



Numéro 82

PLANÈTE MARS



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

janvier 20

ISSN 1772-0370

ÉDITORIAL : BONNE ANNÉE 2020

Je profite de ce premier numéro de l'année pour vous souhaiter, au nom du bureau de votre association, une très bonne année à chacun et chacune, remplie de joies, de satisfactions et de projets réussis.

Bienvenue dans une décennie qui promet d'être fertile en événements martiens, dès cette année avec les lancements prévus de quatre missions (NASA, ESA, Chine, Emirats Arabes Unis), et qui pourrait bien s'achever par l'Homme sur Mars ! L'ambition de SpaceX (2024, probablement ambitieux) pondérée par l'objectif du programme NASA Artemis (2033) pourraient bien converger autour de l'année 2030 !

Il est temps de se préparer : vous trouverez dans ce numéro des articles de membres actifs, réflexions sur l'alimentation, sur l'utilisation locale des ressources martiennes (ISRU).

Nous avons clôturé l'année 2019 sur notre événement des 20 ans de l'Association à l'ESA Paris. Ce fut un succès, malgré les difficultés de transport. Les vidéos sont disponibles en ligne¹.

Parmi les conférenciers, le professeur Pierre Thomas, géologue et planétologue, nous a livré une remarque qui mérite qu'on s'y attarde : nous montrant des structures géologiques similaires sur Mars (image de Spirit, site Homeplate) et sur la Terre (désert de l'Atacam, El Tatio), il nous a expliqué que sur terre, ce sont des structures biogéniques (avec des traces de fossiles de micro-organismes). Il ne reste plus qu'à extrapoler, laisser courir son imagination, et regretter les limites intrinsèques d'un rover par rapport à un géologue présent sur Mars...

L'année 2020 se présente avec de beaux projets, notamment conduits avec des étudiants. Votre bureau serait très intéressé par connaître les volontaires, et leur compétences, disponibles pour nous aider à participer à des projets, ou pour contribuer à ce bulletin par des articles ou des notes de lecture, ou autre proposition. N'hésitez pas à me contacter à ce sujet !

Philippe Clermont

Président

pclermont@planete-mars.com

Dans ce numéro :

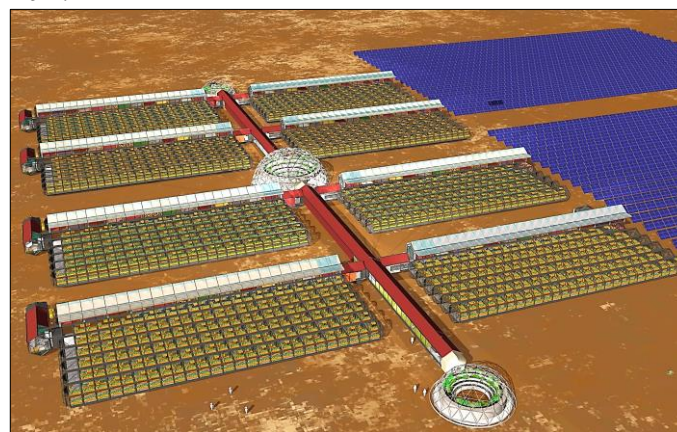
- | | |
|---|-----|
| -Se nourrir sur Mars, un défi à notre portée | p.1 |
| -Les tribulations d'InSight dans Elysium planitia | p.4 |
| -La vie de l'association | p.6 |
| -Projet MARSPROOF | p.7 |

prochain numéro : avril 2020...

SE NOURRIR SUR MARS, UN DÉFI À NOTRE PORTÉE

Les lois de Kepler imposant leurs contraintes aux voyages de la Terre vers Mars, aucun envoi vers Mars ne peut avoir lieu en dehors des fenêtres de lancements ouvertes depuis la Terre tous les 26 mois. En marge de ces fenêtres, le coût énergétique du transport devient très rapidement prohibitif avant d'être technologiquement totalement impossible. Par ailleurs, compte tenu de la capacité d'emport de nos fusées, il est inconcevable de transporter la totalité ou même une partie importante de la masse des produits alimentaires nécessaires pour un cycle synodique, à un établissement regroupant quelques dizaines de personnes. La conséquence est que la quasi-totalité de la nourriture d'une colonie humaine sur Mars devra être produite sur Mars.

Élever des animaux est plus difficile que de faire pousser des plantes et il est impossible de faire pousser ou d'élever quoi que ce soit en dehors d'un environnement pressurisé. Par conséquent, la production alimentaire sera essentiellement végétale et devra être pratiquée dans des serres, des aquariums et, accessoirement, dans des habitats viabilisés spécialisés pour animaux de petite taille. Les producteurs d'aliments auront trois objectifs : quantité, variété, qualité organoleptique et trois considérations spéciales : maintenir un environnement sain pour leurs produits (tous seront des êtres vivants), une qualité énergétique et diététique maximale pour un volume et une masse minimales pour le consommateur, une quantité de déchets non-réutilisables minimum.



Avec un besoin de 60 à 100 m² de surface cultivée par personne, les serres (ici en vert) représenteraient dans une colonie futuriste une emprise pressurisée bien plus importante que les logements (ici, emprise d'un district de 200 résidents).
(doc. APM/R. Heidmann)

Mars présente d'énormes avantages par rapport à d'autres endroits en dehors de la Terre : (1) elle offre une gravité (0,38 g) qui permet la verticalité et l'écoulement de l'eau ; (2) l'éclairement énergétique du soleil ("irradiance") au niveau de son orbite (entre 492 et 715 W/m² contre 1321 à 1413 pour la Terre) est tel

qu'il vaut la peine d'utiliser la lumière naturelle ; (3) son rythme circadien, avec des nuits de longueur acceptable (à la différence de la Lune), facilitera la culture de plantes supérieures et l'élevage des animaux; (4) son atmosphère est constituée à près de 96% de gaz carbonique, dont les plantes ont besoin; (5) il y a de la glace d'eau disponible dans de nombreux endroits, y compris la zone intertropicale; (6) de l'azote peut être extrait de l'atmosphère.

Produire des aliments sera loin d'être aussi facile sur Mars que sur Terre mais nous pourrions y parvenir. Voyons les différents points importants:

(1) la densité atmosphérique étant trop basse (moins du centième de celle de la Terre, 6 millibars en moyenne au niveau d'altitude moyen -"Datum"), les gaz atmosphériques respirables, contenus dans des serres, devront être pressurisés, ce que l'on sait faire ; la difficulté, maîtrisable, étant la différence de pression entre extérieur et intérieur, donc les risques de fuites et les risques de faiblesse structurelle des serres. Plus on réduira cette différence, mieux ce sera.

(2) la plupart des êtres vivants ont besoin d'oxygène et ce gaz devra être produit sur Mars puis diffusé dans les serres; on pourra l'obtenir à partir du CO₂ de l'atmosphère (réaction de Sabatier, avec apport d'hydrogène issu de la glace d'eau martienne, mais aussi du travail « naturel » des spirulines - voir plus bas). NB: on exclut la décomposition thermique du CO₂ trop coûteuse en énergie.

(3) Il faudra veiller à un bon « mix » atmosphérique pour les plantes ; on devra maintenir des quantités et des pourcentages comparables à ceux que l'on a sur Terre, l'oxygène aux environs de 200 mbar, car il faut éviter l'hyperoxie aussi bien que l'hypoxie, le gaz carbonique jusqu'à 1000 ppm (environ 1% du total terrestre) mais pas tout le temps (c'est l'optimum pour la photosynthèse...lorsque la lumière est suffisante mais les besoins varient en fonction de la lumière et de l'évolution du cycle végétatif au long des saisons). La solution pour maintenir la quantité de ces deux gaz tout en baissant la pression, est de maintenir leurs quantités optimales en valeur absolue et de réduire la quantité d'azote, gaz tampon, neutre. On pourrait ainsi descendre jusqu'à 0,50 bar. En dessous d'une quantité minimum de gaz neutre, les risques d'incendie deviendraient trop grands et l'oxygène serait trop agressif pour les systèmes respiratoires. A noter que les 1000 ppm de gaz carbonique sont valables pour les plantes mais pas pour les hommes ni les animaux (niveaux actuels sur Terre 400 ppm et c'est un taux historiquement élevé).

(4) la lumière naturelle pourrait être insuffisante pendant les longs mois de l'hiver martien austral (l'irradiance descend en dessous de 500 W/m²) ou pendant les tempêtes de poussière; elle devra donc être complétée par une lumière artificielle (ce qui représente un coût en énergie) ; nous estimons (travaux de Richard Heidmann) la puissance moyenne de l'éclairage auxiliaire nécessaire pour 1 000 habitants à 15 MW (plusieurs milliers de tubes luminescents !);

(5) la température moyenne sur Mars est froide et les serres devront donc être chauffées (ce qui coûte aussi de l'énergie!); une partie non négligeable de la puissance de chauffage nécessaire pourra être extraite de la source «froide» des générateurs nucléaires, principale énergie à laquelle les résidents devront recourir ;

(6) dans les serres, les volumes disponibles pour la croissance des plantes seront limités; nous devons donc cultiver des

plantes avec les meilleurs ratios volume + masse sur valeur nutritive ou élever des animaux offrant l'apport nutritionnel le plus élevé par rapport à leur masse;

(7) pour la même raison (volume viabilisé réduit), les infections microbiennes pourront se propager très rapidement et nous devons faire très attention à la contamination microbienne.

Les premiers organismes qu'on devra cultiver seront des spirulines, des algues vertes qui sont des bactéries, respirent le gaz carbonique et rejettent de l'oxygène. Cet oxygène sera utilisé par tous les êtres vivants y compris les plantes supérieures, les animaux et l'homme, qui le respireront. Leurs déchets métaboliques organiques seront utilisés pour nourrir de nouveaux êtres vivants qui seront à leur tour exploités. En résumé, nous devons essayer de recréer au mieux, dans un environnement limité d'habitats pour les hommes, de serres, de réservoirs et d'habitats pour animaux, un « système de support de vie micro-écologique alternatif ». C'est exactement ce à quoi travaillent les équipes du programme MELiSSA (ESA/ESTEC) et c'est le meilleur concept imaginable pour maintenir l'équilibre dans une boucle biorégénérative dynamique, c'est-à-dire sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir autre chose de l'extérieur pour le maintenir (l'avantage recherché étant l'absence - ou au moins un minimum - d'importations de produits chimiques de la Terre).



Expérience de culture hydroponique de salades, dans le cadre du programme Melissa.
(doc.ESA)

La plupart des produits à consommer et à assimiler et digérer par l'homme seront des légumes, des céréales et/ou pseudo-céréales (quinoa) et des petits fruits (baies) ainsi que des spirulines, déjà mentionnées pour l'oxygène, (très riches en protéines, y compris des acides aminés essentiels et de qualité organoleptique tout à fait acceptable). Mais le poisson (tilapia) pourra être élevé assez tôt dans des bassins (dont l'eau pourrait servir de filtre contre les radiations) et, au fil des années, on pourrait importer des volailles (pour les œufs!) et des petits animaux, lapins et, idéalement mais ce sera plus difficile, des

chèvres (lait et fromage!) et / ou des porcs (chair). Les principales préoccupations concernant les animaux terrestres étant les nombreux mois nécessaires au voyage (le peu de place disponible et la nécessité de restituer une gravité artificielle minimum pendant le vol - on espère pouvoir le faire!) et, tout le temps, la nécessité de prendre soin de leur environnement microbien, microbiotes et microbiomes (à l'intérieur et à l'extérieur des animaux), en relation avec ceux des plantes et des êtres humains.

La surface minimale pour faire croître des végétaux en quantité suffisante pour l'alimentation d'une personne est estimée de 60 à 100 mètres carrés selon le cultivar et le mode de culture. Construire des volumes viabilisés sous une pression acceptable (au minimum 0,50 bar comme vu ci-dessus) coûtera très cher et sera très consommateur de travail et de temps ; il faudra donc les utiliser le plus intensivement qu'il est possible, c'est-à-dire construire plusieurs niveaux de culture dans le même volume. Un bon exemple de ce qui est déjà expérimenté dans certaines exploitations de « fermes urbaines » est le Sky Green Vertical Farming System», de Singapour ; les bacs de culture sont actionnés dans une noria verticale par la constante évolution de leur poids (ils sont plus lourds après avoir été arrosés et s'allègent avec leur respiration et l'évaporation de l'eau). Le cadre de la noria peut atteindre 9 mètres de haut avec 38 niveaux de bacs (nous n'aurions pas besoin d'une telle hauteur sur Mars, mais ces caractéristiques impliquent la faisabilité de l'installation d'une noria plus petite – sans doute de quelques 2,5 à 3 mètres de hauteur). La rotation permet de s'assurer que les plantes reçoivent une lumière, une irrigation et des nutriments uniformes par leur passage aux différents points de la structure. Le système consomme très peu d'énergie. Sur Mars, les nutriments ne seront pas disséminés dans le sol, afin de limiter les pertes et de mieux contrôler les échanges, mais seront directement acheminés vers la plante par hydroponie dans les bacs, le support étant constitué de perles minérales neutres biochimiquement, obtenues à partir de régolithe martien (débarrassé de ses perchlorates) et facilement contrôlable pour son contenu microbien.



Intérieur de la ferme urbaine de Skygreens, à Singapour.

(doc. Sky Urban Solutions)

Les risques de maladies contagieuses seront très préoccupants car leur diffusion sera très facile et rapide du fait des volumes habitables limités (pas d'effet tampon résultant de grands volumes). Par conséquent, le contrôle microbien sera essentiel (il devra y avoir des capteurs biologiques partout), les contacts entre êtres vivants (ou plus précisément leurs microbiomes) devront être limités au maximum, ce qui implique que les cultures soient robotisées (l'agriculture de loisir par main de l'homme

n'est pas recommandée). Les serres, aquariums ou habitats pour animaux devront être en nombres adaptés à la population. Ils devront être bien séparés les uns des autres (sas). Mais le rythme d'édification sera limité par nos capacités de fabrication des composants de ces serres et par l'efficacité des robots en fonction des volumes à traiter.

Au-delà de la culture proprement dite, une autre préoccupation sera d'adapter le rythme de production aux besoins nutritifs des résidents, tout au long des cycles synodiques car les aliments sont périssables ! Un stockage approprié est la première solution et à cet égard le conditionnement sous vide et la congélation seront facilement réalisables. Au-delà, les avantages de disposer de lumière artificielle complémentaire et, d'une manière générale, de contrôler l'environnement de croissance dans de multiples lieux viabilisés différents, permettront d'adapter la quantité et de privilégier telle ou telle longueur d'onde du spectre (choix du bleu ou du rouge) de la lumière, la température, l'humidité, au cycle et aux besoins spécifiques de chaque plante. Nous aurons des fraises et des tomates en hiver et des pommes en été, la flexibilité pouvant facilement être étendue à n'importe quelle cultivar (même si nous préférons ne pas dépenser trop d'énergie pendant l'hiver austral).

Les déchets sont le dernier problème à considérer. Compte tenu de la rareté de la matière organique sur Mars, l'objectif sera la récupération et le recyclage total. On se fixera donc un objectif « zéro déchet » mais il sera évidemment difficile à atteindre (on se trouvera certainement sur une courbe asymptotique). La nitrification de rejets métaboliques ou de parties non consommables des végétaux (et des animaux !) sera pratiquée dans la boucle du système de support vie et les systèmes de collecte devront être adaptés; quand des animaux pourront être élevés, les chèvres (ou les porcs) consommeront beaucoup de ce que les humains ne peuvent ingérer; d'autres déchets pourront être transformés par un processus chimique ou physique (tiges, coques, noyaux, coquilles, os) transformés, compressés pour produire divers objets utiles ou (matières organiques) être utilisés pour commencer à bonifier certaines parcelles de sol martien libérées de leurs perchlorates.

Une nourriture acceptable est un élément essentiel de l'attrait d'un long séjour sur Mars (18 mois). Tous les résidents l'apprécieront, en particulier les touristes qui devraient fournir une part non négligeable des revenus de la colonie. Nous devrions pouvoir leur donner satisfaction aussi rapidement que possible (peut-être dès le troisième cycle synodique, moins de 8 ans - suivant le premier voyage. Cela fait partie des considérations à prendre en compte pour créer une base martienne économiquement viable.

Pierre Brisson

Liens :

fermes urbaines: <http://www.skygreens.com/>

Vers une boucle de support vie fermée:

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Melissa

Control microbien :

http://planetaryprotection.nasa.gov/file_download/97/MIDASS-ESA.pdf

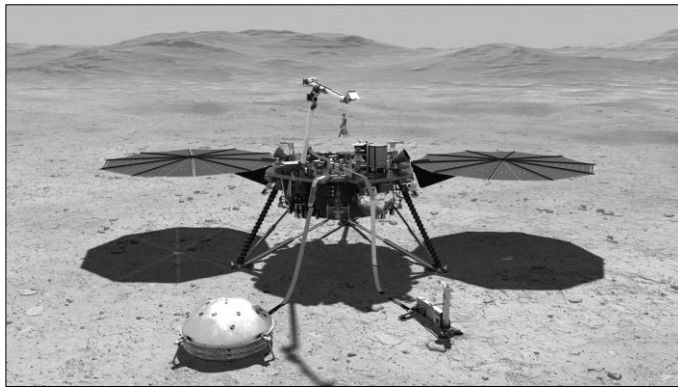
Production agricole en milieu fermé et isolé, par J. Dunlass :

<https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/agenda/jdun-glasmilieuxfermes.pdf>

ESTEE, Earth Space Technical Ecosystem Enterprises:

<http://est2e.com/>

LES TRIBULATIONS D'INSIGHT DANS ELYSIUM PLANITIA



Après avoir atterri avec succès, la sonde InSight a déposé, avec beaucoup de précautions, deux instruments inédits, un sismomètre et une sonde thermique, figurés ici au premier plan. (doc.NASA/JPL)

Lancée le 5 mai 2018 par une ATLAS V 401, la sonde INSIGHT de la NASA (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport : Exploration interne par les sondages sismiques, la géodésie et les flux thermiques) avait atterri à la surface de la planète rouge le 26 novembre 2018 après 7 minutes de terreur.

Mais le sismomètre tricolore SEIS et la sonde du DLR (Agence Spatiale Allemande) HP³ n'avaient pas encore atterri. Il leur restait un saut de 1,5 m à faire pour cela.

La période d'attente s'est terminée le 19 décembre au soir. La sonde InSight est rentrée dans l'histoire de l'exploration spatiale avec un grand H, en devenant le premier engin d'exploration interplanétaire à avoir déposé au sol, grâce à un bras robotique, un instrument scientifique à la surface d'une autre planète le sismomètre SEIS (Seismic Experiment for Interior Structure, Expérience sismique pour la structure intérieure).

Pour la première fois le bruit du vent qui souffle à une vitesse comprise entre 18 et 25 km/h, a été enregistré et transmis au sol. En fait InSight ne dispose pas de microphone pour ce son non perceptible par un humain. Il est produit par la conversion des vibrations des panneaux solaires générées par le vent et enregistrées par les 3 capteurs courte période (SP) du sismomètre installé provisoirement sur le plateau supérieur d'InSight. Ces infrasons produits par le vent sont également enregistrés par le capteur de pression de la suite météorologique et leur conversion effectuée pour pouvoir être perceptible par l'oreille humaine.

Pour le déploiement historique de SEIS au cours du sol 22, le 19 décembre, l'instrument avait été totalement éteint.

Le sismomètre fut placé sur le sol à environ 1,63 mètre de l'atterrisseur, distance maximale que pouvait atteindre le bras télescopique. Le sol présentait à cet endroit une pente de deux à trois degrés et, pour fonctionner, le sismomètre devait être dans une position la plus proche possible de l'horizontale. Ce qui fut fait par un système.

Lorsque le sismomètre a été rallumé lors du sol 24 (20 décembre), les capteurs SP ont renvoyé les premières données sismiques jamais obtenues depuis la surface de Mars, et ce 42 ans

après celles fournies par le sismomètre de la sonde Viking 2 posée sur Utopia Planitia.

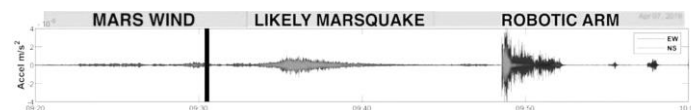
Dès leur activation au sol, les SP ont obtenu des données préliminaires très peu bruitées, et ce malgré le fait que le grappin du bras robotique maintenait toujours la poignée de capture de l'instrument dans ses griffes, transmettant ainsi inéluctablement des vibrations de l'atterrisseur. Convaincus que le sismomètre avait bien ses trois pieds plantés dans le sol, sans être suspendu au grappin, les ingénieurs ont alors donné le feu vert pour la séparation. Le 22 décembre (sol 25), le grappin s'est donc ouvert, libérant alors complètement l'instrument.

L'arrivée des premières données au cours du sol suivant (sol 36, 2 janvier 2019) à 8h21 a été accueillie par des salves nourries d'applaudissements. L'instrument fonctionnait bien !

La coiffe de protection éolienne et thermique WTS (Wind and Thermal Shield) fut mise en place le 4 février et sa cotte isolante eut par la suite quelques difficultés à se déployer vers le sol pour assurer une complète isolation du sismomètre courant mars.

Étalée sur une durée de 62 sols, la phase de mise en service de SEIS a permis de tester avec succès tous les sous-systèmes et mécanismes de l'instrument. Les segments et processus permettant de télécharger les données (données continues et données à haute résolution sur demande), et d'envoyer des séquences de commande ont aussi été validés. Ce bilan plus que satisfaisant a permis le démarrage de la campagne scientifique de SEIS, qui débuta officiellement le 5 avril et qui couvrira nominale-ment une année martienne.

Depuis sa mise en service en début d'année, le sismomètre SEIS embarqué sur InSight a enregistré plusieurs centaines d'événements, dont environ 300 ont été interprétés comme des tremblements martiens. La toute première secousse confirmée a eu lieu au cours du sol 128, le 7 avril. Deux autres séismes plus puissants ont ensuite été détectés au cours du sol 173 (22 mai) puis du sol 235 (25 juillet), avec des magnitudes respectives de 3,7 et 3,3. Intensivement étudiés par une équipe internationale de sismologues planétaires, dont les membres de l'Institut de Physique du Globe de Paris, ils livrent les premières informations très intéressantes sur la structure de la croûte martienne.



Premier signal vraisemblablement d'origine sismique martienne, comparé aux vibrations dues au vent et au bras robotique.

(extrait de doc. NASA/JPL)

Une fois le sismomètre SEIS opérationnel, l'équipe au sol déposa l'instrument HP³ (Heat Flow and Physical Properties Package), sur le sol, à l'aide du bras de la sonde. Pour que l'instrument de mesure des flux de chaleur puisse fonctionner il fallait enfoncer une sonde longue d'environ 40 centimètres jusqu'à une profondeur de 5 mètres. Cette opération devait durer plusieurs semaines, avec des pauses de 2 à 3 jours durant lesquelles on laissait la chaleur produite par le processus se dissiper, puis on mesurait les températures, en déduisant la conductivité thermique. La sonde s'enfonçait sous l'action d'une masse en

tungstène qui coulissait à l'intérieur entre deux ressorts et qui était mise en mouvement par un moteur électrique.

Posé le 12 février sur le sol de Mars, à environ 1 m du sismomètre français SEIS, l'instrument HP³ avait débuté l'enfouissement de la sonde thermique le 28 février, 92 jours après l'atterrissage sur Mars. Mais il a été contraint d'interrompre son premier forage. Après 400 coups du marteau spécial, la « taupe » s'était enfoncée de 30 cm (aux trois quarts) en 4 heures, temps maximal d'opération pour un refroidissement avant les mesures de flux de chaleur et de températures. Mais sa progression fut stoppée. Le forage avait repris le 2 mars, sans succès. La sonde serait bloquée par « un rocher ou du gravier », d'après un communiqué de la NASA du 7 mars. Cependant la sonde restait en bon état, mais inclinée de 15° par rapport à la verticale.



Vue en coupe de la «taupe» récalcitrante. (docMax Planck Inst./DLR)

Une pause dans les opérations fut décidée pour tenter de déterminer la nature du problème à partir des données disponibles et en effectuant des tests au sol avec une copie de l'instrument. La source du blocage restait incertaine : la sonde est-elle arrêtée par une roche ou la nature du sol trop élastique annule-t-elle les effets du mouvement du bloc de tungstène ? Le mécanisme de déroulement du câble situé à l'intérieur de l'instrument est-il gêné par un objet non identifié ?

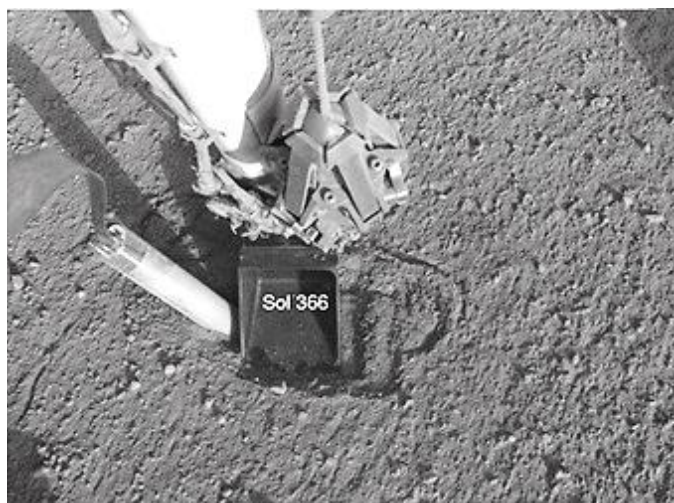
Début juin la NASA et le DLR définissaient une nouvelle stratégie dans de nouveaux communiqués. L'hypothèse retenue était que la taupe ne s'enfonçait pas parce que les forces de frottement exercées par le sol sur celle-ci n'étaient pas suffisantes pour empêcher la taupe en tungstène de rebondir après chaque impact de marteau. Le sol sur le site d'atterrissage a une consistance différente de ce qui a été constaté ailleurs sur Mars et les simulations effectuées sur Terre pour la mise au point de l'instrument, basées sur la nature de ces sols, n'ont pas pu reproduire le comportement constaté. Le phénomène est aggravé par la faiblesse de la gravité martienne.

Pour tenter de corriger le problème la NASA décida de soulever délicatement l'instrument sans déplacer la taupe enfoncée de 30 cm sur 40 car il ne serait pas possible de la replacer dans le forage existant. Cette opération a eu lieu début juillet. Les images de la taupe et du sol prises après le déplacement de l'instrument dévoilèrent que la taupe butait sur un obstacle qu'elle ne parvenait pas à franchir et que ces martèlements infructueux avaient élargi la partie supérieure du forage. Les scientifiques estimèrent que la taupe avait rencontré une couche de régolithe beaucoup plus résistante de 5 à 10 centimètres d'épaisseur. La pelle

solidaire du bras fut alors utilisée pour compresser le sol autour du forage afin d'accroître les forces de frottement que subissait la taupe ce qui devait rendre les percussions effectuées plus efficaces. Les opérations furent interrompues lors de la période conjonction solaire d'août au 10 septembre.

Le 8 octobre les opérations de percussion reprenaient : la masse en tungstène couleva 220 fois et les photos prises quelques jours plus tard semblèrent indiquer que le tassement préalable avait permis de débloquent la situation. La taupe s'était enfoncée de 2 à 3 centimètres. Mais le 26 octobre les images montrèrent que la taupe, dont l'extrémité supérieure se situait au niveau du sol, émergeait désormais sur la moitié de sa longueur. Elle était ressortie de son trou.

Le 6 novembre, ayant déterminé que le bras robotique de l'atterrisseur ne tenait pas la taupe en place, ils ont rétracté le bras et pris de nouvelles images pour voir comment la fosse qui s'était formée autour de la taupe avait changé. Ce que l'équipe verra aidera à déterminer les prochaines étapes. L'intention était d'appuyer à nouveau la pelle du bras robotique contre la taupe - une technique appelée "épinglage" - mais des tests en laboratoire supplémentaires sur Terre seront nécessaires avant que des mesures ne soient prises sur Mars.



Vue de la situation après essai avec soutien de la pelle du bras robotique. La taupe a rebondi... Les recherches se poursuivent au DLR.

(doc. Max Planck Inst./DLR)

Dans un récent communiqué de décembre le DLR annonce au sol 380 avoir ramené la taupe, presque là où elle était fin octobre, au sol 322. La méthode utilisée pour ramener la taupe était d'épingler celle-ci avec le bras comme cela avait été fait jusqu'au sol 318 lorsque l'on était passé de l'épinglage à la pression sur la surface. L'épinglage avait été abandonné lorsque la taupe dépassait d'environ un centimètre seulement et que l'épinglage n'était plus sûr. On est maintenant à nouveau proche d'un point où l'épinglage n'est plus sûr. Ce qui cause un risque, c'est que le bras à épingler exerce une pression horizontale sur la taupe. Lorsque la taupe devient trop profonde, la cuillère peut basculer au-dessus de la taupe le long du dos et peut ainsi endommager l'attache.

La série d'épinglages et de martelages a repris lors des sols 346, 349, 366, 373 et 380 en choisissant le nombre de coups de marteau à effectuer avec un soin attentif. À Noël, HP³ a été programmé pour effectuer un certain nombre d'opérations en plus

du martelage. Il était prévu trois mesures d'étalonnage avec le radiomètre et une mesure de conductivité thermique et une de température en utilisant les capteurs thermiques sur la taupe. Celles-ci aideraient à caractériser les propriétés thermiques du régolithe.

Bien qu'on n'ait pas pu effectuer la mesure planifiée du flux de chaleur, les opérations de la taupe permirent de tirer des conclusions et des modèles sur les propriétés du régolithe et de la croûte dure sous-jacente. À partir du taux de pénétration, il a été calculé une résistance à la pénétration par la croûte dure de 300 kPa qui serait cohérente avec une porosité supérieure à 50% en utilisant la théorie de la pénétration dynamique du cône. Cette valeur est proche de la résistance de la croûte dure estimée à partir de l'essai précédent en surface. À partir des dimensions de la pointe de la cuillère et de la force exercée par la cuillère, il a été estimé une résistance de la croûte dure d'environ 350 kPa. L'explication la plus convaincante pour le recul de la taupe suppose que la croûte dure repose sur du sable sans cohésion. Parce que la charge verticale s'était détendue entre les sols 322 et 325, la taupe a rebondi lors des coups de marteau du sol 325 (par manque de friction de la coque). Pendant le mouvement ascendant d'un rebond, du sable a coulé et a rempli partiellement le trou de forage. Cela a été répété lors du rebond suivant, etc. Le mouvement s'est arrêté lorsque la pointe n'était plus dans le sable mais avait plutôt pénétré dans la croûte dure par le bas. Si cette vue est correcte, le mouvement total vers le haut de la taupe fournit une estimation de l'épaisseur de la croûte dure d'environ 20 cm.

Les opérations reprirent après Noël pour ramener la taupe plus bas. Dans la semaine du 6 janvier, il était prévu de pousser sur la taupe pour la faire descendre de quelques centimètres de plus, de pousser sur le régolithe et de marteler pour voir si la taupe était suffisamment profonde pour procéder d'elle-même et / ou remplir la fosse. Toutes les options étaient sur la table, mais toutes ne seraient sans doute pas nécessaires.

On suit les nouvelles sur le blog du DLR et le site de la NASA ! Insight a déjà passé un peu plus d'une année sur la planète rouge.

Les opérations de sauvetage ne sont pas nouvelles pour la NASA. L'équipe des Mars Exploration Rovers a aidé à sauver Spirit et Opportunity à plus d'une occasion. Trouver des solutions viables nécessite une patience et une planification extraordinaires. Le JPL possède une réplique de travail d'InSight pour pratiquer les mouvements des bras et il a aussi un modèle de travail de la sonde thermique. Reste la simulation du sol martien sans doute plus difficile à imaginer et à réaliser.

La mission InSight doit nominalelement durer deux années terrestres, soit une année martienne. Le suspense HP³ peut encore durer quelques mois mais la NASA risque de s'impatisser, car la mission ne comporte QUE des instruments étrangers. Ce sera la dernière fois de toutes les façons qu'il en sera ainsi. Ce qui n'empêchera pas des coopérations ultérieures de la NASA avec les scientifiques d'autres pays.

Yves Monier

LA VIE DE L'ASSOCIATION

Après plusieurs années de soutien aux élèves de l'ISAE pour l'exécution de missions à la station de simulation MDRS, et suite à nos discussions lors de notre déplacement à Toulouse au début de l'année dernière, nous avons formalisé notre coopération avec le « club Mars » de cette prestigieuse école.

Ce trimestre a été fourni en manifestations impliquant l'APM. Début Novembre nous participions (**Richard Heidmann, Stephan Gérard**) au 19^{ème} Congrès Européen de la Mars Society, organisé à Londres par nos amis de la section britannique (rapelons que notre association était le maître-d'œuvre de la première édition, organisée avec grand succès dans le cadre prestigieux du Palais de la Découverte, à Paris). **Richard Heidmann** y a présenté une communication sur les défis techniques, logistiques, économiques et financiers d'une entreprise de colonisation, préparée avec **Pierre Brisson**.

MEMENTO

The Mars settlement project looks worth to be studied in detail
Two important prerequisites:
-availability of a reusable low-cost transportation system
-sufficient attractivity for investors (30-40 Billion\$)

The technical challenges are not equipment technologies, but their RAMS level
The limited setting-up time imposes demanding production rates, mainly for:
-pressurized habitats
-greenhouses
-power generators

6 Starship-like flights per synodic period are required, with 300 T of cargo (+500 beforehand)

The economic model, based on the hypothesis of a Residency Services Supply business, leads to:
-a basic fare level of 4 to 6 millions \$
-a corresponding potential market of 6000 people

EMC19 / London Nov 2019

Les conclusions de l'exposé de Londres.

Le 12 novembre, renouant avec une pratique que nous avons appréciée à plusieurs reprises par le passé, nous (**Aline Decadi, Richard Heidmann**) avons présenté une double conférence sous les auspices de l'AAAF (Association Aéronautique et Astronautique de France). Le thème, la préparation des futures missions habitées, centré sur le lanceur super lourd et sur les simulations sur sites analogues, a semble-t-il captivé l'auditoire.



L'assistance à la double conférence donnée à l'invitation de l'AAAF, dans les locaux de la mairie du 15^{ème}, à Paris.

Le 28 novembre, direction Orléans, où nous étions invités à donner une conférence à l'initiative de l'école d'ingénieurs Space Tech, et à présenter à la vente nos livres et « goodies », avec l'aide de **Frédéric Tatout**, qui s'était chargé de la logistique. Un excellent contact.



Les équipes SpaceTech et Planète Mars devant notre stand.

Enfin, le 16 décembre, l'association vous a invité à venir célébrer ses vingt années d'activité, dans les locaux de l'ESA-Paris. Une série de conférences était proposée, avec des intervenants prestigieux, dont Pierre Thomas, professeur émérite à l'ENS Lyon, Pietro Baglioni, ExoMars Rover Team Leader à l'ESTEC, Gabriel Pont, ingénieur au CNES sur le thème de Mars et ses lunes. Et ceci sans omettre les contributions remarquables de membres de l'association : **Alexandre Mangeot** au sujet de ses missions à la MDRS et à FMars, cette dernière en tant que commandant ; et l'équipe d'élèves de l'ESTACA (**Pierre-Yves Froissart**, **Marine Laumain**, **Charly Desprez** et

Pierre Fraudeau, membres APM, et François-Wandrille de Lamberterie), auteur du projet de rover pressurisé REMUS, présenté brillamment à la dernière convention de la Mars Society. La soirée s'est terminée par un pot festif. Malheureusement, seuls 75 des 130 inscrits avaient pu se déplacer à l'ESA, compte tenu de la paralysie engendrée par la grève des transports.



Philippe Clermont introduit la soirée anniversaire du 16 décembre, devant une photo de notre ami Alain Souchier, dont le souvenir nous guidera encore longtemps.

A signaler le large écho que semblent obtenir nos travaux (ressources in situ, colonie) et ceux que nous tutorons à l'ESTACA (rover pressurisé) auprès de groupes de passionnés souhaitant participer aux réflexions sur ces thèmes. L'article qui suit en est l'illustration ; le projet qu'il décrit est dû à l'initiative de notre collègue **Florent Daumas**.

Richard Heidmann

PROJET MARSPROOF

ISRU

Sur les photographies que nous transmettent les sondes ou les rovers lancés à l'exploration de Mars, la planète rouge ressemble à un vaste désert. Pourtant, ses sables, ses roches et son atmosphère contiennent de nombreux composés chimiques que d'astucieux dispositifs pourraient transformer en éléments indispensables à la vie ainsi qu'en ressources particulièrement utiles. Eau, oxygène, hydrogène, méthane, et même en matériaux plus sophistiqués : acier, verre, briques, plastiques, ... pourraient être produits sur place à partir de modules importés depuis la Terre. C'est le cœur du **concept d'utilisation des ressources locales** (en anglais ISRU, pour *In-Situ Resources Utilization*).

Le Projet

Nous sommes treize membres de **Fédération Open Space Makers** (dont quatre APM), une initiative soutenue par le CNES qui vise à ouvrir le monde de l'infrastructure spatiale au plus grand nombre en fournissant un cadre et des outils pour la conduite de divers projets en open source (fusées expérimentales, cubesats, ballons stratosphériques...). Par principe, les résultats des projets développés en Open Source sont placés sous des

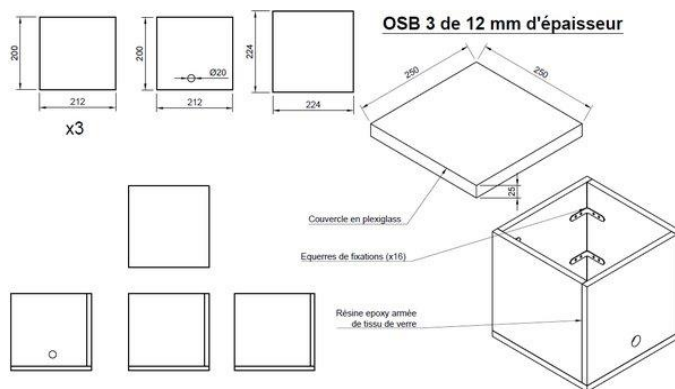
Nous nous appuyons entre autres pour ce projet sur les études réalisées par Richard Heidmann, vice-président de l'APM, re-trouvable facilement sur le site de l'APM. Ces études ont permis de définir un système d'ISRU complet, subdivisé en 12 briques distinctes qui pourraient être interconnectées.

Un lien très concret se trouve entre le projet MarsProof et une application terrestre dans le cadre de la protection de l'environnement. En effet, avec MarsProof nous visons, par exemple, à utiliser le dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère martienne pour le convertir en ressources utiles à une base habitée sur Mars (par exemple en méthane). Or, sur Terre les technologies du captage et du stockage du dioxyde de carbone sont étudiées avec beaucoup d'attention car elles représentent un potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, le lien avec notre projet est particulièrement intéressant car si nous arrivons d'un côté à développer des projets permettant la survie sur une planète où la vie est actuellement impossible, ces technologies devraient pouvoir être utiles également sur Terre, où les conditions de vie vont probablement devenir plus complexes à gérer dans un avenir relativement proche.

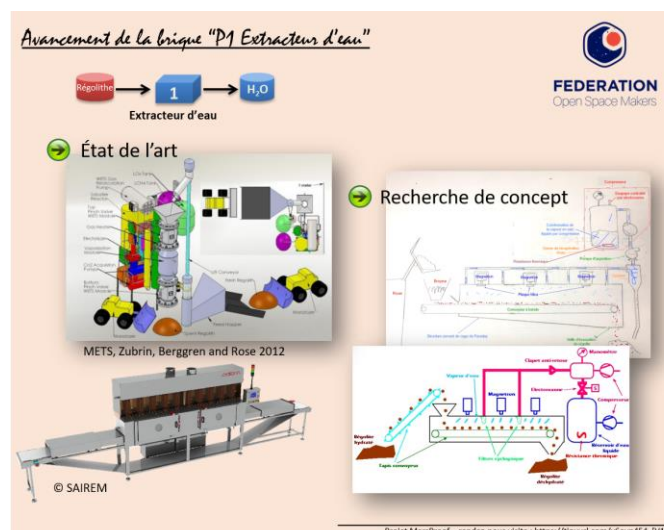
Voici une photo et le plan du simulateur d'atmosphère que nous avons conçu



Achevé d'imprimer : Objectif numérique 56100-Lorient
Dépôt légal : Janvier 2020



Nous démarrons également le travail sur d'autres briques : notamment l'extracteur d'eau et l'électrolyseur. D'ici peu nous allons créer une présentation montrant l'état actuel des connaissances sur l'extraction de l'eau et éventuellement où il sera nécessaire d'atterrir pour l'extraire de façon la plus efficace possible. Pour ainsi, déboucher sur un design intéressant pour notre démonstrateur. Plusieurs options sont envisageables pour un fonctionnement en continu, basées sur les microondes, une circulation de fluides ou une résistance chauffante pour faire fondre notre glace d'eau.



Pour nous rejoindre, il suffit de nous retrouver sur la page Fédération de notre projet :

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

L'équipe MarsProof