



PLANÈTE MARS



Numéro 61 Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris www.planete-mars.com octobre 14

ISSN 1772-0370

EDITO

Les mises en orbite martienne des sondes américaine MAVEN et indienne Mangalyaan viennent couronner de succès la dernière fenêtre de lancement. Certes, les engins entrent seulement dans leur phase opérationnelle (avec des manœuvres délicates pour MAVEN, cf. p.7), mais le plus dur est fait. Nous nous sommes habitués aux succès répétés. Pourtant, les débuts furent durs, puis la déception des résultats biologiques des Viking en 1976 avait inauguré une traversée du désert de 20 ans. Mais nous connaissons depuis une période dorée ; l'époque des échecs répétés est oubliée et les fenêtres largement exploitées.

La prochaine verra s'élancer la sonde sismologue Insight (avec une participation française déterminante) et, de plus, le programme européen ExoMars devrait occuper le devant de la scène, avec un orbiteur et un atterrisseur expérimental, suivis en 2018 du premier rover exobiologiste. Ce dernier pourra forer jusqu'à 2 m de profondeur, une première très attendue.

Mais dès 2020 les Américains seront de retour, avec le lancement d'un jumeau de Curiosity, plus orienté exobiologie. Ce rover emportera aussi une expérience visant à démontrer le principe de la production d'oxygène à partir de l'atmosphère, un petit pas en préparation de l'expédition humaine...

Pourtant, des critiques sont adressées au programme martien de la NASA. Certains milieux scientifiques trouvent qu'une part trop belle lui est faite, aux dépens d'autres domaines. La charge récente d'un panel d'experts contre la productivité scientifique de Curiosity, jugée insuffisante en regard des attentes et du coût de la mission, est significative. Elle traduit pourtant soit une incompétence (peu probable, vu le profil des experts), soit une volonté peu objective de nuire au programme. Car enfin, le but n'est pas d'accumuler les forages, mais de les effectuer dans des endroits particulièrement intéressants, sachant de plus que le robot vient seulement d'atteindre son véritable objectif, la base du mont Sharp.

Il se peut que l'exploit brillant de l'arrivée de l'extraordinaire robot sur le sol de Mars ait fait oublier qu'il s'agissait d'une machine complexe, délicate, difficile à manier, disposant d'une énergie de 100 W seulement, et d'une lenteur bien peu médiatique dans ses déplacements comme dans ses investigations.

Ne convient-il pas de donner la priorité à la sauvegarde d'un éclairer aussi précieux ?

Richard Heidmann, vice-président

Dans ce numéro :

- Une navette Terre-Mars ? p.1
- Concours Inspiration Mars p.3
- La vie de l'association p.3
- Rechercher la vie sur Mars p.5
- MARS365 p.7
- La toile de MAVEN p.7

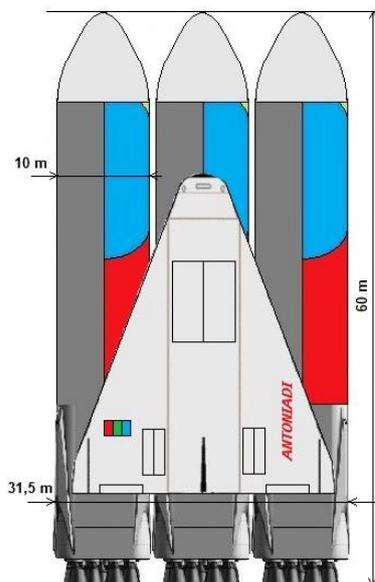
prochain numéro : janvier 2015...

UNE NAVETTE TERRE-MARS ?

Elon Musk, le fondateur de SpaceX, n'a de cesse de répéter que le but de sa société est en réalité de développer un moyen de transport Terre-Mars économique, donc réutilisable, afin d'ouvrir la voie à l'établissement de l'Homme sur notre voisine. Et, bien que ce projet n'ait fait pour l'instant l'objet d'aucune communication précise, diverses déclarations au sujet d'un énigmatique « Mars Colonization Transport » (MCT) confirment que SpaceX y travaille et permettent de se risquer à spéculer sur sa conception.

Un lanceur monumental (mais réutilisable)

Le MCT serait placé en orbite basse terrestre (LEO) par un lanceur réutilisable gigantesque, basé sur la formule trois corps du Falcon9 Heavy, mais avec des corps de 10 m de diamètre, pourvus chacun de 9 moteurs Raptor oxygène/méthane de 450 tonnes de poussée ! Des calculs approchés permettent de vérifier que cette configuration conduit bien, avec des réserves propulsives réalistes pour la récupération des trois corps, à la performance visée de 300 tonnes en LEO.



Concept d'un "MCT" entièrement réutilisable

3x9 Raptor	
poussée totale	~ 12000 T
masse décollage	~ 10000 T
masse LEO	~ 300 T
masse vers Mars	~ 100 T

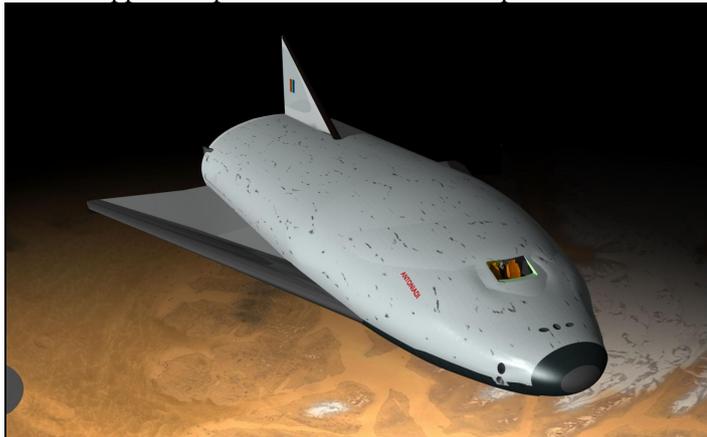
(C) APM / Richard Heidmann

Une navette multifonctions

La navette, d'une forme à mi-chemin entre celle de la Navette Spatiale et celle du projet NASA de lanceur récupérable X33, devrait être largement dimensionnée, pour permettre une phase d'entrée, descente, atterrissage (EDL) dans des conditions thermiques autorisant l'emploi d'une protection réellement réutilisable (coefficient balistique d'environ 250 kg/m² à grande incidence). Elle contribuerait à la fin de mise en LEO avant de s'élancer sur la trajectoire de transfert Terre-Mars.

Étant donnée la masse du véhicule, un système d'éjection en cas d'accident lanceur n'est pas réalisable ; les voyageurs rejoindraient donc le MCT en LEO à bord des « taxis » en cours

de développement pour l'accès à la Station Spatiale.



Tentative de représentation de la navette, en approche de Mars ; les dimensions (ici 33 m de long, 27 m d'envergure) doivent être suffisantes pour limiter la sollicitation de la protection thermique et l'ampleur du freinage final. ©R. Heidmann/APM (fond NASA)

L'idée essentielle du schéma de mission serait de **faire descendre d'orbite martienne la navette entière**. Une innovation radicale, a priori contre intuitive, qui permet non seulement de n'abandonner aucun matériel après emploi, mais d'envisager de plus d'utiliser le même vaisseau pour effectuer la rentrée finale sur Terre !

Mais attention, pour pouvoir penser à ce scénario inouï, il faut imaginer avoir implanté sur Mars les équipements permettant, à partir du gaz carbonique atmosphérique et de l'eau présente dans le régolite, de produire les ergols de retour (CH_4/O_2 , plus de 400 T par vol). On peut prévoir de déposer en mode automatique ces équipements à l'aide d'un lanceur tel que le Falcon9 Heavy (53 T en LEO, 15 T vers Mars, 5 T de charge utile déposée). Par contre, leur déploiement opérationnel en dehors d'une présence humaine minimale sera difficile à assurer.

Scénario de mission

On imagine le scénario suivant.

1-Lors de la fenêtre de tir précédente, 3 ou 4 lancements automatiques de la classe 50 T en LEO, capables de délivrer 5-6 T de Charge Utile (CU) sur Mars (Falcon9 Heavy ou équivalent) déposent les équipements nécessaires à la production et au stockage des ergols de retour in situ.

2-La mission proprement dite commence par la mise en orbite terrestre basse, sans équipage, d'une navette martienne MCT d'une centaine de T (charge utile cargo incluse), emportant dans ses réservoirs environ 210 T de propergol qui permettront l'injection sur l'orbite de transfert. Cette navette a fait office de 3^{ème} étage du lanceur, en consommant 200 T (à la manière du 3^{ème} étage de la Saturn 5) ; sa charge au décollage est donc d'environ 400 T de propergol.

3-Peu après, les voyageurs rejoignent le MCT, à l'aide d'un ou plusieurs lancements du type Falcon9 + Dragon2 (7 passagers par capsule).

4-Les moteurs du MCT, adaptés au vide, injectent la navette en transfert, qui dure environ 6 mois, sur une orbite « de libre retour ».

5-A l'arrivée sur Mars, un manœuvre d'aérocapture permet la mise en orbite elliptique du MCT, corps portant dimensionné pour rendre le flux et la charge thermiques supportables par une protection thermique totalement réutilisable sans maintenance. L'apoastre est ensuite abaissé à l'aide d'une ou

plusieurs manœuvres d'aérofreinage.

6-La phase d'entrée, descente, atterrissage (EDL) se produit ensuite. Le freinage propulsif final (500 m/s plus pertes) est assuré par les 4 moteurs de la navette, utilisant CH_4/O_2 et logés dans 4 trappes ventrales situées le plus possible à l'écart de l'axe du véhicule et avec les tuyères désaxées vers l'extérieur, pour minimiser les risques de projections. La navette se pose en position horizontale, afin de faciliter le déchargement du fret. Le train tricycle utilisé pour le posé est le même qui sera utilisé pour l'atterrissage final sur Terre.

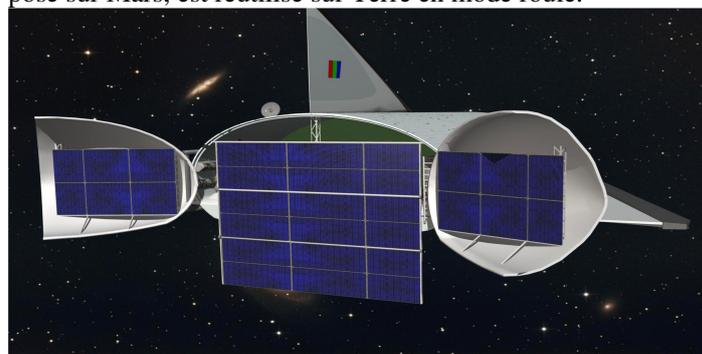
7-En temps utile, la navette est avitaillée en ergols par la station de production-stockage in situ.

8-A la fin du séjour de 18 mois, pour le décollage, les moteurs assurent la remontée en orbite, dans une attitude « à plat » imposée par leur implantation ventrale, peu conventionnelle mais permise par la faible densité de l'atmosphère.

9-Puis les moteurs assurent finalement l'injection sur l'orbite de transfert Mars-Terre. Le dimensionnement des réservoirs résultant des besoins de la phase aller (fin de mise en LEO et injection sur l'orbite de transfert), soit 420 T, permet de se placer sur une trajectoire de retour plus rapide (de l'ordre de 6 mois) que la trajectoire « économique » de Hohmann.

10-A l'arrivée dans le domaine terrestre, une première manœuvre, d'aérocapture, place le MCT sur une orbite très elliptique, minimisant la charge thermique, dimensionnante du fait de la vitesse de rentrée élevée. Puis, après dissipation de cette charge, une ou plusieurs manœuvres d'aérofreinage permettent de circulariser l'orbite. Enfin se produit la rentrée, sur un mode voisin de celui de la Navette Spatiale.

11-L'atterrissage est également analogue à celui du Shuttle, éventuellement avec une vitesse légèrement supérieure en fonction des caractéristiques aérodynamiques, optimisées ici pour l'obtention des meilleures conditions de freinage martien (finesse, coefficient balistique). Le train, déjà utilisé en mode posé sur Mars, est réutilisé sur Terre en mode roulé.



Durant les transferts interplanétaires, la navette produira son énergie à l'aide de panneaux solaires, ici représentés déployés dans la partie arrière du fuselage, dont le carénage a été ouvert à cette fin. Sur Mars, le panneau central ne serait normalement pas déployé, laissant accès aux soutes cargo non pressurisées. Mais cet ensemble pourrait aussi servir de source de secours en cas d'indisponibilité de la source nucléaire installée sur la planète. © R. Heidmann/APM

Révolution conceptuelle ou utopie ?

Ce concept constitue une véritable révolution conceptuelle, dans la mesure où il prétend remplacer la multitude de vaisseaux consommables et la complexité de mise en œuvre de l'architecture de mission classique par un système mono-vaisseau mis en orbite en un seul lancement, le tout étant réutilisable. C'est réellement la proposition d'une navette Terre-

Mars-Terre, avec une capacité de charge utile probablement de l'ordre d'une vingtaine de tonnes !

Le projet de SpaceX pourrait s'avérer en fin de compte assez différent de celui que nous avons supposé... Mais cette réflexion nous aura en tout cas permis de juger qu'une telle navette n'est pas un concept utopique. Il n'en demeure pas moins qu'un certain nombre de problèmes se posent ; principalement :

-la taille du lanceur (12000 tonnes de poussée, soit 3,4 fois celle de la Saturn 5 lunaire) soulève la question d'un pas de tir adapté et de son emplacement ;

-la mise en œuvre opérationnelle à la surface de Mars d'une unité de production de propergol d'une capacité de plus de 200 tonnes/an est en soi un défi technique, la difficulté résidant essentiellement au niveau de la fiabilité requise ;

-la phase d'EDL est critique, dans la mesure où une solution de secours en cas d'incident, particulièrement au niveau de la propulsion et du pilotage en freinage final, resterait à trouver (mais c'est aussi le cas des conceptions classiques).

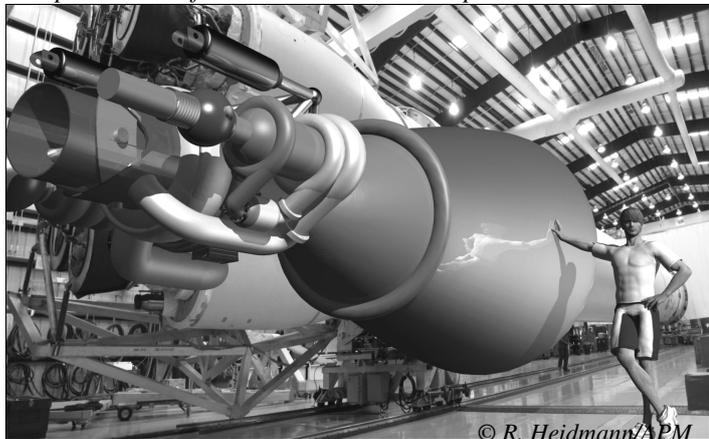
Quel contexte programmatique ?

Reste à se convaincre qu'une entreprise aussi ambitieuse puisse effectivement être endossée par un décideur visionnaire, capable de mobiliser les ressources financières, et être menée à bien par une organisation suffisamment galvanisée...

Au vu des décennies passées, on peut douter en tout état de cause que cela advienne dans le strict cadre des instances officielles. Par ailleurs, qu'un acteur privé - mécène, association ou entreprise - en soit capable a jusqu'à présent été considéré du domaine de l'utopie. La percée de SpaceX et le succès des autres entreprises créées par Elon Musk (Zip2, PayPal, Tesla Motors, SolarCity) devraient néanmoins conduire les plus sceptiques à être moins catégoriques, et les plus enthousiastes à bien comprendre les raisons de fonder des espoirs sur cette initiative étonnante.

Richard Heidmann

Nota : les lecteurs qui auraient eu l'occasion de consulter les précédents articles sur notre site Internet auront pu remarquer que le moteur principal de la navette, un Raptor, a disparu... En effet, les 4 moteurs ventraux, nécessaires pour les manœuvres d'atterrissage et de décollage en position horizontale, suffisent, moyennant un léger accroissement de poussée, à assurer toutes les manœuvres de la mission. Dans cette configuration, l'ascension en orbite martienne doit se faire « à plat » (et non pas dans l'axe du véhicule), mais ceci doit rester acceptable vu la faible densité de l'atmosphère.



© R. Heidmann/APM

Prototype du Raptor dans les ateliers de SpaceX. Il s'agit naturellement d'une fiction, très peu de détails ayant circulé sur les caractéristiques du moteur et sur son état d'avancement.

CONCOURS INSPIRATION MARS

A l'occasion du congrès annuel de la Mars Society, qui se tenait cette année à Houston (Texas), les prix du concours étudiants sur la conception de la mission « *Inspiration Mars* » ont été remis par Robert Zubrin, à l'initiative du concours, et Dennis Tito, initiateur du projet. L'équipe gagnante est une équipe japonaise (et Univ. Purdue), dont le travail de grande qualité a enthousiasmé le jury par sa profondeur et le professionnalisme de l'analyse. L'équipe empoche donc le premier prix de 10000 \$ offert par la Mars Society. Quatre autres contributions ont été distinguées, parmi 10 finalistes sur un total de 38, nombre qui démontre l'enthousiasme soulevé par le projet de Dennis Tito.



L'équipe gagnante, avec R. Zubrin et D. Tito, à droite. (doc. TMS)

LA VIE DE L'ASSOCIATION

A titre professionnel, **Alain Souchier** a assisté du 4 au 7 août, à San Diego, au congrès Space 2014, où la NASA a fait le point sur ses projets d'exploration. Trois comptes rendus ont été publiés sur le site avec, en particulier un reportage sur l'exposition associée au congrès.

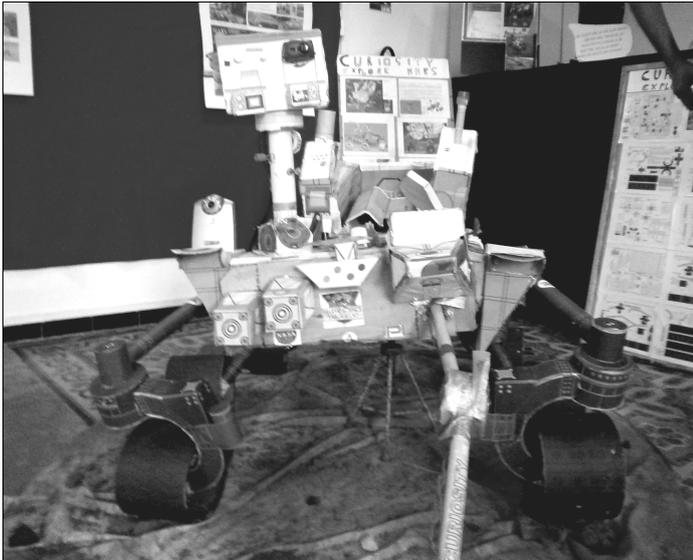
Armande Zamora, Patrick Sibon et leur fille Maurine ont tenu un stand lors de la journée spatiale d'Auriol, le 13 septembre. Les enfants ont pu construire une base martienne sous l'œil des parents. Ils pouvaient aussi réaliser des cratères martiens par des impacts dans un sol meuble composé d'une couche de farine surmontée d'une couche d'ocre. La maquette de Curiosity « Curio », réalisée l'an dernier par les élèves de l'école de la Barasse, faisait partie de l'exposition. Et un scaphandre de simulation a été essayé par de nombreuses personnes. Notre stand a reçu la visite de l'astronaute Brian Duffy.



L'installation « Planète Mars » avec, à gauche, la base martienne à construire, précédée des premières étapes de l'exploration robotique martienne et, au centre, le rover « Curio ». (doc.A. Zamora/P.Sibon)



La base martienne à construire. (doc. A. Zamora/P. Sibon)



« Curio », la maquette de rover réalisée par les élèves de l'école de la Barasse l'année dernière. (doc. A. Zamora/P. Sibon)

Du 5 au 7 septembre, **Stephan Gerard** a représenté l'association lors du congrès européen de la Mars Society, EMC14, organisé par la Mars Society polonaise à Kielce, en même temps que le 1^{er} concours européen de rovers. EMC14 a réuni 161 participants venant de Pologne, des États-unis, de Suède, d'Allemagne, d'Espagne et de France, en présence de Robert Zubrin, président de la Mars Society. Scott Hubbard, ancien directeur du centre AMES de la NASA (2002-2006) en Californie, mais également premier directeur du programme martien de la NASA, a fait une présentation sur le thème : « Exploring Mars: Past, Present and Future ».



Robert Zubrin (centre gauche) lors de la remise du prix URC.

(doc. S. Gerard/APM)

Jean-Marc Salotti est intervenu le 18 septembre au collège Jules Ferry de Mérignac pour parler des voyages vers Mars. Il a donné trois conférences (dont l'une en anglais) à des classes de 4^{ème} pour préparer les élèves à une émission radio dans les semaines suivantes ainsi qu'à des activités ultérieures des élèves dans le cadre de leur scolarité. A titre professionnel, **Jean-Marc Salotti** a assisté au congrès d'astronautique à Toronto du 29 septembre au 3 octobre. Il a ainsi participé à nouveau aux activités du groupe de 45 experts de l'Académie Internationale d'Astronautique qui travaille sur le thème des missions martiennes abordables, auquel participent **5 autres membres** de l'association.

A l'occasion de la fête de la Science, **Liam Fauchard** a organisé 4 jours de manifestation « Mars en Octobre » à la MJC Sterenn de Tregunc, du 3 au 6 octobre, avec exposition, conférences et projection de films. **Jean-François Pellerin** et **Alain**

Souchier sont intervenus chacun deux fois lors de cet événement, qui a compté 635 visiteurs. L'exposition se déplace maintenant dans la localité voisine de Clohars Carnoët pour le mois de novembre.



190 personnes lors de la conférence de Jean-François Pellerin le 6 octobre. (doc. A. Souchier)



Liam Fauchard, organisateur de la manifestation, et une hardie testeuse de scaphandre. (doc. A. Souchier)



L'exposition a fait l'objet d'explications auprès des scolaires en visite ; l'essai des casques des scaphandres de simulation rencontrant un vif succès comme d'habitude. (doc. A. Souchier)

Également à l'occasion de la fête de la Science, **Alain Souchier** a présenté « L'exploration de Mars » le 10 octobre au collège Ariane de Vernon et le 11 à l'université de Caen.

Enfin **Boris Segret** poursuit avec dynamisme le projet de Cubesat Birdy, qui aura pour objectif de mesurer l'environnement radiatif sur un trajet Terre-Mars-Terre, après un lancement en passager d'une autre mission martienne.

Alain Souchier

RECHERCHER LA VIE SUR MARS

Comme chacun sait, un des motifs principaux de l'exploration de Mars est la recherche de la vie.

Il s'agit de savoir si ce phénomène extraordinaire a pu se produire ailleurs que sur Terre. Parmi tous les astres accessibles, Mars est le candidat préféré des chercheurs car il est celui qui au début de son histoire et sur une période longue, jusqu'à ce que la vie se manifeste sur Terre, a été le plus semblable à la Terre (chaleur interne, dynamo interne et magnétosphère, volcanisme, eau liquide en surface, hydratation de roches identiques, cycle circadien de même durée, irradiance solaire et radiations reçues en surface d'intensités comparables).

Que peut-on espérer trouver ?

D'abord il faut noter que l'espace interplanétaire contient un nombre important de molécules organiques, plus de 150 identifiées ce jour dont 50 relativement complexes (> 6 atomes de C) et certaines utilisables par la vie : acide formique (HCOOH) ; acide cyanhydrique (HCN) ; formaldéhyde (HCHO) ; sucres polyols (glycol) ; certains acides aminés. Ces molécules qui logiquement ont dû être les sources exogènes de notre vie, sont contenues dans des météorites dites chondrites carbonées, qui pleuvent sur la Terre depuis sa création. Il est évident que la même « pluie » a apporté sur Mars les mêmes éléments puisque les deux planètes sont dans la même région du système solaire.



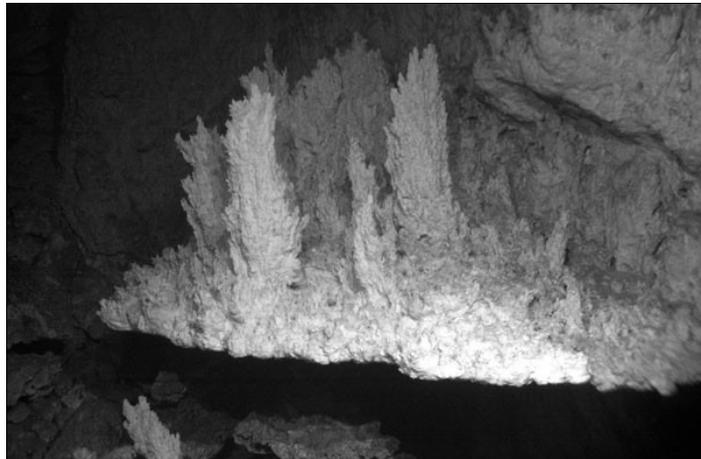
La météorite de Murchison, exemple d'une source exogène potentielle de la vie. (doc. A. Souchier)

Complexification et incubateurs

Qu'est-il arrivé par la suite ? Nous le savons bien en ce qui concerne la Terre. Elle a été un incubateur efficace pour complexifier ces molécules et aussi pour mener vers ce même niveau de complexité la transformation chimique (source endogène) des éléments chimiques dont le sol et l'atmosphère étaient riches (les fameux éléments C, H, O, N, P, Ca ainsi que, en plus faible quantité, S, Na, K, Mn, Fe et Cl que l'on trouve dans tous les organismes vivants).

Cette complexification s'est effectuée progressivement et a été poussée sur Terre aussi loin que nécessaire, dans des molécules de plus en plus différenciées et longues (polymérisation), jusqu'à ce que certaines de ces macromolécules (polynucléotides, polypeptides, polysaccharides) se retrouvent assemblées fon-

ctionnellement au sein d'organismes capables d'utiliser l'énergie potentielle existant dans leur environnement (couples redox divers présents dans les minéraux) pour stocker puis utiliser à l'intérieur d'elles-mêmes (molécules d'AMP/ADP/ATP) l'énergie nécessaire au maintien de leur composants et à leur autoreproduction. Ce stade, celui de l'être vivant, a été atteint il y a au moins 3,5 milliards d'années sur Terre, soit un milliard d'années après que la Terre et Mars aient été formées.



Cheminées hydrothermales de Lost City, exemple de source endogène potentielle de la vie. (doc. Philippe Schmidt-Kopplin)

On s'interroge encore sur l(es) « incubateur(s) », tout en ayant sur le sujet des idées de plus en plus précises. Certaines cheminées hydrothermales des dorsales océaniques (circulation de fluides chauds, mais pas trop, et riches en minéraux, au sein de milieux microporeux) auraient favorisé la création d'hydrocarbures variés et d'acides gras. Des écoulements en milieu aride sur certains types de roche (serpentinites), à partir de sources hydrothermales, auraient facilité la formation de riboses. Des chocs météoritiques et de fortes radiations en surface dans une atmosphère réductrice (il n'y avait pas d'oxygène libre dans l'atmosphère de la Terre primitive mais beaucoup de gaz carbonique et de soufre, tout comme dans l'atmosphère de Mars) auraient permis la formation de sucres, d'acides aminés, d'acides nucléiques. Chacun de ces incubateurs a pu apporter sa contribution à l'évolution prébiotique. Ensuite certains de ces milieux, les mêmes ou d'autres, tels que les zones de balancement des marées, furent particulièrement favorables à l'assemblage des éléments au sein de microcapsules phospholipidiques (micelles, coacervats).

Il a peut-être fallu une « collaboration » de milieux différents et dont l'ensemble était spécifique à la Terre pour qu'en fin de compte le processus aboutisse à la vie. Mars, qui a connu l'eau liquide en surface mais pendant moins longtemps que la Terre et dont l'environnement a été aussi un peu différent (températures plus fraîches, environnement plus sec, absence de marée, absence ou disparition précoce de la tectonique des plaques, disparition précoce d'une grande partie de l'atmosphère) peut nous apporter des réponses à ce qu'ont été les conditions et les phases essentielles, en nous montrant jusqu'où l'évolution prébiotique y a été menée.

Le saut entre inerte et vivant

Attention cependant : le saut entre le prébiotique et le vivant reste un mystère que l'on n'a pu élucider dans aucune étude ni aucun laboratoire. Sur Mars, la vie ou le cheminement vers la

vie de la chimie prébiotique a pu, ou non, franchir ce seuil. Il a pu aussi le franchir puis s'arrêter compte tenu de conditions devenues trop hostiles. Ou encore il a pu commencer en surface puis se réfugier dans le sous-sol. Là encore, il a pu s'adapter puis s'éteindre après avoir péniblement continué quelque temps sous forme ralentie puis dormante. Cette évolution avortée ou stoppée est ce que l'absence de rejets métaboliques clairement identifiables laisse entrevoir.

Le rôle du temps

Il faut noter que le temps a pu jouer un rôle important. On ne sait pas s'il a été suffisamment long sur Mars, toutes les autres conditions étant remplies, pour que le processus prébiotique commence et aboutisse (on suppose a priori que quelques millions d'années sont nécessaires). On ne sait pas non plus si la maturation prébiotique a été coordonnée adéquatement avec l'évolution planétologique de l'astre. Les émanations des cheminées hydrothermales océaniques terrestres ou les zones de balancement des marées ne produisent plus de nouvelles variétés d'êtres vivants (peut-être à cause de la vie elle-même et de ses rejets, notamment d'oxygène). Il n'y a pas eu d'autres LUCA que le nôtre (Last Universal Common Ancestor dont l'existence est déduite par la phylogénie moléculaire de la molécule 16SrRNA commune à tous les êtres vivants), même si LUCA a pu avoir des frères et des cousins à son époque primitive (dont la descendance a disparu depuis longtemps). Les conditions ayant permis l'émergence de la vie sur Terre (environnement réducteur, températures,...) n'existent plus à notre époque et la période pendant laquelle l'évolution prébiotique et l'évolution planétologique ont permis « l'allumage » de la vie a pu être très court. On ne sait pas ce qu'il en a été sur Terre et on ne sait pas du tout ce qu'il en a été sur Mars. Les modalités d'évolution des conditions environnementales ont pu également jouer. Stephen Benner a mis en évidence qu'il a fallu des alternances d'humidité et de sécheresse pour d'une part permettre la formation de certaines molécules organiques et d'autre part éviter qu'elles ne se transforment simplement en goudron en restant trop exposées à l'eau (actions des molybdates sur les glucides pour favoriser la création de ribose ; action des borates sur les hydrates de carbone pour empêcher la décomposition des molécules organiques). Curieusement d'ailleurs Stephen Benner en déduit que puisque l'alternance entre phases sèches et humides semble avoir été plus probable sur Mars que sur Terre (la Terre étant vers -4 milliards probablement recouverte d'un océan global), la vie aurait pu commencer sur Mars pour être ensuite transportée sur Terre par des météorites (auquel cas il pourrait n'y avoir qu'un seul LUCA et la vie martienne serait de la même « famille » que la nôtre).

La difficulté de l'identification

Aujourd'hui la difficulté peut être d'identifier ce que l'on cherche. Nous connaissons un seul chemin de la vie, le nôtre qui, depuis LUCA, a conduit jusqu'à nous. Mais si on met de côté l'hypothèse de Stephen Benner, Mars a pu avoir son propre LUCA ou même, compte tenu de l'absence possible d'un océan global suffisamment étendu (permettant la dispersion et l'homogénéisation des molécules puis des cellules), plusieurs LUCA qui se seraient construits sur des molécules dont les composants, certes organiques, seraient néanmoins légèrement différents des nôtres (acides nucléiques différents, protéines utilisées différentes, sucres de même familles que nos riboses

mais selon des variantes que nous n'utilisons pas). Ces organismes pourraient ne pas réagir aux réactifs qui permettent d'identifier les nôtres.

Si le processus de vie a commencé sur Mars parallèlement à la Terre et s'il a évolué, quel stade de développement a-t-il pu atteindre ? Tout d'abord, compte tenu de l'hostilité de l'environnement de surface martien et l'absence de rejet métabolique manifeste, on peut douter qu'il se soit poursuivi longtemps à ce niveau. Peut-être a-t-il commencé en surface pour ensuite se continuer en sous-sol dans des conditions de températures, d'humidité et de radiations plus favorable. Des grottes ont pu même faciliter le développement d'organismes relativement complexes. Mais les grottes restent par définition des endroits favorisant peu les échanges et les enrichissements. Même donc dans le meilleur des cas, les hypothétiques « martiens » n'ont probablement pas atteint le niveau des eucaryotes terrestres, organismes à noyau et à organites (tels que les mitochondries) fonctionnant sur le déséquilibre énergétique « riche » que les eucaryotes privilégient : du carbone brûlant dans de l'oxygène. Il faut plutôt rechercher une vie de type procaryote : des organismes à structure interne peu différenciée et « faisant feu de tout bois », c'est-à-dire maximisant leur surface active par rapport à leur volume et pouvant utiliser les différentiels redox les moins générateurs d'énergie et les plus variés, donc de type archée plutôt que de type bactérie.

Le temps a pu sinon effacer du moins déformer considérablement les traces. Pour les identifier, les taphonomistes (spécialistes qui étudient les processus de fossilisation) devront se donner beaucoup de mal. La détérioration de l'environnement favorable à la vie en surface (omniprésence des perchlorates, intensité des radiations, UV, SPE -Solar Particle Event- et galactiques) ont pu aussi faciliter la destruction des molécules biotiques. Il faut donc envisager toutes sortes de stratégies indirectes pour identifier des indices. Ce peut-être la proportion réduite de l'isotope 13 de l'élément carbone dans des structures biomorphes (comme on a pu le déceler dans des météorites martiennes recueillies sur Terre) ; l'isotope 12 est en effet préféré par la vie. Ce peut être l'identification d'un choix de chiralité dans des molécules organiques (énantiomères) appartenant à de tels biomorphes. Sur Terre tous les êtres vivants utilisent des molécules organiques à chiralité gauche (« lévogyre »). On pourrait donc les rechercher sur Mars. Les « martiens » pourraient théoriquement aussi utiliser les chiralités droites (« dextrogyres ») mais certainement pas les deux car la vie exclut l'utilisation indifférenciée des énantiomères qui conduirait à des structures alternatives beaucoup trop complexes.

A défaut d'indices forts, évidents, peu probables, on se trouvera sans doute face à une conjonction d'indices faibles qui ensemble pourront réduire considérablement nos doutes. Imaginons que dans un terrain argileux ancien (> de 3,5 milliards d'années) susceptible de servir de support à la vie et ensuite de la conserver relativement mieux que d'autres roches, on trouve des biomorphes du type de ceux qu'on a trouvés dans les météorites d'origine martienne Nakla ou Yamato. Imaginons qu'ensuite à l'examen par le laboratoire SAM de Curiosity, ce biomorphe s'avère particulièrement riche en carbone ¹²C, qu'on y identifie des énantiomères et que ceux-ci soit tous de la même chiralité, on aurait fait un saut énorme vers

l'identification de fossiles martiens.

Nos capacités technologiques

Les instruments actuellement sur Mars nous permettent-ils de telles découvertes ? Visuellement cela sera difficile car la taille idéale (le meilleur rapport entre volume et surface, compte tenu d'une complexification interne minimum) de tels êtres vivants primitifs doit se situer entre 100 nanomètres et un ou deux microns. En dessous de 100 nanomètres le volume interne d'une cellule peut difficilement abriter suffisamment de molécules diversifiées nécessaires à la vie et la pauvreté de l'environnement martien n'a pas dû permettre le développement d'êtres plus volumineux qu'un ou deux microns. La faculté de discernement de la caméra MAHLI de Curiosity s'arrête à 12,5 microns, donc bien au-dessus de la taille de probables fossiles. Reste donc l'analyse chimique. Le chromatographe en phase gazeuse de SAM permet l'identification des isotopes de carbone ainsi que la chiralité des molécules. Par ailleurs, la vie étant grégaire et symbiotique, le rover pourrait « tomber » sur des sites particulièrement riches en caractéristiques biotiques (films microbiens) même si ces caractéristiques ne pourraient être réduites visuellement à des fossiles identifiables. Cette accumulation faciliterait évidemment l'identification chimique.



Forage de Curiosity (« Confidence Hills ») dans la couche de roches hydratées sous-jacente au Mont Sharp. (doc. NASA/JPL-CalTech)

Il reste donc possible que Curiosity nous fasse avancer vers l'identification de traces de vie, en attendant que des instruments plus puissants et plus précis puissent être envoyés sur Mars, et surtout des instruments qui permettent de faire des prélèvements à quelques mètres en sous-sol, au-delà de la pénétration de l'essentiel des radiations et en dessous de la limite où l'eau liquide devient instable. La présence de l'homme sur place faciliterait évidemment beaucoup l'utilisation intelligente et efficace de ces instruments.

Pierre Brisson

Références :

“Life : past, present and future”, Kenneth H. Nealson & Pamela G. Conrad, *The Royal Society, Lond. B* (1999) 354, 1923-1939.

“Habitability on Mars from a microbial point of view”, Frances Westall and al. in *Astrobiology* (Mary Ann Liebert Inc), Vol. 13, Number 9, 2013, DOI: 10.1089/ast.2013.1000.

« La vie est-elle universelle? » A. Brack, 2003, EDP Sciences .

MARS365



La Mars Society a rendu publique la liste des membres d'équipage pré-sélectionnés pour la mission de simulation d'un an « MARS365 » sur sa base FMARS du grand Nord canadien, qui devrait se dérouler à partir de l'été 2015.

Trois équipages de sept membres (6 plus un remplaçant) sont constitués ; ils effectueront chacun une mission préparatoire de deux semaines dans la base MDRS de l'Utah, en vue de la sélection finale. Parmi les candidats retenus, nous avons la grande satisfaction de compter un de nos membres, **Alexandre Mangeot**, que nous félicitons pour sa détermination à s'embarquer dans ce qui promet d'être une grande aventure, et à qui nous souhaitons bonne chance pour la sélection ultime. Rappelons que l'association a financé l'un des trois générateurs assurant la sécurité de l'approvisionnement électrique de la base. Alexandre Mangeot a déjà participé à une mission MDRS, en 2012.



« Cette mission constitue l'un des efforts actuels les plus importants en vue de l'expansion multiplanétaire de l'Humanité ».

(Dr Chris McCay, planétologue de la NASA)

LA TOILE DE MAVEN

Le 21 septembre les équipes qui dirigent à partir de la Terre la sonde MAVEN (cf. le n°57 de ce bulletin) ont entrepris le délicat processus de sa mise en orbite opérationnelle autour de Mars. Cette manœuvre va probablement mettre en évidence une nouvelle fois la maîtrise extraordinaire de la NASA en astronautique et, si elle réussit (début des opérations prévu le 8 novembre), va permettre d'acquérir une quantité d'observations considérable concernant la vie présente et passée de la planète ainsi que ses perspectives d'évolution.

Une orbite très complexe

MAVEN (809 kg sans ergols) sera positionné sur une orbite excentrique, de 6.000 km à 150 km d'altitude (Mars a un diamètre de 6.778 km) avec cinq incursions à 125 km, car il s'agit d'étudier en détail les diverses couches de la haute atmosphère (exosphère) de la planète, qui est son interface avec l'espace interplanétaire. Le satellite, dont l'orbite sera inclinée de 75° par rapport à l'équateur martien, sera légèrement en précession, en termes de latitude et en termes d'heure solaire locale, afin de couvrir les mêmes zones à différentes heures et de pouvoir ainsi, à l'intérieur de cette exosphère, étudier l'évolution de l'ionosphère dans toute sa complexité. MAVEN tissera ensuite sa toile pendant au moins une année martienne (deux années terrestres).

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Richard Heidmann, Alain Souchier. **Achévé d'imprimer :** QuadriCopie 27200-Vernon
Dépôt légal : octobre 2014

Pour explorer une zone elle-même complexe et mouvante

L'ionosphère se gonfle sous le rayonnement solaire et se rétracte pendant la nuit en même temps que son contenant, l'exosphère, est soumise à la compression (onde de choc) que cause la confrontation du déplacement à grande vitesse de la planète sur son orbite (21 à 24 km/s) et du vent solaire (400 à 800 km/s). Compte tenu de cette confrontation, la structure de l'environnement magnétique et gazeux de la planète Mars (comme celui des autres planètes) se présente comme celui d'une comète : une bulle se prolongeant par une très longue queue à l'opposé du soleil.

L'onde de choc, située à 2.400 km de la surface, protège quelque peu les gaz de l'atmosphère en déviant ou ralentissant les particules qui la heurtent. Sous cette première ombrelle percée, on peut en distinguer plusieurs autres, notamment la Magnetic Pile-up Boundary puis la Photo-Electron Boundary (« PEB »), qui déterminent plusieurs zones de compositions plasmatiques différentes en fonction de champs magnétiques différents. La PEB se situe entre 500 et 250 km et contient l'essentiel de l'ionosphère.

L'atmosphère, expression fine de la nature de la planète

L'enveloppe de gaz qui entoure une planète en constitue une véritable carte d'identité car elle est l'expression des très nombreux facteurs qui la définissent : sa masse (force de gravité), sa position par rapport au soleil (intensité du rayonnement reçu) mais aussi sa composition interne (nature des gaz rejetés ou subsistants), la communication surface/sous-sol (structure interne et volcanisme) et son histoire (composition isotopique des gaz).

Les isotopes les plus lourds, donc les moins volatils, sont en effet ceux qui montent le moins dans l'atmosphère et sont les plus susceptibles d'y persister. Les gaz les moins sensibles aux fluctuations de température et les plus inertes chimiquement, notamment l'argon et l'azote, sont aussi ceux qui évoluent le moins. En examinant les proportions respectives des uns et des autres (et en les comparant aux inclusions de gaz dans les météorites identifiées comme martiennes), on peut extrapoler des situations anciennes. Étudier le rythme de pertes aujourd'hui pour ces différents éléments va permettre d'affiner les théories sur l'histoire passée de Mars et sur ses perspectives.

Des points qui vont être confirmés, éclaircis ou précisés

Pour l'instant, il semble que l'essentiel de l'atmosphère actuelle soit d'origine volcanique (dégazage) et de seconde

génération. Elle ne remonterait qu'à 3,5 milliards d'années, sur une histoire de 4,5 milliards d'années. Cela s'explique par la perte rapide de la première enveloppe atmosphérique (qui a pu être semblable à celle de la Terre à ses débuts) compte tenu de la faible gravité de Mars, de la disparition rapide de sa magnétosphère propre et de l'environnement particulièrement hostile du début de l'histoire de notre système solaire (activité solaire plus irrégulière avec de très fortes éjections de matières coronales).

Malgré l'abondance du dégazage résultant du volcanisme, surtout pendant l'Hespérien, après le Grand Bombardement Tardif (LHB), la pression n'a jamais dû remonter à plus de 50 millibars (mais peut-être avec un fort effet de serre compte tenu notamment de sa teneur en soufre). Comme depuis de nombreuses dizaines de millions d'années la contribution du volcanisme est extrêmement faible, les pertes de gaz atmosphériques doivent être depuis longtemps des pertes nettes. Il est évidemment important de connaître leur rythme actuel et le volume résultant de chaque cause de pertes pour connaître les perspectives d'évolution.

Une très belle mission scientifique

L'intérêt de MAVEN est de permettre de donner des réponses plus précises que celles qui ont été déduites auparavant des observations au sol ou de celles effectuées par les satellites Mars Global Surveyor et Mars Express, circulant sur une orbite dans un plan unique, loin du sol et moins bien équipés en instruments spécifiques. Ce sera la tâche des trois groupes d'instruments embarqués (conception NASA / Univ.Berkeley / Univ.Colorado / IRAP Toulouse) : le « PFB » donnera les caractéristiques du vent solaire et de l'ionosphère ; le « RSP » déterminera les caractéristiques de l'exosphère et de l'ionosphère et le « NGIMS » mesurera la composition et les isotopes des molécules neutres et des ions.

Nous sommes au-delà des capacités scientifiques du satellite indien Mangalyaan dont l'objet principal, l'étude du méthane de l'atmosphère, apparaît de plus quelque peu « décalé ». Curiosity a permis en effet de remettre en cause la « détection » de ce gaz en 2009, qui résulterait d'une mauvaise interprétation de données peu claires recueillies par des instruments en orbite et sur Terre. La réussite de la sonde indienne n'en reste pas moins un exploit technique significatif quant au savoir-faire et à la volonté de participation à l'exploration spatiale de l'Inde.

Pierre Brisson

