



PLANÈTE MARS



Numéro 59 Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris www.planete-mars.com

avril 14

ISSN 1772-0370

FOISONNEMENT DE PROJETS ET PETITS PAS

Le projet Mars One, visant à l'implantation progressive et définitive d'humains sur la Planète Mars, a attiré l'attention des médias ces derniers mois. Il a démontré l'intérêt pour l'exploration humaine d'une génération qui n'a pas connu les programmes ambitieux des décennies 60 et 70, et qui s'impatiente de l'absence de perspectives de même envergure offertes à moyen terme par les programmes spatiaux des agences. Mais l'excès des ambitions du projet commence aussi à porter ombrage aux études plus étayées de missions humaines vers Mars. Il va être intéressant de suivre dans les prochains mois comment l'organisation Mars One va se concentrer sur des petits pas réalisables à plus court terme. Elle vient ainsi d'annoncer la création d'une installation de simulation sur Terre.

De son côté le projet Inspiration Mars de Dennis Tito, visant à un survol de la planète par un équipage de deux personnes en 2018, ne pourra être réalisé dans le calendrier visé. L'objectif est maintenant 2021. En attendant Dennis Tito finance l'expérimentation d'un système de contrôle d'environnement, élément clé du projet, chez Paragon Space Development Corporation. Autant que possible le démonstrateur utilise des sous-systèmes en service sur la station ISS, qui est déjà un intéressant banc d'essai, mais avec un objectif différent : voir comment, en cas de panne, on peut réparer plutôt que changer l'élément défectueux.

Elon Musk affiche toujours son « objectif Mars » et sa société SpaceX engage cette année les premiers essais sur des composants du gros moteur Raptor à oxygène et méthane de 440 t de poussée. Cependant le premier vol du Falcon Heavy, variante à trois corps centraux de l'actuel Falcon 9 et capable de placer 50 t en orbite terrestre, a été reporté à l'année prochaine.

De son côté la NASA prévoit le premier vol de son vaisseau Orion, sans astronautes, avant la fin de l'année et commence à produire des éléments de son futur lanceur lourd SLS pour un premier vol en 2018.

Alain Souchier

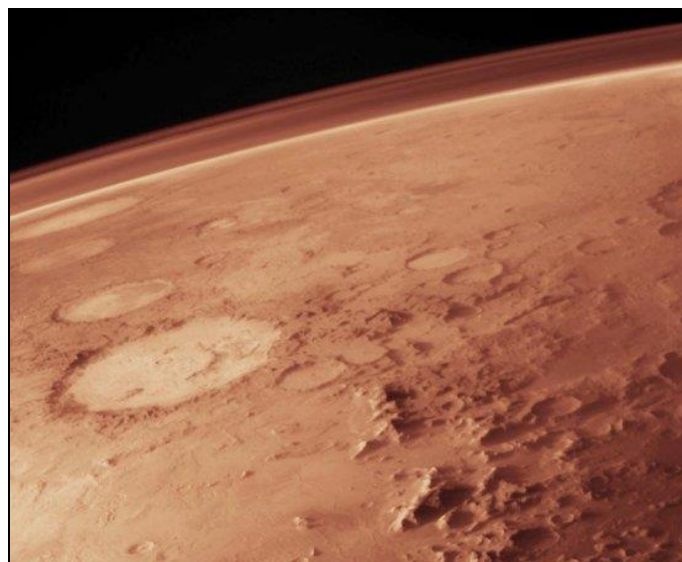
Président de l'association Planète Mars

Dans ce numéro :

- | | |
|---|-----|
| -L'évolution de l'atmosphère de Mars | p.1 |
| -Mars aux Vaches Noires | p.3 |
| -La vie de l'association | p.4 |
| -De possibles indices de vie dans une météorite | p.5 |
| -Le JPL s'attaque à l'EDL | p.7 |

prochain numéro : juillet 2014...

L'ÉVOLUTION DE L'ATMOSPHÈRE DE MARS



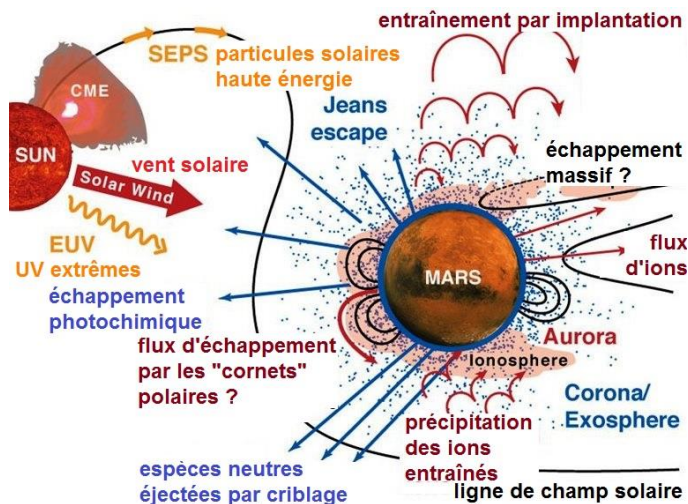
L'atmosphère ténue de Mars, composée principalement de gaz carbonique, est rendue visible sur ce cliché. (doc. NASA)

Aujourd'hui, Mars est une planète froide et sèche. Son atmosphère est très ténue (max 0,011 bar). Cependant, de nombreux indices, découverts par les missions d'exploration successives, suggèrent que de l'eau liquide a coulé en surface et que son atmosphère avait primitivement une masse plus importante qu'aujourd'hui. La période la plus favorable à l'eau liquide se situerait à la fin de l'ère géologique du Noachien, il y a 3,8 à 3,9 milliards d'années.

Pour déterminer la masse de l'atmosphère à cette époque, on peut recourir à un modèle d'évolution basé sur les mécanismes connus de pertes et d'apports d'atmosphère. Nous présentons ici ces mécanismes et leur importance respective tout au long de l'histoire de la planète, selon les études les plus récentes. Nous nous référons plus particulièrement à la modélisation conçue à l'Observatoire Royal de Belgique (Pham and Karatekin, 2014) qui traite surtout de l'effet des impacts sur la masse atmosphérique.

Échappement de l'atmosphère primitive et constitution d'une atmosphère secondaire

On pense qu'une partie de l'atmosphère de l'ancienne Mars se serait échappée sous l'effet des radiations solaires (échappement thermique) et du forçage par le vent solaire (échappement non thermique), dont le flux actuel sera bientôt mesuré en détail par la mission MAVEN de la NASA ; ce dernier mécanisme (non thermique) n'est devenu effectif qu'après la disparition du champ magnétique de la planète, il y a environ 4 milliards d'années.



Mécanismes d'échappement non thermique sur Mars, qui seront mesurés par MAVEN. (doc. CU/LASP/GSFC/UCB/SSL/LM/JPL)

L'échappement thermique aurait été, selon Tian et al. (2009), tellement important au tout début de l'histoire de Mars que son atmosphère serait devenue extrêmement faible il y a 4,1 milliards d'années.

Une atmosphère de « seconde génération » se serait constituée ensuite, pour atteindre sa valeur maximale vers la fin du Noachien. Une première partie aurait été fournie par le dégazage volcanique, qui, selon Lammer et al. (2013), aurait apporté, selon les paramètres considérés, 50 à 500 millibars d'atmosphère principalement en dioxyde de carbone (CO_2). Une seconde partie proviendrait des impacts d'astéroïdes et de comètes. Ils auraient joué un rôle important précisément à cette époque, lors du « LHB » (*Late Heavy Bombardment / Grand Bombardement Tardif*).

A noter que cette théorie remet en cause les modèles anciens (comme celui de Melosh and Vickery, 1989) selon lesquels les impacts auraient eu l'effet contraire du fait de leur très forte énergie. Les paramètres peuvent toujours être discutés mais les études de synthèse, basées sur les modèles récents, que nous avons menées à l'Observatoire Royal de Belgique, laissent conclure que 1 à 2 bars d'atmosphère auraient pu être produits de cette façon.



Vue d'artiste d'un impact. Les impacts auraient joué un rôle important au début de l'histoire de Mars. (doc. NASA/Don Davis)

Au total, un maximum supérieur à 2 bars d'atmosphère aurait donc pu exister à la fin du Noachien. Cette quantité serait inférieure

si d'autres mécanismes d'échappement atmosphérique étaient entrés en jeu, en parallèle, durant la constitution de cette nouvelle atmosphère.

Scénario 1 : stockage de l'atmosphère sous forme de réservoirs de carbonates

Les moyens par lesquels cette atmosphère de seconde génération aurait ensuite diminué restent encore une énigme dans la communauté scientifique. En effet, l'échappement thermique, négligeable depuis la fin du Noachien, ne peut constituer un facteur suffisant. De plus, la quantité d'atmosphère enlevée via les mécanismes d'échappement non thermique, initialement estimée à plus de 200 millibars, a été revue à la baisse. Chassefière et Leblanc (2011) pensent même qu'elle n'a pu être supérieure à quelques millibars.

Une troisième possibilité pourrait être le stockage d'une majeure partie de cette atmosphère, constituée principalement de dioxyde de carbone (CO_2), sous forme de réservoirs de carbonates, comme c'est le cas sur Terre. Un tel processus nécessite, entre autres, du CO_2 atmosphérique et de l'eau liquide, éléments qui auraient été présents en grandes quantités à la fin du Noachien. Pour réduire une atmosphère de plus de 2 bars à sa valeur actuelle, près de 2 bars de CO_2 devraient être stockés sous forme de carbonates. Pour y parvenir, nous avons construit un scénario d'évolution où le stockage de CO_2 sous forme de carbonates serait actif depuis 4 milliards d'années. De ce scénario de perte maximale, nous avons déduit que la pression atmosphérique, à la fin du Noachien, aurait pu être d'environ 1,9 bar.

Scénario 2 : absence de stockage de l'atmosphère sous forme de carbonates ou pertes atmosphériques minimales

Malheureusement, jusqu'à présent, aucun réservoir important de carbonates n'a été trouvé sur Mars, mais seulement des traces, dans la poussière et les météorites martiennes, au fond de certains cratères de la planète et quelques roches (par exemple « Comanche » identifiée par Spirit en 2005). Cette rareté pousse donc à douter de l'efficacité de ce processus de stockage, et la valeur de 1,9 bar obtenue dans notre scénario ci-dessus pourrait être largement surestimée. C'est bien l'opinion de certains scientifiques qui en déduisent que l'atmosphère de l'ancienne Mars n'était pas particulièrement plus massive qu'aujourd'hui. Gillmann et al. (2011), par exemple, déduisent de leur étude que la pression atmosphérique de Mars n'aurait pas dépassé 50 millibars à la fin du Noachien. Mais ils supposent que les impacts auraient été une source importante de perte atmosphérique, ce qui est en désaccord avec les résultats les plus récents, comme nous l'avons écrit plus haut.

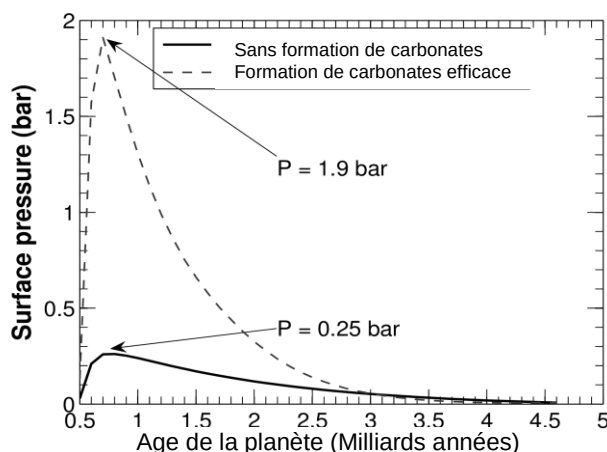
Certes, l'apport de volatiles par les impacts aurait pu être nettement plus faible que ce que nous l'avons estimé, vu les incertitudes concernant les paramètres du modèle. Il aurait suffi que le contenu en volatiles des astéroïdes et comètes, ainsi que le flux d'impact aient été plus faibles que leurs valeurs par défaut. Néanmoins, sans stockage important de CO_2 sous forme de carbonates, pour que l'atmosphère de Mars diminue jusqu'à la pression actuelle dans notre modèle, le flux d'impacts et le contenu de volatiles devraient être bien plus faibles que les valeurs les plus probables. De plus, le dégazage volcanique devrait être faible (moins de 50 mbars) et la perte atmosphérique par le vent solaire plus importante que ce qui est estimé par Chassefière et Leblanc (2011).

En se basant sur ces hypothèses nous avons construit un deu-

xième scénario d'évolution de la masse atmosphérique, un scénario « pessimiste » (comparé à notre premier scénario qui représente le cas « optimiste »). Dans ce scénario, la pression, à la fin du Noachien, serait de moins de 0,25 bar.

Synthèse et conclusion

En tout, nous avons élaboré deux scénarios extrêmes d'évolution de la masse atmosphérique. Partant d'une atmosphère pratiquement vide il y a 4,1 milliards d'années, chacun de ces deux scénarios est basé sur des hypothèses, pas forcément réalistes, concernant l'efficacité d'un ou plusieurs mécanismes d'évolution de la masse atmosphérique sur Mars. Dans le premier scénario (perte atmosphérique maximale), on suppose un apport d'atmosphère de plus de 2 bar, principalement du CO₂, qui serait, dans la plus grande partie, stockée sous forme de carbonates. Dans le second scénario (perte atmosphérique minimale), le stockage de CO₂ sous forme de carbonates est pratiquement inexistant mais l'apport de volatiles par les impacts, et par le volcanisme est extrêmement faible. Le schéma de ces deux scénarios extrêmes d'évolution est illustré par la figure ci-dessous. Les deux permettent d'obtenir les valeurs minimales (0.25 bar) et maximale (1.9 bar) de la pression à la fin du Noachien. Ces valeurs extrêmes sont en accord avec d'autres estimations de la pression martienne dans la littérature, tel que celles de Kite et al. (2013) et de van Berk et al. (2012), qui donnent des valeurs entre 0,5 et 2 bars à la même époque.



Deux scénarios extrêmes d'évolution de la masse atmosphérique, selon études menées à l'Observatoire Royal de Belgique. La courbe continue représente le cas « pessimiste » (scénario de perte atmosphérique minimale), celle en tirets le cas « optimiste » (scénario de perte atmosphérique maximale).

Il est donc probable que la pression atmosphérique réelle de Mars, il y a 3,9 milliards d'années, se soit trouvée entre ces valeurs, avec un stockage sous forme de carbonates plus modéré que dans le premier scénario présenté dans cet article, et un apport de volatiles par les impacts plus important que dans notre second scénario... Selon nous, cette pression se situerait plus près de 0,25 bar que de 1,9 bar, étant donné les incertitudes dans notre modèle d'échappement et d'apport atmosphériques par les impacts (et la quasi absence d'évidences concernant un stockage important de CO₂ sous forme de carbonates). Mais pour confirmer (ou infirmer) notre position, il faudra attendre (1) un modèle amélioré d'évolution de la masse atmosphérique, basé sur une meilleure connaissance des mécanismes d'érosion et d'apport d'atmosphère (particulièrement les impacts et le stockage de CO₂ sous forme de carbonates) ;

(2) de nouvelles mesures du flux d'échappement et de la constitution de l'atmosphère ainsi que de nouvelles analyses géologiques et isotopiques des roches martiennes.

On peut conclure en soulignant que l'étude de l'histoire de l'évolution de la masse atmosphérique de Mars nécessite un travail interdisciplinaire de longue haleine. La résolution des incertitudes et l'établissement d'un consensus entre scientifiques dépend des résultats des recherches dans chaque domaine et de la combinaison de ces résultats.

Dr. Lê Binh San PHAM

Observatoire Royal de Bruxelles

Références :

- Chassefière & al, 2011. Methane release and the carbon cycle on Mars. Planetary and Space Sciences 59, 207–217. doi:10.1016/j.pss.2010.09.004.
- Gillmann & al, 2011. Volatiles in the atmosphere of Mars: the effects of volcanism and escape constrained by isotopic data. Earth and Planetary Science Letters 303, 299–309, doi :10.1126/science.1237961.
- Kite & al, 2013. Paleopressure of Mars' atmosphere from small ancient craters. ArXiv e-prints arXiv:1304.4043.
- Lammer & al, 2013. Outgassing History and Escape of the Martian Atmosphere and Water Inventory. Space Science Reviews 174, 113–154.
- Melosh & al (1989). Impact erosion of the primordial atmosphere of Mars. Nature, 338:487–489. doi:10.1038/338487a0.
- Pham & al, 2014. Scenarios of atmospheric mass evolution on Mars submitted to Planetary and Space Science.
- Tian & al, 2009. Thermal escape of carbon from the early Martian atmosphere. Geophysical Research Letters 36, 2205. doi:10.1029/2008GL036513.
- van Berk & al, 2012. Reproducing early Martian atmospheric carbon dioxide partial pressure by modeling the formation of Mg-Fe-Ca carbonate identified in the Comanche rock outcrops on Mars. Journal of Geophysical Research (Planets) 117, 10008. doi:10.1029/2012JE004173.

MARS AUX VACHES NOIRES

Vendredi 14 mars, au pied des falaises des vaches Noires en Normandie, s'est déroulée la première utilisation du scaphandre analogue de l'association en conditions de terrain, en sortie (EVA) simulée. L'opération a fait suite à une reconnaissance sur le terrain le 20 janvier puis à une répétition des opérations à Vernon le 3 mars. L'association Planète Mars possède actuellement deux scaphandres de simulation complets, dont les principaux éléments ont été imaginés, fabriqués et assemblés par **Armande Zamora** et **Patrick Sibon**, membres de l'association, suite à une première prise de contact lors des journées spatiales de St Maximin la Sainte Baume en août 2011. L'année suivante lors de la même manifestation, les scaphandres étaient prêts. L'histoire de la fabrication de ces scaphandres a fait l'objet d'un article dans le bulletin n°53.

Les scaphandres analogues ou de simulation visent à recréer, autant que faire se peut, les difficultés que rencontrerait un astronaute opérant sur un monde sans atmosphère ou à très faible pression comme Mars. Ils peuvent être plus ou moins complexes mais ne sont pas pressurisés. De ce fait ils sont moins fatigant à utiliser qu'un vrai scaphandre dans lequel les mouvements exigent des efforts pour lutter contre les effets de la pression interne, bien que la conception des articulations vise à limiter au maximum ces inconvénients. Certains scaphandres de simulation comme celui du forum spatial autrichien ÖWF, Aouda, comportent un exosquelette interne qui restitue ces efforts de pression. De même les gants Aouda sont équipés de bandes élastiques qui recréent ces effets de pression. Les gants du scaphandre APM ont été conçus très serrés afin de recréer des efforts semblables à ceux de pression. L'astronaute Philippe Perrin, qui a effectué trois sorties dans l'espace, avait testé le gant à Saint Maximin et indiqué que les

sensations étaient très proches de celles ressenties dans un « vrai » gant de scaphandre. Le gant APM a, dès sa conception, été équipé de picots en bout des doigts pour y recevoir des embouts divers qui permettent l'obtention d'une dextérité suffisante pour effectuer des actions délicates. L'expérimentation de ce genre d'aides avait commencé lors de la rotation MDRS 43 d'une équipe APM dans l'habitat de simulation de la Mars Society dans l'Utah. Le gant du scaphandre APM permet le stockage des outils, fixés par du Velcro, sur la partie dos de main du gant.



Les gants et les divers aides à la dextérité stockés sur le dos de la main ainsi qu'un Space Pen. En opérations les rabats sont fermés. L'index droit est muni d'une targette rétractable. (doc. A. Souchier)

Le scaphandre analogue de l'association est relativement proche, dans ses caractéristiques, des scaphandres utilisés par la Mars Society dans les simulations d'exploration martienne autour des habitats MDRS de l'Utah et FMARS de l'île Devon au Canada. La masse totale du scaphandre lors de la simulation du 14 mars était de 15 kg. Le poids sur Terre de l'expérimentateur et de son scaphandre correspondait à celui de l'expérimentateur et d'un scaphandre de 160 kg sur Mars, compte tenu de la pesanteur martienne de 0,38 g. Pour mémoire les scaphandres utilisés actuellement pour les sorties de l'ISS ont une masse de 130 kg.



En opérations avec le scaphandre APM. On voit la caméra Go Pro en haut du casque, et, sous le casque, de gauche à droite, la caméra Sygonix transmission temps réel (son fil étant relié à l'émetteur dans le pack dorsal), une Go Pro (gris clair) et la caméra Sony HDR AS15 (noire). Le carnet sur la manche gauche indique les opérations à faire. Quelques données y sont notées (heures, température interne) à la fin de chacune des quatre phases de la simulation.

(doc. Gargouille Productions / I. Ebran)

Le programme d'activité de l'EVA du 14 mars prévoyait quatre phases : le déploiement du drapeau martien (et de l'association), la démonstration de dextérité en utilisant les aides stockées sur le dos des gants pour déchargement et re-

chargement des batteries et cartes des deux appareils photo, le repérage, marquage, photographie macro et relevé d'empreintes de fossiles, et une opération analogue en opérant sur une pente après installation d'une assurance.

Le tout s'est déroulé sur une heure trente, dans une atmosphère de brume qui évoquait une tempête de poussière. L'activité a été filmée par **Jonathan Barbier**, membre de l'association, aidé par Isabelle Ebran.

Alain Souchier



Les 4 phases successives de la simulation : déploiement du drapeau, démonstration de dextérité, travail sur empreinte de fossile, travail sur pente.



(doc. A. Souchier & Gargouille Productions/I. Ebran)

LA VIE DE L'ASSOCIATION

Pierre Brulhet a été interviewé sur la radio « Le Mouv' » le 7 janvier, principalement sur le thème Mars One. L'association a été invitée le 27 janvier à la réception donnée à l'ambassade américaine à Paris en l'honneur de la visite de Charles Bolden, l'administrateur de la NASA. **Richard Heidmann** a fourni des éléments sur la colonisation martienne pour une revue à paraître en juin. **Jean-Marc Salotti** est intervenu dans les locaux de Safran Herakles à Bordeaux, le soir d'un lancement Ariane 5, le 6 février, sur le thème du voyage martien. Le 12 février **Alain Souchier** a été interviewé par Téléràma sur Mars One et, a rencontré, le 28 janvier, l'équipe du Pavillon de l'Eau (à Paris) qui était en phase finale de préparation de sa grande exposition l'Eau sur Mars. Celle-ci a été inaugurée le 13 mars, en présence de plusieurs membres de l'association ; elle durera jusqu'à fin décembre. Le 14 mars, **Alain Souchier**, sous l'œil de la caméra de **Jonathan Barbier**, a déroulé sur le site des falaises des Vaches Noires, en Normandie, la première opération de simulation de sortie martienne utilisant les scaphandres analogues de l'association (cf. l'article qui précède).

Le 3 mars, **Jean-Marc Salotti** a présenté au congrès IEEE (USA) les arguments concernant l'influence de la taille de l'équipage sur la faisabilité de la mission. Il a pu discuter longuement avec le responsable NASA de la mission de référence (DRA5). **Boris Segret** s'est rendu à Taïwan, à titre professionnel, pour discuter avec ses correspondants (dont Jordan Van-nitsen, thésard issu de l'IPSA et ancien membre de notre CA)

du projet de CubeSat martien.

L'assemblée générale ordinaire de Planète Mars a eu lieu le 22 mars, dans le bel amphithéâtre du Pavillon de l'Eau. **Charles Frankel** a été réélu au conseil d'administration et nous y avons accueilli de nouveaux entrants : **Stephan Gérard**, **Olivier Lau** et **Patrick Sibon**. Nous remercions **Cécile Lambert**, **Dominique Ledevin** et **Franck Marodon** pour leur action au profit de l'association ces dernières années.

Le lendemain de l'assemblée, **Alain Souchier** a présenté « L'exploration de Mars » dans ce même amphithéâtre du Pavillon de l'Eau. **Charles Frankel** y traitera également de « L'eau et les voyages spatiaux » le 10 avril. Le 22 mars, **Jean-François Pellerin** a dédié notre livre « Embarquement pour Mars » au salon du livre de Paris, puis le 29 mars à la base aérienne de Villacoublay, où il a donné une conférence.



Jean-François Pellerin à la maison de l'environnement d'Orly.



(docs A. Souchier)

Les bases martiennes attirent toujours l'attention des jeunes.

L'association a également participé à la manifestation « L'espace et la plume » à la Maison de l'Environnement et du Développement durable de l'aéroport de Paris-Orly. Un stand y présentait les deux maquettes de bases martiennes, les deux scaphandres de simulation et des panneaux photo. **Alain Souchier** y a donné une conférence sur le thème « Préparer l'arrivée de l'homme sur Mars » et **Jean-François Pellerin** a participé à une table ronde. Là aussi le livre « Embarquement pour Mars » a été vendu et dédié. Le stand « Planète Mars » a été maintenu le lendemain pour deux classes de CM2, dont les élèves ont pu essayer les scaphandres de simulation.

Les travaux du groupe de travail de l'Académie Internationale d'Astronautique « Global Human Mars System Exploration Missions », lancé à l'initiative de **Jean-Marc Salotti** (qui en assure le secrétariat), ont abouti à la présentation d'un rapport préliminaire devant les responsables des agences du monde entier, réunis début janvier à Washington. Plusieurs de nos membres participent à ce groupe, ce qui nous permet une réelle contribution à ses réflexions.

Richard Heidmann a réalisé un modèle d'étude 3D - extérieur et intérieur - du projet de rover pressurisé de **Florent Mennechet**, support aux réflexions en cours sur l'évolution de la conception du véhicule.

A noter enfin la mise en chantier d'une remise à niveau des fonctionnalités et du design de notre site Internet par **Olivier Lau**, avec **Stephan Gérard** pour les sites sociaux.

Alain Souchier



Étude 3D de rover sur la base du projet de F. Mennechet. Personnages bien jeunes ! mais néanmoins utiles pour la visualisation des aspects ergonomiques. (réalisation R. Heidmann, sous Carrara 8.5)

DE POSSIBLES INDICES DE VIE DANS UNE MÉTÉORITE MARTIENNE

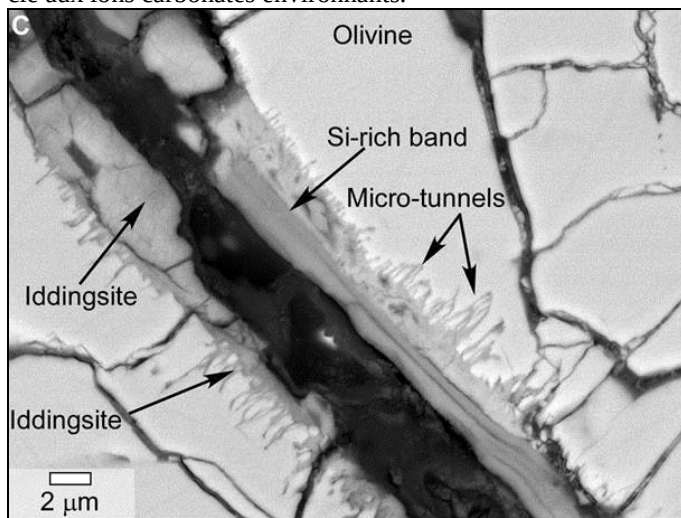
Une étude sur la météorite « Yamato 000593 », dont la principale auteure est le Dr Lauren M. White, du JPL, équipe du Pr. David McKay (décédé en 2013), a été publiée dans le numéro de février de la revue *Astrobiology*. Elle n'est pas anodine. C'est la troisième fois que des scientifiques reconnus par leurs pairs identifient, dans des roches ignées (basaltes avec inclusions d'olivine) incontestablement martiennes, des indices de formes fossiles de vie (« biomorphes »). Les précédentes concernaient la météorite « ALH84001 » en 1996 et la météorite « Nakhla » en 2009.

Cette météorite, également du type Nakhla, fait partie, comme les deux autres, des rares objets (une quinzaine) dits « SNC » (« N » de Nakhla) dont la provenance martienne a été confirmée par analyses pétrologique, chimique et isotopique. Elle a été formée dans un environnement relativement sec puisque son olivine n'a pas été totalement altérée par l'eau. Elle a été éjectée de la surface de Mars à l'occasion d'un impact et elle a dû arriver sur Terre (en Antarctique) il y a environ 50.000 ans. Elle a été collectée par une mission japonaise, la « Japanese

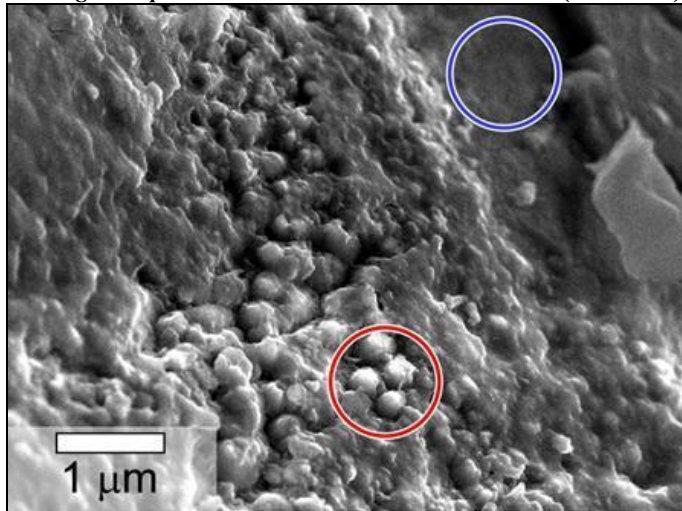
Antarctic Research Expedition », en 2000, sur un glacier nommé Yamato.

Les biomorphes sont de petites sphérules (minuscules globes d'un diamètre de cent à cinq cents nanomètres) et des micro-tunnels dans la roche (de 1 à 4 micromètres de long, 100 à 200 nanomètres de large). Les sphérules sont deux fois plus riches en carbone que l'environnement et on sait que la vie privilégie l'utilisation du carbone dans ses constructions moléculaires.

Les microtunnels de leur côté ont une forme sinueuse caractéristique de cheminements causés par une activité biologique ainsi qu'on a pu en observer dans des roches terrestres de même minéralogie. S'ils étaient formés abiotiquement ils paraîtraient en « dents de scie ». Ils partent de certaines veines d'iddingsite (minéral qui se forme par altération aqueuse de l'olivine) beaucoup plus « longues » et « grosses » (quelques centaines de micromètres de long et plus ou moins 500 nanomètres de large) qui parcourent les cristaux d'olivine fracturés de la météorite. Ils sont également riches en carbone non associé aux ions carbonates environnants.



Microtunnels dans la météorite Yamato 000593 (image au microscope électronique). Les micro-tunnels sinueux partent des veines d'iddingsite et pénétrant l'olivine. (doc. NASA)



Sphérules incluses dans la météorite Yamato 000593 (image au microscope électronique). Les sphérules sont enrobées dans une couche d'iddingsite. La zone cerclée du bas (avec sphérules) contient deux fois plus de carbone que la zone cerclée du haut (sans sphérules). (doc. NASA)

Le doute qui se présente naturellement est la possibilité que ces biomorphes résultent de la contamination de la roche par son environnement terrestre, la durée de son séjour sur notre planète étant largement suffisante pour qu'elle ait eu lieu.

Pour lever ce doute, les auteurs de l'étude ont de très sérieux arguments : tout d'abord, l'iddingsite présente tous les signes d'avoir été formée sur Mars. Sa datation isotopique la fait remonter à environ 600 millions d'années, donc bien avant l'arrivée sur Terre de la météorite.

Les « grosses » veines d'iddingsite à partir desquelles partent les microtunnels, sont sectionnées en dessous de la croûte de fusion de la météorite. Elles sont donc de formation antérieure au franchissement par la météorite de l'atmosphère terrestre. Les microtunnels sont eux-mêmes remplis d'iddingsite, ce qui indique qu'ils ont été creusés avant d'en être pénétrés.

Les sphérules, quant à elles, sont étroitement enrobées dans des couches d'iddingsite. Elles lui sont donc au plus tard contemporaines. La météorite Nakhla, tombée en Egypte, donc dans un environnement terrestre totalement différent, présente les mêmes caractéristiques (microtunnels sinueux et sphérules). A contrario une météorite non martienne de même type minéralogique (« achondrite »), « LEW87051 », trouvée aussi dans l'Antarctique, ne présente ni microtunnels, ni sphérules.

On n'a pas encore trouvé de roche semblable à Yamato 000593 sur Mars et c'est évidemment le problème qui reste à résoudre (ou là où se trouve la confirmation que l'on attend). La découverte sur place de ce type de roches avec des indices comparables serait la réponse définitive qui nous forcerait à admettre que la vie a commencé ailleurs que sur Terre.

Bien sûr il faut espérer davantage : trouver des descendants des cousins de ces fossiles, plus récents et ayant de ce fait conservé plus d'informations (des molécules organiques caractéristiques). Curiosity va-t-il trouver la réponse attendue dans les couches d'argile (smectite) situées à la base du Mont Sharp avec ses instruments d'analyse chimique orientée sur les matières organiques (« SAM ») ? Ce serait le site le plus favorable pour ce faire car l'argile est une des roches qui conservent le mieux les traces de vie passée. Ou bien faudra-t-il attendre 2020 et le nouveau rover de la NASA, de type Curiosity ? Celui-ci devrait disposer de capacités d'investigation biologiques sophistiquées. On peut souhaiter un labo équipé de membranes nanoporeuses capables d'isoler des macromolécules que l'on pourrait identifier comme biopolymères, comme le recommande le Dr. Fabio Rezzonico de la ZHAW (Zürich). Il faudrait aussi qu'il soit mieux équipé « visuellement » (pourquoi pas un nouveau microscope à force atomique tel que celui conçu par le Dr Sebastian Gautsch de l'EPFL et embarqué sur la sonde Phoenix ?). Pour constater la présence de vie, l'analyse biologique est en effet essentielle mais, pour s'assurer de la réalité d'un phénomène aussi riche de sens, l'identification « visuelle » serait également utile car les destructions résultant du temps sur les organismes complexes peuvent être très importantes. À cet effet, il faut noter que MAHLI, l'appareil de vision rapprochée de Curiosity, dispose d'une définition maximum de 13,6 micromètre par pixel et que la taille des sphérules est inférieure au micromètre. Or les nanopores ont un diamètre de 1 à 100 nanomètres et le microscope à force atomique peut percevoir des objets à partir de seulement une centaine de nanomètres.

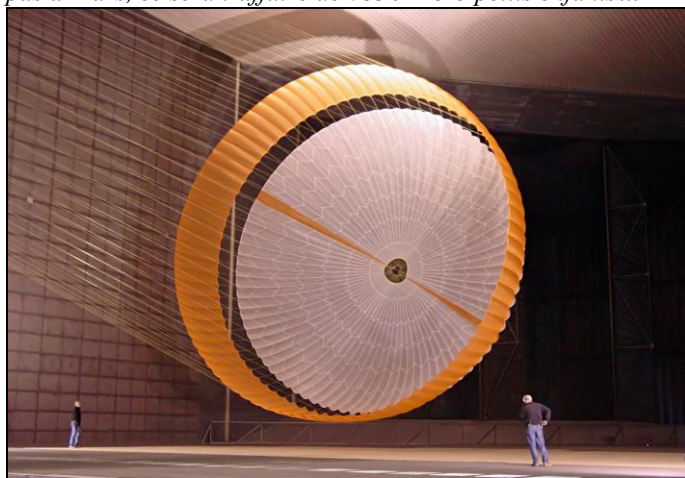
Affaire à suivre, sur Mars et nulle part ailleurs!

Pierre Brisson

LE JPL S'ATTAQUE À L'EDL

La phase d'EDL (*Entry, Descent & Landing*, Entrée atmosphérique, Descente et Atterrissage) est devenue, depuis près de dix ans, l'épouvantail de prédilection des détracteurs de l'exploration humaine de Mars. Il faut dire que les systèmes devant assurer la fonction EDL se trouvant « très haut » dans l'étagement des masses de la mission (puisque intervenant en fin du voyage aller), ils constituent, aux mains d'un ingénieur averti, un levier particulièrement efficace pour influencer sur la masse de l'expédition. Il est facile, en effet, de s'appuyer sur des arguments tels que : le facteur d'échelle (il s'agit cette fois de faire atterrir des dizaines de tonnes et non les 900 kg de *Curiosity*), le niveau de performances réel de dispositifs nouveaux non maîtrisés (rétropropulsion supersonique, bouclier déployable...), ou encore les incertitudes propres aux caractéristiques de l'atmosphère martienne, pour imposer à l'architecture de mission des marges « confortables ». Or, celles-ci, par effet multiplicateur sur l'empilement des masses, ont une influence considérable sur la masse totale de la mission à assembler en orbite de parking terrestre. La démesure de la dernière mission de référence de la NASA, l'impossible « *DRA5* », avec ses 7 lanceurs lourds et ses étages à propulsion nucléaire, s'explique en grande partie par les « prescriptions » d'experts en EDL. Ainsi, la masse du bouclier aérodynamique (du type « corps portant ») devrait être chiffrée à 50 tonnes, et il conviendrait de prendre 15 % de marge sur la masse de propergol des moteurs de descente ! On comprend ainsi pourquoi la *DRA5* peut être soupçonnée de constituer un « project killer », une opération destinée à justifier la ligne politique de report sine die de l'objectif martien au profit d'un programme de développement de technologies.

L'analyse des spécialistes n'est pas à mettre en cause en elle-même. Leur clairvoyance a permis de soulever un problème qui n'avait pas été véritablement identifié ni pris en compte jusqu'alors. Par contre, ce qui est critiquable, c'est l'exploitation outrancière qui en a été faite dans le but de décrédibiliser le projet martien. L'un des plus écoutés de ces analystes, non content de gonfler les effets sur les masses, a également souligné combien il serait difficile de développer des technologies à la hauteur du problème, allant jusqu'à écrire qu'il faudrait plusieurs générations pour y parvenir ! *Ne pensez pas à Mars, ce sera l'affaire de vos arrière-petits enfants...*



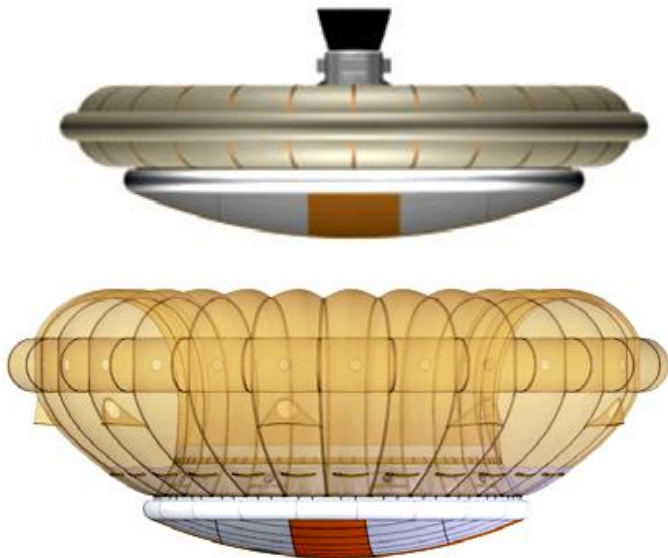
Essai en soufflerie géante, au centre Ames de la NASA, du parachute de 16 m de diamètre de *MSL*.
(doc. NASA)

Fort heureusement, l'esprit humain est rebelle ; des passionnés d'astronautique, confrontés aux obstacles de l'EDL, n'ont pas tardé à imaginer des issues. L'une d'entre elles, dont ce bulletin s'est déjà fait l'écho, a été proposée par notre collègue **Jean-Marc Salotti**, qui l'a présentée dans différents articles et symposiums professionnels : si vraiment la masse du vaisseau à faire atterrir est trop élevée, il suggère de répartir la charge utile dans deux vaisseaux plus petits.

Mais, qu'on soit conduit à cette option ou qu'on parvienne à limiter la masse de descente du vaisseau pour rendre l'EDL possible, il faut en tout état de cause : étendre les capacités des dispositifs que nous maîtrisons déjà (bouclier de freinage aérodynamique, parachutes, rétropropulsion terminale) et envisager d'introduire de nouvelles technologies telles que boucliers déployables ou gonflables (pour accroître la surface de freinage) ou dispositifs destinés à accroître la traînée (ballutes). Le report aux années 30 des missions habitées vers Mars pouvait faire craindre que ce domaine ne fasse à la NASA l'objet de travaux sérieux avant longtemps ; n'avait-on pas déclaré que ce serait de toute façon l'affaire de « plusieurs générations » ? Fort heureusement, cela n'a pas été le cas, le Jet Propulsion Laboratory (JPL) ayant récemment communiqué sur le programme qu'il avait entrepris dans ce domaine.

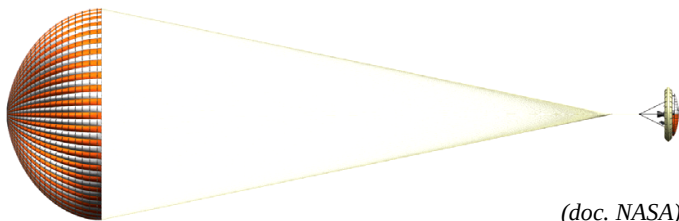
Que ce prestigieux établissement soit en charge de ce programme capital n'est pas pour surprendre. C'est à lui en effet que l'on doit les atterrissages réussis sur la Planète rouge, depuis les deux *Viking* en 1976 jusqu'à *MSL* en 2012, qui représente un record en précision et en masse de charge utile, 900 kg, contre 185 kg pour les *MER*. Pour atteindre ce niveau de performance, les ingénieurs du JPL ont dû non seulement se placer aux limites des conditions d'emploi des dispositifs déjà maîtrisés, mais innover dans de nouveaux procédés. Pour les responsables de cette phase de l'EDL, le vécu de l'opération, le soir du 5 août 2012, fut de ce fait particulièrement éprouvant, au point qu'on parlait, dans les salles du JPL, de « sept minutes de terreur » ! Eh bien, ces professionnels d'exception ont réussi ; ils ont affronté les défis, travaillé sans concessions, et brillamment atteint l'objectif, qui semblait pourtant si risqué. Il n'est pas sans intérêt de méditer cette histoire, alors que nous sommes entourés de sceptiques, parfois apparemment parmi les plus autorisés, qui s'évertuent à agiter le spectre des nombreux obstacles qui parsèment la route vers Mars...

Mais qu'a donc entrepris le JPL, propre à tuer le dragon EDL qui, dit-on, hanterait la route de Mars ? Depuis 2012, il est en charge du projet **LDSD** (*Low Density Supersonic Decelerator*, Système de décélération supersonique en atmosphère raréfiée), programme qui s'étendra jusqu'en 2015. Les finalités sont à deux niveaux : tout d'abord développer et valider des avancées technologiques en vue d'une nouvelle génération d'atterrisseurs automatiques, plus lourds et plus précis ; parallèlement, démontrer la capacité de ces systèmes à assurer l'EDL des vaisseaux d'une expédition d'exploration habitée dans les conditions de sécurité, de performance (ratio de charge utile) et de précision requises. Pour atteindre ces objectifs, les responsables se sont donnés des objectifs ambitieux, y compris d'ailleurs en termes de délai (2015). Trois matériels prototypes différents sont développés et soumis à des essais aussi représentatifs que possible des conditions réelles, sachant qu'il n'était évidemment pas envisageable de réaliser ces essais dans l'atmosphère de la planète !



Les deux prototypes de dispositifs gonflables. (doc. NASA)

Les deux premiers sont des dispositifs gonflables disposés à la périphérie du bouclier aérodynamique, en vue d'en augmenter le diamètre efficace, et donc la force de freinage (traînée). L'un deux, d'un diamètre de 6 m (pour mémoire le bouclier - solide - de MSL était voisin de 4 m), est gonflé par gaz chauds produits par réaction chimique. Ses dimensions sont représentatives de ce qu'on souhaiterait atteindre pour porter la masse des futures charges utiles robotiques à 2 ou 3 tonnes. L'autre, encore plus impressionnant, avec un diamètre de 8m, se gonfle à l'aide de prises d'air ; il préfigure la technique qui pourrait être appliquée pour des vaisseaux habités de plusieurs dizaines de tonnes, sous réserve d'accroître encore ses dimensions.



(doc. NASA)

Impensable, un parachute supersonique de plus de 30 m ?

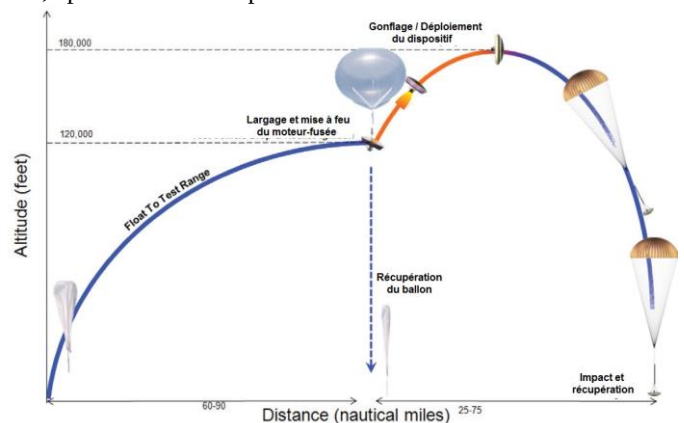
Quant au troisième prototype, il s'agit « tout simplement » d'un parachute. Mais quel parachute ! Capable de se déployer en haut supersonique (Mach 1,5 à 2), il atteint un diamètre de 33,50 m, soit plus du double de celui de MSL (15,50 m). Il y a peu encore, les sceptiques pensaient qu'avec MSL on avait atteint les limites du faisable ; le projet du JPL se propose de démontrer le contraire. Naturellement, de telles dimensions nécessitent de repenser la conception du parachute, et tout particulièrement celle de son système d'extraction, sachant qu'elles compliquent sérieusement les conditions d'essai. Ainsi n'est-il plus possible, comme cela a été pratiqué jusqu'ici, de passer à échelle 1 dans la soufflerie géante du centre NASA Ames, malgré ses proportions dignes d'une cathédrale. Pourtant, ce sont bien des essais dans des conditions aussi représentatives que possible qui, seuls, permettront de vérifier les performances attendues de ces dispositifs et de valider leur conception et leur dimensionnement. En ce qui concerne les

gonflables et des éléments du parachute, des essais en soufflerie restent possibles. Mais des essais sur chariot accéléré par fusée, permettant de tester le déploiement à des niveaux de Mach élevés, sont et seront menés de 2012 à 2014 au centre de l'US Navy de China Lake (Californie).



Essai de bouclier sur le chariot d'accélération US Navy. (doc. NASA)

Enfin, et surtout, un ambitieux programme d'essais en vol est prévu d'ici à fin 2015, à partir du Pacific Missile Range de l'US Navy, à Hawaï. Voici le scénario de ces essais : un énorme ballon stratosphérique emportera à une altitude de 37 km le prototype, placé sur une fusée à poudre. À partir de cette altitude, la fusée le propulsera jusqu'à une vitesse supersonique et à une altitude encore supérieure, de manière à le placer dans des conditions de raréfaction de l'atmosphère et de Mach représentatives pour le processus de déploiement (extraction du parachute ou gonflage). Le matériel sera ensuite récupéré en mer, après descente en parachute.



Profil des essais de déploiement en vol stratosphérique. (doc. NASA)

Ces essais sont ambitieux, car ils mettent en œuvre plusieurs systèmes dont il faut assurer et coordonner, dans des conditions de terrain, le bon fonctionnement. L'expérience montre qu'il y a souvent du déchet dans ce type de campagnes d'essai, mais la persévérance et la valeur des équipes responsables du JPL devraient permettre d'en assurer le succès. Même s'ils ne sont pas directement applicables à une mission humaine vers Mars, les résultats qui vont être acquis vont indéniablement ouvrir de nouvelles perspectives, soi-disant bouchées pour plusieurs générations, pour le développement de dispositifs capables d'une EDL d'un vaisseau de plusieurs dizaines de tonnes. Oui, avec de programme LDSO le JPL s'est vraiment attaqué à l'épouvantail EDL ; ses prestigieuses références dans ce domaine laissent augurer qu'une étape décisive sera prochainement franchie.

Richard Heidmann

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Richard Heidmann
Lê Binh San Pham, Alain Souchier.
Achévé d'imprimer : QuadriCopie 27200-Vernon.
Dépôt légal : avril 2014