



Numéro 81

PLANÈTE MARS

Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris



octobre 19

ISSN 1772-0370

EDITO : 2020, ANNÉE MARTIENNE

Après une année 2019 animée à juste titre par les 50 ans du premier homme sur la Lune, l'année 2020 regardera vers le futur. C'est une fenêtre de lancement vers Mars, et plusieurs véhicules vont s'élancer vers la planète.

Le successeur de Curiosity, évoqué ci-après, testera pour la première fois un drone hélicoptère, défi technologique particulièrement ambitieux avec une atmosphère ténue et une portance très réduite. Il sera également doté d'une capacité de navigation plus autonome, moins dépendante de la programmation journalière depuis la Terre.

Le lancement du premier rover européen, ExoMars, est prévu. Il sera doté de capacités de forage profond (2m), lui permettant de prélever des échantillons dans un sol protégé de l'environnement stérilisant de surface.

La Chine a prévu de lancer Huoxing1, mission scientifique constituée d'un orbiteur et d'un rover. Les Émirats Arabes Unis vont également lancer un premier orbiteur vers Mars (Mission Hope).

Si l'année 2020 sera marquée par le suspens du voyage de ces missions, et de leur bonne arrivée, l'année 2021 le sera à coup sûr par les premiers résultats : délaissée depuis les missions Viking en 1976, la recherche de biomarqueurs est un objectif essentiel du rover 2020 de la NASA et d'ExoMars. Inexistante en surface du fait de l'environnement stérilisant (rayonnements, oxydants), l'analyse d'échantillons du sous-sol pourrait conduire à ce que certains chercheurs nomment la plus grande découverte scientifique : la présence d'une forme de vie (microbienne) sur une autre planète. Si cette quête était positive, hypothèse sur laquelle on ne peut encore que spéculer, il y aurait ensuite deux options : cette vie a-t-elle la même origine que sur la Terre, peut-être issue de cross-fertilisation par l'échange de météorites, ou découvrirons-nous une deuxième origine de vie ?

Nous espérons vivement vous retrouver à Paris, **le 16 décembre**, à l'ESA, pour **fêter ensemble les 20 ans de votre Association**, écouter des spécialistes de l'eau sur Mars, de la vie possible, des contributions françaises et européennes à ces grands projets (notamment ExoMars), ainsi que des témoignages de membres.

Philippe Clermont
président

Dans ce numéro :

- Mars 2020 : un clone surdoué p.1
- Starship : innovation et développement-éclair p.2
- Quelle population minimale pour survivre sur Mars ? p.4
- Starship : Robert Zubrin précise sa vision p.5
- La vie de l'association p.6
- Projet Remus : rover d'exploration martienne à usage scientifique p.6

prochain numéro : janvier 2020...

MARS 2020 : UN CLONE SURDOUÉ



(doc. NASA/JPL)

Mars 2020, le nouveau rover de la prochaine mission NASA, est bâti autour d'une doublure de Curiosity, auquel il ressemble beaucoup. De nombreux systèmes de rechange de Curiosity sont utilisés, mais avec de nouvelles roues ! (celles de Curiosity s'étant révélées insuffisamment résistantes à l'usure).

Mais avec quelque chose d'original : un petit hélicoptère, innovation constituant un véritable exploit technique.



(doc. NASA/JPL)

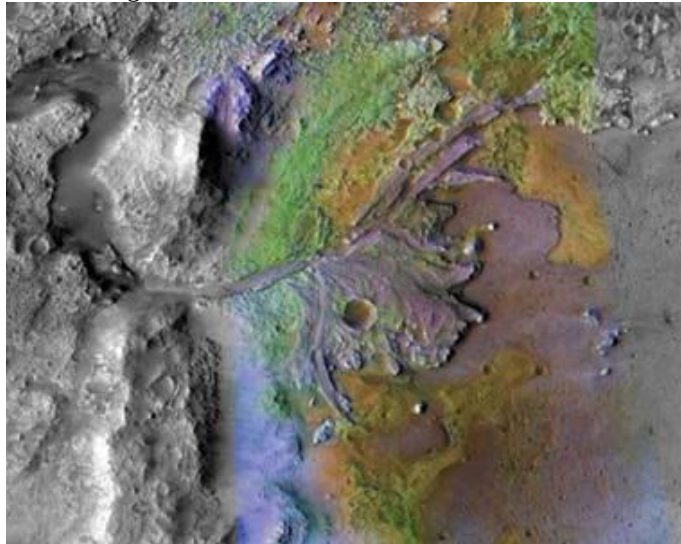
Voici cet hélicoptère, dont le nom est MHS pour Mars Helicopter Scout ; sa masse est d'un peu moins de 2 kg. Sa mission sera d'effectuer des survols de reconnaissance de l'environnement de la sonde. Dans l'atmosphère très ténue de Mars, ses pales (deux rotors qui tournent en sens inverse) vont tourner très vite : 3000 t/min. Au-dessus des pales, des cellules solaires rechargeront une batterie Li/ion. Deux caméras sont aussi à bord.

On peut voir la configuration de cet hélicoptère sur [ce schéma](#).

Le site d'atterrissage

Les scientifiques de la NASA ont décidé de faire poser cette sonde dans le cratère Jezero, cratère d'impact de 50 km de diamètre. C'est un ancien lac, on y a repéré des traces d'anciennes rivières. Il est situé dans la région de Syrtis Major, près de l'équateur et dans sa partie Nord. De l'argile (qui ne se forme qu'en présence d'eau) a été détectée dans cette zone depuis

l'orbite martienne. L'analyse de ces argiles (clays en anglais) constitue un objectif très important pour les scientifiques. Elles nécessitent pour se former des étendues d'eau liquide stable et neutre. On va essayer de se poser près du delta figurant sur le bord gauche du cratère.



Un détail du bord gauche de ce cratère, on y remarque nettement le delta visé. (Crédit : NASA/JPL/JHUAPL/MSSS/Brown University)

Si la procédure d'atterrissage est similaire à celle de Curiosity, il y a [une amélioration](#), dans le sens où pendant la descente, la sonde prend des photos du terrain et les comparent aux photos en mémoire. Elle corrige sa trajectoire si nécessaire pour arriver au bon endroit.

Les instruments

De [nombreux instruments](#) sont soit nouveaux, soit des améliorations des instruments de Curiosity.

La priorité a été donnée à la collecte d'échantillons pour une récupération future faisant l'objet d'une autre mission : Mars Sample Return. Mission pas encore bien définie ; s'agira-t-il d'ailleurs d'une mission ou de deux, combinant des contributions NASA et ESA ?

[MASTCAM Z](#). (PI : Arizona State University)

Similaire au Mastcam Curiosity, cette caméra est capable de fournir des images stéréo et panoramiques. Elle est capable aussi de déterminer la minéralogie du sol.

[MEDA](#) (Mars Environmental Dynamics Analyzer), dont le PI est le Centro de Astrobiologia, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (Espagne) et qui comprend un jeu de capteurs pour mesurer : la température, la vitesse et la direction du vent, la pression, l'humidité et la taille des grains de poussière.

[MOXIE](#) (Mars Oxygen ISRU Experiment (In-Situ Ressource Utilization) ; PI : MIT).

Expérience de fabrication d'oxygène à partir du CO₂ de l'atmosphère martienne, procédé essentiel pour les futures missions habitées martiennes (respiration et carburant fusée). Ses résultats seront donc essentiels dans l'optique de la poursuite de la conquête de Mars.

[PIXL](#) (Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry, PI : JPL). C'est un spectromètre à fluorescence X associé à un imageur HR afin de déterminer la composition des matériaux de surface.

[RIMFAX](#) (Radar Imager for Mars Subsurface Experiment, PI : Forsvarets Forskningsinstitut, Norvège). C'est un radar à pénétration (jusqu'à 10 m de profondeur) permettant d'acquérir la structure géologique de la subsurface.

[SHERLOC](#) (Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals, PI : JPL). Spectromètre HR permettant d'étudier la minéralogie à très petite échelle et de détecter des composés organiques.

C'est le premier [spectromètre UV Raman](#) envoyé sur Mars.

[SUPERCAM](#) (PI : Los Alamos National Laboratory, New Mexico). C'est une évolution de la ChemCam embarquée sur Curiosity. Il comporte donc l'équipement de tir laser à distance pour déterminer la composition des roches, ainsi qu'un spectromètre Raman à distance pour détecter les matériaux organiques.

Le CNES et l'IRAP y ont contribué grandement.

Au total la sonde emportera 23 caméras !

Quant au [système de collecte](#) d'échantillons, il représente près de la moitié de la charge utile (instruments) ; il devrait permettre d'effectuer plusieurs dizaines de carottages stockés à bord.

Le lancement, par une Atlas V, est prévu à l'été 2020. Le mode d'atterrissage est similaire à celui inauguré par Curiosity (Skycrane).

La principale différence avec Curiosity : il doit être capable de collecter quelques dizaines d'échantillons dans un conteneur, en vue de leur retour sur Terre lors d'une autre mission.

Jean-Pierre Martin

(auteur de l'article d'origine, paru dans le bulletin Les Astroneers de son site [planetastronomy.com](#))

STARSHIP : INNOVATION ET DÉVELOPPEMENT-ÉCLAIR

Le 28 septembre, Elon Musk a fait le point du programme Starship-SuperHeavy de SpaceX, devant le premier prototype grandeur réelle du vaisseau. Cette présentation s'est tenue sur le site texan de Boca Chica de la firme, où l'engin a été construit en parallèle d'un presque jumeau, assemblé par une autre équipe en Floride.



(doc. SpaceX)

La trace des problèmes aérothermiques

Cette présentation a permis de rappeler les principales caractéristiques dimensionnelles et fonctionnelles du projet, mais aussi de révéler des détails de conception concernant un domaine peu

documenté jusqu'alors, celui de la gestion aérothermique des rentrées atmosphériques et du pilotage en phase terminale de descente-atterrissage. On savait déjà que cette dernière mettrait à profit la technologie de rétropropulsion mise au point avec le Falcon 9, mais les problèmes de thermique et de stabilité durant la rentrée sont totalement nouveaux et beaucoup plus ardues.

Lors de ses rentrées atmosphériques (martiennes ou terrestres) le vaisseau adoptera trois modes de descente successifs :

- dans une première phase il se présentera avec une forte incidence (60°) afin de maximiser la force de freinage, tout en maintenant une portance lui permettant de prolonger la durée de sa descente, ce qui est favorable au plan thermique ;

- une fois parvenu à une vitesse ne permettant plus de générer un freinage significatif, il adoptera une attitude « à plat », c'est-à-dire à incidence proche de 90°, et se laissera tomber comme un pratiquant de vol en chute libre, maximisant ainsi sa traînée afin de réduire sa vitesse autant que possible ;

- en phase finale, après un changement d'attitude le présentant baie de propulsion en tête, il allumera ses moteurs pour réaliser la phase finale en rétropropulsion.

Pour mener à bien le pilotage dans ces phases très différentes, tout en cherchant à optimiser le centrage (position du centre de poussée aérodynamique par rapport à celle du centre de gravité), le Spaceship utilisera ses deux voilures (avant et arrière). En particulier, pendant la phase de « chute libre », ces quatre ailerons joueront un rôle analogue à celui que fait jouer à ses membres le pratiquant de chute libre. Cette fonction spéciale explique la présence de deux jeux de voilure, mis en œuvre par rotation autour d'axes longitudinaux (activée par des moteurs électriques Tesla alimentés par 400 kWh de batteries).



Cette vue montre bien les charnières longitudinales des voilures.

L'emport de ces surfaces importantes représente évidemment une pénalité de masse. Mais ce choix semble s'être imposé à SpaceX pour solutionner conjointement les problèmes de pilotage, de modification du centrage en vol et de flux thermique. Ce dernier point n'a pas fait l'objet de commentaires détaillés de la part d'Elon Musk. C'est pourtant un point de faisabilité critique, sachant que le Starship devrait pouvoir revoler après un

retour, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir sur sa structure. Or, la rentrée dans l'atmosphère de notre planète se fera au minimum à la vitesse de libération (11,2 km/s), et même probablement un peu plus vite, pour raccourcir la durée du transfert retour), c'est-à-dire avec une énergie à dissiper plus de deux fois plus importante que dans le cas d'une orbite basse terrestre.

SpaceX semble encore chercher à résoudre ce difficile problème, la solution pouvant inclure une protection thermique à base d'hexagones de céramique « maison », le refroidissement des parties les plus exposées au flux thermique par « transpiration » et un accroissement de la surface de freinage.

Ce dernier point est capital, car le flux thermique à supporter est inversement proportionnel à cette surface ! Ce qui encourage non seulement à procéder à une rentrée à forte incidence, mais aussi à tolérer la présence d'ailerons surdimensionnés. Il est vraisemblable que là se situe la raison principale de l'apparition de ces appendices. Ceux-ci auront d'ailleurs un autre effet bénéfique : leurs grandes surfaces, capables d'être portées à 800°C*, constitueront, auprès du corps du vaisseau lui-même, des radiateurs bien utiles pour diminuer la charge thermique que celui-ci devra encaisser.

Une vitesse de développement inouïe

Le déroulement du programme Starship a de quoi rendre perplexes les professionnels les plus aguerris, d'autant plus que SpaceX prétend n'y consacrer que 5% de ses moyens. La rapidité avec laquelle l'acier a remplacé le composite carbone témoigne d'une réactivité et d'une agilité conceptuelle exceptionnelles, à même de compenser le manque de maturité qu'a trahi ce virage radical.

Mais le plus remarquable, car impliquant la mobilisation de moyens industriels lourds, est sans doute la célérité avec laquelle les deux prototypes ont été assemblés. Des opérations menées en plein air, bien loin des conditions rigoureuses traditionnelles et certainement impraticables pour des modèles opérationnels, mais intelligemment adaptées à ce qui n'est encore qu'une phase de démonstration de solutions innovantes. On doit aussi citer le développement rapide du Raptor qui, bien que probablement encore grevé de défauts de jeunesse, constitue à lui seul une prouesse technique de haut niveau.

Enthousiasme et inquiétudes

Les passionnés d'astronautique, témoins des errements et des lenteurs du développement du lanceur lourd institutionnel SLS, se réjouissent bien entendu de ces progrès rapides. Non seulement parce que ceux-ci commencent à concrétiser un projet de transporteur interplanétaire, mais aussi parce que cette remarquable contribution de SpaceX promet de redynamiser, à travers une coopération souhaitable avec la NASA, l'initiative astronautique proclamée par le président des États-Unis.

Pourtant c'est dans une aventure risquée que s'est lancée SpaceX ! D'abord par l'ambition de l'objectif opérationnel et par le degré d'innovation technique assumé, ensuite par la vitesse imposée au programme, qui accroît les risques de déconvenues tardives, mais aussi par le montant des investissements à prévoir (SpaceX pourrait-il le supporter seul ?), et enfin par les facteurs politiques décisifs que représentent le niveau de soutien de l'administration et le puissant lobbying des acteurs établis. L'année qui vient risque d'être décisive pour SpaceX, confrontée à ces défis... et au début du déploiement de sa constellation StarLink, qui pourrait s'avérer la « vache à lait » du programme martien.

Richard Heidmann

* La puissance rayonnée varie comme la température à la puissance 4.

QUELLE POPULATION MINIMALE POUR SURVIVRE SUR MARS ?

Cette question du nombre minimal de personnes pour la survie sur une autre planète a déjà été abordée du point de vue de la variabilité génétique et les résultats restent flous et controversés, en raison des difficultés à évaluer les risques liés à la consanguinité. Cependant, la consanguinité n'est probablement qu'un problème relativement marginal devant les difficultés d'ordre technique et organisationnel. Pour survivre sur Mars, ne faut-il pas importer de la Terre des milliers d'objets complexes très difficile à produire localement et renouveler les stocks de manière régulière ? Pour les détracteurs de la conquête spatiale, ce « très difficile » sous-entend des milliers ou des millions de personnes et une industrie lourde à mettre en place, ce qui démontrerait l'infaisabilité pratique. Cependant, survivre n'oblige pas à préserver le mode de vie occidental, avec des ordinateurs, des robots, des avions et des outils extrêmement perfectionnés. La question de la survie implique de se poser la question de la liste minimale des objets absolument nécessaires et du mode de vie, nécessairement dégradé, qui serait supportable. D'autre part, nous nous intéressons ici à la survie long terme, ce qui implique élever des enfants, et de manière générale, être capable de mettre en œuvre un développement durable de la communauté humaine et de ses installations techniques.

Voici le modèle proposé pour déterminer le nombre minimal de personnes pour la survie sur Mars. L'idée est d'établir la liste quasi-exhaustive des activités humaines nécessaires à la survie long terme, d'en déduire le temps total opérationnel annuel (année terrestre) et de le comparer au temps total déterminé par les ressources humaines disponibles. Concrètement, ce modèle repose sur la formule suivante :

$$\sum_{i=1}^{i=k_1} \frac{r(a_{1,i})}{s(a_{1,i},n)} + \sum_{i=1}^{i=k_2} \frac{r(a_{2,i})}{s(a_{2,i},n)} + \sum_{i=1}^{i=k_3} \frac{r(a_{3,i})}{s(a_{3,i},n)} + \sum_{i=1}^{i=k_4} \frac{r(a_{4,i})}{s(a_{4,i},n)} + \sum_{i=1}^{i=k_5} \frac{r(a_{5,i})}{s(a_{5,i},n)} < 3\,835$$

Explications :

- Les activités, notées a_i , sont regroupées en 5 grandes catégories : 1) Gestion de l'écosystème (air, eau, nourriture). 2) Production d'énergie. 3) Activités industrielles. 4) Activités de maintenance et de construction de bâtiments. 5) Activités centrées sur l'humain (élever des enfants, se laver, se soigner, etc.). k_1 à k_5 sont les nombre d'activités répertoriés pour les domaines a_1 à a_5
- $r(a_{i,j})$ est le temps de travail annuel par personne pour l'activité j du domaine i .
- $s(a_{i,j}, n)$ est le "facteur de partage" (voir plus loin) pour l'activité $a_{i,j}$ avec n nombre de survivants.
- 3 835 est le nombre estimé d'heures disponibles par personne en moyenne sur une année pour mener à bien les activités humaines. Ce nombre a été déterminé de la manière suivante : à partir du nombre d'heures total annuel de vie d'une personne, on retranche les heures de repos et d'inactivité et on pondère ensuite en

réduisant ce potentiel de 25% pour tenir compte des enfants et des cas particuliers (maladies par exemple).

Le facteur de partage est un paramètre qui a été introduit pour tenir compte de plusieurs facteurs impactant la durée de l'activité. Prenons un exemple. Pour pouvoir respirer, il est nécessaire de construire un système support vie capable d'extraire le gaz carbonique et les autres constituants indésirables de l'air et de maintenir une concentration en oxygène suffisante. Or, bien qu'un tel système soit nécessaire quel que soit le nombre de survivants, il n'est pas utile d'en avoir un pour chacun. On peut typiquement envisager d'en avoir un petit nombre et une mise à l'échelle pour qu'il soit adapté à un grand nombre de personnes. Autrement dit, le système peut être partagé et lorsqu'on considère un plus grand nombre de personnes, il y a un gain notable de temps de travail par personne pour développer et maintenir le système support vie. Pour cette raison, la durée de l'activité doit être pondérée par un facteur de partage qui dépend du nombre de personnes. Et il en va de même pour de nombreuses activités. Par exemple, on peut partager un habitat, une cuisine, des toilettes, un véhicule, un scaphandre, ce qui réduit considérablement la durée de l'activité individuelle moyenne pour maintenir ou construire ces objets. De plus, un autre facteur doit être pris en compte, il s'agit de la productivité. Par exemple, même si le nombre de plants de tomates à cultiver croît linéairement avec le nombre de survivants, il est préférable que certaines personnes se spécialisent dans l'agriculture et fournissent leurs produits à la communauté plutôt que chacun cultive dans son coin. Il y a en effet un gain de temps dû à la spécialisation et à l'optimisation de l'activité. Ces gains peuvent également être pris en compte dans le facteur de partage.

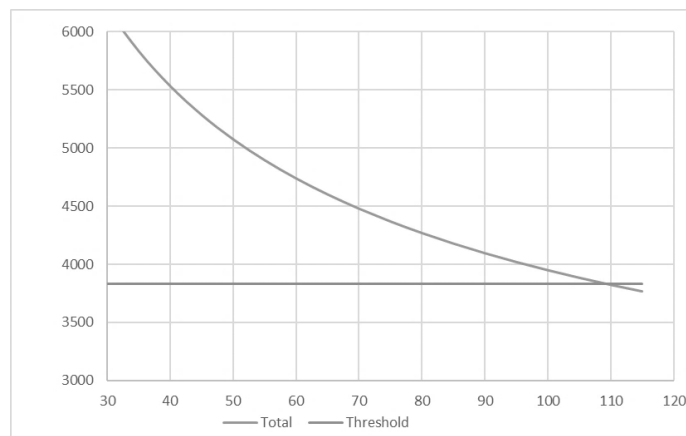
Une publication est en cours avec une modélisation et des calculs approfondis. En résumé, nous avons tenté d'établir une liste relativement détaillée des activités nécessaires à la survie dans chacune des 5 catégories considérées, et pour chaque activité, nous avons défini le facteur de partage en fonction du nombre de personnes. Pour cela, il a fallu préciser le mode de vie envisagé et les industries qui nous ont paru indispensables. Trois grands principes ont prévalu :

- 1) Faire simple. Pour réduire les besoins industriels au strict minimum, il faut abandonner l'idée d'avoir des ordinateurs et des robots sur Mars, qui ne sont pas indispensables à la survie. Cependant, il faut tout de même produire de l'énergie et être capable de construire des objets solides et parfois relativement complexes comme des véhicules et des habitats. Fort heureusement, la surface de Mars recèle de nombreuses ressources intéressantes, notamment de l'eau et du gaz carbonique ainsi que des minerais de fer et du sable à forte teneur en silice. Les deux premiers éléments facilitent grandement le développement de l'agriculture et le maintien des systèmes support vie, ce qui se traduit du point de vue des activités humaines par des procédés simples et un besoin en ressources humaines réduit. De plus, le carbone et l'eau sont aussi des éléments importants pour l'industrie et la chimie. L'industrie du fer et du silicium sont ainsi proposés

comme piliers des activités industrielles pour produire les principaux objets et outils complexes.

- 2) Maximiser le partage. Pour réduire les besoins, il faut partager ce qui peut l'être, notamment les systèmes énergétiques, les systèmes support vie, l'habitat, les infrastructures industrielles, la production agricole, mais aussi les activités qui concernent l'éducation des enfants, la santé, ou l'organisation du travail.
- 3) Développer pas à pas. La survie ne peut être acquise sur le long terme que s'il y a une croissance du groupe et un développement ininterrompu des activités humaines avec l'introduction de nouvelles technologies et l'exploitation de nouvelles ressources. Il ne faut pas prendre l'état initial comme un état stable et désirable mais au contraire comme un état transitoire avec une évolution des techniques et des usages en fonction des innovations et des souhaits de développement de la communauté de survivants.

Au final, après calculs, nous avons pu déterminer le nombre nécessaire d'heures d'activités par personne et sur l'année en fonction du nombre initial de survivants. Voir graphique ci-dessous. Nous pouvons en déduire qu'il faut **un nombre minimum de 110 survivants** pour que la capacité en termes de ressources humaines dépasse les ressources requises pour opérationnaliser les activités. Notre modèle est certainement approximatif et le résultat devra être confirmé par d'autres études, mais c'est un résultat un peu inattendu et très prometteur, car il suggère finalement qu'un groupe relativement faible d'humains pourrait arriver à survivre. On peut interpréter ce résultat de la manière suivante : un petit nombre de survivants ne peut arriver à produire tous les objets dont il a besoin. En revanche, à partir de 110 personnes, suffisamment d'objets et de ressources sont mis en commun pour subvenir aux besoins de tout le monde et envisager une survie long terme, y compris sur plusieurs générations.



Explications : En abscisse, on a le nombre de survivants et en ordonnée le nombre d'heures de travail annuel par personne. En bleu, on a le nombre d'heures requises pour produire toutes les ressources nécessaires à la survie. Le trait horizontal correspond à la capacité de travail annuelle d'une personne, qui est constante. On voit que la capacité est supérieure à ce qui est requis seulement à partir de 110 personnes.

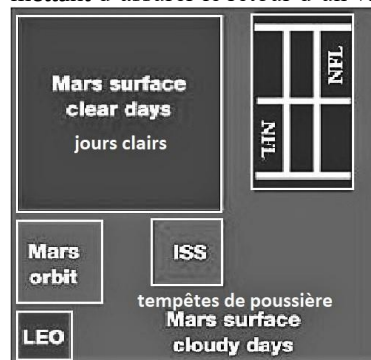
Jean-Marc Salotti

STARSHIP : ROBERT ZUBRIN PRÉCISE SA VISION

Dès la révélation du projet SpaceX de transporteur interplanétaire en 2016, au Congrès de la Fédération Astronautique Internationale (IAF), Robert Zubrin, tout en déclarant « qu'Elon Musk était un héros », formulait quelques critiques sur l'architecture retenue. Étant sur place, nous avons pu recueillir « à chaud » son point de vue et ses propositions d'optimisation.

Lors du dernier congrès de l'IAF, il est revenu sur ce sujet crucial, en précisant sa vision. Ce qu'il conteste, c'est la conception monobloc du vaisseau. A son avis, il vaudrait mieux limiter le rôle du Starship à une mise sur une trajectoire légèrement moins énergétique que la trajectoire de transfert et d'y larguer un vaisseau martien à même de fournir la petite impulsion complémentaire requise, puis la capture en orbite martienne et l'atterrissage. Ceci permettrait de réutiliser rapidement le vaisseau Starship qui, dans le scénario SpaceX, ne peut rentrer avant la prochaine fenêtre de lancement, ce qui conduit à un cycle opérationnel de 52 mois ! Le vaisseau martien, sorte de troisième étage du lanceur, pourrait selon lui être un « mini-Starship », de masse à vide réduite de 120 à 20 tonnes, mais aussi aux capacités de dépôt de charge utile réduite de moitié (57 tonnes au lieu de 115). Au vu de cette diminution de performance et de la complexité accrue du projet (avec en particulier des conséquences en termes de coût de développement et de fiabilité), on peut comprendre que SpaceX n'ait pas été réceptif.

Mais récemment, un facteur réellement préoccupant est remonté au premier plan. Il s'agit de la puissance électrique nécessaire pour produire la quantité considérable de propergol O_2/CH_4 permettant d'assurer le retour d'un vaisseau (1100 tonnes).



Comparaison, suivant le lieu d'utilisation, des surfaces de panneaux pour une puissance donnée (ici 20 kW, 900 m² en LEO). Le plus grand carré représente la surface nécessaire pour une condition typique de tempête de poussière. Les surfaces des panneaux de l'ISS et d'un terrain de football américain sont données comme référence. (doc. NASA)

Ce problème était bien identifié depuis le début. Naturellement, dans l'hypothèse actuelle d'une initiative privée, l'utilisation de générateurs électriques à fission, solution élégante, est difficilement envisageable. Et jusqu'à présent, Elon Musk a toujours déclaré qu'il le résoudrait en installant le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires (« a lot of them », un grand nombre, concédait-il). Néanmoins, désormais au pied du mur pour présenter un projet complet et cohérent, les concepteurs sont confrontés à des ordres de grandeur qui interpellent. Il s'agit (pour un seul vaisseau !) de traiter 1 tonne de glace d'eau par jour/sol, ce qui requiert 0,5 MW (en puissance moyennée), soit, en estimant la puissance moyenne sur une année martienne à 50 W/m² (panneaux fixes), une surface de panneaux à déployer, connecter (et nettoyer !) de 10000 m² (1 ha), pour une masse de 100 tonnes (toutes ces valeurs ne sont qu'indicatives). C'est peut-être faisable, mais est-ce raisonnable ?

Visiblement, Robert Zubrin en doute et met désormais en avant cette difficulté pour justifier sa proposition. En effet, son

architecture de projet permettrait de diviser par 6 ces ordres de grandeur, ou plutôt, à vrai dire, par 3 si on prend en compte la réduction de moitié de la charge utile qu'il obtient.

Richard Heidmann

LA VIE DE L'ASSOCIATION

Cette année encore, grâce tout particulièrement aux efforts de **Liam Fauchard** et de **Dominique Ledevin**, la Bretagne a été la région la plus active en matière d'organisation de conférences et d'expositions, avec un total de 1755 participants/visiteurs, dont plus de 1000 scolaires ! Félicitations.

Début août, APM a participé pour la première fois au **Festival d'Astronomie de Fleurance**, animant son stand pendant toute la semaine, répondant à de nombreuses questions, suscitant de nouvelles adhésions et promouvant le livre "Embarquement pour Mars". **Philippe Clermont** a donné une conférence devant 500 personnes, sur le thème "L'Homme sur Mars, quelles perspectives". Remerciements à **Yves Monier** et **Frédéric Tatout** (administrateurs), ainsi qu'à **Christophe Koppel**, pour leur aide. Le 10 octobre, **Philippe Clermont** a participé à une table ronde sur l'exploration spatiale et les vols habités, organisée par la Banque Publique d'Investissement dans le cadre de sa grande manifestation sur l'innovation. Cette invitation faisait suite aux échanges que nous avons eus avec la BPI au début de l'année.

Pierre Brisson et **Richard Heidmann**, finalistes (avec **Tatiana Volkova**) du concours sur une première colonie, ont présenté leur contribution à la convention annuelle de la Mars Society. Le podium leur a échappé ! Par ailleurs, une équipe de cinq étudiants ESTACA, emmenée par **Pierre-Yves Froissart**, a fait une présentation remarquée (assistance et questions nombreuses) sur les technologies d'un rover pressurisé, tutorée par l'association. **Richard Heidmann** a participé au Steering Committee, où ont été discutés principalement les moyens de communication. Robert Zubrin a fait part du souhait de nos collègues espagnols d'organiser la convention européenne de 2020 ; cela aiderait au lancement de leur chapitre.

Stephan Gérard et **Richard Heidmann** nous représentaient à la récente 19^{ème} convention européenne de la Mars Society, à Londres, chacun auteur d'une présentation.

Le 12 Novembre, à la Mairie du 15^{ème} de Paris, conférence APM-3AF : "L'Homme sur Mars : les préparatifs", par **Richard Heidmann** et **Aline Decadi** (administratrice).

Le 16 décembre, évènement pour **fêter nos 20 ans**, dans les locaux de l'ESA, à Paris (75012). L'occasion, dans un contexte convivial, de faire le point des progrès depuis 20 ans, que des membres témoignent de leurs expériences en simulations terrestres, et que d'éminents spécialistes de l'ENS Lyon, du CNES et de l'ESA nous parlent de l'eau, de la vie sur Mars, et des contributions françaises et européennes aux missions martiennes. 2020: l'année martienne ?

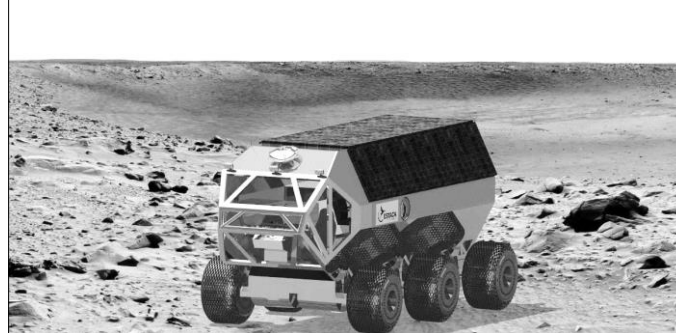
P. Clermont & R. Heidmann



A Fleurance : F. Tatout, Ph. Clermont, Yves Monier (de g. à dte).

PROJET REMUS : ROVER D'EXPLORATION MARTIENNE À USAGE SCIENTIFIQUE

(présenté à la 22^{ème} convention mondiale de la Mars Society)



Depuis le début de l'ère spatiale, de nombreuses missions ont été conduites afin de connaître plus en détail la planète rouge. L'arrivée de nouvelles compagnies privées, et leur collaboration avec les agences gouvernementales va certainement permettre à l'humanité de poser le pied sur notre voisine d'ici la fin du siècle. Notre étude commence ici, dans un futur proche où l'Homme aurait installé une base permanente à la surface de Mars. Les astronautes sur place auront besoin de se déplacer. L'exploration habitée de l'ensemble de la planète sera un processus inévitable dans la colonisation de Mars. C'est dans ce contexte que nous avons essayé de balayer l'ensemble des études relatives à l'avant-projet d'un rover pour l'exploration habitée. Cet article résume les résultats de nos recherches et les différentes problématiques rencontrées.

Conditions martiennes

Les conditions sur Mars sont très différentes de la Terre. Mars est une planète hostile et encore largement inconnue. C'est pourquoi la première étape de l'étude est de caractériser l'environnement dans lequel va évoluer REMUS. La température moyenne à sa surface est de -65 degrés, la gravité y est 3 fois moindre que celle terrestre, l'atmosphère est composée à 90% de CO₂ (donc irrespirable pour l'homme), la planète ne possède pas de protection contre les radiations solaires et le terrain y est très escarpé. Autant de défis à relever dans une conception qui se doit d'être la plus autonome possible. En effet, pas de secours ni de grandes stations Martiennes, le rover se doit donc d'être en autonomie totale (vivres, atmosphère, réparations) sur toute la durée de la mission. Tout cela va donner un premier cadre dans l'architecture globale que nous allons adopter.

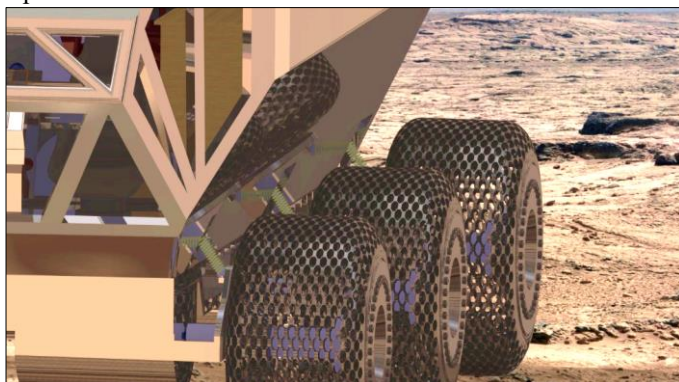
Motorisation et choix des roues

Concernant le design des roues, les missions Apollo 15, 16 et 17 et en particulier le Lunar Roving Vehicle ont été une source d'inspiration importante. Les roues sont donc composées d'un maillage à mémoire de forme, qui permet de garder une roue déformable pour franchir des obstacles rigides tout en s'affranchissant des contraintes pneumatiques que peut poser un pneu classique. Le choix s'est porté sur une architecture à 6 roues permettant une meilleure stabilité, mais aussi une meilleure fiabilité dans le cas de la perte d'une roue (la puissance peut être réparties sur les 5 restantes). La propulsion est entièrement électrique,

ce qui affranchit le rover d'un stockage de carburant et facilite la production sur place.

Le calcul de puissance et d'énergie a été effectué sur Matlab, un logiciel de calcul informatique. Cela a permis d'estimer l'énergie nécessaire pour la durée d'une mission complète (400km de trajet). Afin de prendre une forte marge de sécurité, ces 400km ont été simulés sur une pente montante de 12 degrés. L'énergie totale nécessaire (sciemment surestimée) est de 970kWh, soit environ 12 Tesla Modèle X ou encore 44 Renault Zoé.

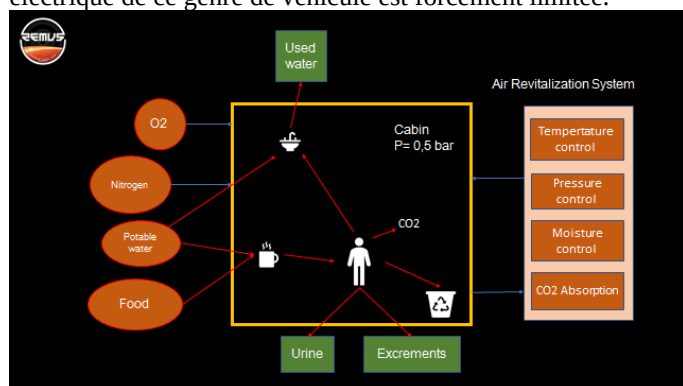
Une fois l'énergie et la puissance embarquée déterminées, le logiciel a simulé différents cas de pannes afin de tester le Rover dans toutes les situations. Ainsi, le rover est résistant à une perte de deux roues, est capable de gravir des pentes jusqu'à 28 degrés ou encore peut être surchargé de 12T. Ces marges permettent de répondre aux contraintes d'autonomie et de sécurités.



Systèmes de vie

Lorsque l'on souhaite envoyer des Hommes sur une autre planète, la question de chaque instant est : comment leur donner le meilleur environnement artificiel pour l'accomplissement de leur mission ?

Le REMUS n'est pas une exception, et il faut trouver des solutions à chaque problème que cette question engendre. Les systèmes de vies doivent être efficaces, robustes, faciles à entretenir et capables de faire face à n'importe quel cas d'urgence. Ils doivent aussi rentrer dans l'espace limité offert par le Rover, et consommer le moins d'énergie possible, car l'alimentation électrique de ce genre de véhicule est forcément limitée.



Les problématiques sont nombreuses quand il s'agit de vivre hors de la Terre. Bien entendu il faut manger et boire, garder une atmosphère respirable et contrôler sa température et son taux d'humidité pour éviter les moisissures, il faut se protéger des menaces extérieures comme les radiations solaires mais il faut également s'occuper des déchets. Surtout dans le cas d'une mission martienne où il est impensable de répandre des matières

organiques à l'extérieur afin d'éviter la contamination. La plupart de l'eau utilisée pour la mission est gardée et pourra être recyclée de retour à la base (même les fluides corporels grâce à un séparateur de liquide dans les toilettes et le condenseur du système de traitement de l'air). Un système de recyclage de l'eau serait trop encombrant et coûteux en énergie. C'est pourquoi tout doit fonctionner en circuit fermé.

Une des caractéristiques les plus importantes des équipements du life support est le principe du fail-safe : s'il y a certains dysfonctionnements ou pannes, les équipements vitaux doivent continuer à fonctionner. C'est pourquoi la plupart des systèmes sont redondés et ont un fonctionnement simple.

Energie : production et stockage

Le REMUS doit avoir accès à une grande quantité d'énergie pour effectuer efficacement sa mission et permettre aux équipes de scientifiques qui l'utilisent de faire leurs expériences et leurs prises d'échantillons sur le terrain. Il faut en effet de quoi faire fonctionner les 6 roues et leur permettre d'atteindre les 400km imposés par le cahier des charges ; il doit évidemment y avoir de quoi faire fonctionner le système de survie ainsi que le matériel scientifique embarqué.

Dans l'idéal il faudrait que le rover soit autosuffisant en énergie et totalement indépendant quant à la production de cette dernière. Dans cette mesure, les énergies renouvelables sont apparues comme étant une bonne solution, et plus particulièrement l'énergie solaire qui est facile d'accès sur Mars. Si les panneaux solaires utilisés dans notre quotidien ont un rendement assez faible (6% à 20%) ceux utilisés dans le spatial (les panneaux solaires à multi-jonction) ont un rendement qui les surpasse de loin (65% pour 3 couches). Ces panneaux fonctionnent selon le même principe que les « classiques » mais sont une superposition de couches absorbant chacune une longueur d'onde différente permettant ainsi de multiplier l'efficacité du système. Dans notre cas, avec le toit du REMUS recouvert de panneaux le rover pourrait d'ores et déjà générer une partie de son énergie. Cette dernière, bien qu'étant en quantité importante, est loin d'être suffisante pour subvenir aux besoins du rover et de son équipage.

Il faut donc un système complémentaire de production d'électricité afin de répondre au besoin ; il doit non seulement produire assez d'énergie pour la mission de 15 jours, mais aussi être d'une grande fiabilité. Plusieurs solutions pourraient correspondre à ces critères tel que le Kilopower, système mis au point par la NASA, et déjà opérationnel qui permet de générer une grande quantité d'énergie et comblerait amplement les besoins de notre rover. Mais, outre ses dimensions imposantes et son poids conséquent (1500kg), le talon d'Achille de ce système est le danger qu'il représente pour la santé. Étant basé sur une réaction de fission nucléaire (réaction que l'on trouve dans les centrales nucléaires) qui produit des particules (les rayons gamma) qui peuvent être néfastes pour l'équipage.

Ayant épuisé un nombre conséquent de solutions qui ne correspondaient pas totalement au système en raison des contraintes de masse, de quantité d'énergie générée ou de fiabilité, il devint évident que le rover ne pourrait pas être indépendant concernant la production d'électricité et qu'il serait nécessaire pour lui de stocker cette dernière. Parmi de nombreux systèmes existants et performants, les batteries lithium ion qui ont grandement évolué ces dernières années semblent correspondre aux besoins du

rover tant pour leur fiabilité que pour leur performance. Le REMUS sera donc doté de 4 batteries qui seront greffées à son châssis. De plus, le fait d'avoir plusieurs éléments de stockage augmente la fiabilité du rover qui pourra encore être opérationnel en cas de panne de l'une d'elles.

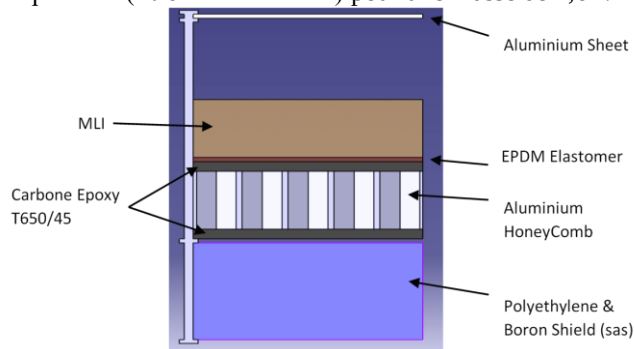
Structure et matériaux

La structure des parois est soumise à un cahier des charges strict. En effet les matériaux choisis doivent répondre aux contraintes mécaniques, thermiques et de protections aux radiations en priorité. Outre ces problématiques évidentes, il faut aussi considérer une structure résistante au feu, au cycling (les changements de températures nuit/jour répétés et dilatation des matériaux). Toutes ces contraintes imposent un choix de structure dite « en sandwich » c'est-à-dire composée de plusieurs couches avec des matériaux répondant au cahier des charges.

Ainsi l'un des premiers matériaux de ce sandwich structurel sera une couche d'aluminium en nid d'abeille. Ce dernier est très léger et possède des caractéristiques mécaniques excellentes assurant la sécurité des occupants, déjà utilisé par la NASA entre autres (Mariner 3 par exemple). Ce matériau sera par la suite confiné entre deux couches de Carbone Epoxy. L'avantage du Carbone Epoxy est qu'il est compressible (et donc absorbe les chocs) tout en ayant des caractéristiques thermiques intéressantes.

Une couche de Multi Layers Insulation (MLI) permet d'assurer une grande protection contre le cycling et les radiations solaires. Ce matériau est cependant fragile et ne peut pas être accolé au Carbone Epoxy directement. Dans un premier temps il est décidé de placer un « bouclier » à cette dernière : une fine couche d'aluminium protégeant des micrométéorites et des poussières. Par ailleurs la liaison sera assurée par un élastomère EPM (Copolymère Ethylène-Propylène). Celui-ci à l'avantage d'être un composé en éthylène protégeant des radiations, d'assurer l'étanchéité (la fonction pour laquelle il est utilisé dans l'industrie automobile) et la liaison avec le Carbone Epoxy.

Enfin, en cas d'événements radiatifs (tempêtes solaires) mettant en danger les occupants il est important de posséder une partie du rover servant de refuge. Ainsi un caisson d'isolement, qui sera le sas, possèdera une protection en polyéthylène boré (utilisé dans le milieu médical et nucléaire). Ce matériau participe pour un tiers de la masse structurelle alors même qu'il n'est présent que dans le sas, c'est la raison pour laquelle il n'est pas implémenté dans le reste du rover. La structure fait donc 5,5 cm d'épaisseur (10,5cm dans le sas) pour une masse de 1,6T.



Modélisation 3D

L'objectif après avoir étudié séparément les technologies clés à mettre en place, est de modéliser l'ensemble sur un logiciel de conception virtuelle (Catia ici). Un logiciel de CAO permet,

entre autres, d'éviter de nombreux problèmes liés à l'aménagement ou l'ergonomie, outre l'intérêt visuel évident. REMUS étant pressurisé, les calculs préconisaient une forme cylindrique afin d'optimiser la répartition des efforts de pression. Cependant pour des questions de répartition d'espace dans le rover, une forme hexagonale sera choisie afin de réaliser un compromis entre propriétés mécaniques et fonctionnelles. La modélisation 3D rend aussi possible des études par éléments finis, permettant ainsi d'étudier les efforts mécaniques et d'optimiser (via des itérations) la structure, et donc le poids. Ces études ont pu optimiser localement la conception du rover, renforcer des parties sujettes à des déformations importantes et alléger celles qui n'en connaissent pas.

REMUS serait un véhicule pratique et bien dimensionné pour une mission d'exploration scientifique sur la planète rouge. Avec ses capacités multiples, il pourrait servir aussi bien de lieu de vie durant plusieurs jours à 2 membres d'équipage que de simple véhicule de transport pour un plus grand nombre de passagers. En raison des conditions hostiles de la planète nous avons décidé de prendre des marges importantes tant pour les systèmes énergétiques que pour la structure; mais il est probable qu'un rover du même type pourra être optimisé sur ces différentes parties une fois que la colonisation martienne aura commencé et que les connaissances de l'environnement local seront plus précises. De plus, un aménagement plus minutieux de l'intérieur du rover aurait pu être envisagé si nous avions plus de connaissance du type et des dimensions du matériel qui serait alors embarqué. En outre le rover pourrait être doté d'un bras robotisé du même type que CanadArm qui est actuellement en place sur l'ISS (Station Spatiale Internationale) et qui permettrait d'aider les membres de l'équipe dans le cas de déplacement de charges lourdes. La plus grande part d'incertitude de notre étude est due à l'estimation de l'évolution des technologies d'ici 2040 : qui sait les merveilles d'évolution technologique qui auront vu le jour d'ici là ?

Pierre-Yves Froissart

(Autres membres de l'équipe : **Charly Desprez, Pierre Fraudeau, François-Wandrille de Lamberterie, Marine Laumain**)



Ont collaboré à ce numéro : Philippe Clermont, Pierre-Yves Froissart, Richard Heidmann, Dominique Ledevin, Jean-Pierre Martin, Jean-Marc Salotti,
Achevé d'imprimer : Objectif numérique 56100-Lorient
Dépôt légal : novembre 2019