



EDITORIAL : PREMIERS SUCCÈS DES NOUVELLES MISSIONS MARTIENNES

L'année martienne 2021 s'annonçait prometteuse et cela se confirme, avec des avancées majeures. Les deux démonstrateurs technologiques embarqués à bord du rover Perseverance ont passé leurs tests avec succès.

Le drone hélicoptère Ingenuity a complètement réussi sa phase de tests prévue, soit 5 vols de complexité croissante, en 30 jours. Le succès a été tel que la NASA a décidé de prolonger la mission au-delà, en prévoyant à court terme un sixième vol toujours plus ambitieux. Rappelons qu'Ingenuity a été présenté « derrière la scène » lors du webinaire APM du 28 avril dernier, par Jeff DeLaune, ingénieur-chercheur au JPL dans l'équipe Ingenuity.

Les premiers grammes d'oxygène ont été produits sur Mars par MOXIE. MOXIE a pour objectif de tester la production d'oxygène en conditions réelles, ingérant de l'air martien, avec ses composants et ses poussières, et mesurant la quantité et la pureté d'oxygène produit. La technologie retenue, issue du MIT, est basée sur le principe d'électrolyse solide. D'autres technologies pourraient être envisagées (plasmas CO_2 , électrolyse de l'eau). Une pré-étude plasma, à laquelle APM a contribué, a été effectuée à l'Ecole Polytechnique par des étudiants. Votre association souhaite développer ces thématiques ISRU (In Site Resource Utilization), avec l'arrivée au Conseil d'Administration de Lucien Bildstein, au côté de Richard Heidmann.

Poursuivant ses essais à un rythme incroyablement soutenu, SpaceX a réussi son essai SN15, avec le premier posé du prototype Starship. C'est une réussite technologique, un nouveau jalon majeur franchi pour les projets martiens de SpaceX.

Premier essai réussi également pour la Chine, avec l'atterrissage de son premier rover. Aventure à suivre ! Souhaitons que le rover européen ExoMars (Rosalind Franklin) nous fasse la même démonstration pour la prochaine fenêtre de lancement. Sa foreuse, capacité unique parmi les rovers, à 2m de profondeur, pourrait nous conduire à des découvertes radicales.

Le programme de webinaires se poursuivra à la rentrée, vous offrant de découvrir de façon plus approfondie les projets martiens (infos sur notre site).

Philippe Clermont
Président

Dans ce numéro :

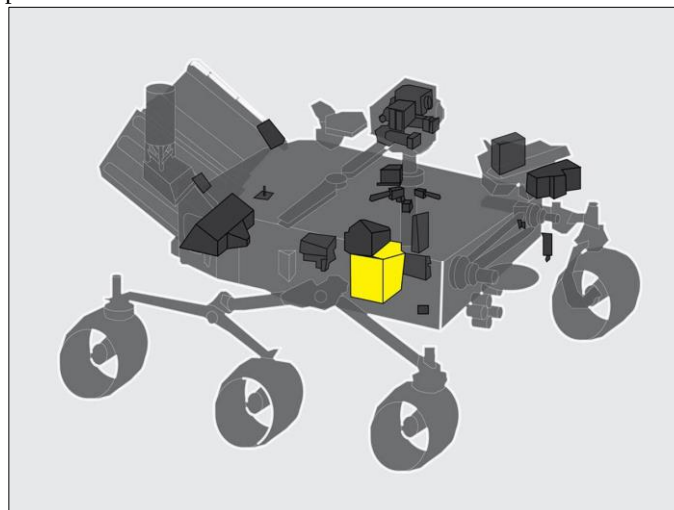
- De l'oxygène synthétique sur Mars p.1
- Quelle est la probabilité que l'humanité disparaisse suite à un impact d'astéroïde ? p.3
- Le projet Marsproof ISRU p.4
- La vie de l'Association p.5
- Combinaisons spatiales : deux lignes d'évolution p.5
- Un pas de géant p.7
- Architecture d'Arkadia p.7

prochain numéro : juillet 2021...

DE L'OXYGÈNE SYNTHÉTIQUE SUR MARS

Alors que nous en étions, le 25 avril, au 3^{ème} vol d'Ingenuity qui peu à peu ouvre son domaine de vol, une deuxième démonstration technologique avait eut lieu précédemment.

Au sol 60, le 20 avril, un jour après le premier vol du drone-hélicoptère, les ingénieurs de Perseverance ont fabriqué de l'oxygène à l'aide du mini démonstrateur MOXIE (Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment). C'est une autre première utile et fondamentale pour l'avenir dont on a moins parlé dans les médias.



Emplacement de MOXIE dans le rover Perseverance. (doc. JPL)

Il s'agit pourtant de la première extraction expérimentale d'une ressource naturelle d'une autre planète à des fins humaines (ISRU). En effet l'oxygène sur Mars sera utile pour les astronautes-explorateurs, mais c'est aussi un élément essentiel pour les moteurs fusées de retour sur la Terre. C'est le comburant de la plupart des propergols liquides, qui brûle avec divers carburants (kérosène, hydrogène, ou méthane).

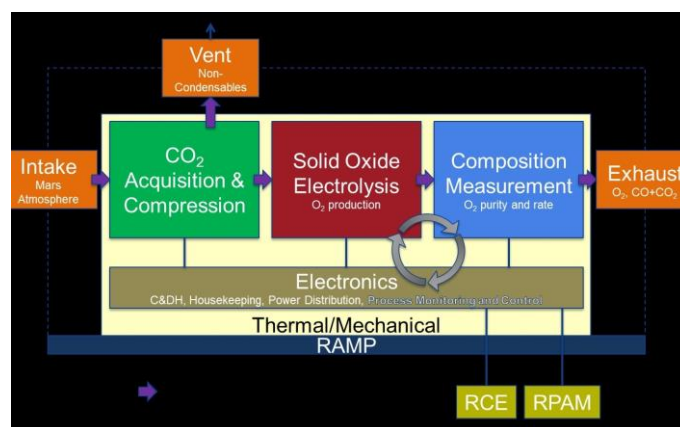


Schéma fonctionnel du générateur MOXIE. (doc.MIT/NASA)

La méthode la plus simple est de partir du dioxyde de carbone qui constitue environ 95% de l'atmosphère martienne. MOXIE utilise le procédé d'électrolyse solide à haute température (SOXE ou Solid Oxide Electrolyser) à l'aide d'une cellule électrochimique où se dégrade le dioxyde de carbone (CO_2) en monoxyde de carbone (CO) et oxygène (O_2). C'est une réaction endothermique qui nécessite un apport d'énergie calorifique pour atteindre une température de 800°C afin que la réaction de dissociation ait un bon rendement sous 1 bar de pression. Cet ensemble consomme ainsi beaucoup d'électricité. L'objectif de MOXIE est de produire de l'oxygène d'une pureté d'au moins 98 %.

Le SOXE, fonctionnant à 800°C , nécessite un système d'isolation thermique sophistiqué, englobant le système de préchauffage des gaz d'entrée et de refroidissement des gaz d'échappement, à base de matériaux résistants à la chaleur.

Le principe de fonctionnement d'une cellule d'électrolyse à oxyde solide (SOEC) est le suivant : certains oxydes céramiques, tels que la zircone stabilisée à l'yttrium (YSZ) et la cériine dopée, deviennent des conducteurs d'ions oxydes (O_2^-). Un mince disque non poreux de « YSZ » (électrolyte solide) est pris en sandwich entre deux électrodes poreuses de nickel. Le CO_2 diffuse à travers l'électrode poreuse (cathode) et atteint le voisinage de la limite électrode-électrolyte. Grâce à une combinaison de dissociation thermique et d'électrocatalyse, un atome d'oxygène est libéré et capte deux électrons de la cathode pour devenir un ion oxyde (O_2^-). Via un vide d'ions oxygène dans le réseau cristallin de l'électrolyte, l'ion oxygène est transporté vers l'interface électrolyte-anode en raison du potentiel de courant continu appliqué. À cette interface, l'ion oxygène transfère sa charge à l'anode, se combine avec un autre atome d'oxygène pour former de l'oxygène (O_2) et diffuse hors de l'anode.

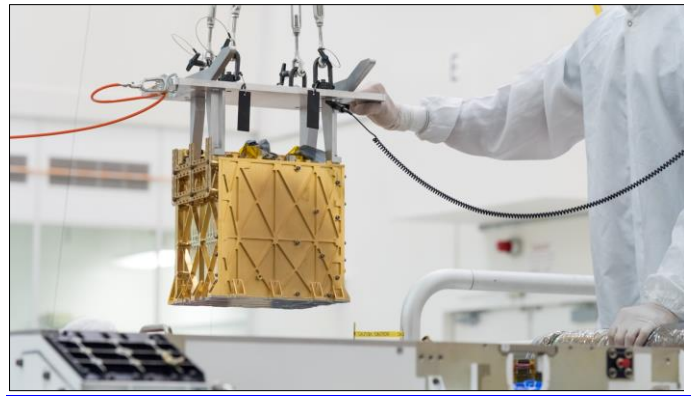
Les flux d'échappement d' O_2 et de CO_2 / CO à l'anode, sont ensuite analysés pour vérifier le taux de production et la pureté d' O_2 et pour le contrôle du processus. Le courant électrique à travers le SOXE est un résultat direct de la quantité d'ions oxyde transportés à travers l'électrolyte et fournit une mesure indépendante du taux de production d' O_2 .

Sur la base de l'efficacité de conversion calculée à partir des débits et des mesures de composition, les paramètres de contrôle du SOXE tels que le débit d'entrée de CO_2 , la température et la tension appliquée sont utilisés pour optimiser la production d' O_2 dans les conditions environnementales de Mars. Les flux d'échappements refroidis sont ensuite filtrés pour répondre aux exigences de protection planétaire et évacués du rover.

La télémétrie du processus est envoyée au rover pour la liaison descendante vers la Terre pour contrôle du fonctionnement lors de la production.

Le 20 Avril 2021, MOXIE a produit 5 g d'Oxygène, quantité qui serait suffisante à un astronaute pour respirer pendant 10 minutes. MOXIE, mis au point par le MIT de Boston, à partir d'une cellule SOEC de chez OxEon Energy, est de la taille d'un grille-pain et pèse 17 kg.

MOXIE peut fabriquer jusqu'à 10 g d'oxygène à l'heure. Michael Hecht du MIT, Haystack Observatory à Westford, Massachusetts, est le PI de l'expérience.



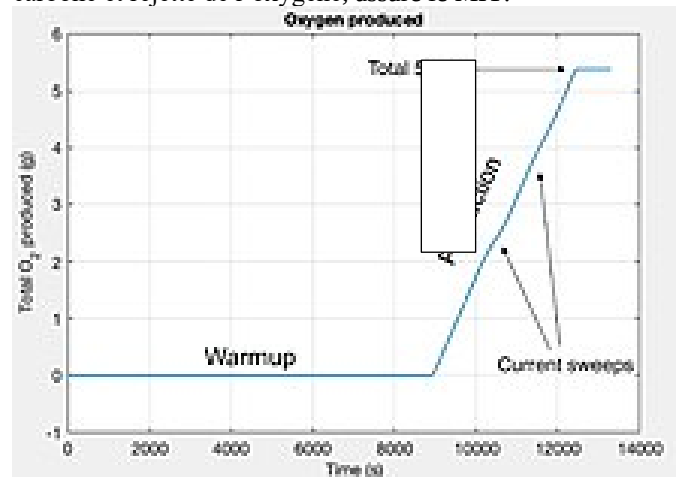
MOXIE en cours de préparation. (doc. MIT/NASA)

À l'heure actuelle, il est prévu d'effectuer au moins 10 cycles de production d'oxygène tout au long de la mission dans autant de conditions saisonnières et environnementales différentes que possible. En raison de la quantité d'énergie intense requise pour exécuter l'expérience MOXIE, l'équipe se coordonnera avec les autres scientifiques, qui devront annuler leurs consommations électriques pendant la durée de fonctionnement de plusieurs heures de MOXIE, puis attendre la majeure partie d'une journée martienne pour recharger les batteries de Perseverance.

Notons qu'une fusée devant ramener de Mars un équipage minimal (4 astronautes) a besoin de 25 tonnes d'oxygène approximativement et de 7 tonnes de carburant. Par contre les astronautes nécessitent beaucoup moins pour respirer, environ une tonne pour un séjour d'un an (*nota : un projet à base de Starship serait d'une toute autre échelle ; plus de 800 tonnes d'oxygène liquide à produire (par électrolyse d'eau martienne).*) La masse d'un convertisseur MOXIE de grande dimension (200 fois) pour une opération Homme sur Mars serait de l'ordre d'une tonne, ce qui n'est pas rédhibitoire.

MOXIE s'appuie sur une expérience antérieure, le précurseur de production de propergols in situ Mars (MIP), qui a été conçu et construit pour voler dans le cadre de la mission Mars Surveyor 2001 Lander. Le MIP visait à démontrer la production in situ du propergol (ISPP) à l'échelle d'un laboratoire en utilisant l'électrolyse du dioxyde de carbone pour produire de l'oxygène. La démonstration de vol du MIP fut reportée après l'échec de la mission Mars Polar Lander.

MOXIE fonctionne comme un arbre : il respire du dioxyde de carbone et rejette de l'oxygène, assure le MIT.



Sources : NASA, MIT, Wikipedia, OxEon Energy

Yves Monier

QUELLE EST LA PROBABILITÉ QUE L'HUMANITÉ DISPARAISSE SUITE À UN IMPACT D'ASTÉROÏDE ?

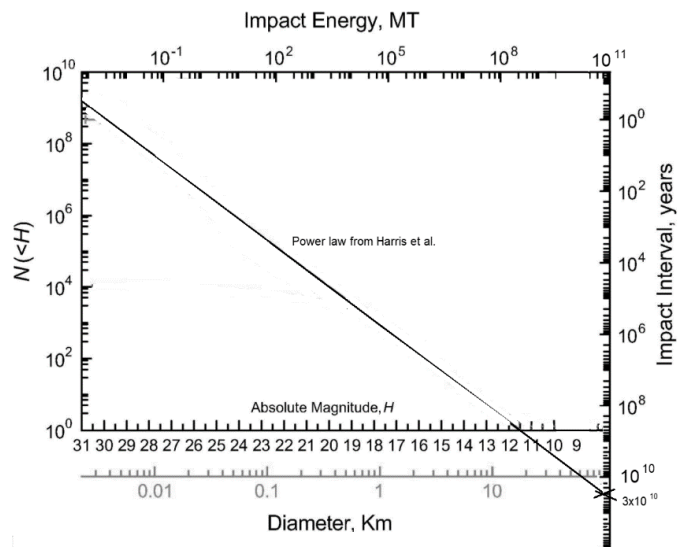
Cette question lancinante n'a pas reçu de réponse claire de la communauté scientifique. Avec l'aide d'un astrophysicien, j'ai cherché à approfondir la question. Un article paraîtra sans doute prochainement dans une revue spécialisée pour y exposer notre méthode et nos résultats. En exclusivité pour Planète Mars, voici une synthèse des points essentiels.

En premier lieu, il faut déterminer quelle taille serait nécessaire à un astéroïde pour éradiquer de façon certaine toute vie humaine sur Terre. En vérité, il faudrait également tenir compte de la vitesse de ce dernier, de sa densité, de l'angle d'arrivée, ainsi que du lieu de l'impact. Le problème devient vite très complexe. Pour simplifier, on peut dire qu'un astéroïde de 100 km de diamètre serait effectivement suffisant pour éradiquer en très peu de temps de l'ordre de 99% de l'humanité (voir les effets d'un impact quelconque sur le site de Collins [1]). Pas 100%, car un petit nombre pourrait en effet survivre aux effets immédiats, typiquement s'ils sont situés de l'autre côté de la Terre par rapport au lieu d'impact. Cependant, un tel astéroïde modifierait l'atmosphère sur une très longue période qui se chiffrerait en centaines ou milliers d'années, avec notamment un obscurcissement durable du ciel qui entraînerait la mort des plantes vertes et du plancton, et par voie de conséquence une baisse importante du taux d'oxygène. Malgré tout, les humains étant capables de construire des abris hermétiques, d'intégrer des systèmes support vie, de sortir en scaphandre, de produire de l'énergie (par exemple avec des éoliennes), de faire pousser des plantes avec un éclairage artificiel, et ainsi de suite, cela ne suffit pas encore pour démontrer que l'humanité serait totalement éliminée de la surface terrestre. Dans cet enfer, la fin pourrait venir de la détresse humaine, de la compétition pour des ressources, ou de l'anarchie généralisée, mais ce n'est finalement pas certain. De plus, si la prédiction de l'impact est de plusieurs centaines d'années à l'avance, ce qui serait a priori le cas le plus probable, il y aurait le temps de se préparer, ou même de coloniser d'autres mondes, afin de garantir la survie de l'espèce humaine.

Admettons malgré tout que le danger d'annihilation globale soit la collision avec un astéroïde de 100 km de diamètre, quel serait alors la probabilité d'un tel événement ?

Il existe deux catégories d'études sur le risque posé par les chutes de météorites, la première est basée sur l'analyse statistique du nombre et de la taille des cratères lunaires et la deuxième sur l'observation et l'analyse de la taille et de la fréquence des objets qui s'approchent de la Terre. Ces deux approches s'accordent à peu près, et de la fréquence des objets qui s'approchent de la Terre. Ces deux approches s'accordent à peu près. Le résultat de l'étude de Harris est présenté figure 1, avec en abscisse la taille des astéroïdes et en ordonnée l'intervalle de temps moyen entre 2 impacts, les valeurs étant exprimées de manière logarithmique [2]. Comme les astéroïdes de plus de 100 km sont très rares, les abscisses s'arrêtaient à 10 km. J'ai donc volontairement prolongé la courbe vers la droite.

Le résultat est qu'un astéroïde de 100 km tombe sur Terre tous les 30 milliards d'années en moyenne. C'est plus que l'âge de la Terre. Ramenons-nous à des probabilités : la probabilité d'impact par un tel astéroïde serait de 1 chance sur trente mille pour le million d'années à venir.



Mais est-ce qu'il existe des astéroïdes aussi gros dans le système solaire ? La réponse peut faire peur. En effet, il existe 83 astéroïdes de plus de 100 km dans la ceinture principale, qui s'aventurent donc dans le système solaire interne, entre le soleil et Jupiter. Mais ce n'est pas tout, il existe une vingtaine de géants « Trojans », qui sont sur une orbite stable en résonance avec Jupiter et il existe plus de cent mille (oui, cent mille !) astéroïdes de plus de 100 km de large au-delà de Jupiter, avec des catégories comme les Centaurs, les Transneptuniens, les Jupiter Family Comet, les Scattered Disk Objects, etc. Seuls quelques centaines de ces objets ont été répertoriés en observant une toute petite partie du ciel. La grande majorité orbite cependant au-delà de Neptune et n'approche aucune planète géante. Ces astéroïdes sont donc inoffensifs ... pour le moment.

Il existe une catégorie d'objets qui mérite une étude approfondie, ce sont les comètes à longue période qui viennent du nuage de Oort. Pourquoi ? Parce qu'elles ne viennent que tous les 1000 ans, voire plus, et si elles venaient dans notre direction, nous ne les découvririons que trois ou quatre ans avant l'impact, dix dans le meilleur des cas. Autant dire qu'il n'y aurait vraiment pas le temps d'aller sur une autre planète ou de se préparer à survivre. Boe et al ont étudié la fréquence et la distribution en taille des comètes [3]. Aucune comète à longue période de plus de 100 km de large n'a jamais été observée. Toutefois, ils ont établi un modèle prédictif. Selon ce modèle, les comètes de plus de 100 km de diamètre représentent de l'ordre 1 milliardième de l'ensemble des comètes et comme il y a 6,2 comètes qui sont observées par an, on peut prédire combien il en est passé depuis la formation de la Terre et combien il en passera. Passer ne suffit pas, il faut prédire un possible impact. Avec quelques hypothèses complémentaires, on peut estimer la probabilité d'impact d'une telle comète. Je ne rentre pas dans les détails. Selon mes calculs, elle est de 4×10^{-12} pour les 100 prochaines années. C'est évidemment très faible, fort heureusement, mais ce n'est pas nul. Et surtout, c'est cumulatif avec le temps. Si on ne colonise

aucun autre monde pendant le million d'années qui vient, la probabilité d'extinction par un tel impact est de 10^{-8} ce qui est supérieur à la probabilité de gagner le gros lot à certaines loteries. Etant donné l'enjeu, la survie de l'humanité et d'un grand nombre d'autres espèces animales et végétales, il serait dommage de ne pas prendre cette assurance survie !

Jean-Marc Salotti

Références

[1] Site de Collins pour simuler les effets d'une collision : <https://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEarth/ImpactEffects/>

[2] Harris A. W., Boslough M., Chapman C. R., Drube L., Michel P., and Harris A. W., Asteroid impacts and modern civilization: Can we prevent a catastrophe? In *Asteroids IV* (P. Michel et al., eds.), pp. 835–854. Univ. of Arizona, Tucson, 2015.

[3] Benjamin Boe and Robert Jedicke and Karen J. Meech and Paul Wiegert and Robert J. Weryk and K.C. Chambers and L. Denneau and N. Kaiser and R.-P. Kudritzki and E.A. Magnier and R.J. Wainscoat and C. Waters, "The orbit and size-frequency distribution of long period comets observed by Pan-STARRS1", *Icarus*, vol. 333, pp. 252 - 272, 2019.

LE PROJET MARSPROOF ISRU



Sur les photographies des sondes et rovers lancés à l'exploration de Mars, la planète rouge ressemble à un vaste désert. Pourtant, ses roches et son atmosphère contiennent les briques nécessaires à la production d'eau, oxygène, hydrogène, méthane, et mêmes des matériaux plus sophistiqués : acier, verre, briques, plastiques. C'est le cœur du **concept d'utilisation des ressources locales** (*In-Situ Resource Utilization* ou ISRU).

Le Projet

Ce projet est mené au sein de l'association Fédération Open Space Makers, fondée avec le soutien du CNES et qui vise à ouvrir le monde de l'infrastructure spatiale au plus grand nombre. Notre ambition est de concevoir et réaliser un démonstrateur ISRU opensource, qui pourrait être testé sur le terrain.

La route sera longue, et l'inhabituelle année 2020 a limité nos activités à des recherches bibliographiques sur l'environnement martien et l'étude de différents systèmes ISRU répertoriés dans les travaux de Richard Heidmann et d'autres. Nous sélectionnons actuellement les sous-systèmes se prêtant à une approche de prototypage rapide en fablab pour attaquer la phase de spécification de démonstrateur(s), à réaliser par les membres de l'association.

Focus sur le partenariat Mecavenir

En parallèle, nous explorons un autre mode de travail au travers de projets avec des étudiants. L'objectif est triple :

- Accélérer l'exploration de sous-systèmes ISRU, les prototyper pour évaluer leurs performances
- Apprendre comment cadrer les sujets et orienter le travail d'étudiants ingénieurs pour contribuer efficacement à l'avancement de notre projet

- Proposer un projet pédagogique original et inspirer les nouvelles générations

Nous avons initié fin 2020 un partenariat avec le centre de formation par apprentissage CFA Mecavenir, à Puteaux. Notre équipe encadre 24 élèves mécatroniciens en 5^{ème} année de l'ISAE Supméca, qui disposent chacun de 75 heures de design et prototypage dans le cadre de leur cursus.

Nous avons inspiré des thèmes autour d'un rover de collecte de régolithe, d'une unité de sublimation de la glace depuis le régolithe, et d'un simulateur atmosphérique martien. L'équipe a fixé un cahier des charges inspiré des contraintes environnementales martiennes et dimensionné sur la base d'une petite mission fictive.

Nos 7 groupes de 3 ou 4 élèves ont chacun étudié un sous-système. Ils ont imaginé des solutions originales (ou pas) pour répondre aux spécifications, et dû communiquer entre eux pour adresser les interfaces et aligner leurs plans. Tous les groupes ont procédé à une analyse du système en regard des performances attendues et à des recherches sur les matériaux et procédés de fabrication à privilégier.

Comme convenu avec l'équipe pédagogique, nous jouons le rôle de « client », orientant les prises de décisions. Les groupes délivreront leurs listes de pièces et matériaux, des plans et CAO, et documenteront leurs éventuels prototypages (impression 3D, maquette « basse définition ») si cela permet de valider leurs designs. Les groupes « châssis rover » et « séchoir à régolithe » vont réaliser des maquettes fonctionnelles et des mesures de performance.

Le matériel généré sera publié en open source sur le site de Fédération, mis à disposition des communautés Maker (spatial ou non) et servira de base à nos futures itérations.

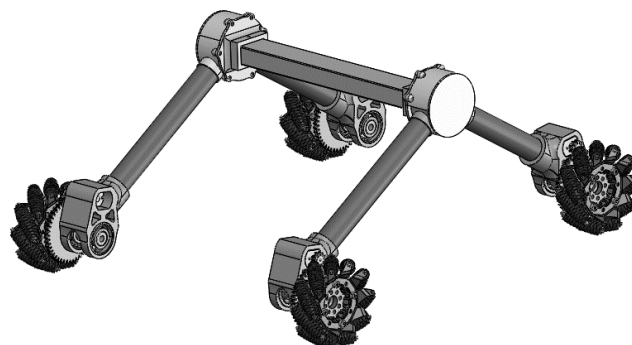


Fig. 1 – CAO châssis rover avec moteurs moyen dans une pièce imprimée 3D, et système d'amortisseur low-cost.

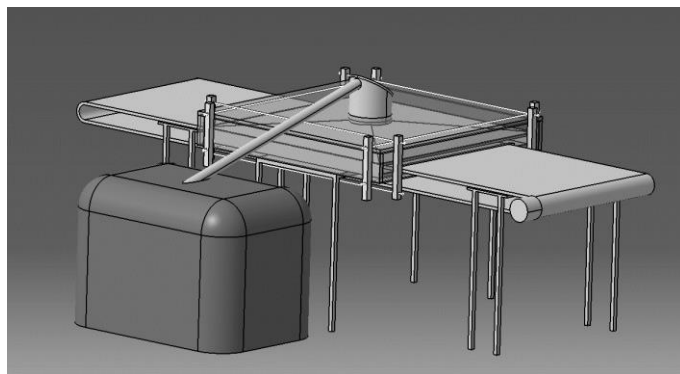


Fig. 2 – CAO séchoir à régolithe, le four sera prototypé en acier et isolé pour évaluer ses performances thermiques

Nous rejoindre

Notre équipe rassemble une dizaine de bénévoles de formations et d'horizons très divers. Toutes les personnes intéressées pour nous rejoindre sont les bienvenues sans autres prérequis que l'envie d'apprendre et de participer. Nous sommes persuadés que cette approche de design sous contrainte permet d'enrichir l'état de l'art et de contribuer concrètement au patrimoine technique commun de l'Humanité, tout en donnant libre cours à notre curiosité pour l'exploration spatiale. N'hésitez pas à visiter notre site !

<https://www.federation-openspacemakers.com/fr/participer/projets/production-de-ressources-martiennes/>

L'équipe MarsProof

LA VIE DE L'ASSOCIATION

L'Association Planète Mars a commencé l'année 2021 avec le tournage d'un podcast martien pour la radio France Info, en partenariat avec la Cité de l'Espace à Toulouse. Il s'agissait du tournage d'une série de 6 podcasts sur l'exploration martienne, diffusés à la radio le 8 février. L'ensemble de la série couvre l'attrait de l'être humain pour la planète rouge depuis l'antiquité, le transport spatial, les missions martiennes en 2021, les facteurs humains, et la vie sur Mars. C'est sur ce dernier **Episode 7** que j'ai présenté les différents défis qui attendent le premier équipage à son arrivée. Cette série est à présent disponible sur les ondes hertziennes ici :

<https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/mars-la-nouvelle-odysee/>

Episode 1 : Mars, sa carte d'identité et la fascination des Hommes pour cette planète

Episode 2 : Mars, histoire de son exploration

Episodes 3 et 4 : Les robots martiens

Episode 5 : Le voyage vers Mars, avec quelle fusée ?

Episode 6 : Le voyage vers Mars, supportable pour les Hommes ?

Episode 7 : Des Hommes sur Mars, pour faire quoi? Et après ?

Notre association apporte sa contribution à cette année 2021 très martienne par la mise en place **d'une série de webinaires**. J'ai le plaisir chaque mois de recevoir des invités de marque, qu'ils soient internes ou externes à l'Association. Vous pouvez vous inscrire aux prochains webinaires (à partir de notre site Internet). L'inscription est gratuite, mais limitée aux 100 premiers demandeurs. Vous recevrez un e-mail de confirmation contenant les instructions pour rejoindre la réunion.

Le programme à dérouler jusqu'à mi-2021 :

Persévérance, les technologies et les enjeux scientifiques : Gilles Dawidowicz (SAF) et Philippe Clermont (APM) / 17 Mars

État des lieux et défis du projet Starship : Richard Heidmann (APM) / 31 Mars

Ingenuity, enjeux et défis du premier vol sur Mars : Jeff Delaune (JPL) / 28 Avril

Les projets de retour d'échantillons martiens (MSR) : Yves Monier (APM) / 19 Mai, 18h30

Simulations analogues MDRS 2021 : Aline Decadi (APM) / 23 Juin 18h30

Une question ? Nous contacter à : events@planete-mars.com

Vous pouvez également retrouver les replays des précédents webinaires sur la chaîne Youtube de l'Association.

Notre AGO s'est tenue (en distanciel) le 31 mars. Boris Segret, administrateur de longue date que nous remercions pour son soutien, a demandé à être relevé au Conseil d'Administration. Lucien Bildstein, président de l'association Federation Open Space Maker, avec laquelle nous avons des relations, a été coopté pour tenir le siège ainsi devenu vacant.

Le Conseil d'Administration s'est réuni le 26 Février et le 5 Mai, en particulier pour nommer le bureau : président : **Philippe Clermont** ; vice-président : **Richard Heidmann** ; secrétaire exécutive et responsable communication : **Aline Decadi** ; trésorier : **Stephan Gérard**.

Pour être informé(e)s des prochains événements organisés par l'Association, inscrivez-vous à la newsletter APM :

<http://eepurl.com/gMKVX5>

Prenez soin de vous et en avant Mars !

Aline Decadi

COMBINAISONS SPATIALES : DEUX LIGNES D'ÉVOLUTION

La NASA considère la combinaison spatiale comme un vaisseau spatial individuel équipé d'un système de support vie (« PLSS » pour « Personal Life Support System »). Elle a beaucoup évolué depuis la première sortie dans l'espace d'Alexei Leonov, le 18 mars 1965 ou les missions Apollo (1969 à 1972), tout au long des séjours dans la Navette (« Shuttle ») puis dans l'ISS. Comme tout équipement conçu pour faciliter la vie de l'homme en milieu hostile, elle devient de plus en plus sûre et de moins en moins inconfortable. Deux voies sont ouvertes, celle de la combinaison pressurisée (type xEMU en développement à la NASA) et celle de la combinaison à contre-pression mécanique (type BioSuit en cours d'étude au MIT).

La combinaison pressurisée

La combinaison pressurisée est une sorte d'enveloppe-coquille souple, gonflée d'oxygène (minimum 20,7 kPa) qui permet la respiration et le maintien d'une pression acceptable pour le corps. Les problèmes posés par cette combinaison sont que, gonflée, elle a tendance à se rigidifier, qu'elle est relativement encombrante et que les accrocs sont très dangereux puisqu'ils peuvent entraîner une dépressurisation.

Si l'on considère la combinaison en épaisseur, on voit qu'elle est constituée de nombreuses couches (jusqu'à 16 en certains endroits). Elles forment deux « vêtements ». Entre les deux, une poche-vessie (« bladder »). On trouve d'abord au contact de la peau, le système de conditionnement. Il a pour fonction le chauffage et le rafraîchissement avec circulation de fluides à l'intérieur d'une centaine de mètres de tubes très fins incorporés dans un tissu élastique (élasthane ou « spandex » chez les Américains) et couvrant tout le corps, avec une multitude d'évents permettant d'évacuer la sueur (l'humidité peut varier de 30 à 70% selon l'activité). C'est ensuite la « peau » extérieure, totalement étanche et blanche pour refléter la chaleur. Celle-ci est très élevée au Soleil dans l'environnement terrestre ou lunaire, 1360 W/m², moins dans l'environnement martien, entre 490 et 715

W/m². Mais la chaleur provient surtout du corps « en fonctionnement » (sur la Lune on a pu noter une chaleur allant de 70 à 800W selon l'« EVA »). L'air doit impérativement circuler très vite (vitesse 0,15 à 0,17 m³ par minutes) car le gaz respirable se charge en gaz carbonique par la respiration. Dans les EMU (« Extravehicular Mobility Units ») actuels, l'air « propre », provenant de deux sources d'oxygène « embarquées » (« Primary Oxygen Circuit » avec 0,55 kg d'Oxygène et « Secondary Oxygen Pack » avec 1,19 kg d'oxygène), entre par le casque et sort, chargé de CO₂ et d'impuretés, par des tubes à la taille et aux chevilles, vers le CCC (Contaminant Control Cartridge) du sac à dos. Le CCC peut retenir le gaz carbonique pendant 8 heures (6 heures à l'époque d'Apollo), ce qui dépend bien sûr de l'intensité de l'activité qu'on peut avoir mais indique assez précisément la durée maximum de l'autonomie. Le système PLSS à l'époque d'Apollo (« A7L ») avait une masse entre 38 et 58 kg. Il fut ensuite amélioré pour la Navette puis pour l'ISS mais il prit encore de la masse (de 91 à 140 kg), ce qui n'avait pas beaucoup d'importance (sauf inertie) en apesanteur.

Où en est-on ? La NASA travaille sur le « xEMU » (« Exploration EMU ») pour le programme Artemis avec en perspective les missions martiennes. Cette combinaison se distinguera d'abord par son « x » de l'EMU actuel c'est-à-dire qu'on la prévoit pour se déplacer non plus en flottant dans l'espace mais sur ses pieds (donc avec de meilleures articulations et de bonnes bottes). Il s'agit ensuite de mettre au point un vêtement et surtout des annexes de plus faible masse, qu'on puisse mettre et enlever plus facilement, avec un meilleur approvisionnement en eau, une meilleure évacuation de la chaleur et une meilleure gestion des déchets. Cette dernière se faisait jusqu'à présent par la transpiration couplée à un sublimateur (vers l'extérieur). On projette de le remplacer par le « Spacesuit Water Membrane Evaporator » (« SWME ») plus fiable et plus efficace. Le recyclage du CO₂ se fait aujourd'hui avec de l'oxyde d'argent (MetOx) selon la formule Ag₂O (solide) + CO₂ (gaz) → Ag₂CO₃ (solide). Mais le système est lourd, le recyclage est lent. On a trouvé une solution, le Rapid Cycle Amine, plus rapide et de moindre masse qui fonctionne aussi comme déshumidificateur et purificateur bactériologique. On a bien pris conscience de la poussière (martienne aussi bien que lunaire) et de ses inconvénients/risques. On est prêt à y faire face avec un nouveau revêtement extérieur et des filtres. Enfin les progrès technologiques dans les micro-techniques et l'électronique permettent une plus grande finesse de la « plomberie », une meilleure redondance pour la sécurité et une meilleure réactivité aux dangers.

L'idéal, pour Mars, serait d'atteindre une masse de scaphandre + annexes de 100 à 120 kg. Sous une gravité de 0,38g, cette masse pèserait 38 à 45 kg qui, s'ajoutant à un poids de quelques 25 à 30 kg, restituerait pour le corps d'un Terrien, la sensation du poids à laquelle il a été habitué. Le problème resterait un centre de gravité un peu trop haut en raison du « backpack » (sac à dos).

Les dernières innovations ont été faites dans les jointures. De nouveaux matériaux et roulements permettent de se pencher, de plier les genoux, de lever les bras ou de les replier sur soi, bien plus qu'auparavant. Les bottes ont maintenant des semelles flexibles. La partie haute du torse est un gilet rigide. On pourra désormais y entrer par l'arrière ce qui permettra à cette partie d'être plus ajustée au corps. Les gants sont devenus haptiques,

c'est-à-dire qu'ils sont dotés de capteurs qui restituent les sensations du toucher à la main qui se trouve à l'intérieur.

La combinaison à contre pression mécanique

Cette combinaison « MCP » (pour « Mechanical Counter Pressure ») est un peu comme les combinaisons de plongée. Elle est au moins aussi ancienne que les combinaisons pressurisées mais n'a pas connu le même engouement de la part des institutions qui pouvaient la faire utiliser par les pilotes fréquentant les hautes altitudes (même si elle l'a été quelques fois), ni ensuite par la NASA. Le MIT avec la Professeure Dava Newman l'a remis sur le devant de la scène avec son « BioSuit », sur lequel elle travaille depuis 2001.

L'intérêt est un encombrement moindre, une masse moindre (6,5 kg + 18 kg pour le système de respiration) et un risque moindre de catastrophe en cas de perforation (puisque la pressurisation subsiste si celle-ci survient).

Il s'agit de revêtir une combinaison souple que l'on plaque au plus près du corps après l'avoir enfilée (anciennement pour les pilotes d'avion stratosphériques, en gonflant des boudins d'air tout au long du vêtement, maintenant grâce aux tissus élastiques). Le système de conditionnement se situe à l'intérieur de la couche de mousse entre la peau et la couche externe étanche. Les parties du corps qui bougent peu (soigneusement étudiées d'après la morphologie dynamique de l'homme) sont renforcées par des bandes fixes (dites « lignes de non extension ») qui tiennent entre elles des panneaux de tissu plus souple. L'oxygène n'est utilisé que pour la respiration et ne l'est plus pour la pressurisation. Pour donner toutefois davantage de volume au gaz respirable et faciliter le gonflement des poumons malgré un tissu très ajusté, une vessie pectorale plate reliée avec le casque permet une inspiration plus large d'oxygène à chaque fois que l'on en a besoin. Le problème est la jonction entre le casque et la combinaison enveloppant le corps. Elle doit évidemment être hermétique. Une sorte de collier fixe est recommandée par Jeremy P. Stroming dans son étude. Pour l'isolation thermique les tests ont montré, dans cette même étude, qu'une couche d'aérogel sous la couche externe de la combinaison était nécessaire car les pertes de chaleur sont importantes (contrairement à ce qui se passe dans les combinaisons pressurisées).

A noter qu'une combinaison à MCP, plus fine qu'une combinaison pressurisée, pourrait permettre de porter par-dessus un gilet protecteur de radiations (type Astrorad de la Sté Stemrad ?), ou plutôt d'en incorporer les éléments dans une couche enveloppant la combinaison « de base ». Même si cette couche protectrice est un peu lourde et un peu volumineuse, on aura de la marge avec le BioSuit.

Pierre Brisson

Liens :

<https://www.nasa.gov/feature/a-next-generation-spacesuit-for-the-artemis-generation-of-astronauts>
<https://www.nasa.gov/johnson/HWHAP/suit-up-for-mars> *Design and evaluation of elements of a life support system for mechanic counter-pressure spacesuits (mit.edu)* J.Paul Stroming (MIT).



Le BioSuit MCP de Dava Newman (à gche et à dte) et le xEMU de la NASA (au centre). BioSuit ©Dava Newman, MIT; xEMU ©NASA

UN PAS DE GÉANT

« Mars, nous arrivons ! »

A l'issue de 5 essais en vol, SpaceX vient de franchir un jalon essentiel sur la route qui nous mènera à Mars. En effet, en accomplissant finalement un vol parfait avec le véhicule SN15, c'est la faisabilité et la maîtrise d'un mode de descente et d'atterrissage totalement innovant qui viennent d'être démontrées. La possibilité d'utiliser ce mode de descente « à plat », suivie d'un atterrissage rétropropulsif en position verticale est un mailon essentiel du projet Starship. Il permet d'offrir une surface importante au freinage atmosphérique, permettant d'optimiser les sévères conditions thermiques rencontrées par le vaisseau dans les phases de rentrée (cf. notre précédent numéro). Du même coup, on évite la lourde pénalité en masse d'une voilure et d'un train d'atterrissage, dont était lestée la Navette Spatiale.



Porté par ses 3 Raptor, le Starship prototype SN15 quitte son pas de tir pour un vol parfait qui marque une étape décisive du programme. (doc.SpaceX)

Ont collaboré : Pierre Brisson, Philippe Clermont, Aline Decadi, Richard Heidmann, Dominique Ledevin, Yves Monier, Rémy Navarro/Eq. Fondation
Achévé d'imprimer : Objectif numérique 56100-Lorient
Dépôt légal : Juin 2021

Au plan technique, cette réussite, obtenue tambour battant, souligne les capacités de l'entreprise dans tous les domaines : structures, moteurs, avionique, logiciels de vol, mise en œuvre.

Une mention spéciale aux équipes du Raptor, un précurseur très performant, qui n'a certes pas encore atteint sa maturité et a visiblement souffert des conditions acrobatiques de réallumage imposées dans ces vols.

Richard Heidmann

ARCHITECTURE D'ARKADIA

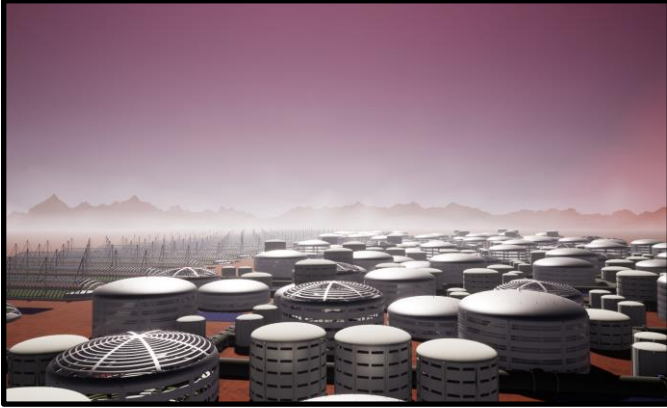
L'équipe du projet Fondation, gagnante du 3^{ème} prix du concours 2020 de la Mars Society, dont le thème était une cité martienne d'un million de résidents, poursuit dans ce second article, à la suite d'un premier paru dans notre précédent numéro, les principales options et caractéristiques de leur projet.

Arkadia est la première et la plus ancienne colonie martienne à avoir jamais atteint le demi-million d'âmes humaines sur la planète Mars. Arkadia est devenue en quelques années le centre politique, industriel et commercial de la Cité-Etat de Fondation. Elle se trouve au sud de la grande plaine d'*Arcadia Planitia*. La principale ressource de cette région est l'eau sous forme de glace, une fois que vous avez creusé quelques mètres sous le régolite, bien sûr. D'ailleurs, Arkadia est connue sous le nom de "Cité de l'eau" en opposition avec sa partenaire et concurrente Surya qui est la "Cité du Soleil".

En termes d'urbanisme, le centre d'Arkadia est constitué d'un agglomérat de modules très disparates, signe du passé colonial de la cité. Une fois que nous nous éloignons du centre, l'urbanisme de la ville devient beaucoup plus structuré. Pour répondre aux contraintes planétaires, les ingénieurs et les "Marchitectes" [1] ont travaillé sur des structures d'habitats de forme cylindrique. Leur base de travail : les coques des spaceliners (véhicules géants de plus de 100 passagers, comme le vaisseau spatial de SpaceX). Le fruit de leur travail a produit des cylindres "Mk1" de 9 m de diamètre et des cylindres "Mk2" de 18 m de diamètre. L'orientation des tubes a été une question de choix architectural. Arkadia a privilégié les cylindres verticaux. La colonie est actuellement parsemée de centaines de structures Mk1 et Mk2 qui abritent aussi bien des lieux de vie communs, des logements, des chambres de croissance et d'autres typologies d'espaces utiles à la vie sur Mars. L'architecture et l'urbanisme martien sont basés sur un principe et un objectif fondamental : la subsidiarité [2].

Ce principe se traduit par une autonomie maximale pour les quartiers d'environ 10 000 résidents. Il présente de nombreux avantages : il assure efficacement la responsabilisation de chaque citoyen vis-à-vis de l'écosystème biologique artificiellement créé, qui le maintient en vie, ainsi que le partage des pratiques entre les différents quartiers générant, par conséquent, une saine concurrence. De plus, la compartimentation permet d'éviter la survenue d'un accident global, d'isoler le sinistre pour permettre à l'ensemble de la ville de venir en aide à un quartier dévasté. Ainsi, chaque quartier possède une autonomie à la fois physique, économique grâce à sa production locale, mais aussi administrative dans sa gestion des affaires publiques. À cela, s'ajoute la proximité des différents espaces nécessaires à la vie d'un citoyen, associant la résidence, le travail, les commerces, les zones sociales et communautaires, en un seul habitat. Ce principe s'articule également avec le fait que l'agriculture et l'entretien des écosystèmes demeurent les principales activités des

habitants de la Fondation, de par son exigence en main-d'œuvre. Il devient donc nécessaire de réduire la distance entre les zones agricoles et urbaines de telle sorte qu'il soit possible de favoriser les déplacements de piétons au sein d'un même quartier. Le réseau de transports entre les quartiers est, quant à lui, assuré par un système automatique de véhicules électriques roulant sous les allées piétonnes et dans des tunnels. Il est intégré dans les enceintes pressurisées ou dans des enceintes dédiées elles-mêmes pressurisées selon le cas. Les parcs à énergie solaire occupent une grande surface en dehors de la ville, mais de manière moins importante car Arkadia bénéficie d'un mix nucléaire beaucoup plus important que les autres villes.



Arkadia abrite plusieurs édifices emblématiques de la planète. Par exemple, le Grand dôme du Musée d'Histoire de la Fondation de Mars. C'est l'établissement qui reçoit le plus de visiteurs de la planète. La structure abrite plusieurs reliques de la colonisation de Mars comme le premier habitat de la NASA, la Tesla Roadster d'Elon Musk, fondateur du conglomérat SpaceX, envoyée sur une trajectoire héliocentrique lors du vol inaugural de la Falcon Heavy et récupérée par les Martiens, ou encore le premier prototype d'Albatross.

Actuellement, le sud-ouest de la cité est en expansion avec le développement de nouvelles zones industrielles. La zone va

accueillir un projet architectural qui a suscité l'une des plus importantes controverses de la planète. La construction du premier gratte-ciel de Mars. Ce projet emblématique pour les uns et source de discord pour les autres, va figurer lorsqu'il sera achevé parmi les « 7 Merveilles de Mars ». Cette tour de 50 étages reposera sur la technologie de "Toth technologie" [3], société canadienne qui avait conceptualisée une tour gonflable de 20km sur Terre. Les conditions martiennes sont idéales pour la conception de bâtiments à multiples étages. L'édifice accueillera les futurs locaux de la Fondation de Mars et les sièges sociaux des divers conglomérats qui participent à la colonisation de Mars. Elle hébergera également des logements, des salles de croissance et des ateliers industriels à sa base. Plusieurs technologies novatrices seront utilisées pour garantir son autonomie énergétique et alimentaire. Selon ses partisans, elle sera le joyau d'Arkadia et la vitrine technologique du savoir-faire martien.

Rémy Navarro / Équipe Fondation
contact@planetscopemagazine.com

Références : [1] Marchitectes (Architecte de Mars) :

[2] Principe de subsidiarité : https://fr.wikipedia.org/wiki/Principe_de_subsidarit%C3%A9#:~:text=Un%20article%20de%20Wikip%C3%A9dia%2C%20directement%20concern%C3%A9s%20par%20cette%20action. [3] Toth technologies : <https://sciencepost.fr/societe-canadienne-veut-construire-ascenseur-spatial-de-20-km-de-haut/>

