



# PLANÈTE MARS



Numéro 54 *Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris* [www.planete-mars.com](http://www.planete-mars.com)

janvier 13

ISSN 1772-0370

## ÉDITO : L'EXPLORATION ROBOTIQUE RELANÇÉE

Peu avant l'atterrissage de Curiosity le futur de l'exploration martienne n'apparaissait pas brillant. La NASA s'était retirée du projet européen ExoMars, obligeant l'ESA à se tourner vers la Russie, et le budget de la part européenne n'était pas bouclé. La NASA avait aussi décidé que Curiosity donnerait assez de travail aux scientifiques pour que l'on puisse reporter les missions suivantes et faire des économies (en particulier à cause des surcoûts du James Webb Telescope). Seule restait la mission Maven, orbiteur lancé fin 2013, qui doit se placer sur une orbite 150/6200 km autour de Mars en septembre 2014 pour analyser les mécanismes de perte de l'atmosphère.

Bien sûr de nombreuses voix, dont celle de la Mars Society, s'étaient élevées contre cet arrêt des missions. En juin, le Lunar and Planetary Institute avait rassemblé, à Houston, les spécialistes mondiaux de Mars pour redéfinir une stratégie d'exploration. Présélectionnée en mai 2011, la mission InSight est définitivement adoptée en août 2012. InSight, atterrisseur développé sur l'architecture de Phoenix, comportera un sismomètre et une sonde de mesure de température qui s'enfoncera à 5 m dans le sol pour mesurer le flux thermique provenant de l'intérieur de Mars. En effet l'augmentation de température en fonction de la profondeur n'est pas encore connue. Elle doit entraîner, à une certaine distance de la surface, la présence d'eau liquide (du moins là où il y a de la glace). Atterrissage prévu en septembre 2016 dans une zone équatoriale, pour une mission d'au moins deux ans.

Et début décembre la NASA annonçait une mission Curiosity 2 pour 2020, avec un véhicule directement dérivé du rover actuellement en opération sur Mars.

Le 20 et 21 novembre, le conseil de l'ESA au niveau ministériel débloquent le budget pour ExoMars. Ainsi est couverte la première mission qui prévoit, en 2016, un orbiteur chargé d'étudier l'atmosphère (le méthane en particulier) et un atterrisseur fixe. La deuxième mission, en 2018, comporte un orbiteur et un rover équipé pour la recherche de la vie jusqu'à 2 m de profondeur. L'accord avec la Russie, couvrant les lancements, la fourniture d'instruments et du module d'atterrissage du rover, avait été signé juste avant, le 19 novembre. Et finalement la NASA fournira aussi des instruments. C'est bien reparti.

**Alain Souchier**

*Président de l'association planète Mars*

### Dans ce numéro :

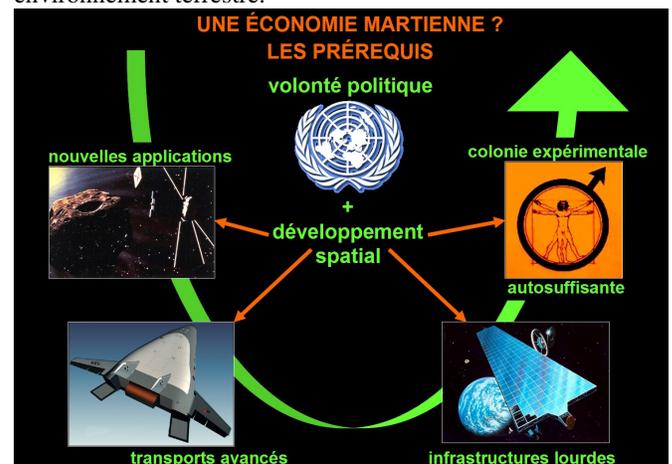
- S'établir sur Mars ? Questions sur l'utopie martienne p.1
- La vie de l'association p.3
- Ce que Curiosity nous a déjà appris p.4
- Un projet de rover martien pressurisé p.6

## S'ÉTABLIR SUR MARS ? QUESTIONS SUR L'UTOPIE MARTIENNE

La « colonisation » de Mars, c'est-à-dire l'établissement progressif d'une communauté capable d'offrir un cadre de vie attrayant à ses habitants et, à terme, de subvenir à ses besoins, est une perspective présente à l'esprit de bon nombre de ceux que notre voisine passionne et qui s'interrogent sur le destin de l'espèce humaine. Pourtant, si de nombreuses études ont traité de la faisabilité technique d'une telle entreprise, peu d'auteurs ont abordé de façon réaliste les nombreuses autres questions que pose cette utopie, sur les plans des motivations politiques, de la rationalité économique et de la viabilité sociologique en particulier. Voici quelques éléments de réponse aux plus fréquentes de ces questions.

### Sera-t-il possible, un jour, de « coloniser » Mars ?

Il n'y a pas de raisons de douter de la faisabilité matérielle de cette perspective, surtout si on la situe à sa place dans le temps, c'est-à-dire à une époque où - enfin - les moyens d'accès bon marché à l'espace auront été développés et où on aura recours aux ressources du système solaire face aux besoins grandissants d'une humanité condamnée, selon la vision de certains, à « l'enfermement planétaire ». Les vraies interrogations sont ailleurs. Au plan de la viabilité économique de la colonie, pourrait-elle « vendre » un volume suffisant de biens et services pour assurer ses indispensables importations de produits de haute technologie depuis la Terre ? Personne n'a encore proposé un scénario réaliste répondant vraiment à cette question, même si les idées ne manquent pas. Mais c'est avant tout au plan de la volonté politique que la question se pose, étant entendu que ce projet concerne l'humanité entière et nécessitera l'émergence d'une motivation globale de nature éthique, liée à une conception « cosmique » du destin de notre espèce, propre à assurer sa survie et son évitement des limites propres à notre environnement terrestre.



(doc. R. Heidmann)

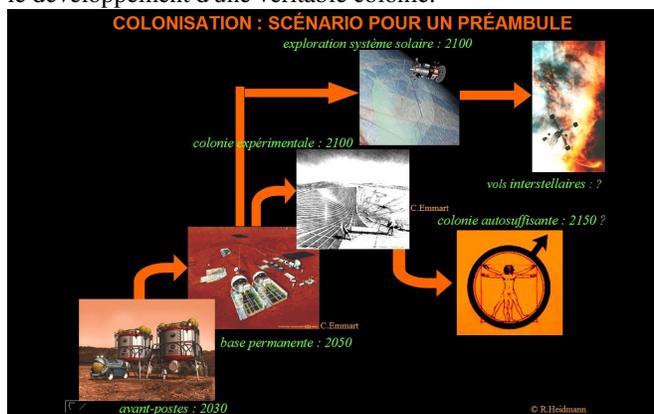
## Quand ? Quelles échéances ?

S'il est possible d'assigner des objectifs calendaires aux premières phases de l'accès de l'Homme à Mars, il est évidemment beaucoup plus hasardeux de le faire pour ce projet. A supposer que la croissance économique séculaire du monde (voisine de 3% par an) se poursuive et que les nations parviennent à surmonter les innombrables crises qui les menacent, un tel projet pourrait être lancé à l'aube du prochain siècle. Les étapes de l'approche de Mars pourraient être les suivantes :

-phase d'exploration à partir de stations habitées temporaires : 10 missions en 20 ans ; les projets sont déjà dans les cartons, il ne manque qu'une décision politique ;

-phase d'exploration à partir d'une ou deux bases permanentes, comparables aux stations de l'Antarctique, occupées par une vingtaine d'explorateurs, dédiées à la connaissance de la planète et à l'investigation des procédés d'utilisation des ressources locales (eau, oxygène, agriculture, matériaux de construction...);

-phase d'une petite colonie expérimentale (100 résidents), dont l'établissement serait décidée dans le but de vérifier la faisabilité (technique, mais aussi humaine et sociologique) de la création d'une « branche de l'humanité » sur une autre planète ; en cas de succès, cette étape évoluerait vers le développement d'une véritable colonie.



(doc. R. Heidmann)

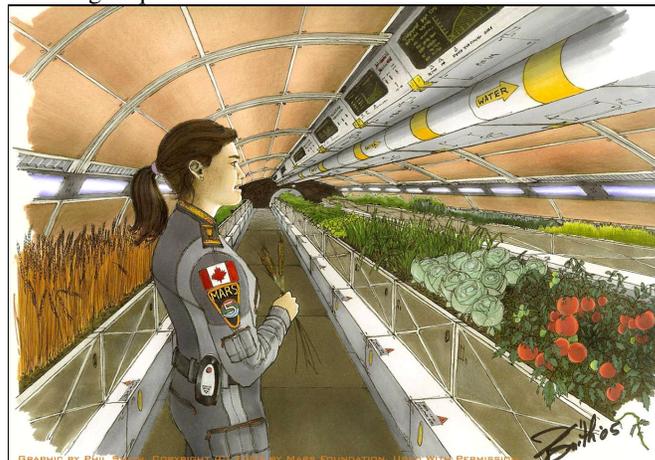
## La Planète rouge recèle-t-elle les ressources nécessaires à un établissement humain ?

Oui, en particulier l'eau (présente en abondance dans le sol sous forme de glace) et les gaz de l'atmosphère : gaz carbonique, dont on peut tirer oxygène et carbone, et azote. Les quatre éléments de base de la chimie organique, C,N,O,H, sont ainsi aisément accessibles, ce qui ouvre en particulier la voie à la production de matières plastiques et de carburants (pour les fusées et véhicules planétaires). On sait par ailleurs que le sol recèle toutes sortes de minerais et de sels, qui permettront la production de pièces métalliques et d'engrais, par exemple. L'énergie solaire est une autre ressource importante, et, dans le futur, on peut espérer exploiter la géothermie martienne, car Mars n'est pas un astre mort.

## Pourra-t-on produire sur place la quantité d'aliments nécessaire ?

Oui. Les analyses in situ montrent que le sol martien recèle, au moins dans certaines régions, des oligoéléments nécessaires à la croissance de végétaux. Par contre il faudra bonifier ce sol par des engrais, qui pourront être produits sur place. On imagine de grandes serres transparentes, laissant passer la lumière solaire tout en permettant de maintenir des conditions de tem-

pérature, de pression et d'humidité propices à une agriculture intensive. Néanmoins, cet aspect apparemment peu « technologique » est peut-être celui qui va demander le plus d'innovations, car les surfaces nécessaires pour nourrir une colonie, même réduite à quelques centaines de personnes, sont importantes. Il va donc falloir être capable d'édifier des serres étendues et nombreuses, et développer des robots jardiniers, afin d'économiser une main-d'œuvre précieuse. On pense également à la pisciculture pour fournir un complément de protéines. Cette activité agricole contribuera aussi au recyclage des déchets organiques.

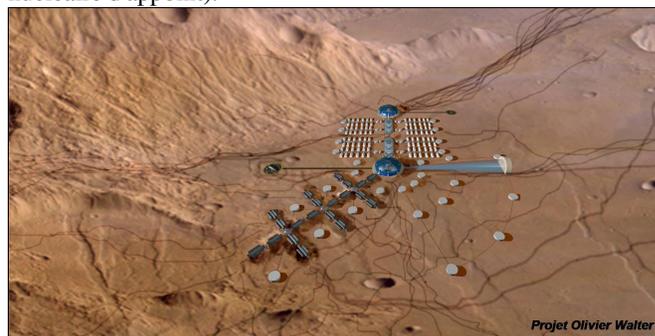


Les serres devraient en réalité être largement robotisées.

(doc. Phil Smith / Homestead project)

## A quoi ressemblerait une telle colonie ?

La colonie sera construite progressivement, à partir de modules pressurisés standard, produits en partie localement et en partie à partir de pièces (les plus délicates) importées. Elle comportera les zones suivantes : une zone d'habitation (une suite de logements reliés par des « rues » tubulaires); un lieu central de vie commune (dôme agora, avec services, commerces, bureaux, labos) ; une zone « industrielle » (traitement des ressources, fabrications de pièces de construction, maintenance des véhicules) ; une zone agricole (serres, pisciculture) ; une zone de production d'énergie (champs de panneaux solaires, systèmes de stockage d'énergie, éventuellement générateur nucléaire d'appoint).



Un projet de colonie martienne étudié par l'architecte O. Walter.

## Et la vie de tous les jours ?

Les colons pourraient avoir des motivations très diverses : goût de l'aventure, souhait de « repartir à zéro », de construire un nouveau mode de vie sociale, d'être un pionnier, ou... de gagner de l'argent ! Ils pourront opter pour un séjour temporaire ou, au contraire, de finir leur vie sur la planète, qu'ils soient venus de la Terre ou nés sur place. Dans tous les cas, leur motivation

devra être forte, car si l'environnement dans lequel ils évolueront sera optimisé pour leur confort et leur agrément, ils auront à s'accoutumer à son caractère artificiel, comme au fait de se trouver au sein d'une communauté restreinte (ambiance village).



*Conception d'une agora souterraine pour une colonie martienne, avec puits de lumière.* (doc. Phil Smith / Homestead project)

Par contre, Mars présente quelques caractéristiques atterayantes : la durée du jour y est pratiquement identique à la nôtre, la pesanteur y vaut un agréable tiers de la nôtre, enfin les paysages désertiques, couronnés d'un ciel lumineux couleur saumon, sont d'une grande beauté ; faire des excursions en quad dans ces paysages sauvages, même en combinaison spatiale, promet d'être une activité recherchée, qui permettra de rompre la sensation de confinement.

Le but de la phase de colonie expérimentale sera de vérifier que ces conditions conviennent aux résidents, mais aussi qu'un mode de vie sociale adapté est capable d'émerger, aspect du projet qui n'est pas le moins intéressant.

### Quel serait le coût de l'entreprise ?

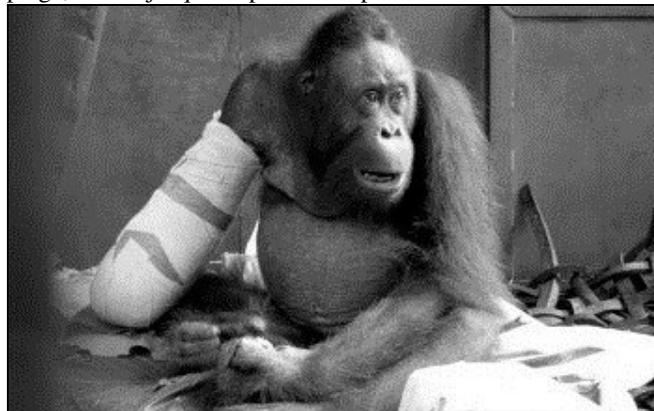
Il serait particulièrement vain, vu le futur lointain de ce projet, d'en tenter un chiffrage. Comme on l'a dit, les moyens de transport spatial vont devenir moins coûteux (ce qu'on commence à percevoir), une économie des ressources spatiales devrait se développer, enfin la richesse mondiale devrait s'accroître significativement (sauf guerre mondiale ou autres catastrophes majeures...). Les conditions de chiffrage d'alors n'auront donc rien à voir avec les conditions présentes. Ceci dit, le scénario technique qu'on imagine n'a rien de démesuré par rapport à ce qui se pratique déjà. Par exemple, dans une étude de ce scénario, on a trouvé un besoin d'expédition de 600 tonnes de matériel à chaque fenêtre de lancement (tous les 26 mois), à comparer aux 200 tonnes que certains projets imaginent d'ores et déjà pour les premières missions d'exploration.

A l'horizon de la fin de ce siècle, l'opération ne sera pas plus impressionnante que l'assemblage de la Station Spatiale ou que... le percement du canal de Panama, achevé en 1914 ! Ce sera donc selon toute vraisemblance un projet mené, par toutes les agences spatiales, dans la continuité de leurs budgets (sans conduire à leur éclatement).

### Mais pourquoi faudrait-il « coloniser » Mars ?

L'humanité, confrontée à l'enfermement planétaire, doit-elle s'y résoudre ? Serions-nous moins courageux que l'animal pris au

piège, luttant jusqu'à l'épuisement pour se libérer ?



*Cet Orang-outang a dévoré son poignet pour se libérer d'un piège. Une démonstration analogue de volonté de survie a été fournie par un grimpeur dont le bras s'était coincé dans une faille rocheuse.*

(DR)

Nous savons aujourd'hui que l'espace abonde en ressources dont nous allons manquer (énergie, minerais rares). Nous savons aussi que l'accès à l'espace finira par devenir routinier. Enfin, nous mesurons le risque d'un impact astronomique dévastateur pour notre biosphère ; l'établissement d'une branche humaine sur Mars sera la réponse à cette menace pour notre espèce, poussée par son instinct de survie. En réalité Mars ne « doit » pas être colonisée, elle sera colonisée parce que cette entreprise sera devenue à notre portée et s'imposera à une humanité enfin unie sur un grand projet dont dépendra son destin. Une vision trop optimiste de la nature humaine ?

**Richard Heidmann**

## LA VIE DE L'ASSOCIATION

Nos amis de la Mars Society allemande avaient organisé cette année le congrès annuel européen à Munich, du 12 au 14 octobre. **Benôit Auguet, Roger Bois, Pierre Brisson, Stephan Gérard, Richard Heidmann, Jean-Marc Salotti et Alain Souchier** y ont assisté pour l'association. Le congrès a été ouvert par **Jürgen Herholz**, principal organisateur de l'évènement, président de la Mars Society allemande, et également membre de Planète Mars. Robert Zubrin, président de la Mars Society, a effectué la première présentation sur le thème « Des hommes vers la planète Rouge dans la décennie ».



*Pierre Brisson et Robert Zubrin : rencontre Suisse, USA, France en Allemagne.*

(doc. APM)

**Jean-Marc Salotti** a développé son scénario de mission martienne « Petite taille et redondance pour une mission martienne robuste ». **Pierre Brisson**, également président de Mars Society Switzerland, a traité le sujet de l'océan boréal hypothétique « Oceanus Borealis ? ». **Stephan Gérard** a abordé la question des transmissions de données lors des missions martiennes. **Alain Souchier** a présenté les résultats des essais du Véhicule de Reconnaissance de Paroi dans la grotte de Dachstein.

En marge du congrès les différents représentants des sections de la Mars Society se sont rencontrés. Il y avait même un re-

présentant de la section australienne. Il a été conclu que la prochaine manifestation en 2013 serait organisée par l'association Planète Mars.

Le dernier jour a été consacré à un tour détaillé du projet de ballon martien de la Mars Society allemande. Un essai de gonflage dans l'espace, après un lancement par fusée sonde, a déjà eu lieu et un nouveau vol est prévu en 2014. L'entrée dans l'atmosphère martienne est prévue après gonflage, l'extrême légèreté du ballon devant limiter son échauffement à 265°C.

Le 17 octobre **Alain Souchier** a donné une conférence « L'exploration de Mars » dans le musée aéronautique et spatial de Safran, devant 250 personnes. Le scaphandre de simulation d'**Armande Zamora** et **Patrick Sibon**, a été essayé par quelques jeunes enthousiastes après la séance de questions.

Avec Michel Viso du CNES, **Alain Souchier** est intervenu lors d'un Bar des sciences, à Taverny, sur le thème de la conquête de l'espace, le 19 octobre. Le scaphandre de simulation a de nouveau suscité l'intérêt. **Alain Souchier** a présenté « L'exploration de Mars » à Orly les 15 et 28 novembre, à l'instigation du CE industriel d'Air France, et à Châtellerauld le 21 sur demande de la section astronomie de la Société des Sciences de Châtellerauld.

Du 7 au 10 décembre, **Stephan Gérard**, **Jean-Marc Salotti** et **Alain Souchier** ont participé à Innsbruck à la répétition générale de la mission de simulation de février au Maroc, organisée par le Forum spatial autrichien (ÖWF). **Stephan Gérard** sera présent à Innsbruck dans le centre de support de mission lors des deux premières semaines de février, pour assurer des fonctions au sein du groupe chargé de l'acquisition des données scientifiques. **Jean-Marc Salotti** a proposé une étude des limites des capacités tout terrain de petits véhicules de transport d'astronautes, étude qui sera conduite sur place par les équipes de l'ÖWF. **Alain Souchier** a apporté le Véhicule de Reconnaissance de Paroi, qui a rejoint tout le matériel qui va partir au Maroc par bateau. A la fin de la deuxième simulation, une séance photo a immortalisé les deux scaphandres Aouda à côté du scaphandre APM, réunissant ainsi 3 des 4 scaphandres existant en Europe, le quatrième étant celui de la COMEX.



3 scaphandres de simulation : deux ÖWF et un APM. (doc. ÖWF/ K.Zanella Kux)

**Richard Heidmann** a été interviewé par France 24 le 7 décembre. Il a par ailleurs continué à suivre et conseiller l'équipe de Centrale Lille qui prépare une démonstration de gravité artificielle par rotation à bord de l'Airbus Zéro g.

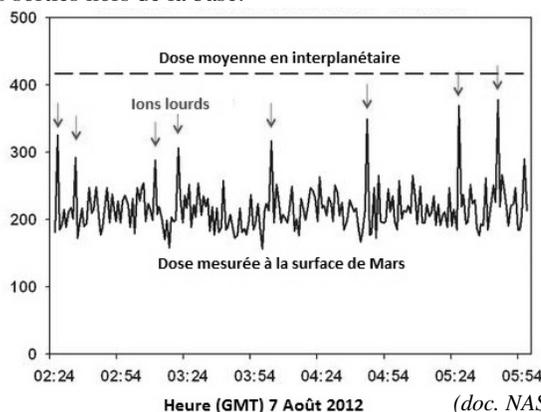
Du 17 au 19 décembre a eu lieu à Paris une conférence sur l'exploration spatiale organisée par le pôle de compétitivité aérospatial Paris région, ASTech. Cette manifestation était coprésidée par **Alain Dupas**. **Richard Heidmann** y a présenté « Les challenges de l'exploration : sont-ils des points bloquants ? », **Jean-Marc Salotti**, « Des petits véhicules pour une mission robuste vers Mars » et « Une feuille de route simple pour la mission humaine vers Mars », enfin **Alain Souchier**, « Les simulations sur Terre ». Par ailleurs **Stéphane Grès**, **Elisa Cliquet Moreno** et **Christophe Koppel**, dans le cadre de leurs activités professionnelles, sont intervenus sur des sujets concernant l'exploration.

**Alain Souchier**

## CE QUE CURIOSITY NOUS A DÉJÀ APPRIS

Il y a maintenant 6 mois que Curiosity s'est posé sur Mars et il lui reste en principe 18 mois de vie opérationnelle pour continuer son exploration, qui doit durer une année martienne. On peut donc déjà faire un premier point de ce qu'il nous a permis d'apprendre. Rappelons d'abord qu'il porte 75 kg d'instruments contre 5 seulement sur chacun des rovers MER, ce qui lui donne une capacité inégalée. Avec ces instruments, il est notre ambassadeur pour voir, toucher, gratter, ingérer, mesurer, chauffer, vaporiser, enfin analyser son environnement.

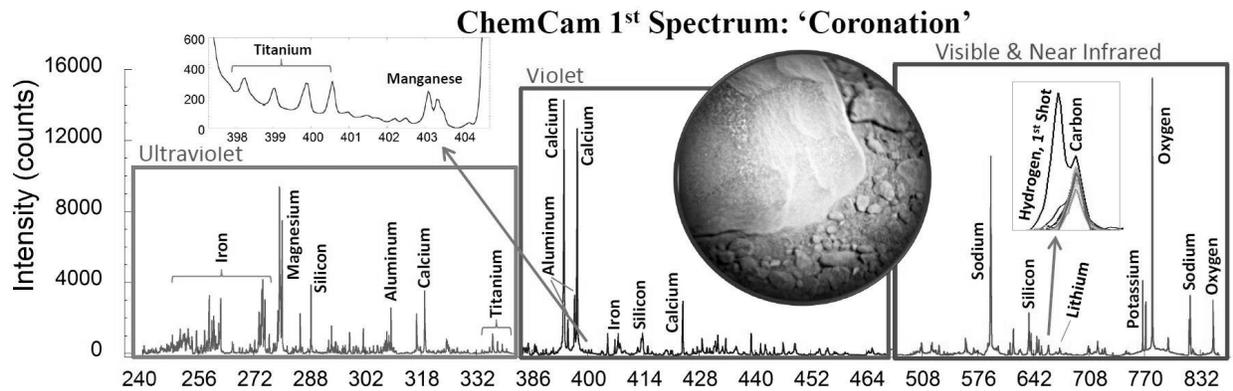
Il a d'abord mesuré la température, la densité de l'atmosphère et le niveau des radiations au sol. Dans ces domaines la seule grosse surprise a été le niveau des radiations. On s'attendait à ce qu'il soit environ la moitié de celui enregistré dans l'environnement de l'ISS et il apparaît plutôt voisin de ce dernier. Reste à confirmer l'observation sur la durée car ce niveau varie en fonction de la densité de l'atmosphère (elle-même fonction de la température) et de l'intensité des radiations solaires, qui dévient les radiations galactiques. Ceci dit, il vient d'être décidé de faire séjourner des astronautes un an dans l'ISS, ce qui démontre que ce niveau de radiations n'est pas préoccupant, même sur de longues durées. Sur Mars, les hommes devront bien sûr se protéger au mieux et bien gérer leurs sorties hors de la base.



La dose mesurée au sol est moitié de la moyenne pendant la trajectoire Terre-Mars (unités arbitraires); les pics correspondent à l'impact d'ions lourds, dont la contribution à la dose reste faible. (doc. NASA/JPL)

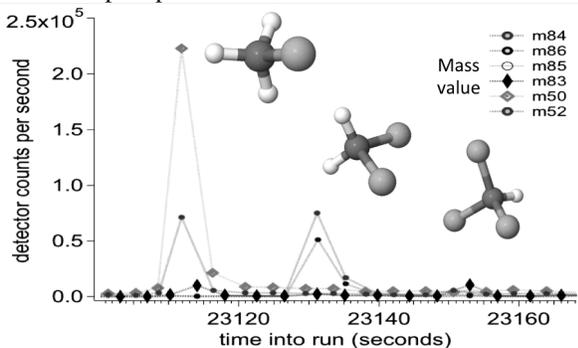
Une autre collecte de données, effectuée avec le spectromètre APXS (au bout du bras robotique de Curiosity), a permis de constater que le régolite était constitué des mêmes éléments que sur les sites de Spirit et d'Opportunity, preuve de l'uniformité de l'environnement résultant de l'action des vents qui transportent les poussières les plus légères tout autour du globe. On note l'abondance, prévue, de silice et d'oxyde de fer. De son côté ChemCam, en utilisant son laser sur le caillou « Coronation », a vérifié la présence de basalte (roche volcanique issue d'un magma refroidi), évidemment commun sur Mars, dont la croûte primordiale reste omniprésente.

Une autre observation intéressante, faite par SAM, a permis d'identifier la présence de composés qui contiennent de l'hydrogène, du chlore, de l'oxygène et, pour certains, du carbone. Le chlore et l'oxygène sont vraisemblablement le témoignage de la présence de perchlorate (comme déjà constaté par Phoenix et sans doute aussi par Viking). Les composés chlorés

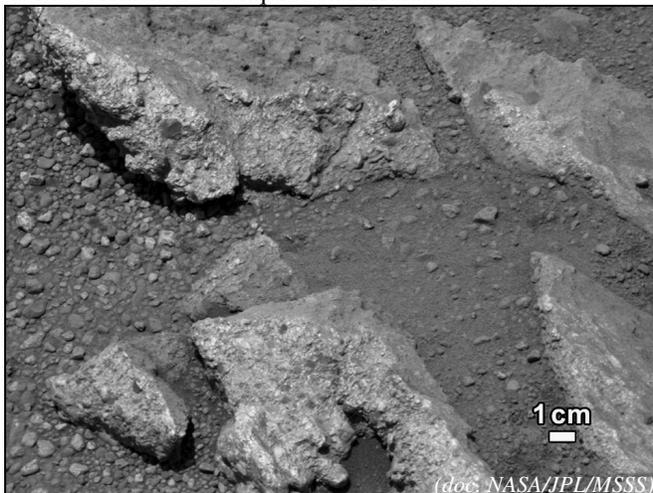


Spectres du caillou « Coronation » recueillis par ChemCam dans l'UV, le Violet, le Visible et l'Infrarouge. La composition élémentaire révélée permet de conclure qu'il s'agit probablement de basalte. (doc. NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/IRAP)

carbonés résultent probablement de la réaction de perchlorate avec des molécules contenant du carbone (dites organiques, ce qui ne veut pas dire qu'elles soient d'origine biologique). Cela pourrait expliquer l'absence de telles molécules à la surface du sol martien. On devrait les y trouver puisque, comme sur Terre, il en « pleut » continûment de l'espace, mais on sait qu'elles sont détruites par le perchlorate. Il faudra cependant davantage de recherches et d'analyses de nouveaux prélèvements pour déterminer si le carbone est bien d'origine martienne. L'hypothèse de résidus organiques laissés lors de l'intégration du rover ne peut pour l'instant être exclue.

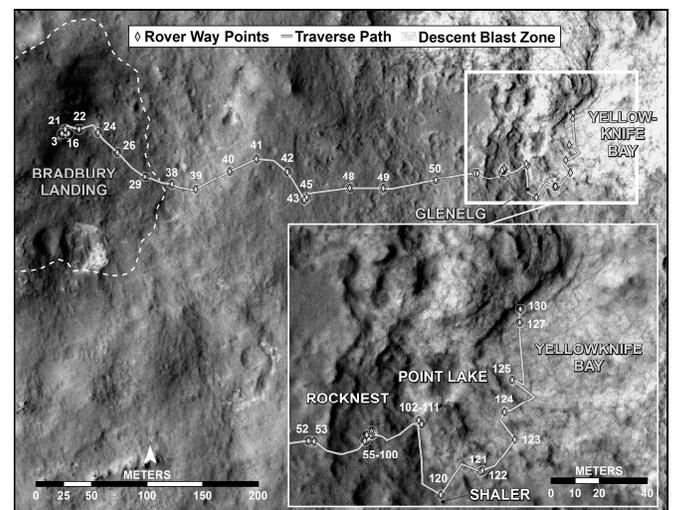


Composés de chlore, hydrogène et carbone (donc « organiques »). On doute de l'origine du carbone. (doc. NASA/JPL-Caltech/GSFC)  
 Outre les premières analyses chimiques et géologiques des roches, cette phase de vérification et de « rodage » a aussi permis de voir des lits de graviers, témoignages incontestables de l'écoulement d'eau liquide en surface.



Affleurement "Link". On observe des graviers arrondis, roulés dans l'eau, certains étant cimentés dans un substrat sédimentaire. (doc. NASA/JPL/MSSS)

Ne soyons pas impatients. Nous ne sommes qu'au début de la mission. Rappelons qu'il a fallu d'abord tester les instruments et que le site Glenelg, vers lequel Curiosity a fait en réalité un détour, n'a été qu'une première excursion.



Après avoir étudié Yellow Knife Bay (un creux du relief), Curiosity va repartir en arrière, et passer au sud de son point d'atterrissage (Bradbury Landing) pour se diriger vers le pied du Mont Sharp. (doc. NASA/JPL/Univ. of Arizona)

L'objectif principal est d'explorer le bas du lit de la rivière qui descend du mont Sharp, à environ 7,5 km au sud du lieu d'atterrissage. C'est en effet à cet endroit, dans les plus basses couches géologiques du Mont Sharp que l'on a identifié des phyllosilicates, c'est-à-dire des argiles, minéraux qui proviennent de la désagrégation de roches silicatées, très abondants sur Mars comme sur Terre, et qui ne se forment que par sédimentation au fond d'étendues liquides stables pendant de très longues années. Il faut savoir que les mini laboratoires de SAM et de CheMin, équipés de spectrographes et (pour SAM) d'un chromatographe en phase gazeuse, sont capables d'analyser un nombre d'échantillons conséquent (chacun 74) mais néanmoins limité ; il s'agit de les utiliser à meilleur escient (après avoir identifié un intérêt particulier avec les instruments du mât et du bras robotique). Pour la suite, le « suspens » demeure entier.

**Pierre Brisson**

# UN PROJET DE ROVER MARTIEN PRESSURISÉ

## Historique du projet

Je me présente, je suis un designer industriel passionné d'innovations, aussi bien dans le domaine des transports que dans celui de l'exploration spatiale. Au cours de mes années d'étude, j'ai commencé à réfléchir à des véhicules pressurisés destinés aux astronautes : les « rovers ». Ayant été encouragé par mes professeurs de l'option « architecture spatiale », j'ai décidé de poursuivre ces recherches à titre personnel, tant par passion que pour le challenge d'imager un programme spatial complet. Au fur et à mesure de l'élaboration de ce projet, j'ai été amené à rencontrer des experts qui m'ont apporté une aide précieuse, notamment grâce à l'association Planète Mars, dont je fais désormais parti. J'ai notamment eu la chance de présenter certains de mes projets à l'EMC11 (la convention Européenne 2011 sur l'exploration de Mars). Ce qui est présenté ici est la dernière évolution du rover.

## Le concept

Le concept s'inscrit dans une logique d'exploration humaine de la planète Mars à court terme, dans un contexte économique et technologique réaliste, et selon des objectifs scientifiques actuels. Un système d'exploration adapté aux scénarios variés d'une aventure humaine scientifique sur Mars sera « **le meilleur ami des astronautes** ». Trois contraintes ont formaté le « design » :

-l'envoi sur Mars : il doit être possible d'envoyer le rover sur Mars avec un lanceur existant (ou en projet), et avec un scénario d'arrivée réaliste ;

-l'environnement martien : le rover doit y résister et surtout en protéger les astronautes ;

-l'adaptabilité aux différentes missions : les missions martiennes seront variées, il n'est pas possible de les prévoir à la minute comme c'est le cas en orbite : les astronautes devront s'adapter et improviser dans de nombreuses situations.

Étant donné que chaque kilogramme envoyé sur Mars coûte très cher, il est important d'optimiser au maximum la masse du système. Celui-ci doit par ailleurs être durable : robuste, fiable et simple à entretenir et à réparer. Il doit pouvoir s'adapter à d'autres missions (missions de secours par exemple). Il doit être valorisable, même lorsqu'il n'est plus capable de fonctionner nominalement.

## Les contraintes techniques

Tout d'abord, il faut que le projet soit compatible avec un lanceur. Le rover fait 5 tonnes, et mesure 6 mètres de long pour 3 mètres de large, ce qui le rend crédible pour l'envoi sur Mars, avec des lanceurs lourds, comme des dérivés d'Ariane 5 ou un lanceur Angara Russe.

Il doit supporter l'environnement martien : la température moyenne sur Mars est de  $-63^{\circ}\text{C}$  ; son atmosphère est constituée à 95% de  $\text{CO}_2$ , 2,7% de  $\text{N}_2$ , 1,6% d'Ar, 0,15% d' $\text{O}_2$ , 0,06% de CO et 0,03% de  $\text{H}_2\text{O}$  ; la pression atmosphérique moyenne est de 0,006 bar (600 Pa) ; la gravité en surface est 0,38 fois celle de la Terre.

La contrainte environnementale la plus sévère pour l'homme est celle des rayonnements ionisants, beaucoup plus intenses qu'à la surface de la Terre. Ces derniers ont deux origines : les

éruptions solaires, appelées Solar Particle Events (SPE), qui se produisent aléatoirement environ une fois par an, et qui durent de 12 à 24 heures, et les rayons cosmiques, qui constituent un flux continu provenant de toute la voûte céleste. La poussière constitue également une contrainte très importante tant pour les mécanismes et l'étanchéité des joints que pour la santé des hommes.

## La mission

À court terme, la motivation première d'une mission sur Mars serait l'exploration. Mais l'inconnu et les ressources limitées font que le rover devra s'adapter à des circonstances nouvelles et avoir une utilisation très flexible. La plupart des rapports proposent des missions de 15 jours, sur des sites éloignés de 100 km au maximum de la base principale. Cela permet de couvrir un terrain varié selon les sites d'atterrissages proposés par les différentes agences spatiales. L'équipage est fixé à deux personnes pour ces expéditions.

Mais pourquoi envoyer des hommes loin de la base, alors que beaucoup d'investigations peuvent être menés par des robots ?

Pour leur extraordinaire capacité d'adaptation et leur curiosité sans limite. Ces hommes devront manipuler un matériel scientifique sophistiqué, faire des prélèvements, des forages, cartographier et être à même d'installer différents types de systèmes scientifiques dans un environnement hostile. Mais ils devront également faire face à l'imprévu, comme c'est le cas pour les séjours de longue durée en orbite.

## Le système M.U.L.E (Multi Use Land Explorer)

Le système proposé pour répondre à ces spécifications s'articule autour d'un élément principal : le rover, avec lequel interagissent d'autres systèmes périphériques. Le rover est pressurisé, et permet la vie de deux astronautes pendant une mission de 15 jours maximum. Son rayon d'action est de 150 km, avec une vitesse maximale de 15 km/h et la possibilité de gravir des pentes de 30 degrés. L'architecture est très simple : un volume pressurisé, des roues, un cadre, des moteurs dans les roues et une source d'énergie.

### Les roues

Tout d'abord : 6 roues (ce qui permet au rover de continuer à se mouvoir si une ou deux roues cassent). Elles sont de grand diamètre car elles font également office de suspension. On détermine leur diamètre à 1m10. Les moteurs (électriques) sont intégrés dans les roues, ce qui simplifie le système et abaisse le centre de gravité.

### L'énergie

L'énergie solaire n'étant pas adaptée pour un véhicule de cette taille (flux solaire 3 fois plus faible que sur Terre), nous utilisons ici des piles à combustibles (une principale et une en rechange), alimentées en oxygène / hydrogène.

### Le volume de vie

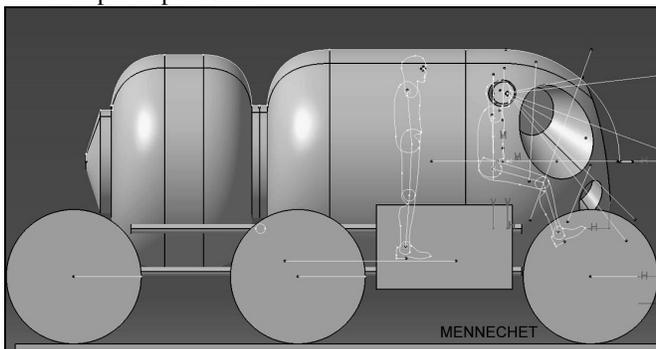
Le volume de vie est pressurisé ; c'est une coque autoportante. Pour un poids optimal, le diamètre est parfaitement rond et les extrémités sont arrondies. Pour offrir le plus d'espace possible aux astronautes, il fait toute la longueur du véhicule et son diamètre est fixé à 2m10. Cela permet la position debout et le travail pour un homme de 1m90 (95<sup>ème</sup> percentile en 2020). Pour réduire la masse, il est en matériau composite et suspendu dans un cadre en titane, sur lequel se fixent différents éléments : piles à combustible, réservoirs de carburant, accessoires. Ainsi, le volume pressurisé n'est pas soumis à d'autres

contraintes que sa pression. Ce choix nécessitera une résine qui résistera au vieillissement car les UVs sont 600 fois plus puissants que sur Terre.

Ce volume se divise en deux, de façon à éviter une dépressurisation complète (comme pour une station spatiale) :

- un module « vie » : poste de pilotage et poste de navigateur. Le confort est minimaliste car les missions sont courtes. Ci-dessous une des études préliminaires montrant l'élaboration du volume pressurisé, dessiné autour des astronautes en respectant les contraintes de pressurisation.

- un deuxième module, conçu pour faciliter les « EVAs », ou sorties en scaphandre. Celles-ci sont très importantes pour l'exploration, la maintenance et la manipulation d'équipements. Le rover a été conçu pour des EVAs régulières. Les combinaisons sont stockées à l'extérieur et connectées par le dos. Cela permet de minimiser la contamination de l'intérieur du rover par la poussière.



**Architecture d'ensemble du Rover, avec ses deux modules pressurisés et ses six roues.** (doc. F. Mennechet)

La porte qui sert de connexion avec la base peut aussi servir de back-up si une combinaison ne peut pas se reconnecter ; elle est suffisamment grande pour faire entrer un astronaute équipé. La taille de ce module est également adaptée à la maintenance d'une combinaison entière. Le système de glissière sur lequel sont fixés les « back-packs » permet de :

- manipuler ces éléments sans efforts ;
- entrer dans la combinaison sans aide extérieure ;
- effectuer une maintenance complète du sac et de changer le joint facilement.

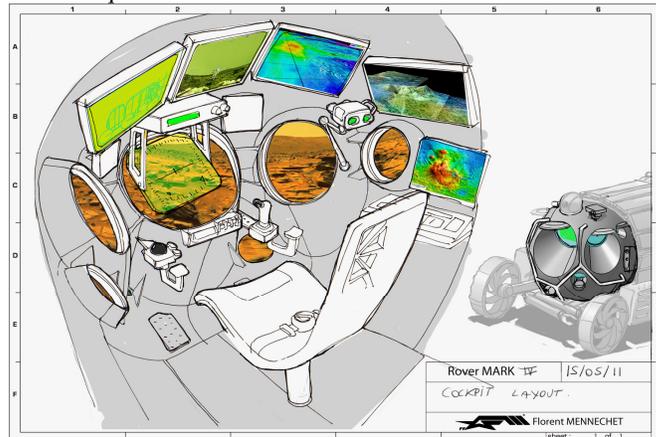
L'avant du rover a été dessiné suivant un compromis : forme du volume pressurisé, taille minimale des hublots et ergonomie. La vue du conducteur mélange moniteurs et hublots. Il est important de minimiser la surface vitrée, pour des questions de masse, de contraintes et de sécurité. Les hublots sont rapprochés du conducteur pour limiter leur taille et leur exposition. Cela crée une forme particulière, comparable au LK russe.



**Le module lunaire soviétique LK ; à noter l'implantation du hublot.**

**Ont collaboré à ce n° :**  
 Pierre Brisson,  
 Richard Heidmann,  
 Florent Mennechet,  
 Alain Souchier.  
**Achévé d'imprimer :**  
 QuadriCopie  
 27000-Vernon.  
**Dépôt légal :**  
 janvier 2013

Le pilote dispose de 3 hublots : le principal permet de manipuler les bras robotiques ; les autres sont orientés vers les roues. En cas de défaillance des moniteurs, le rover reste pilotable avec uniquement les hublots.



**Étude d'aménagement du cockpit dans une version comprenant plus de hublots.** (doc. F. Mennechet)

Pour dormir, les astronautes déplient leurs sièges qui deviennent des lits. Les toilettes sont un système minimaliste, comme dans une station orbitale. Les astronautes utilisent des lingettes imbibées pour se laver.

Les bras manipulateurs sont un système à part car ils offrent différentes possibilités. On peut les utiliser depuis le rover, par exemple pour prélever un échantillon et ce sans devoir sortir faire une EVA. Ce système peut se transformer en buggy, piloté par l'astronaute ou à distance, depuis le rover ou la base. Il peut également transporter deux astronautes.

Ce système s'utilise également comme un exosquelette en multipliant la force de l'astronaute pour effectuer des tâches complexes.

Le buggy auquel sont fixés les bras peut être commandé à distance avec une interface à retour de force et ne pas endommager le mécanisme. Ainsi, il peut jouer le rôle d'un troisième membre d'équipage. Il a ses roues fixées sur des bras articulés, selon une conception inspirée du projet « ATHLET » de la NASA.



**Le prototype ATHLET de rover à bras articulés.** (doc. NASA)

Les bras manipulateurs sont conçus comme des bras humains, avec des muscles pneumatiques. Ce système permet d'avoir un bras plus « mou », et moins dangereux pour le contact avec les astronautes. Il permet d'être moins sensible à la poussière et enfin de se remplacer facilement (taille standard).

La combinaison a un affichage qui s'actualise en fonction des

éléments avec lesquels elle est connectée. L'affichage a été déterminé pour ne pas gêner l'astronaute pendant son EVA : la plupart des informations sont sur le haut du casque. Le sentiment de ne pas être seul est donné par l'affichage des coéquipiers dans le casque. La caméra mobile située sur le haut de la combinaison fait office de 3<sup>ème</sup> œil en analysant tout autour de l'astronaute. L'ordinateur de la combinaison sait exactement où ce dernier regarde grâce au « sous-casque » qu'il porte et qui analyse les mouvements de la tête. Cela permet d'afficher dans le casque une « réalité augmentée » qui accroît l'efficacité de l'astronaute pendant son EVA. Ce système « tout en un » est complexe mais simple à entretenir ; il centralise plusieurs fonctions en un seul élément. En mode dégradé, le rover peut se

séparer de cet élément et ainsi s'alléger considérablement.

Le rover se connecte à la base par la porte située à l'extrémité arrière. Le rover recule, se positionne sur une structure qui le fait glisser vers la porte de la base. Pour être aligné parfaitement ce système prend le rover par le châssis. En fin de vie opérationnelle, les astronautes connectent le rover, le recouvrent de sacs de régolite pour le protéger encore plus des radiations et le condamnent : il servira d'annexe de la base. Ce système complet permettra aux astronautes d'effectuer leur mission mais également d'improviser, de réparer et de s'adapter à tous types de situations.

**Florent Mennechet**

