudes moyennes, sous forme de banquises couvertes de régolite vestiges de perturbations planétaires passées. On la trouve enfin un peu partout ailleurs dans le sous-sol immédiat, même aux latitudes moyennes dans l'équivalent du pergélisol terrestre.

Dans les régions intertropicales et même de latitudes moyennes, ce pergélisol peut fondre pour donner de l'eau liquide qui peut subsister presque jusqu'à la surface du sol compte tenu d'une salinité très élevée.

Mais la plus grande quantité de l'eau martienne doit se trouver en sous-sol. L'eau s'y est d'autant plus facilement infiltrée que la gravité martienne est faible et donc la porosité naturelle plus grande.

Une zone saturée à > 6 km devrait représenter un EGL de 100 mètres d'épaisseur et une zone saturée de 3 à 6 km, un EGL de 300 mètres. Évidemment, plus l'eau est descendue profondément, plus elle a dû se charger en solides dissous et plus elle

sera riche en nutriments.

Il faut aussi que l'eau soit « active » c'est-à-dire qu'elle permette aux organismes d'échanger des substances. Cette activité diminue avec le froid ou par séchage ou encore du fait de la présence élevée de solutés. On voit donc que sur Mars, elle sera faible dans le sous-sol immédiat du fait de l'aridité et de la température très basse mais qu'elle sera plus élevée en profondeur « moyenne ».

Les sources d'énergie

L'entretien du métabolisme d'un organisme vivant ne peut se faire que moyennant l'apport d'énergie extérieure, sous une forme assimilable. Plusieurs sources d'énergie ont été et/ou sont encore présentes sur Mars comme sur Terre. Ce sont, en surface, les diverses formes de rayonnement du soleil ou bien les décharges électriques des éclairs ; dans le sol la chaleur interne de la planète (résidus de l'énergie cinétique des corps l'ayant constituée lors de son accréation ou résultat du processus de radioactivité de ses éléments) ou simplement les échanges chimiques au sein d'un milieu qui les permette (l'eau liquide, les milieux humides et chauds). Les sources d'énergie à l'origine de celles-ci sont « in fine » les quatre interactions fondamentales : la force nucléaire forte (l'énergie de notre étoile), la force de gravité liée aux masses qui a permis l'énergie cinétique lors de l'accréation et des bombardements ultérieurs de corps célestes, la force nucléaire faible (qui permet la désintégration plus ou moins lente des atomes et la nucléosynthèse) et la force électromagnétique qui permet les relations chimiques entre les atomes).

Ces sources d'énergies sont universelles. Pour qu'elles provoquent la vie, il a « juste fallu » un savant dosage de leurs intensités respectives et de leurs interactions sur des éléments physiques arrivés à une certaine maturité par évolution chimique. On ne sait évidemment pas si ce « savant dosage » a pu se réaliser sur Mars mais les composantes ainsi que les conditions environnementales ayant été présentes à peu près dans les mêmes conditions que sur Terre, avec une réserve concernant leur durée en surface de la planète (mais pas dans son sous-sol), il est raisonnable de l'imaginer.

Les radiations

Les radiations sont, comme mentionné plus haut, une des sources d'énergie ayant probablement contribué à l'apparition de la vie. A la surface de Mars, elles proviennent du soleil, sous forme de lumière, particulièrement active dans l'ultraviolet, ou sous forme de particules (principalement protons) constituant le vent solaire. Des rayonnements très énergétiques proviennent également de la galaxie (« Galactic Cosmic Rays », « GCR »). Ces phénomènes sont, aujourd'hui, beaucoup plus puissants que sur Terre compte tenu de la ténuité de l'atmosphère. Mais on considère que lorsque le processus de vie a commencé sur Terre, la protection procurée à la surface de Mars par une atmosphère beaucoup plus épaisse était du même ordre que celle observée sur notre planète.

Il est donc possible, sinon probable, que les radiations solaires atténuées par l'atmosphère aient eu sur les molécules prébiotiques les mêmes effets que sur Terre. On sait que les radiations peuvent être un obstacle à la vie par leur effet destructeur et mutagène mais ce même effet, pourvu qu'il ne soit pas, du fait de son intensité, un facteur de désorganisation, est en même temps source d'évolution et donc d'adaptation (y compris aux radiations elles-mêmes).

La durée

Nous ne savons pas combien il a fallu de temps au processus de vie pour émerger puis se manifester dans une vie effective. Ce que nous savons c'est que sur la planète Terre, constituée en tant qu'astre il y a quelques 4,5 milliards d'années, les signes de vie les plus anciens connus (qu'on peut sans trop de risque de se tromper, qualifier comme tels) datent d'environ - 3,5 milliards d'années. Ces signes de vie témoignent de l'existence d'organismes unicellulaires déjà complexes qui ont forcément été précédés par une évolution qui a pu laisser des traces (indices isotopiques vers -3,8 milliards d'années).

Qu'en a-t-il été sur Mars ? Nous ne le savons pas encore. Mais en supposant que cette durée d'environ 1 milliard d'années soit nécessaire, on peut penser qu'elle a pu exister au moins dans les zones chaudes et humides de la planète, qui le sont restées depuis les débuts de son histoire. Il y a là encore opposition entre la surface (processus peu probable car durée courte) et l'intérieur de la planète (possible car durée longue).

Croisement des différentes limites pour circonscrire les zones d'une biosphère martienne potentielle

Avec Joseph Michalski et al. on peut distinguer 4 zones.

Une Zone 4, située à > 5 km de la surface. Elle est hydrothermale et riche en fluides chargés de solutés divers. Du fait de l'action de la chaleur, de la pression et de l'eau, les roches hydratées doivent y être abondantes. Les mêmes conditions ont existé pendant toute l'histoire de la planète. Le problème pour la diffusion d'un processus de vie à ce niveau, c'est que plus la profondeur est grande, plus les espaces libres sont rares, plus les échanges sont difficiles.

Une Zone 3, entre 2 et 5 km de profondeur. Elle contient aussi bien des minéraux non altérés qu'altérés, en raison d'une durée d'hydratation et d'une température insuffisantes. Aujourd'hui encore des quantités modestes d'eau souterraines pourraient être largement diffusées dans l'espace des pores et circuler par capillarité. Cette eau, du fait de son passage à travers les roches, devrait avoir un Ph neutre à alcalin.

Une Zone 2, entre 2 km de profondeur et la pré-surface planétaire. Dans cette zone les températures hydrothermales n'ont peut-être jamais été atteintes depuis l'époque hespérienne (sauf points chauds, en raison d'intrusions magmatiques). Des saumures relativement diluées peuvent s'y être formées et les fluides ont pu réapparaître en surface

Une Zone 1, qui comprend la surface et le sous-sol immédiat. Elle contient des couches d'argiles, de sulfates et des dépôts de neige et de glace (outre bien sûr des sédiments de surface, mobiles). Les fluides dans cette zone ont été affectés par le SO₂ de l'atmosphère, le Cl⁻ et des agents oxydants (dont l'oxygène libre ou provenant du CO₂).

On pourrait ajouter une « Zone 2bis » qui serait située aux confins des Zones 2 et 3 et qui pourrait être la région la plus intéressante car plus riche et humide que la Zone 2 et moins difficile d'accès et disposant de davantage de possibilités de circulation pour l'eau que la Zone 3.

Comment ces différentes zones auraient-elles pu être colonisées par la vie ?

La Zone 3 est celle qui présente le plus de possibilités de nutriments, d'énergie et d'interactions chimiques et ceci sur toute la durée de l'histoire de la planète.

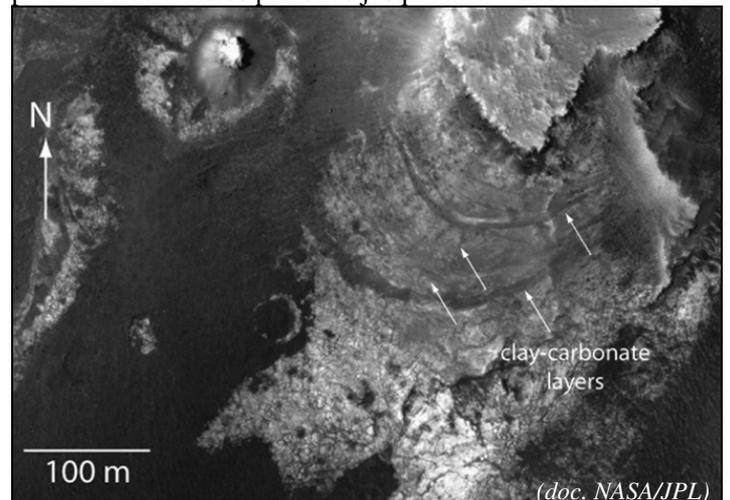
Les Zones 1 et 2 devraient avoir connu une période favorable au début de l'histoire de Mars et d'autant plus longue qu'on

s'enfonce profondément dans la croûte de la planète. Elles pourraient toujours abriter aujourd'hui une vie simple, avec avantage à la Zone 2 car elle conserve suffisamment d'humidité et de chaleur et offre des habitats poreux à l'abri des conditions de surface difficiles.

En Zone 1, l'interface avec l'atmosphère et le rayonnement solaire, dans des conditions humides, a pu favoriser l'éclosion de la vie aux époques noachienne et hespérienne. Cette vie a pu migrer en sous-sol immédiat et dans les autres zones en ne subsistant plus dans celle d'origine que dans des niches et sous une forme très primitive. Il faudrait, pour le vérifier, rechercher les inclusions de saumures dans la glace, dans l'interface roche/glace, ainsi que dans les couches d'argiles et de sulfates. Dans les régions intertropicales l'eau liquide et donc une forme de vie, encore active, serait possible assez près du sol (jusqu'à 5 m) mais elle devrait être à l'abri des pressions très basses de la surface.

Accès aux zones profondes

On voit que la zone la plus favorable au développement de la vie sur la plus longue durée (et peut-être persistante aujourd'hui) est la Zone 3. Le problème est d'y accéder. La première possibilité (pour y découvrir des traces fossiles) est de profiter des impacts d'astéroïdes, qui ont creusé la surface planétaire de cratères profonds jusqu'au niveau de cette zone.



Dépôts d'argiles et de carbonates dans le cratère McLaughlin.

Parmi ceux-ci, très nombreux sur le bord de la dichotomie de la croûte, on peut noter les cratères McLaughlin, étudié par Joseph Michalski et al., et Gale. On peut en les explorant profiter de deux phénomènes : la création d'un pic central lors de l'impact, qui a permis l'extrusion de matériaux profonds sous-jacents, ou encore les remontées d'eau dans le fond de ces cratères dont témoignent la présence de sédiments. La hausse des nappes phréatiques causant ces remontées peut avoir résulté de divers phénomènes, notamment volcaniques à l'époque hespérienne. Elles se sont évidemment raréfiées avec le temps. D'autres endroits très différents (terrains de Zone 2) pourraient également être intéressants : les cavités probablement sous-jacentes aux cheminées du volcanisme de boue dans la région d'Acidalia Planitia contiguë à Chryse Planitia ou encore les cavités probables sous les vestiges des cheminements d'eau d'Hebrus Vallis.

Quelle vie ?

Les formes de vie les plus primitives, archées et bactéries, ont pu commencer à exister avant les eucaryotes (cellules à noyau),

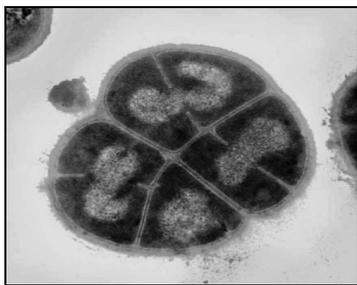
sur Mars comme sur Terre. Si le phénomène a commencé à la même époque, il y a plusieurs milliards d'années, il est bien difficile d'imaginer ce qu'a pu donner leur évolution. Cependant les conditions environnementales martiennes étant devenues extrêmement rudes quand la vie sur Terre a commencé à se diversifier et se complexifier, on peut supposer que les éventuelles formes de vie primitive martienne ont peu changé. En tout cas, la faiblesse des niveaux de l'oxygène et du méthane dans l'atmosphère donne à penser que ces éventuels êtres vivants sont peu consommateurs de CO₂ et produisent peu de méthane, ou plutôt qu'ils sont très peu nombreux et/ou actifs, ou encore que les lieux qu'ils habitent sont très isolés de l'extérieur.

Les perspectives

Il semble donc que la région la plus propice à la subsistance / évolution du processus de vie sur la planète Mars soit son sous-sol. Cela ne veut pas dire que la vie, une fois éclosée en surface, n'y ait pas persisté car on sait la formidable capacité d'adaptation qu'elle possède. Mais il est aussi possible qu'elle se soit cantonnée dans les milieux les plus hospitaliers (chauds, humides, protégés), donc dans les cavités du sous-sol, quitte à faire de temps en temps des incursions en surface, en y laissant quelques traces.

Si la vie a commencé sur Mars, on pourrait donc en trouver les vestiges chimiques dans des endroits aujourd'hui très inhospitaliers. Si on ne trouve rien en surface, il faudra explorer le sous-sol, là où il sera accessible (grottes dans les grands cratères ou dans les failles profondes, forages profonds). Au-delà de vestiges, serait-il possible de trouver des formes de vie « active » ? Peut-être en Zone 3 et en Zone 2 compte tenu de leur hydratation et de la durée de cette hydratation, mais il ne serait pas impossible que même la Zone 1 soit habitée. Nous ne devons pas ignorer en effet les capacités extraordinaires de la bactérie « *Deinococcus radiodurans* » qui résiste aux rayons UV et à de fortes radiations ionisantes, ou encore de l'archée « *Archaeoglobus fulgidus* » qui, sur Terre, prospère sur les perchlorates. L'exploration de Mars peut encore nous réserver des découvertes extraordinaires !

Pierre Brisson



Deinococcus radiodurans

Références :

*« *An extensive Phase Space for the Potential Martian Biosphere* » par Eriita G. Jones et al. en 2011 in *Astrobiology*, DOI :10.1089/ast.2011.0660.

*« *Ground water activity on Mars and implications for a deep biosphere* » par Joseph R. Michalski et al. 20 janvier 2013, in *nature Geoscience* DOI : 10.1038/NGEO1706).

*"Infiltration of Martian outflow channel floodwaters into lowland cavernous systems" par J.A.P. Rodriguez et al. le 20 nov. 2012, in *Geophysical Research Let.*, Vol.39, L22201.

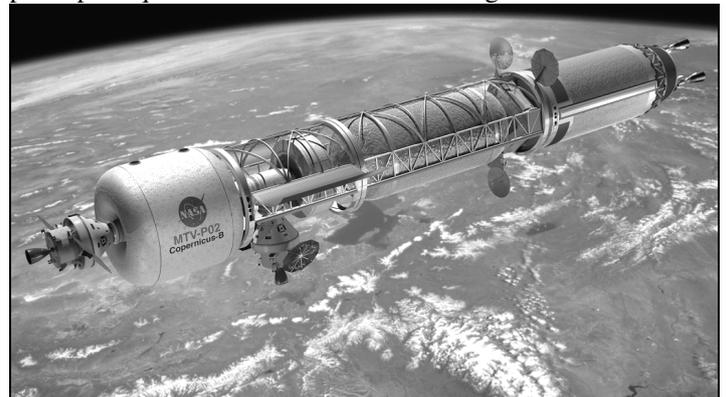
ET SI ON ENVOYAIT 3 ASTRONAUTES PLUTÔT QUE 6 ?

Dans le cadre d'une mission habitée vers Mars, quel est l'impact du nombre d'astronautes sur la masse initiale à placer en orbite basse ? A notre connaissance, cette question essentielle

n'a jamais été abordée dans la littérature. On note en particulier que dans le dernier rapport décrivant le scénario proposé par la NASA (DRA5, 2009), il est suggéré que le nombre d'astronautes pourrait être réduit afin de simplifier la mission et que cette question mériterait donc d'être approfondie...

Quelles sont donc les données du problème ? En premier lieu, l'impact direct est une diminution de la masse des consommables et des systèmes de support vie au prorata de la réduction du nombre d'astronautes. Nourriture, eau, scaphandres, mobilier, affaires personnelles viennent immédiatement à l'esprit. Mais il y a aussi des gains prévisibles au niveau des systèmes de gestion, stockage et recyclage de l'eau et de l'air, ce qui conduit également à un besoin énergétique réduit. A cela s'ajoute un gain structurel dû à un volume plus faible de l'habitat. De tels gains ne sont pas négligeables, en particulier lorsque l'on considère la masse du véhicule de retour. En effet, pour 1 tonne de charge utile en plus à retourner de l'orbite martienne vers l'orbite terrestre, il faut compter grosso modo 1 autre tonne dédiée à la propulsion et pour amener ces 2 tonnes en orbite martienne depuis l'orbite terrestre, il faut environ 4 tonnes d'ergols supplémentaires en orbite basse terrestre. Le bilan provisoire est un gain espéré de l'ordre de 20 % si on passe de 6 astronautes à 3, qui semble être le nombre minimal proposé dans plusieurs études.

Est-ce là tout ? Entrons dans les détails du scénario de la NASA pour y déceler d'éventuels gains supplémentaires. Dans ce scénario, il est prévu d'envoyer vers Mars trois vaisseaux à propulsion thermique nucléaire, dont deux seulement doivent opérer une manœuvre d'aérocapture pour se freiner et se placer en orbite martienne. Le troisième vaisseau, qui emporte les astronautes, est jugé trop volumineux et de forme trop complexe pour que cette manœuvre soit envisageable.



Les volumineux réservoirs d'hydrogène du vaisseau de transfert de la DRA5 (à propulsion nucléaire) interdisent l'emploi de l'aérocapture pour sa mise en orbite martienne. (doc. NASA)

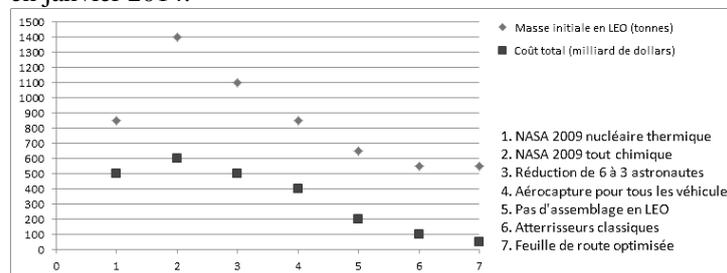
En réduisant le nombre d'astronautes, n'y aurait-il pas un gain suffisant en volume pour que cette manœuvre devienne acceptable ? La réponse est oui ! En vérité, l'élément le plus gênant est la capsule Orion qui est fixée sur le côté du grand vaisseau et qui complexifie l'écoulement aérodynamique. Il y a toutefois des solutions à ce problème, en choisissant une intégration plus judicieuse des modules. L'aérocapture du vaisseau habité fournit un gain massique supplémentaire non négligeable, car on remplace une grande quantité d'ergols par un bouclier thermique. Les gains seraient même encore plus importants dans le cas de vaisseaux à propulsion chimique. A titre d'exemple,

dans le scénario ESA de 2004, en propulsion chimique, l'étude montre que la masse initiale en orbite basse passe de 1336 tonnes à 599 tonnes si on choisit l'option aérocapture ! Ce gain s'explique facilement, car l'insertion en orbite martienne requiert un ΔV minimal de 3 km/s, ce que l'aérocapture permet d'obtenir par friction atmosphérique. Le gain est si important que l'option tout chimique avec aérocapture pour tous les vaisseaux alliée à une réduction de l'équipage de 6 à 3 astronautes permet d'espérer une masse initiale en orbite basse du même ordre de grandeur que celle prévue dans le scénario de la NASA en propulsion nucléaire thermique, où l'aérocapture n'est appliquée qu'à deux des trois vaisseaux.

Mais ce n'est pas tout, car il existe d'autres systèmes où la réduction de la taille des vaisseaux suggère de nouveaux gains massiques ; il s'agit des systèmes nécessaires à la phase d'entrée, descente et atterrissage sur la planète Mars. Les passionnés de la conquête spatiale savent que de nombreux petits robots ont atterri avec succès sur Mars (Viking, Sojourner, Spirit, Opportunity, Phoenix, Curiosity). La phase de descente sur Mars est donc maîtrisée pour des petits atterrisseurs. Dans la littérature, cependant, il existe de nombreuses études montrant que l'atterrissage de plus grands vaisseaux posera d'énormes difficultés, au point que la NASA elle-même a émis quelques doutes sur la faisabilité de la phase de descente et atterrissage. Une question fondamentale est de savoir comment évolue la complexité de cette phase en fonction de la taille et de la masse de l'atterrisseur. Précisément, certaines études suggèrent que moyennant une phase de tests et qualifications complémentaire, les technologies utilisées jusqu'ici pourraient être adaptées à des atterrisseurs de masse plus importante, jusqu'à ce qu'un seuil soit atteint. Au-delà de ce seuil, qui correspond à une quinzaine de tonnes de charge utile et un diamètre de 10 à 12 mètres, il y a une rupture technologique qui nécessite de profondes modifications conceptuelles, comme par exemple le déploiement d'un grand bouclier thermique gonflable. De plus, il est démontré que plus l'atterrisseur est lourd, plus il faut dépenser d'ergols pour le freinage terminal relativement à la masse de la charge utile. Ainsi, de façon quasi contre-intuitive, une étude suggère que deux atterrisseurs emportant chacun 12 tonnes de charge utile seraient moins lourds qu'un seul atterrisseur emportant 24 tonnes ! Concrètement, cela signifie que pour les systèmes nécessaires à l'entrée, descente et atterrissage sur Mars, des gains massiques très importants sont attendus lorsqu'on diminue la charge utile, en l'occurrence en passant d'un équipage de 6 à 3 astronautes.

Avons-nous fait le tour des gains possibles ? Non, pas encore ! En effet, un des points critiques d'une mission habitée martienne est l'assemblage en orbite basse terrestre des grands vaisseaux interplanétaires. Or, tout calcul fait, il apparaît possible de constituer la mission à partir de 4 vaisseaux dont la masse, de l'ordre de 40 tonnes, serait inférieure à la capacité d'un lanceur lourd pour un envoi direct vers Mars. Autrement dit, il n'y aurait plus besoin d'assemblage en orbite, ce qui permettrait d'économiser plusieurs modules de service et de diminuer considérablement la masse initiale en orbite terrestre, sans compter la simplification, l'amélioration de la probabilité de succès et la réduction de coûts que cela engendrerait. En ce qui concerne le bilan de la réduction massique permise

par un passage de 6 à 3 astronautes, il est tout simplement prodigieux. Comme cela est illustré sur la figure ci-dessous, qui est le résultat d'une étude tendancielle personnelle, si on part du scénario NASA et qu'on somme les avantages permis par la réduction du nombre d'astronautes dans chacun des domaines vus précédemment, on aboutit à une famille de scénarios en tout chimique plus légère, plus simple et bien moins coûteuse que la DRA5. La conclusion est sans appel : puisque les principaux freins à la conquête martienne sont la complexité, les risques et les coûts, il faut passer à 3 astronautes ! Notons pour terminer que ces travaux sont actuellement discutés au sein du groupe de travail SG3.16 de l'International Academy of Astronautics. Ce groupe, dont le responsable est Giancarlo Genta et dont j'assume le secrétariat, travaille sur la problématique des missions martiennes habitées, avec comme objectif de fournir un document d'aide à la décision en vue du prochain sommet sur l'exploration spatiale, qui aura lieu à Washington en janvier 2014.



Évaluation de l'influence de différentes options d'architecture de mission sur la masse initiale et sur le coût de développement.

(doc. J.M. Salotti)

Jean-Marc Salotti

LA VIE DE L'ASSOCIATION

Le 2 mai, **Alain Souchier** a donné une conférence « L'exploration de Mars » dans les locaux de l'INSA, au Madrillet, à Rouen. Du 6 au 8 mai, **Richard Heidmann** a assisté à Washington au congrès « Humans to Mars ». Ce congrès a eu beaucoup d'échos dans la presse et sur Internet. Il a crédibilisé les missions martiennes humaines et attiré l'attention en particulier sur le projet de Dennis Tito « Inspiration Mars » consistant à envoyer deux personnes passer à proximité de Mars et revenir vers la Terre sur une trajectoire de retour naturel.

Les 13 et 14 mai, **Armande Zamora** et **Patrick Sibon** ont expliqué le système solaire et l'exploration de Mars à 5 classes de l'école primaire de la Barasse à Marseille, au moyen de diverses présentations et maquettes. En particulier, sur une maquette de sol martien, les enfants pouvaient, en rajoutant différents éléments (rovers, habitats, astronautes), retracer l'histoire de l'exploration martienne, du début jusqu'à l'arrivée de l'homme. Un scaphandre de simulation a aussi été présenté.



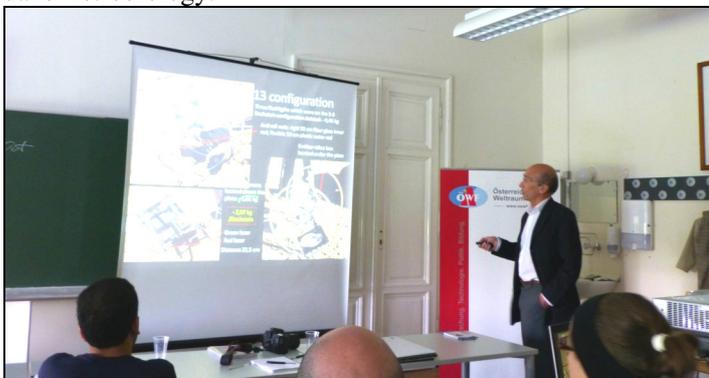
(doc. A. Zamora et P. Sibon)



(doc. A. Zamora et P. Sibon)

Le 21 mai **Richard Heidmann** et **Elisa Cliquet Moreno** (au titre du CNES) ont traité, dans le cadre des « Mardis de l'Espace », le thème de la propulsion du futur. Les missions martiennes et technologies associées ont fait l'objet de la moitié des discussions sur les deux heures qu'a duré la séance, animée avec compétence et dynamisme par le journaliste Paul de Brem.

Stephan Gérard et **Alain Souchier** ont assisté les 25 et 26 mai, à Vienne, au workshop sur les résultats de la simulation d'exploration martienne organisée par le forum spatial autrichien ÖWF en février dernier au Maroc. Un article sur cette simulation de février est paru dans le numéro de juin d'Espace et Exploration. Un article devrait paraître dans plusieurs mois dans *Astrobiology*.



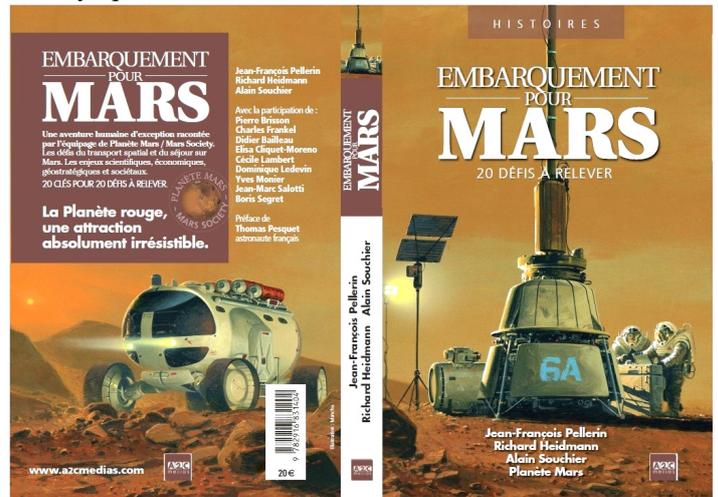
Présentation des résultats des essais du véhicule de reconnaissance de paroi au Maroc lors du workshop de Vienne. (doc. S. Gérard)

Le 25 mai, **Richard Heidmann** a participé à l'une des journées SpaceUp au siège de l'ESA à Paris, avec une présentation sur les défis de l'expédition martienne.

Le livre « *Embarquement pour Mars – 20 défis à relever* », écrit par **Didier Bailleau**, **Pierre Brisson**, **Elisa Cliquet Moreno**, **Charles Frankel**, **François Giammattei**, **Richard Heidmann**, **Cécile Lambert**, **Dominique Ledevin**, **Meryll Martin**, **Yves Monier**, **Jean-François Pellerin**, **Jean-Marc Salotti**, **Boris Segret** et **Alain Souchier**, est sorti comme prévu fin mai et rencontre déjà un succès certain.

La Mars Society projette d'effectuer, à partir de 2014, une mission de 365 jours (**MARS365**) dans sa station FMARS de l'Arctique canadien. Cette opération étant particulièrement prometteuse de par les conditions de simulation exceptionnelles offertes et de par la qualité de son comité scientifique, le

conseil d'administration de l'association a décidé de subventionner l'opération préalable de mise à niveau de la station à hauteur de 6500 \$. Ce soutien a été très apprécié par la Mars Society, qui s'en est fait l'écho.



(doc. Manchu/APM/A2Cmédias)

Enfin la préparation de la *Conférence européenne de la Mars Society, EMC13*, se poursuit activement, même si l'échéance, 25 au 27 octobre, peut paraître encore lointaine. Nous aurons l'occasion d'en reparler mais **les inscriptions sont déjà ouvertes**. Ne tardez pas !



SIMULATIONS MARTIENNES À BORD DE L'ISS ?*

(suite et fin de l'article du numéro 55)

Trente ans après, le temps n'est-il pas venu de renouveler un scénario « **Ryoumine** » à bord de l'ISS, en plus long, et si possible avec un équipage complet, ce serait plus pertinent !

Ce scénario de simulation martienne - qui reste à étudier - pourrait par exemple, non pas pour un seul astronaute, mais avec un équipage complet de 2 à 6 personnes, débiter par un vol de 6 à 8 mois (250 jours maximum) à bord de l'ISS en impesanteur ; puis l'équipage regagnerait la Terre pour une zone de simulation au sol, avec cette fois-ci une mission en grandeur réelle de 500 jours (type Mars500, l'équivalent du séjour sur la Planète rouge), dans un laboratoire comme celui utilisé près de Moscou, ou pourquoi pas dans une zone aménagée dans les steppes du Kazakhstan, proche de Baïkonour ; puis l'équipage repartirait de nouveau pour l'ISS pour un vol de 6 à 8 mois. Il pourrait aussi être envisagé une autre variante, avec au sol l'utilisation d'un site en Antarctique comme la base argentine de Marambio ou celle de Concordia, ou dans l'habitat arctique FMARS de la Mars Society. Celle-ci pourrait alors avoir un rôle particulièrement moteur pour porter un tel projet de simulation - le plus cohérent possible et le plus proche des contraintes d'une expédition martienne - auprès des protagonistes, décideurs et médecins du programme ISS.



L'habitat simulé arctique FMARS de la Mars Society, qui devrait accueillir en 2014 une mission de 365 jours, serait un lieu idéal pour la partie « sol » du scénario évoqué. (doc. TMS)

L'apport de l'expérience acquise par l'un des membres de Mars500, le français Romain Charles, travaillant toujours pour l'Agence Spatiale Européenne, pourrait faire de lui un excellent promoteur, en accord avec la Mars Society, pour défendre un scénario martien optimal d'envergure.

L'ISS, au niveau budgétaire, est prévue pour être exploitée par des équipages jusqu'en 2020. Certains, à l'image de la station Mir, dont l'exploitation avait plusieurs fois été prolongée, parlent d'une station spatiale internationale habitable jusqu'en 2028. Il faudra alors tirer pleinement profit de cette infrastructure orbitale unique pour simuler aussi, si cette solution devait s'imposer, du 0,38 g à son bord (l'équivalent de la pesanteur martienne). L'évaluation de la fiabilité et de la maintenabilité des systèmes (ECLSS - support vie -, sources de puissance), ainsi que les aspects psychologiques pourraient faire partie d'un autre grand volet d'études pour l'ISS.

La station pourrait aussi être utilisée pour tester la télécommande de robots au sol. Il pourrait aussi être envisagé de monter à bord de l'ISS un bloc opératoire du même style que celui qui a été utilisé par un chirurgien français en 2006 à bord de l'Airbus A300 Zéro G, puis d'effectuer la première opération chirurgicale en impesanteur de l'histoire, sur un homme. Depuis la station et par robotique interposée avec systèmes ex-

perts, de la chirurgie pourrait se faire à l'aide de robots, ainsi qu'à distance, et valider un vrai protocole opératoire ; on disposerait ainsi des outils pour extrapoler un jour à un bloc opératoire en 0,38 g dans une zone médicalisée d'un habitat martien.

L'actualité semble nous donner raison : il y a manifestement une volonté d'assigner progressivement des objectifs martiens à l'ISS et à ses équipages, par des expériences de simulation de plus ou moins grande envergure ; c'est ainsi que les astronautes du Soyouz américano-russe qui vient de rentrer sur Terre en mars 2013 se sont installés dans des simulateurs pour se mettre en condition d'un retour martien, devant des terminaux, de même qu'ils ont eu aussi à subir des séances de centrifugeuse à Moscou. En effet rien à voir avec leur programme habituel de réadaptation terrestre. On se souvient d'autres expériences comme avec celle d'un équipage à qui on avait demandé de sortir de sa capsule Soyouz couchée au sol sans l'aide d'équipes de secours, ou encore celle du Français Michel Tognini à qui on avait demandé en 1992, à son retour en Soyouz, de prendre immédiatement les commandes de vol d'un hélicoptère de récupération pour tester ses réflexes au niveau neuro-sensoriel, après une hypergravité (rentrée atmosphérique) précédée par plusieurs semaines d'impesanteur...

Voir les astronautes parvenir désormais à faire le trajet de Baïkonour vers la station ISS en moins de 6h - autre prouesse - laisse augurer de grandes possibilités futures en matière de simulations !

Jean-François Pellerin



Valery Ryumine photographié en tenue de vol de la Navette Spatiale. (doc. NASA)

(*) Article de Jean-François PELLERIN extrait de l'ouvrage qu'il a coordonné « EMBARQUEMENT POUR MARS, 20 défis à relever » préfacé par l'astronaute Thomas Pesquet, et rédigé en coauteurs avec les 12 administrateurs de PLANETE MARS, paru fin mai 2013. Texte reproduit avec l'aimable autorisation des éditions A2C Médias.

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Richard Heidmann, Jean-François Pellerin, Jean-Marc Salotti, Alain Souchier
Achévé d'imprimer : QuadriCopie 27200-Vernon.
Dépôt légal : juillet 2013