



Numéro 79

PLANETE MARS



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

avril 19

ISSN 1772-0370

EDITORIAL : L'HISTOIRE EST-ELLE DE RETOUR ?

En Mars, Mike Pence, vice-président des Etats-Unis, a souhaité que les Etats-Unis soient plus ambitieux dans un programme d'exploration humaine de l'espace, et en premier lieu, pour un retour sur la Lune. Ce discours, tenu devant le National Space Council, vise clairement un objectif de supériorité technologique. Il a également souhaité voir la NASA recourir plus au privé et prendre plus de risques.

Dans la continuité, Jim Bridenstine, l'administrateur de la NASA, a annoncé début avril des projets accélérés : des Américains sur la Lune dès 2024 au lieu de 2028 et sur Mars en 2033. Pas très facile avec les difficultés du lanceur lourd SLS, objet d'un audit très négatif, et le projet très lourd et décrié de station en orbite autour de la Lune, base intermédiaire inutile en termes de mécanique spatiale, à faibles retombées scientifiques, et extrêmement coûteuse.

Dans le même temps, des sociétés privées telles que SpaceX (mais aussi Blue Origin), largement financées par des fonds privés, avancent. Même si leur budget est très inférieur aux budgets de développement NASA, elles profitent de la constance d'une stratégie et d'une gouvernance soucieuse d'efficacité. SpaceX veut envoyer fret et équipage sur Mars en 2024, après un premier vol fret en 2022.

Ces initiatives ont des retombées en Europe. Un grand hebdomadaire français fait sa « une » récemment sur le thème « Le Voyage vers Mars, c'est du sérieux ». Une grande institution publique française lance une étude prospective, pour laquelle nous avons été sollicités et avons contribué : « La conquête de la planète Mars, driver pour l'économie du futur ? ». L'Europe n'a ni lanceurs lourds ni moyens de vol habité, mais elle a des compétences technologiques, scientifiques et industrielles.

Des esprits chagrins rappelleront que de telles ambitions ont déjà existé dans le passé, par exemple sous Georges Bush senior. Il y a cependant des différences majeures : des acteurs privés motivés, efficaces et dépendant peu des variations de politique budgétaire, une formidable accumulation de connaissances technologiques et scientifiques (orbiteurs, rovers, ISS pour le médical et support vie) et un contexte géopolitique hélas revenu vers une situation proche de la guerre froide.

Mars, la nouvelle frontière pour ... 2030 ?

Philippe Clermont
Président

Dans ce numéro :

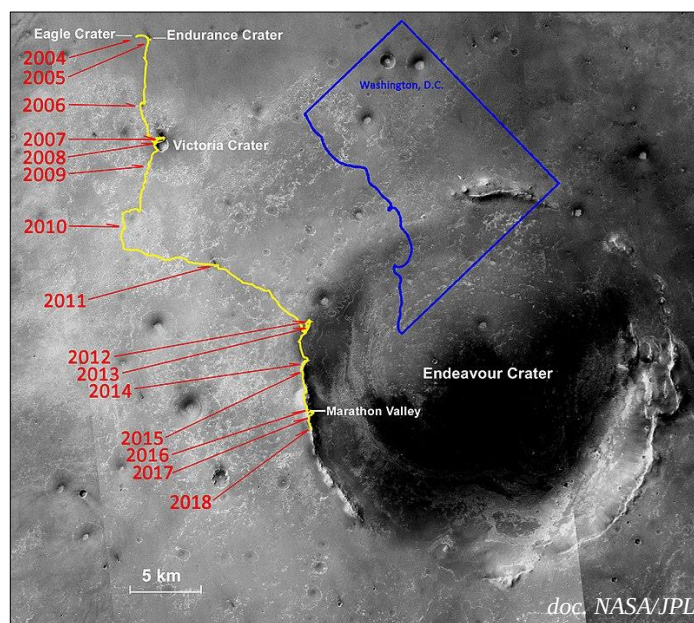
- | | |
|--|-----|
| -Le final d'Opportunity | p.1 |
| -Se nourrir sur Mars, un défi à notre portée | p.3 |
| -Pistes d'évolution de la communication de l'APM | p.5 |
| -La vie de l'association | p.6 |
| -Un équipage international à la MDRS | p.6 |
| prochain numéro : juillet 2019... | |

LE FINAL D'OPPORTUNITY

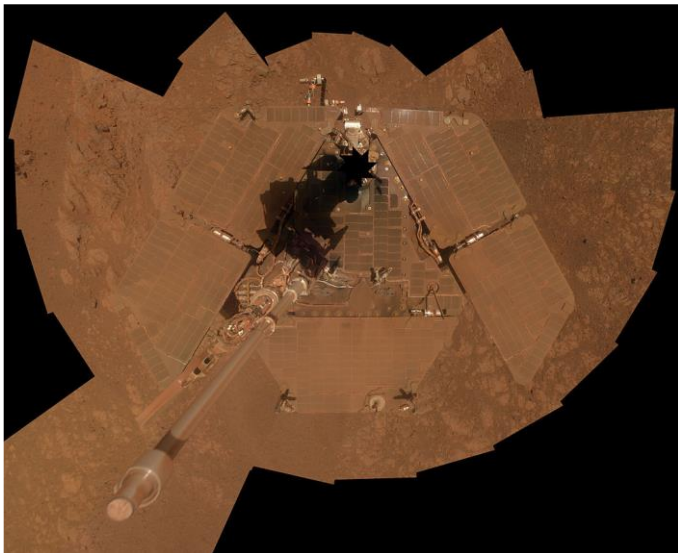
Sans nouvelles de son rover martien depuis le 10 juin 2018, la NASA a annoncé officiellement la fin de la mission d'Opportunity. Il aura fonctionné près de quinze ans. C'est le 13 février 2019 que la NASA a renoncé définitivement à contacter le rover Opportunity. Pris dans une vaste tempête de poussière, qui a obscurci le ciel martien pendant des semaines, le rover de 174 kg n'a probablement pas pu recharger ses batteries à cause de ses panneaux solaires couverts de poussières. Il est envisagé que la baisse d'énergie disponible ait perturbé l'horloge interne du rover. Du coup, Opportunity n'aurait pas pu plonger dans un sommeil programmé qui lui aurait fait économiser ses batteries. D'une longévité exceptionnelle, celles-ci ont fonctionné sans problème depuis 2004, et elles étaient encore à 85% de leur capacité en juin dernier.

Le bilan est très fructueux : pendant ses quinze années passées sur Mars, le rover déposé sur Meridiani Planum le 14 janvier 2004 aura réalisé 217 000 images, parcouru 45,16 km (plus qu'aucun autre engin sur une surface extraterrestre) et découvert avec son jumeau Spirit (enlisé en mai 2009 et en fin de vie deux années plus tard) les traces fossiles de présence d'eau qu'il était venu chercher. Mise en évidence de roches sédimentaires, de « myrtilles » d'hématite, de veines de gypse ou d'étendues d'argiles : les preuves de présence d'eau à différentes époques de la vie de Mars sont désormais établies.

Le rover de la Nasa aura aussi découvert des météorites et connu quelques aventures. Sa mission aurait pu s'achever dès 2005, lorsqu'il s'est ensablé, ou en 2007 lorsqu'il a subi sa première tempête de poussière. Celle de 2018, plus longue, lui a été fatale.



L'incroyable traversée d'Opportunity dans le désert martien.



« Autoportrait » d'Opportunity le 6 janvier 2014. Les panneaux solaires sont couverts de poussière, ce qui réduit sa production d'énergie. (doc. NASA/JPL)

Voici la traduction du communiqué de la NASA :

L'un des exploits les plus réussis et les plus durables de l'exploration interplanétaire, la mission de l'astromobile Opportunity de la NASA, s'achève, après presque 15 ans passés à explorer la surface de Mars et à jeter les bases du retour de la NASA sur la Planète rouge.

Le rover Opportunity a cessé de communiquer avec la Terre lorsqu'une violente tempête de poussière sur l'ensemble de la planète Mars a recouvert son emplacement en juin 2018. Après plus d'un millier de commandes pour rétablir le contact, les ingénieurs du centre de contrôle des opérations spatiales du Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA ont renoncé à tenter de réveiller Opportunity. L'ultime communication du rover à énergie solaire a été reçue le 10 juin.

« C'est grâce à des missions novatrices telles qu'Opportunity qu'un jour nos braves astronautes marcheront à la surface de Mars », a déclaré Jim Bridenstine, administrateur de la NASA. « Et quand ce jour arrivera, une partie de cette première empreinte appartiendra aux hommes et aux femmes d'Opportunity, ainsi qu'à un petit rover qui a défié tous les aléas et qui a tant fait pour l'exploration. »

Conçu pour ne durer que 90 jours martiens et parcourir 1000 mètres, Opportunity a largement dépassé toutes les attentes en termes d'endurance, de valeur scientifique et de longévité. En plus de dépasser son espérance de vie de 60 fois, le rover a parcouru plus de 45 km au moment où il a atteint son point de chute final : Perseverance Valley.

« Depuis plus d'une décennie, Opportunity est une icône dans le domaine de l'exploration planétaire, nous informant sur le passé ancien de Mars en tant que planète humide et potentiellement habitable, et révélant des paysages martiens inexplorés », a déclaré Thomas Zurbuchen, administrateur associé de la NASA pour la Science à la Direction de mission scientifique. « Quelque soit la peine que nous ressentons aujourd'hui, celle-ci doit être

tempérée par la certitude que l'héritage d'Opportunity se perpétue, à la surface de Mars avec le rover Curiosity et l'atterrisseur InSight, ainsi que dans les salles blanches du JPL, où le prochain rover Mars 2020 prend forme ».

La transmission finale, réalisée via l'antenne de 70 mètres de la station Mars située au complexe Deep Space Network de la NASA, à Goldstone, en Californie, a mis fin à une stratégie de récupération multiforme de huit mois visant à contraindre le rover à communiquer.

« Nous avons déployé tous les efforts d'ingénierie raisonnables pour tenter de récupérer Opportunity et avons déterminé que la probabilité de recevoir un signal est beaucoup trop faible pour poursuivre les efforts de récupération », a déclaré John Callas, responsable du projet Mars Exploration Rover (MER) au JPL.

Opportunity a atterri dans la région de Meridiani Planum de Mars le 24 janvier 2004, sept mois après son lancement à partir de la base de lancement de Cap Canaveral en Floride. Son jumeau, le rover Spirit, avait atterri 20 jours plus tôt dans le cratère Gusev, large de 166 km, de l'autre côté de Mars. Spirit a parcouru près de 8 km avant la fin de sa mission en mai 2011.

Dès le jour où Opportunity a atterri, une équipe d'ingénieurs de mission, de pilotes de rovers et de scientifiques a collaboré pour surmonter les défis et faire passer le rover d'un site géologique sur Mars à un autre. Ils ont tracé des avenues praticables sur un terrain accidenté pour permettre à l'explorateur martien pesant 174 kg de manœuvrer autour et parfois sur des rochers et des blocs de rocaillles, d'escalader des pentes couvertes de gravier pouvant atteindre 32 degrés (un record en dehors de la Terre), de sonder les fonds des cratères, d'atteindre les sommets de collines et de traverser les lits de rivières asséchées. Son entreprise finale l'a amené à la partie ouest de Perseverance Valley.

« Je ne peux pas penser à un endroit plus approprié pour Opportunity à la surface de Mars que celui appelé Perseverance Valley », a déclaré Michael Watkins, directeur du JPL. « Les archives, les découvertes et la ténacité de cet intrépide rover témoignent de l'ingéniosité, du dévouement et de la persévérance des personnes qui l'ont construit et guidé. »

Conçue pour durer 90 jours, l'exploration a duré plus de 15 ans, de 2004 à 2019. En cours de route, elle a découvert une preuve définitive de la présence d'eau liquide sur l'ancienne Mars et établi un record de conduite hors du monde terrestre.

Voici quelques réalisations majeures d'Opportunity :

- a établi un record de conduite sur Mars en une journée le 20 mars 2005, alors qu'il parcourait 220 mètres (721 pieds) ;
- a renvoyé plus de 217 000 images, dont 15 panoramas couleur à 360 degrés ;
- a exposé les surfaces de 52 roches pour révéler les surfaces minérales fraîches à analyser et nettoyé 72 cibles supplémentaires pour les préparer à l'inspection avec des spectromètres et un imageur microscopique ;
- a trouvé de l'hématite, un minéral qui se forme dans l'eau, sur son site d'atterrissage ;
- a découvert à Endeavour Crater des indications fortes de l'action d'une eau ancienne semblable à l'eau potable d'un étang ou d'un lac sur Terre.

Toutes les analyses scientifiques étaient au service du principal objectif des MER (Mars Exploration Rover) : rechercher des traces historiques du climat et de l'eau de la Planète rouge sur des sites où les conditions avaient peut-être été favorables à la vie. Parce que l'eau liquide est nécessaire à la vie, nous le savons, les découvertes d'Opportunity impliquent que les conditions à Meridiani Planum ont été habitables un certain temps dans l'histoire martienne.

« Dès le début, Opportunity nous a permis de rechercher des preuves concernant l'eau », a déclaré Steve Squyres, responsable principal de la charge utile scientifique des rovers à l'Université Cornell. « Et lorsque vous combinez les découvertes d'Opportunity et de Spirit, elles nous ont montré que l'ancienne Mars était un endroit très différent de celui qu'on trouve aujourd'hui : un monde froid, sec et désolé ; si vous regardez son passé lointain, vous trouverez des preuves convaincantes pour l'eau liquide sous la surface et pour l'eau liquide à la surface. »

Toutes ces réalisations n'étaient pas sans obstacles extraterrestres occasionnels. Au cours de la seule année 2005, Opportunity a perdu le contrôle de l'une de ses roues avant, un chauffage bloqué a menacé de limiter sévèrement la puissance disponible du rover, et une ondulation de sable martienne l'a presque emprisonné. Deux ans plus tard, une tempête de poussière de deux mois a mis le rover en péril, avant de céder. En 2015, Opportunity a perdu l'usage de sa mémoire flash de 256 mégaoctets et, en 2017, la direction de son autre roue avant.

Chaque fois que le rover rencontrait un obstacle, l'équipe d'Opportunity sur Terre trouvait et mettait en œuvre une solution lui permettant de rebondir. Cependant, l'énorme tempête de poussière qui s'est formée à l'été 2018 s'est avérée trop lourde pour le plus grand explorateur de l'histoire martienne.

« Quand je penserai à Opportunity, je me souviendrai de cet endroit sur Mars où notre rover intrépide a dépassé de loin les attentes de tout le monde », a déclaré Callas. « Mais je suppose que ce que je chérirai le plus, c'est l'impact que Opportunity a eu sur nous ici sur Terre. C'est l'exploration accomplie et les découvertes phénoménales. C'est la génération de jeunes scientifiques et ingénieurs qui sont devenus des explorateurs de l'espace avec cette mission. C'est le public qui a suivi. Et c'est l'héritage technique des MER, qui sont transportés à bord de Curiosity et de la mission à venir pour Mars 2020. Adieu, Opportunity et bravo. »

L'exploration de Mars se poursuit sans relâche. L'atterrisseur In-Sight de la NASA, qui a atterri le 26 novembre 2018, commence tout juste ses recherches scientifiques. Le rover Curiosity explore Gale Crater depuis plus de six ans. Et les rovers Mars 2020 de la NASA et ExoMars de l'Agence spatiale européenne seront lancés en juillet 2020, devenant les premières missions de rover conçues pour rechercher des signes d'une vie microbienne passée sur la Planète rouge.

C'était l'hommage de la NASA. Pour plus d'informations sur les périples d'Opportunity en 15 ans, je vous invite à les lire dans Wikipedia. C'est une bonne synthèse.

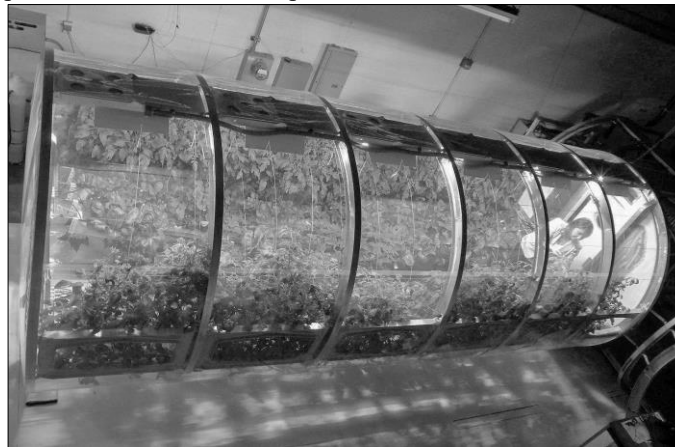
Yves Monier

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 plus d'une douzaine de personnes. La conséquence est que la quasi-totalité de la nourriture d'une colonie humaine sur Mars devra être produite sur place.

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), obtenir une qualité énergétique et diététique maximale pour un volume et une masse aussi faibles que possible, produire une quantité de déchets non réutilisables minimale.

Mars présente d'énormes avantages par rapport à d'autres endroits en dehors de la Terre : (1) elle offre une gravité minimale (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 dans la zone intertropicale ; (6) de l'azote peut être extrait de l'atmosphère.



Modèle de serre gonflable étudiée par la NASA.

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, avec une pression de 6 millibars en moyenne au niveau d'altitude moyen –« Datum »), l'atmosphère des serres devra être pressurisée, 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 par électrolyse de l'eau extraite du sol ou à partir du CO₂ de l'atmosphère (réaction de Sabatier, avec apport d'hydrogène issu de la glace d'eau martienne), mais aussi grâce au travail « naturel » des spirulines - voir plus bas). NB : on exclut le procédé de décomposition thermique du CO₂, trop coûteux en énergie.

(3) Il faudra veiller à un bon « mix » atmosphérique pour les plantes ; on devra maintenir des pressions partielles comparables à ce que l'on a sur Terre, pour l'oxygène aux environs de 210 mbar, car il faut éviter l'hyperoxie aussi bien que l'hypoxie, et pour 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, c'est de maintenir leurs quantités optimales en valeur absolue et de réduire la quantité d'azote, gaz tampon, neutre. On pourra ainsi descendre jusqu'à 0,5 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 hivers martiens (particulièrement longs dans l'hémisphère austral, où l'irradiance descend en dessous de 500 W/m²) ou pendant les tempêtes de poussière, et elle devra donc être complétée par une lumière artificielle (ce qui coûte de l'énergie) ; nous estimons (travaux de Richard Heidmann) la puissance moyenne de l'éclairage auxiliaire nécessaire pour 1 000 habitants à 15 MW (avec plusieurs milliers de tubes lumineux !).

(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 pourrait être extraite des générateurs nucléaires, principale source d'énergie probable.

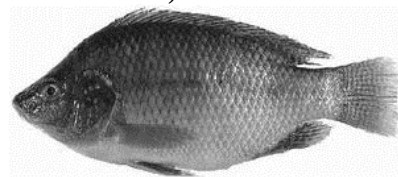
(6) Dans les serres, les volumes disponibles pour la croissance des plantes seront limités et utilisés au mieux ; nous devons cultiver des plantes avec les meilleurs ratios valeur nutritive sur volume et masse, ou élever des animaux offrant l'apport nutritionnel le plus élevé par rapport à leur masse.

(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.

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 les résidents, 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 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,).

La plupart des produits à consommer et à assimiler et digérer par les hommes seront des légumes, des céréales et/ou pseudo-céréales (quinoa), 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 pourra être élevé assez tôt dans des bassins (dont l'eau pourrait servir d'écran contre les radiations).



Le Tilapia, intéressant pour son taux de croissance, sa robustesse et son alimentation à base de protéines végétales.

Au fil du temps, 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 pour les animaux terrestres ont trait au voyage : sa durée, le peu de place disponible, la nécessité de restituer une gravité artificielle minimum et le soin à apporter à leur environnement microbien, microbiotes et microbiomes (à l'intérieur et à l'extérieur des animaux), en relation avec celui des plantes et celui des êtres humains.



Intérieur de la ferme urbaine de Skygreens à Singapour.

(doc. Sky Urban Solutions, Singapore)

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 0,5 bar comme vu ci-dessus) coûtera très cher et sera très consommateur de travail et de temps ; nous devons 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 que nous pourrions faire est expérimenté dans certaines « fermes urbaines », comme 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 régolite martien (débarassé de ses perchlorates) et facilement contrôlables pour son contenu microbien.

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). Il devra y avoir autant de serres, d'aquariums ou d'habitats pour animaux que possible et ils devront être bien séparés (sas). Un équilibre sera à trouver en fonction de nos capacités technologiques pour construire des serres et de l'efficacité du travail 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 sera facilité par l'environnement extérieur, propice au conditionnement sous vide et à la congélation. Au-delà, l'avantage de disposer de lumière artificielle complémentaire et, d'une manière générale, de contrôler l'environnement de croissance dans de multiples lieux viabilisés différents, permettra d'adapter la quantité et de privilégier telle ou telle longueur d'onde du spectre de la lumière (choix du bleu ou du rouge), 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, 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/>

Towards a closed life support system loop:

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

Microbial control:

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

Production agricole en milieu fermé, artificielisé et isolé par Jean DUNGLAS Membre de l'Académie d'agriculture de France. Manuscrit révisé le 31 mai 2018 - Publié le 14 juin 2018

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

PISTES D'ÉVOLUTION DE LA COMMUNICATION DE L'APM

Nous avons lancé un sondage auprès des membres ou sympathisants via le site internet de l'APM et les réseaux sociaux au mois de janvier pour recueillir suggestions et commentaires sur les améliorations que nous pourrions apporter à notre association. L'objet est de développer dans les prochains mois des axes techniques de travail au sein de l'association et engager un maximum de membres dans la vie active de l'association en concrétisant ces idées.

En attendant, voici un état des nombreuses réponses reçues, ainsi que les axes de travail envisagés :

- 72 réponses reçues : 11% de femmes ; 15% étudiants/jeunes professionnels, ~40% professionnels, ~20% retraités
- 24% ne sont pas membres de l'association (3/5 pro/retraités ; 2/5 étudiants/jeunes pro)

- Concernant les membres : ~30% sont membres durant 5 ans ; **7% entre 5 et 10 ans** ; 20% depuis 10 ans et plus. Ils sont membres :
 - Par passion pour la conquête spatiale en général, pour l'exploration martienne habitée en particulier (40%)
 - Par soif de connaissance (s'informer, partager avec d'autres membres, assister aux conférences) (33%)
 - Par soutien à la démarche et aux valeurs de l'APM (18%)
 - Pour devenir acteurs, agir, contribuer à amener l'Homme sur Mars (9%).
- Concernant les non-membres : ils sont très majoritairement satisfaits du site et des réseaux sociaux. Ce sont des curieux qui apprécient les informations mises à disposition mais pas au point de (re)devenir membres.
- Constat de satisfaction des sites Internet, réseaux sociaux, bulletins trimestriels, et communication globale de l'APM : richesse du contenu, abondance de données.

Axes d'améliorations qui ressortent :

- **-Faciliter l'accès à l'information sur le site** : moins complexe, moins dense, les nouveautés plus visibles ;
- **-Améliorer la fréquence d'actualisation de l'information sur le site** ;
- **-Mettre à jour en temps réel pour éviter d'aller chercher l'information sur d'autres sites Internet (et quitter le site APM)** ;
- **-Proposer de articles plus brefs, droit au but, assurant le relais vers d'autres sites** ;
- **-Transférer les informations techniques sur les réseaux sociaux pour susciter le débat** ;
- **-Améliorer la visibilité de l'APM** au sein de toutes les autres associations/ groupes/ revues martiennes :
 - Transformer la chaîne YouTube en une chaîne d'actualités vivantes, très prisée des internautes ;
 - Collaborer davantage à l'écriture d'articles dans les revues scientifiques ;
 - Favoriser les groupes locaux pour un meilleur rayonnement en région ;
 - Clarifier ce que fait l'association au quotidien, les événements programmés, l'organisation interne ;
 - Trouver un but au site membres, qui reste inconnu de la plupart, ou mal exploité (forum) conduisant les membres à s'en détacher : suggestion faite de rendre accessible en lecture (non pas en écriture) les échanges faits sur le forum des membres ;
 - Rester flexibles et proposer des solutions pour tous les profils de membres et non membres ;
- **-Augmenter l'engouement pour Mars:**
 - Renforcer présence (présentations, forums) dans les écoles ; mettre en place une plateforme collaborative pédagogique
 - Organiser davantage de conférences / événements : grand public (vulgarisation scientifique) et dans des lieux divers ;
 - Faire exprimer sur le site des personnes représentatives de l'exploration humaine dans l'Espace : SAF, Professeurs scientifiques, Astronautes, Chercheurs,

CNES, Collège de France, animateurs clubs d'observation, AFA,... Ouvrir le débat à son maximum ;

- **-Créer la spécificité de l'APM :**
- **-Lancer un projet de grande envergure au sein même de l'association ; workshops avec les membres (incluant un pôle formation) ;**
- **-Prendre une plus grande part dans l'animation de la thématique du spatial en lien avec le développement durable.**
- Une personne sur trois est intéressée par donner de son temps pour relayer les activités APM, ou organiser des événements en régions. Nous ne manquerons pas de les contacter dans les prochaines semaines.

Aline Decadi, Responsable de la communication

LA VIE DE L'ASSOCIATION

L'**Assemblée Générale Ordinaire** de l'association s'est tenue le 23 mars 2019. Les rapports moral et financier ont été approuvés à l'unanimité et la commissaire aux comptes a donné son quitus. La composition du Conseil d'Administration a vu les changements suivants : démission de **Charles Frankel** (suite au constat qu'il a fait de son manque de disponibilité, mais dont le soutien précieux nous reste acquis) ; renouvellement des mandats des quatre sortants statutaires : **P. Brisson, R. Heidmann, Y. Monier** et **J-F. Pellerin** ; élection de **Frédéric Tatout**. Le compte rendu sera rendu disponible sur le site des membres prochainement, ainsi que les deux rapports cités.

Le sondage réalisé sous la houlette d'**Aline Decadi** a mobilisé beaucoup d'énergie de sa part et de la part de **Stephan Gérard**, en charge des réseaux sociaux.

A noter deux participations identifiées de membres d'APM au concours de la Mars Society sur le thème d'une « première colonie de 1000 résidents » : **P. Brisson, R. Heidmann** et **T. Volkova**, pour « A Mars Settlement : How the Utopia could materialize » ; **J-M. Salotti**, en tant que professeur encadrant une équipe de l'ENSC, pour le rapport « Vizzavona ».

Gros succès de l'opération puisque la Mars Society a reçu plus de 100 contributions. Dans un premier temps, 20 demi-finalistes seront sélectionnés, puis 10 finalistes, parmi lesquels les gagnants seront désignés après présentation de leur étude lors de la convention annuelle de la Mars Society, du 17 au 20 octobre.

UN ÉQUIPAGE MULTINATIONAL À LA MDRS

Du 1er au 16 décembre 2018, la Mars Desert Research Station (MDRS), située aux USA en Utah, a accueilli son 200^{ème} équipage pour une simulation martienne de deux semaines.

Une mission internationale

Composé de 7 membres, 4 femmes et 3 hommes, qui ne s'étaient jamais rencontrés auparavant et qui provenaient de 5 pays différents (France, USA, Royaume-Uni, Italie, Chine) et d'âges variés (de la vingtaine à la cinquantaine), notre équipage avait tout pour inscrire la diversité au cœur de ses valeurs.

L'étendue du spectre d'activités et de compétences de cet équipage complétait ce tableau : de l'ingénierie à la géologie, de la chimie aux opérations de forage et des études scientifiques au management...

Ainsi se présentaient d'idéales opportunités d'échanges, de complémentarité et de défis à relever, pour créer une équipe soudée et motivée. Ne restait plus que le bon dosage de communication et d'un leadership adapté afin d'atteindre ce but. C'est donc avec les valeurs "International, Diversité, Education" que nous avons construit notre identité sous le leadership expérimenté de notre commandante Ilaria Cinelli qui comptabilisait déjà 6 autres simulations analogues martiennes.



L'équipage de la mission MDRS 200.

Outre son hétérogénéité, cet équipage a vu son effectif initial de 7 membres ramené à 3 membres la deuxième semaine. Cette configuration (prévue) a permis de simuler un rapatriement d'urgence du reste de l'équipage et le fonctionnement de la station en mode réduit.

N'allions-nous pas atteindre, avec cet effectif de 3 personnes, un seuil critique et mettre en jeu la sécurité et la productivité de l'équipage ? Quels seraient les impacts de ce changement drastique ? Quels seraient le ressort et la capacité d'adaptation de ce trio ?



Vue d'ensemble du site de la MDRS.

Nos projets

Les projets individuels de la première semaine étaient variés : scientifiques, techniques, artistiques ou de vulgarisation. Ils ont porté sur la digitalisation de la station, la fabrication de ciment martien, l'observation astronomique et le prélèvement

d'échantillons biologiques sur le terrain. Des synergies se sont alors développées entre les projets, en particulier ceux dont l'énergie représentait un des facteurs communs.

A ce titre l'énergie, ses échanges entre l'habitat et son environnement, ont constitué mon projet de simulation. J'ai souhaité étudier les échanges thermiques de l'Habitat de la MDRS afin de pouvoir le modéliser pour ensuite l'appliquer à une station martienne.

A terme, à partir d'un tel modèle du comportement énergétique de la station, couplé à des capteurs, on pourra concevoir un 'smart building'.

Dans un premier temps, j'ai modélisé le comportement thermique du bâtiment principal (l'Habitat) sous méthode Bond Graph (méthode graphique de représentation des échanges de puissance de nature diverse). J'ai mesuré ensuite à l'aide d'une caméra thermique les températures de surface intérieures et extérieures, en intégrant les données de l'Habitat dans le modèle (géométriques, nature des matériaux, etc.).

Les mesures thermiques qui devaient être réalisées à l'extérieur, lors des EVA (Sortie extra véhiculaire) ont présenté plusieurs défis. Il fallait respecter un certain réalisme pour coller aux conditions "martiennes" tout en devant assurer l'acquisition de données, avec un protocole adapté et un appareillage simple à mettre en œuvre (caméra thermique connectée à un smartphone).

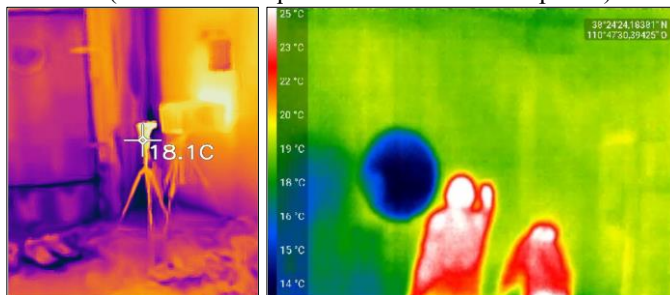


Illustration de l'imagerie pour mesures thermiques.

Les résultats de simulation sont satisfaisants et physiquement viables. Il reste encore quelques axes d'amélioration pour affiner la modélisation et me rapprocher davantage de la réalité. Pour réaliser ce projet, j'ai obtenu le soutien moral et financier de l'Association Planète Mars. J'ai pu compter également sur le soutien de l'École Centrale de Lille, en particulier du Dr G.Dauphin-Tanguy et du Dr Y.Dusch, enseignants-chercheurs qui m'ont orienté et ont mis à disposition une caméra thermique. Par l'intermédiaire de la Fondation Centrale Initiatives, avant de m'envoler pour l'Utah, j'ai reçu une bourse de 500€ de la Fondation de France.

La deuxième semaine, fut consacrée en majorité à l'étude d'un équipage réduit soudainement à 3 membres. Cette configuration n'avait jamais été autorisée, ni étudiée auparavant. Lors de cette semaine, nous avons travaillé sur 3 thèmes :

- nous avons produit une liste d'observations comparant les dynamiques d'équipe des deux configurations (7-3 membres) ainsi qu'une nouvelle évaluation des risques ;

- nous nous sommes davantage consacrés à l'élaboration de protocoles de communication lors des EVA (sorties extra véhiculaires) ;

- enfin, nous avons cartographié la couverture radio autour de la station, puis des zones plus lointaines. Avec deux

membres en EVA et un “HabCom” assurant leur suivi depuis la station, nous avons évalué la qualité du signal radio toutes les minutes, en enregistrant en parallèle les coordonnées GPS. Nous avons pu dresser une carte selon la qualité de réception radio autour de la station et proposer des emplacements pour installer des relais radio permettant d'accroître significativement la portée d'exploration (particulièrement utile en équipage réduit où le lien radio doit être constamment maintenu).

Déroulé de la mission et retour d'expérience

La mission a débuté par une belle surprise : 15 cm de neige tombés la première nuit, recouvrant tout le paysage. Avec des températures généralement négatives (-11C à +3C), la neige s'est maintenue durant la semaine, se transformant progressivement en boue. Elles étaient toutes deux dangereuses pour les EVA. Ainsi, dès les premières heures de la simulation, nous avons constaté l'impact majeur des conditions extérieures sur les activités et le programme (limitation des sorties extra véhiculaires et de leurs objectifs). Belle entrée en matière pour intégrer les différentes procédures et règles de sécurité, essentielles dans les missions spatiales.



La préparation d'une EVA, même dans un contexte simplifié de simulation, demande beaucoup de temps, de soin et d'attention.

Rapidement, nous avons réalisé que dans cet espace clos, limité et confiné, le groupe primait sur l'individualité. Le champ d'action individuel se réduit, des règles pour vivre ensemble s'imposent et les capacités d'adaptation des différents membres sont parfois mises à rude épreuve. Il convient de savoir formaliser et gérer la frustration, faire preuve d'humilité, maintenir le dialogue et entretenir le lien social.

Ensuite, il nous est apparu évident qu'un mode de management adapté devait s'imposer pour gérer ce microcosme. Il ne pouvait produire son effet maximal qu'allié à un mode de communication adéquat. Lors de cette première semaine, nous en avons eu une excellente illustration de cette association, avec un commandement exigeant mais humain, sachant allier écoute et moments de débriefing afin d'évacuer les tensions et maintenir l'équilibre.

La diversité est aussi essentielle car elle décuple le champ des possibles, créant du lien entre domaines (source d'innovation) et des échanges entre personnes (vital si l'on vit confiné avec les mêmes personnes durant des années). Ces différences sont à valoriser plutôt qu'à gommer, en s'assurant qu'elles soient constructives afin d'enrichir le groupe. En permettant le

développement personnel de ses membres et des échanges réguliers, la cohésion du groupe se raffermait.



Vue de l'aménagement de l'étage supérieur de la station.

La suite...

Souhaitant que notre travail puisse durablement profiter à la MDRS et à des futurs équipages, nous avons effectué plusieurs actions :

- La rédaction d'un rapport complet sur la mission, ses objectifs, les méthodes et les résultats obtenus ;
- La production de suggestions (enrichies grâce aux concours du Dr Shannon Robert, directrice de la base) visant à améliorer MDRS, capitaliser les simulations réalisées, et assurer la continuité des projets réalisés ;
- L'élaboration d'outils pérennes (e.g. page web pour cartographier la réception radio) ;
- Le prolongement de certains de nos travaux dans le but d'assurer de futures publications.

Des pistes de projets pour de futurs équipages (français ?) ne manquent pas : mise en place de l'infrastructure de relais radios, travaux d'analyse des données actuelles sur la psychologie des équipages et leur dynamique, digitalisation de la station avec mise en place de capteurs et d'une interface Homme-Machine, etc.

Personnellement, j'envisage probablement de revenir d'ici 1 à 2 ans en commandant un équipage avant tout international et aussi diversifié que possible.

A propos de la MDRS

Gérée par la Mars Society, cette station, fondée en 2001, est un lieu d'expérimentations visant à simuler des conditions analogues martiennes. Les équipages se succèdent ainsi durant toute la saison (automne au printemps), provenant du monde entier. Une forte proportion d'étudiants est représentée, ainsi qu'une présence régulière de l'APM.

Antoine Bocquier

Ont collaboré à ce numéro : Antoine Bocquier, Pierre Brisson, Philippe Clermont, Aline Decadi, Richard Heidmann, Dominique Ledevin, Yves Monier.

Achevé d'imprimer : Objectif numérique 56100-Lorient

Dépôt légal : avril 2019