



Numéro 78

PLANÈTE MARS



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

janvier 19

1

ISSN 1772-0370

LA RÉVOLUTION SPATIALE EST EN MARCHÉ

(extraits du discours de **Robert Zubrin**
à la 18^{ème} Convention Européenne de la Mars Society)

Il y a vingt ans nous avons vu paraître des livres tels que « La fin de l'histoire », « La fin de la science », tout ce qu'il vaut la peine d'entreprendre a déjà été entrepris, tout ce qu'il vaut la peine de connaître est déjà connu ; de la belle littérature ... mais un peu vaine si nous considérons ce qui a été accompli au cours des vingt dernières années. Nous avons en effet assisté à une révolution, une révolution de la connaissance, une révolution des possibles, et d'une façon générale le programme spatial fut un élément crucial de cette grande avancée.

En ce qui concerne l'exploration robotique nous avons obtenu des résultats absolument extraordinaires. Les programmes scientifiques se fixent un objectif et c'est pour cette raison qu'ils obtiennent des résultats spectaculaires. Le programme de vol habité, lui, évolue au gré des velléités de ses fournisseurs, c'est la raison pour laquelle son orientation est entropique et qu'il fait du sur-place depuis quarante ans. Cependant, si le programme gouvernemental de vol habité est complètement à la dérive, cette situation a permis l'émergence de nouveaux acteurs et finalement, au cours de la première décennie du vingt et unième siècle, un homme a décidé de créer sa propre société de lanceurs, et il a effectivement réussi. Il s'agit bien sûr d'Elon Musk ! Il a démontré qu'il est possible pour une entreprise privée de taille raisonnable, efficace et bien dirigée, d'accomplir des choses dont on pensait autrefois que seuls les gouvernements des grandes puissances étaient capables et, mieux encore, d'accomplir ces choses en trois fois moins de temps et pour dix fois moins cher.

Donc, nous allons avoir des lanceurs économiques. Mais l'idée qui consiste à envoyer un énorme vaisseau spatial sur Mars, le ravitailler en propergol et le renvoyer sur Terre n'est pas réaliste ; la colonisation de Mars est un aller simple et la façon la plus économique d'y parvenir serait d'y envoyer un BFR avec cent colons et de l'y laisser à demeure, pas de le ramener sur Terre... Par contre cela devient sensé si l'on décide de s'en servir pour envoyer cent cinquante tonnes en LEO (*Low Earth Orbit, orbite terrestre basse NdT*), et de mettre également à profit ce lanceur pour le voyage intercontinental terrestre : voyager de New York à Sydney en cinquante-trois minutes !

Dans ce numéro :

- | | |
|---|-----|
| -La révolution spatiale est en marche | p.1 |
| -Sismologie martienne : ce qu'on attend d'InSight | p.2 |
| -Une base martienne en impression 3D | p.4 |
| -Les Émirats Arabes Unis à l'assaut de la planète rouge | p.4 |
| -EMC18, mars sous le regard du temps | p.6 |
| -Le « Starsip » fait sa mue | p.8 |
| -Votre avis | p.8 |

prochain numéro : avril 2019...

On peut bâtir une colonie sur Mars. Le gros problème de la colonisation est celui de son financement. Les gouvernements peuvent commencer à la financer tant que l'opinion publique les soutient, mais sur le long terme, quand la colonie se transformera en une société organisée, il faudra qu'elle s'autofinance. Il ne lui est pas nécessaire de vivre en complète autarcie, il faut juste qu'elle soit capable de produire les biens volumineux et massifs. Donc si Mars peut produire des idées *, ses habitants pourront acheter tout ce dont ils ont besoin en matière de produits élaborés.

Qui seront les colons Martiens ? Ce seront, dans leur ensemble, des esprits tournés vers la technique qui se retrouvent dans un environnement de Front Pionnier. Toutes sortes d'inventions qu'ils feront pour s'adapter à ce nouveau milieu pourront faire l'objet de ventes de licences sur Terre. Par ailleurs, l'avènement des sociétés privées de lancement facilitera la colonisation privée. Pourquoi ces colons voudront-ils s'installer sur Mars ? Pour avoir l'opportunité d'aller à un endroit où ils seront les bâtisseurs de leur propre monde plutôt que les habitants d'un monde qui a déjà été bâti.

Ce que nous nous sommes efforcés de vendre depuis 1998, depuis la fondation de la Mars Society, « des humains sur Mars », sera beaucoup plus facile à vendre dès que nous disposerons de lanceurs lourds réutilisables bon marché. Nous devons être des vecteurs de cette idée.

(Traduction : **Etienne Martinache**)



Décollage du Starship (doc. SpaceX) /

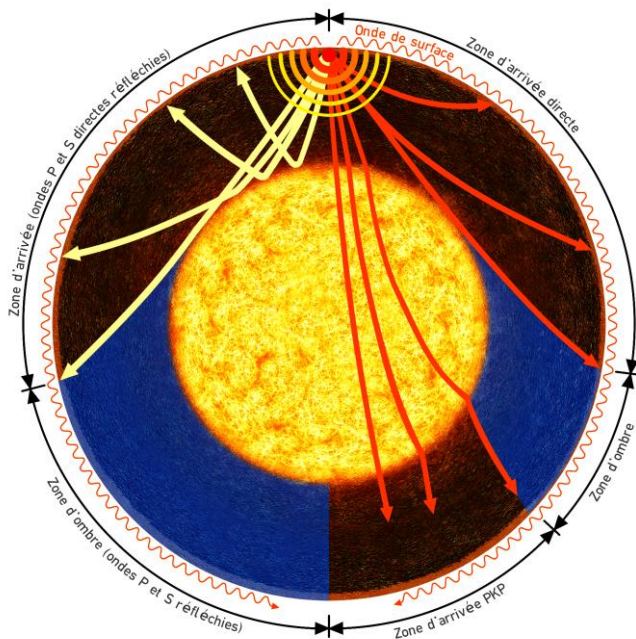


Concept de dôme martien. (doc. APM/R.Heidmann.)

* et des services (par exemple offre de résidence pour touristes et scientifiques)

SISMOLOGIE MARTIENNE : CE QU'ON ATTEND D'INSIGHT

Le grand intérêt d'explorer les planètes - la planétologie - est de pouvoir comparer les différents mondes entre eux : une science qui permet non seulement d'assouvir notre soif de connaissances concernant l'Univers, mais aussi de mieux comprendre la Terre et son fonctionnement par ce jeu des comparaisons. L'exploration de Mars nous fait découvrir le dynamisme de son atmosphère et de son climat - sans compter les conditions qui ont mené ou pas à l'apparition de la vie - et aussi son histoire tectonique et volcanique. La sonde américaine *InSight*, qui s'est posée avec succès dans les plaines d'Elysium, le 26 novembre, va apporter une pierre importante à l'édifice en auscultant l'intérieur de la planète avec à la fois un détecteur du flux thermique émanant des entrailles de Mars (l'expérience allemande HP3, agence spatiale **DLR**) et un sismomètre, mis au point par le **CNES** et l'Institut de Physique du Globe de Paris (**IPGP**) sous la houlette de **Philippe Lognonné**.



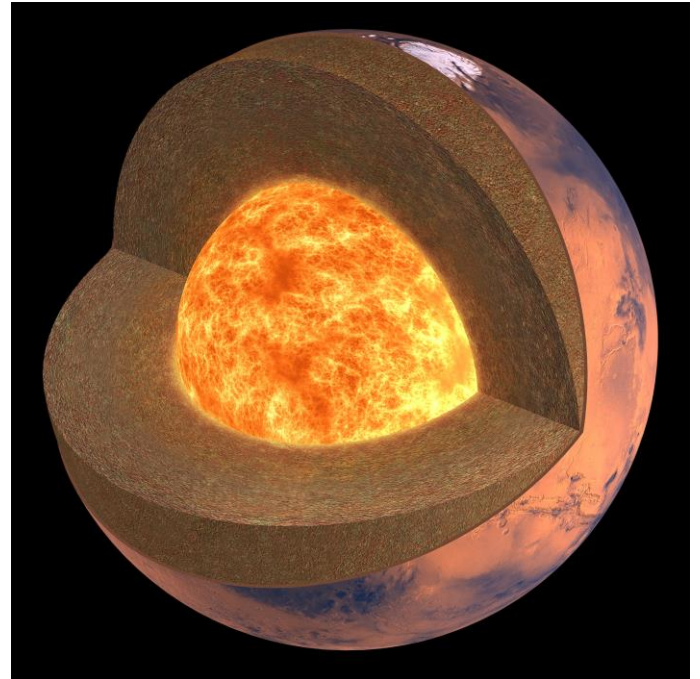
Parcours des raies sismiques à l'intérieur de Mars. Selon la position de l'épicentre par rapport au sismomètre, certaines raies arrivent directement à travers le manteau, d'autres sont réfractées ou réfléchies par le noyau. (doc. IPGP/David Ducros)

L'auscultation sismique, en particulier, va permettre de répondre à plusieurs questions fondamentales : quelle est la structure précise du globe martien, à savoir les épaisseurs respectives de sa croûte, de son manteau et de son noyau, et leur état de fusion, partielle ou totale. Cela, on peut le déduire en observant le comportement des ondes sismiques, déclenchées par des vibrations internes ou par des impacts d'astéroïdes en surface, la vitesse et l'atténuation de différents trains d'onde étant fonction du milieu traversé.

Les ondes sismiques

Pour rappel, lorsque sous l'effet du stress, l'intérieur d'une planète connaît un mouvement brusque par glissement d'une couche sur l'autre, le long d'un plan de faille, des vibrations rayonnent à partir de l'épicentre dans toutes les directions, et cela sous plusieurs formes. Les ondes de compression -

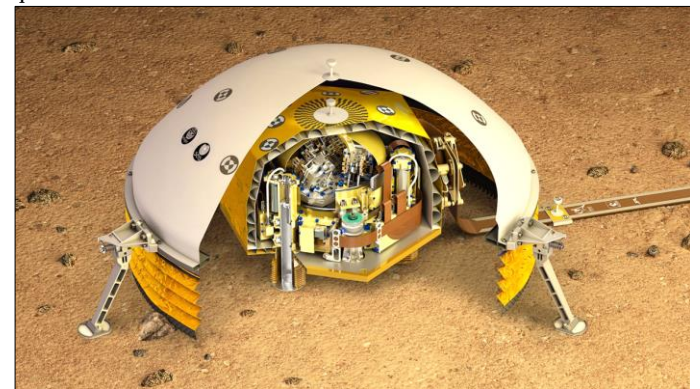
comprimant, puis dilatant la roche sur leur passage - sont les premières à atteindre un sismomètre distant : elles sont pour cette raison appelées ondes P (« primaires »). D'autres ondes suivent, moins rapides (et donc appelées ondes S pour « secondaires »), qui vibrent de façon perpendiculaire aux premières, en cisailant latéralement la roche : leur particularité est qu'elles s'atténuent, voire disparaissent, en traversant un milieu partiellement à totalement fondu, car un liquide ne se cisaille pas. Enfin, un troisième type d'ondes est généré lorsque les précédentes atteignent la surface du globe : appelées ondes de Rayleigh et ondes de Love, elles se propagent le long de cette surface en la faisant onduler.



Proportions supposées de la croûte (« pellicule » portant l'image de la surface martienne), du manteau (brun) et du noyau (orange).

(crédit: ©IPGP/David Ducros)

Une autre particularité importante des ondes est qu'elle se réfléchissent et se réfractent à l'interface de couches de densité différente - de même qu'un rayon lumineux change de direction en passant de l'air vers l'eau - tout en changeant de vitesse. En compilant les données de plusieurs séismes qui font partir leurs trains d'ondes depuis des points différents de la planète, on peut calculer à quelle profondeur se passe la déflexion des ondes, et quelle est la densité des milieux traversés.



Le sismomètre SISM de la sonde *InSight*, sous sa cloche qui la protège du vent. La plateforme interne est montée sur vérins pour caler l'appareil à l'horizontale. (doc.NASA)

Quant au principe de fonctionnement d'un sismomètre, il repose sur le principe du pendule : une masse au bout d'une tige à ressorts est libre de se déplacer par rapport au reste de l'appareil. Le déplacement relatif du pendule et de sa « cage » lors d'une vibration est enregistré par des variations de courant électrique, des électrodes étant présents tant sur le support que sur la partie mobile. En outre, un sismomètre comporte généralement trois pendules orientés différemment, de façon à reconstituer la vibration en trois dimensions, pour trouver notamment la direction d'où viennent les trains d'onde, pointant vers l'épicentre.

Le sismomètre de la sonde InSight

En 1976-77, les deux sondes Viking avaient été munies de sismomètres, mais comme la mission des sondes était surtout biologique, ces appareils n'avaient pas grande priorité : ils étaient notamment montés sur le châssis des sondes, exposés aux vibrations du vent. En outre, celui de *Viking 1* n'entra jamais en service, le dispositif de libération du sensible pendule—bloqué par sécurité pendant le vol—n'ayant pas fonctionné après l'atterrissage. Quant à celui de *Viking 2*, il n'a fonctionné que 89 jours avant l'arrêt sur fausse manœuvre de l'appareil, et encore : modèle réduit des années 1970 (2,2 kg, par rapport aux 12 kg des sismomètres Apollo), il avait une sensibilité 1 000 fois moindre que son équivalent lunaire, et le bruit de fond occasionné par le vent martien était rédhibitoire.

En 89 jours, un seul signal fut interprété comme un possible séisme, sans doute local, le doute demeurant qu'il ait pu aussi être occasionné par une bourrasque de vent. De toute façon, on ne s'attendait pas à beaucoup mieux : si Mars connaît une activité comparable à celle au milieu des plaques tectoniques terrestres (c'est-à-dire en enlevant la grande majorité des séismes - plus de 90 % - dus sur Terre à la tectonique des plaques et dont Mars est dépourvue), on ne s'attendait à détecter que deux ou trois séismes au maximum, à l'épicentre suffisamment proche de la sonde pour être repérés, sur une période de 89 jours.

Bien plus lourd que l'instrument Viking, le sismomètre SEIS de la sonde *InSight* (30 kg de masse totale, dont une importante cloche de protection contre le vent) a une sensibilité 1 000 fois supérieure. Il est positionné au sol par le bras robotique de la sonde, et parfaitement calé à l'horizontale par un système de vérins. Ainsi, les chercheurs espèrent enregistrer chaque année sur Mars une cinquantaine de séismes de magnitude $\geq 3,5$, soit suffisamment distants pour que leurs ondes aient traversé une bonne partie de la planète (pour mémoire plusieurs dizaines de milliers ont lieu sur Terre en un an), et une dizaine de magnitude $\geq 4,5$ (contre 4 000 à 5 000 sur Terre).

Déjà, un premier résultat capital d'*InSight* sera de découvrir l'importance de l'énergie sismique que la planète relâche chaque année, les géologues devinant qu'elle doit se situer entre 10^{17} et 10^{19} N.m (Newton.mètres, mesure d'énergie), une imprécision actuelle d'un facteur 100. On espère ramener l'imprécision à un facteur 10 seulement. Pour mémoire, l'énergie libérée annuellement sur Terre est de 10^{22} N.m (et sur la Lune de 10^{15} N.m). En d'autres termes, on saura si Mars libère plutôt 1 000 fois, 10 000 fois, ou 100 000 fois moins d'énergie sismique que la Terre.

La poupée russe martienne

La seconde avancée attendue est qu'en compilant les temps d'arrivée des différents trains d'onde après chaque séisme, les

géologues espèrent définir les épaisseurs et l'état de la croûte, du manteau et du noyau martiens. Jusqu'à présent, l'analyse du mouvement de rotation irrégulier de la planète a permis d'avancer quelques valeurs approximatives : la croûte martienne aurait une épaisseur variant entre 30 et 100 kilomètres selon les hémisphères (la croûte australe est la plus épaisse), avec une imprécision actuelle de ± 35 km. On espère lever le voile sur le profil global de cette croûte martienne et ramener l'imprécision des estimations à ± 5 km. En particulier, est-elle stratifiée en plusieurs sous-couches ? Pour mémoire, on pense qu'il s'agit avant tout d'une croûte essentiellement basaltique, à l'image de la croûte océanique terrestre, cette dernière n'étant épaisse en moyenne chez nous que de 5 à 10 km. Par contraste, la croûte basaltique martienne serait donc aussi épaisse que la croûte siliceuse des continents terrestres.

Quant au manteau de la planète rouge, on devine qu'il est similaire à celui de la Terre (un agrégat à haute pression des minéraux olivine et pyroxène), mais là aussi les détails seront révélateurs : le manteau est-il homogène, mélangé par une convection qui fut vigoureuse autrefois ? Ou bien est-il encore hétérogène, avec des « grumeaux » de densité et de composition différentes ?

Encore plus cruciale est l'analyse du noyau. Comme au centre de la Terre, il s'agit d'une boule de fer et autres éléments lourds ou sidérophiles (se liant au fer), qui se serait amassée par gravité au centre de la planète lors de sa chaude formation. Selon le profil exact de sa composition, de sa température et de sa pression, une telle boule de fer peut être solide, liquide, ou divisée en deux états comme au sein de la Terre (noyau interne ou « graine » solide, à cause de la pression, noyau externe de fer liquide). L'état liquide, en particulier, est très important, puisqu'il peut générer un champ magnétique dont on connaît l'importance : protection de l'atmosphère contre son « érosion » par le vent solaire, notamment. Une première grande avancée sera d'estimer le rayon du noyau martien, estimé présentement à $1\,700\text{ km} \pm 300\text{ km}$. Autant dire qu'entre 1 400 et 2 000 km, l'imprécision est grande. Les études sismiques d'*InSight* devraient déterminer ce rayon avec une précision de $\pm 75\text{ km}$.

L'état de ce noyau est lui-même une question fascinante. Que la planète rouge ait perdu son champ magnétique - et cela depuis environ 4 milliards d'années, d'après les traces de magnétisation fossile cantonnées aux paysages les plus anciens de Mars - ne veut pas dire nécessairement que le noyau s'est refroidi au point de se solidifier. On sait que Mars contient plus de soufre que la Terre ; or une grande quantité de soufre dans le noyau martien lui permettrait de rester liquide à de relativement basses températures. Et les mesures de la rotation du globe martien laissent entendre que quelque chose au centre est bel et bien liquide. De deux choses l'une : soit le noyau martien, comme le noyau terrestre, est en deux parties, avec un noyau externe encore liquide, mais qui serait devenu trop mince pour loger des cellules de convection pouvant le brasser au point de générer un champ magnétique. Ou bien le noyau est totalement liquide, mais parce que le manteau sus-jacent est trop isolant, il n'y a plus de déperdition d'énergie vers le haut, donc plus de gradient thermique à travers le noyau qui assurerait convection et champ magnétique.

On le voit : les résultats sismiques de la sonde *InSight* vont faire progresser notre connaissance du monde martien à pas de géant...

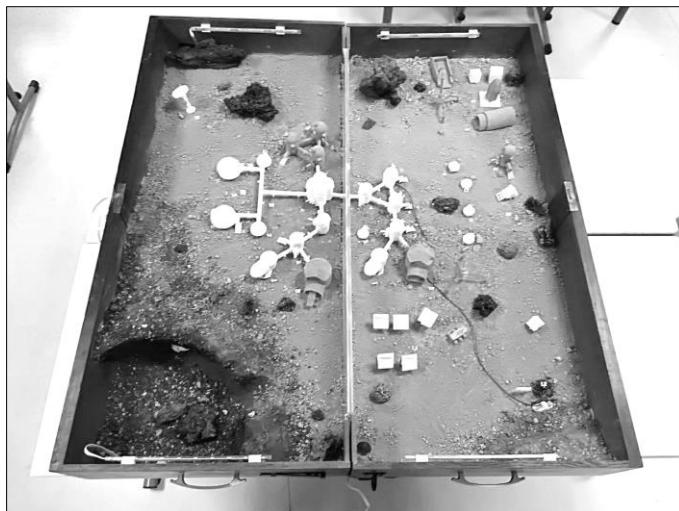
Charles Frankel

UNE BASE MARTIENNE PAR IMPRESSION 3D EN ECOLE ELEMENTAIRE

Erwan Vappreau, professeur des écoles en Bretagne, est l'initiateur d'un projet pédagogique et transdisciplinaire complet, mené avec les classes de CM1 et CM2, qui a commencé en novembre 2017 pour se terminer en juillet 2018 et dont l'objectif était de créer une base martienne par impression 3D.

Ce projet s'est construit à partir de l'étude de la planète Mars et d'interviews avec des spécialistes sur le sujet comme des ingénieurs, des spationautes comme Jean-François Clervoy ou Claudie Haigneré et les architectes spatiaux **Pierre Brulhet** et **Olivier Walter**.

Les élèves ont assemblé leur propre imprimante 3D (un prototype développé à leur intention) qui a servi à réaliser les modules de la station martienne (habitats, hangars, modules énergétiques, serres, etc.). Parallèlement à ce montage, un sol imitant la surface de la planète rouge a été fabriqué afin de servir de support aux éléments constituant la base.



Vue d'ensemble de la maquette : une remarquable réalisation.

La maquette de la base terminée fut exposée dans les écoles et au village des sciences de Rennes (et devrait être ensuite stockée au futur fablab du CNES).



L'impression 3D permet, à partir de fichiers de modélisation, de représenter les objets de façon détaillée.

Pour en savoir plus :

Site du projet : <http://spiderwan.free.fr/projet-impression3D/index.html> ; visite de la station en vidéo :

<http://spiderwan.free.fr/projet-impression3D/la-station.html>

LES EMIRATS ARABES UNIS À L'ASSAUT DE LA PLANÈTE ROUGE

Depuis quatre années et demie les Emirats Arabes Unis (UAE) constitués de sept Émirats : Abou Dhabi, Ajman, Sharjah, Dubaï, Fujaïrah, Ras el Kama et Oum al Qaiwaïn) ont une vision martienne. En effet, leur président avait annoncé en juillet 2014 qu'ils allaient développer une sonde spatiale à destination de Mars. Elle atteindrait la planète rouge en 2021, après un départ lors de la prochaine fenêtre de 2020.

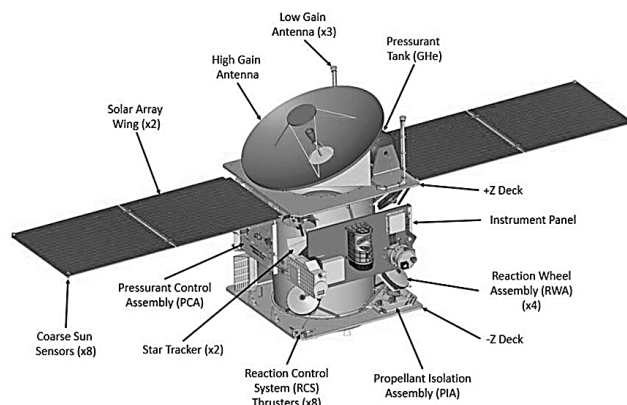
La mission émiratie, nommée Al-Amal ou HOPE (Espoir), est la première mission arabe vers la planète voisine. Elle est développée par l'Agence Spatiale UAESA (UAE Space Agency), créée en 2014 à cet effet.

Les pays ont acquis, dans le cadre d'une coopération étroite avec la Corée du sud, une certaine maîtrise de la construction d'engins spatiaux, avec le développement des satellites d'observation DubaiSat 1 et 2 (lancés respectivement les 29 Juillet 2009 et 21 Novembre 2013) et surtout de KhalifaSat, assemblé dans le Centre spatial Mohammed Bin Rashid, dont s'était doté le pays en avril 2015, et qui a été lancé le 29 octobre 2018 par une fusée japonaise H-IIA.

La sonde Mars Hope est développée sous la supervision complète d'ingénieurs Émiratis. Ses objectifs et instrumentations scientifiques sont sous la direction d'une femme, Sarah Amiri. En collaboration avec des institutions scientifiques étrangères, une équipe initiale de 75 personnes, à terme montée à 150 membres, est chargée de concevoir l'engin spatial.

Les objectifs scientifiques portent uniquement sur l'étude de l'atmosphère et du climat martiens :

- la recherche des corrélations entre la météorologie actuelle et le climat qu'a connu la planète dans son passé ;
- l'étude de l'érosion et de l'échappement atmosphérique ;
- la mesure des échanges entre les couches inférieures et supérieures de l'atmosphère martienne ;
- l'analyse des changements de l'atmosphère martienne au cours d'une journée et au long des saisons.



La sonde émiratie HOPE (1500 kg, 477 W, 7,9 m d'envergure)

La sonde Mars Hope a une masse d'environ 1 500 kg (avec les ergols). Elle est de section hexagonale haute de 2,9 mètres pour un diamètre de 2,4 mètres. La structure est réalisée en nid d'abeille d'aluminium avec des faces en composite. Deux panneaux solaires (trois étaient initialement envisagés) seront déployés en orbite, fournissant chacun 900 Watt (au départ de la Terre), après leur déploiement en orbite.

La propulsion principale (insertion orbitale et modifications d'orbite) comprend 6 moteurs-fusées à hydrazine de 120 Newton de poussée unitaire. Les petites corrections de trajectoire sont prises en charge par 12 moteurs-fusées de 5 Newton de poussée, en liaison avec le Reaction Control System (RCS). La sonde spatiale est stabilisée 3 axes et est équipée de senseurs stellaires. Le contrôle d'orientation est obtenu par des roues de réaction.

Pour communiquer avec le centre de contrôle de la mission, la sonde spatiale dispose d'une antenne parabolique grand gain de 1,5 mètre de diamètre et d'antennes faible gain en bande X. Le débit est de 1,6 mégabit/seconde lorsque la sonde est au point de son orbite le plus proche de la Terre et 250 Kbits/s en orbite martienne.

HOPE emportera trois instruments scientifiques :

- EXI (Emirates eXploration Imager) : caméra digitale qui doit fournir des images en couleur à haute résolution ;
- EMIRS (Emirates Mars InfaRed Spectrometer) : spectromètre infrarouge qui doit collecter des données sur l'atmosphère : température, présence de glace, de vapeur d'eau et de poussières ;
- EMUS (Emirates Mars Ultraviolet Spectrometer) : spectromètre ultraviolet qui doit mesurer les traces d'oxygène et d'hydrogène dans les couches supérieures de l'atmosphère.

Le lancement est envisagé en juillet 2020 avec une fusée japonaise H-2A-202. L'arrivée en orbite martienne est prévue en 2021, environ 200 jours après le départ. La sonde se satellisera sur une orbite initiale 20000/43000 km inclinée à 25° autour de la planète rouge. Cette orbite sera parcourue en 55h, soit 3 fois par semaine ou 2,24 sols environ. L'orbite comprend celles de Deimos et Phobos. La récolte des premières données scientifiques devrait débuter en mai 2021.

L'anniversaire des 50 ans de la fondation des Emirats Arabes Unis est ainsi visé par cette moisson de 1000 Go de données en deux années, durée nominale de la mission.



La vision martienne des Émirats s'est aussi concrétisée avec l'annonce de la volonté d'installer une petite ville sur Mars. Les colons martiens pourraient commencer à y emménager dans cent ans, d'où le nom du projet : Mars 2117.

Cette annonce a été faite le 14 février 2017, par le premier ministre des Émirats Arabes Unis mais aussi émir de Dubaï, lors du cinquième World Government Summit, qui a eu lieu dans cette ville. L'émir avait indiqué que ce projet, dont les premières pierres sont posées pour l'instant sur le papier, « intègre une vision pour créer une mini-ville et une communauté sur Mars impliquant une coopération internationale, précisant ses aspirations, dans le siècle à venir, à développer les sciences, la technologie et la passion de la jeunesse pour la connaissance ». Souhaitant inspirer la jeunesse, de facto les bâtisseurs du monde de demain, le cheikh a aussi écrit : « Mars 2117 inclut un effort majeur de nos universités vers les sciences de l'espace. Nous voulons développer une passion pour l'innovation spatiale auprès de la jeune génération. Mars 2117 est une graine que nous plantons aujourd'hui pour récolter le fruit de nouvelles générations guidées par une passion pour la science et l'avancée de la connaissance humaine ».

Conscients que la réussite de ce projet repose sur une collaboration internationale, ses instigateurs espèrent, dans un premier temps « faciliter l'arrivée de l'Homme sur Mars au cours des prochaines décennies », constituer une équipe scientifique et mettre en place, ensuite, un consortium international. Il serait notamment question de trouver les moyens de gagner du temps dans les transports vers ou au départ de Mars et, bien sûr, de définir tous les besoins pour cette future cité de colons martiens.

Le 1er octobre, lors du congrès d'astronautique de Brême, l'Agence EAUSA a par ailleurs signé un accord de coopération avec la NASA. Cet accord comprend notamment la possibilité d'entraînements d'astronautes Émiratis (un vol est envisagé pour avril 2019), l'utilisation de l'ISS, la contribution à l'exploration de la Lune et au-delà.



En avril 2015 déjà, un accord de coopération était signé entre le CNES et l'Agence Spatiale des Émirats dans la perspective du projet HOPE.

(doc. UAESA)

Ce sera en outre l'occasion de projets de recherche à la Cité Scientifique Martienne à partir de 2020, en vue de simulations des conditions de la planète rouge dans les domaines de la biologie spatiale, des sciences physiques, et des recherches humaines. Les projets ont pour objectifs d'utiliser cette cité et les stations analogues de la NASA pour étudier les effets des vols spatiaux sur les humains.

Yves Monier

EMC18, MARS SOUS LE REGARD DU TEMPS

La 18^{ème} Conférence européenne sur la planète Mars qui s'est tenue au Musée International d'Horlogerie (MIH) de La Chaux-de-Fonds du 26 au 28 octobre, s'est terminée après un programme dense et brillant tant au point de vue des orateurs que des sujets traités. Elle se déroulait dans la magnifique salle de conférence du musée horloger le plus riche et le plus beau du monde, comme les participants ont pu le réaliser lors de la visite guidée. Toute l'histoire de la mesure du temps est là, expliquée, illustrée par des objets rarissimes et souvent magnifiques dans une muséographie impeccable, complétés sur les murs par les fresques de Hans Erni exécutées pour l'exposition universelle de Bruxelles en 1958.

J'ai commencé par « mettre les pendules à l'heure » en rappelant les données de base de la mesure du temps martien (court et long) en me référant à la très belle horloge « dual-time », de l'entreprise Vaucher Manufacture Fleurier, réalisée sur mes conseils.

Sur le thème de la connaissance de la planète, les présentations de **Michel Cabane** (molécules organiques), Antoine Pommerol (instrument d'observation CaSSIS), Tomaso Bontognali (formes possibles de vie martienne), Philippe Lognonné (sismographie) ont permis de faire un point exact. Avec le premier, on a pu comprendre jusqu'où la chromatographie en phase gazeuse a pu conduire l'analyse de la composition du sol martien et percevoir que l'environnement planétaire martien a très probablement généré au fil du long temps où l'eau a été liquide, des molécules beaucoup plus complexes et plus longues que l'espace environnant avec les astéroïdes qu'on y trouve. On bute maintenant sur le fait qu'on doit chauffer et donc détruire ces molécules pour les étudier puisque les réactifs à froid (liquides) n'ont pas été encore utilisés. Avec **Antoine Pommerol**, on a pu admirer les premières photos prises par CaSSIS à partir de l'orbiter TGO, des nuances de couleurs et une précision jamais égalées, des angles de vue jamais utilisés, permettant de voir le même endroit sous différents éclairages mettant en valeur les changements au cours de la journée donc des compositions de sol et des effets atmosphériques différents. On revient déjà, pour certains « gullies », sur le rôle qu'a pu jouer l'eau dans leur formation (il y aurait plusieurs types de gullies). Avec **Tomaso Bontognali**, on devrait être prêt à reconnaître visuellement la vie ou plutôt les traces qu'elle a laissées, si elle s'est jamais exprimée sur Mars. La « caméra » CLUPI à bord du rover de la mission ExoMars doit y être déposée début 2021 et les travaux du Dr. Bontognali nous donneront la possibilité de comprendre ce que nous verrons, sur le plan exobiologique. La précision ne pourra dépasser 35 µm alors que les fossiles de cellules primitives devraient être beaucoup plus petits (sur Terre les bactéries ont une taille de l'ordre du micromètre). Cependant on doit pouvoir compter sur un comportement sans doute universel de la vie, son grégairisme et son aptitude à la symbiose, donc à la vie en communauté, qui aurait dû générer des tapis microbiens. Cette perspective est permise par l'instrument CLUPI (présenté par son P.I. **Jean-Luc Josset**) qui doit embarquer à bord d'ExoMars pour accompagner visuellement les forages du rover de l'ESA. Avec **Philippe Lognonné** on a pu admirer l'ingéniosité

du sismomètre embarqué à bord d'InSight et qui a atterri sur Mars le 26 Novembre. Cet appareil extraordinaire dispose d'une sensibilité telle que tout mouvement interne de la planète tant soit peu significatif, pourra être détecté, et ce à partir d'un seul instrument déposé (en utilisant les ondes de surface). Nous pourrions ainsi savoir jusqu'à quel point la planète s'est refroidie et quelle est l'épaisseur de sa croûte. De là on pourra faire toute sorte de déductions sur son histoire et son potentiel d'activité résiduelle.

Sur le thème du voyage, les présentations de Pierre-André Haldi (critique constructive de la BFR d'Elon Musk), de Jean-Marc Salotti (possibilité de missions habitées avec une Ariane Super Heavy), Angelo Genovese (modes de propulsion avancés), de Jürgen Herholz (historique des projets de l'ESA en termes de vols habités), de Maxime Lenormand* et Anne-Marlène Rüede (EDL des masses lourdes) et aussi de Claude Nicollier, nous ont montré que les missions habitées étaient bien possibles en termes de propulsion, de configuration des lanceurs et d'architecture de missions, avec plusieurs variantes envisageables. Avec **Pierre-André Haldi**, on a bien vu les imperfections du projet BFR, Elon Musk ayant à ce stade un peu trop cédé à l'esprit Star-Treck (fenêtres, panneaux solaires, non traitement de l'apesanteur) mais P.A. Haldi reconnaît la valeur de quelques excellentes idées, notamment la réutilisation de plusieurs éléments du lanceur, le ravitaillement en ergols en orbite basse terrestre avant l'impulsion vers Mars et l'utilisation du méthane comme carburant. Il propose par ailleurs un système de génération de gravité artificielle, une modularité qui apporterait de multiples avantages (notamment la possibilité de changement de mode de propulsion) et la descente en surface de Mars limitée à des véhicules légers annexes (ce qui représenterait d'importantes économies d'énergie). Avec **Jean-Marc Salotti** on voit qu'on pourrait utiliser un lanceur dérivé d'Ariane 5, de performance moyenne, Ariane Super Heavy, pour mener à bien des missions habitées sur Mars (en conditions toutefois un peu spartiates). Avec **Jürgen Herholz** on voit encore mieux que si l'ESA n'a pas réussi à égaler la NASA sur le plan des vols habités, c'est tout simplement qu'elle ne l'a pas voulu (ce qui génère une certaine frustration). Les étudiants **Maxime Lenormand*** et **Anne-Marlène Rüede** ont choisi de parler de la phase difficile de l'EDL et ils ont présentés des solutions très sérieuses qui montrent qu'avec les technologies d'aujourd'hui, on peut descendre en surface de Mars les masses nécessaires à un séjour sur cette planète, suffisantes pour y vivre dans des conditions acceptables le temps d'un cycle synodique. **Claude Nicollier** a souligné que, s'il était très important que le voyage ne se fasse pas en condition d'apesanteur, il était néanmoins difficile d'envisager la création de gravité artificielle au sein de deux masses en rotation liées entre elles par un filin. C'est un des sujets dont il faudrait poursuivre sérieusement l'étude (ce qui n'est malheureusement pas prévu). **Angelo Genovese** a ouvert la porte des technologies nouvelles de propulsion qui, n'en doutons pas, pourront, un jour pas si lointain, réduire considérablement le temps des voyages, ce qui rendrait un peu moins critique ce problème d'apesanteur (et également de dose de radiations reçue) et cela à une époque où un « comité d'accueil » pourrait prendre en charge les voyageurs affaiblis à leur arrivée sur Mars.

Sur le thème du séjour en surface, nous avons eu d'excellentes présentations de Théodore Besson, d'Anne Marlène Rüede, d'Olivia Haider, de Richard Heidmann et Mitko Tanevski. Avec **Théodore Besson** nous sortons des simulations peu significatives faites par les Russes (« Mars 500 »), qui ne traitaient vraiment que du problème psychologique d'un voyage de longue durée en situation de confinement, pour entrer dans la problématique des tests du support vie. Les personnes partant pour Mars seront suffisamment motivées pour supporter le voyage ; par ailleurs, imaginer que les conditions sur Mars seront pratiquement identiques à celles vécues pendant le voyage n'a pratiquement pas de sens. Par contre, l'alimentation des astronautes, le recyclage de l'air et de l'eau, le contrôle microbien, sont de vrais problèmes. Ils sont « adressés » par MELISSA mais il faudra bien un jour les tester avec des « équipages » humains comme Théodore le propose avec son projet « Scorpius-1 ». **Olivia Haider** a montré le niveau sophistiqué qu'ont atteint les simulations d'EVA sur Terre. Avec AMEDEC 18, on est très loin des caricatures de ballades en faux scaphandres présentées il y a quelques années. Comme quoi il fallait persévérer pour arriver à des résultats qui seront utiles pour la véritable exploration. On voit bien les ressources qu'apportent la planète Mars pour envisager de s'y établir, et **Anne-Marlène Rüede** en a bien vu, et démontré, le potentiel. **Roland Loos** a montré que l'on pouvait espérer faire voler des avions dans le ciel de Mars en s'inspirant de Solarstratos, l'avion qui par la seule puissance de l'énergie solaire doit pouvoir accéder à la stratosphère terrestre (il lui faudra un décollage vertical comme le propose R. Loos puisqu'il n'y a pas d'aéroport et qu'il faudrait de très longues pistes pour qu'il puisse s'envoler compte tenu de la très faible portance de l'atmosphère). Avec **Richard Heidmann**, on est parti beaucoup plus loin dans le futur. On a examiné le scénario d'une première colonie (1000 résidents) et mis en évidence les principales difficultés de réalisation, liées en particulier à la nécessité de produire « en série » des habitations, en utilisant au maximum les ressources locales. La dépendance à la Terre sera durable, mais elle sera positive (créativité résultant des défis posés) et les Martiens auront de ce fait des ressources pour offrir en échange aux importations de la Terre, des services qui seront précieux aux deux parties, gage de pérennité pour les colonies martiennes. Le plan économique, sans la prise en compte duquel rien ne se fera, a été traité par **Antonio del Mastro**. Il ne s'agit pas en effet d'attendre que les impôts résolvent tous les problèmes. L'économie tournée vers le spatial doit se prendre en charge dès maintenant. Il ne faut pas oublier que travailler pour Mars c'est déjà travailler sur Terre, concevoir, acheter et vendre « ici-bas ». Le constater est une excellente façon de ne pas désespérer.

Ces différents thèmes étaient considérés « **sous le regard du temps** ». Pour mieux comprendre l'importance de ce facteur, nous avons eu deux exposés sur les fondamentaux de sa mesure. **Gaetano Mileti** et **Pascal Rochat** nous ont expliqué où nous en étions de la sensibilité et de la précision. Ce n'est ni anodin, ni anecdotique puisque toute navigation (toute prévision de déplacement à une certaine vitesse) se fait à partir de la mesure du temps et cela est d'autant plus important que sur Mars on n'aura que très peu de moyens de communication physique et que la plupart des interventions à distance se feront par l'intermédiaire de robots par des commandes en direct impulsées depuis la base

habitée où seront concentrés les moyens de vie. De ce point de vue, il était passionnant de voir que des progrès considérables sont fait dans la définition de la seconde (unité de base de toute mesure du temps). **Alain Sandoz** a présenté une complication appliquée à la mesure du temps en apesanteur, ce qui peut évidemment servir dans le cadre d'une navigation vers Mars avec des phases plus ou moins longues dans cet état. Pour terminer, **Mitko Tanevski** a abordé le problème très complexe des communications interplanétaires. On parvient à les maîtriser comme le prouve le succès des missions robotiques récentes mais il faut rendre hommage aux spécialistes qui maîtrisent le sujet, véritable illustration du concept de complexité. Pour conclure Mitko Tanevski a fait une constatation évidente que j'ai trouvée très troublante car elle pose problème pour les futures colonies : lorsqu'une population vivra sur Mars, elle ne pourra pas avoir accès immédiat aux bases de données terrestres. La vitesse de la lumière est en effet incontournable et la distance de Mars fera toujours qu'une question posée à la Terre (personnes physiques ou base de données) n'aura de réponses qu'après une durée de 5 à 45 minutes. Que faire ? Copier les bases de données existantes, puis procéder continûment à leur mise à jour ? Est-ce possible aujourd'hui et encore plus demain quand elles auront atteint une taille gigantesque ?



*Les fresques de Hans Erni dans la salle de conférence du MIH.
(doc. MIH et Aline Henchoz)*

De telles considérations n'ont pas empêché **Robert Zubrin** de donner des perspectives enthousiasmantes à l'exploration spatiale. Il nous a fait remarquer que nous sommes déjà dans l'espace. Il faut en prendre conscience et aller aussi loin de notre Terre que pourra le permettre notre technologie. Il s'agit de vouloir. Nous avons abordé, plus tôt dans le cadre de notre débat, la stratégie des vols habités. On a bien vu à cette occasion la divergence de vue entre certains scientifiques (représentés par Jean-Luc Josset), qui ne souhaitent pas dépenser pour les missions habitées des sommes qui dépassent de beaucoup celles des missions robotiques, et les tenants de l'établissement de l'Homme sur Mars (représentés par Robert Zubrin), qui placent leur projet avant cette recherche. Nous étions avec Claude Niccolier, au milieu, en demandant les deux. In fine en effet il faut bien voir que les sommes à prendre en compte pour les missions habitées sont très faibles par rapport à toutes les autres dépenses effectuées par les États modernes. Le budget actuel de la NASA ne représente que 0,5% des dépenses publiques des Etats-Unis et il ne serait même pas nécessaire de les doubler pour mener à bien un programme d'exploration de Mars par vols habités comprenant cinq ou six missions sur une douzaine d'années. Mais il

faudrait le vouloir au niveau des États, ce qui n'est pas le cas ! Alors, pour débloquer la situation, plutôt que d'attendre une décision des États ou l'éventuelle concurrence chinoise susceptible de réveiller les Etats-Unis, peut-être faut-il plutôt compter sur l'initiative et l'action individuelles. Elon Musk ou l'un de ses semblables peut relever le défi, sans rien demander à personne. C'est mon espoir et il a tout notre soutien et nos encouragements.

Sponsors: [Space Exploration Institute \(Neuchâtel\)](#); [Musée International d'Horlogerie](#); [Spectratime](#); [Banque Cantonale Neuchâteloise](#); [Trax-L](#)

Pierre Brisson

LE « STARSHIP » FAIT SA MUE !

Décidemment, tout semble s'accélérer dans le projet de transporteur spatial de SpaceX. Au-delà du changement de nom, on a assisté à l'installation d'un volumineux atelier (sous tente) sur le terrain loué au port de Los Angeles, puis à la sortie de cet atelier de sous-ensembles des réservoirs réalisés en composite carbone et, dernièrement, à l'annonce que les premiers essais (d'atterrissage) pourraient avoir lieu d'ici moins de 6 mois, avec un prototype équipé de trois moteurs Raptor « bons pour vol », c'est-à-dire réputés à maturité de leur définition...

Mais ce qui frappe le plus, c'est le virage radical décidé concernant la technologie de réalisation des réservoirs géants du vaisseau. SpaceX a misé lourdement sur une structure en composite carbone, une technologie largement appliquée dans l'aéronautique, en tentant de l'adapter aux conditions particulières du projet (températures cryogéniques en présence des ergols et hautes températures en phases de rentrée atmosphériques). Or, Elon Musk vient d'annoncer qu'ils avaient abandonné cette voie et opté pour des structures en SX300, un acier inoxydable réfractaire allié de nickel du type « Single Crystal Ni-based alloy » (une nuance dénommée SX500 a par ailleurs été développée par SpaceX elle-même pour les moteurs Raptor).

Ce changement décisif n'est probablement pas étranger à des difficultés révélées grâce à la fabrication et aux essais des pièces grandeur réelle réalisées par SpaceX. Mais Elon Musk, tout en admettant que le véhicule s'en trouvera alourdi, justifie ce revirement par la prise de conscience que le matériau composite et sa protection thermique n'auraient pas la capacité de résistance suffisante pour envisager une réutilisation sans avoir à regarnir (changer ?) la protection thermique. Avec l'acier réfractaire, l'idée est de se dispenser totalement de protection thermique ; c'est la peau en acier elle-même qui, portée à haute température, en fera office. A cette fin, la peau du vaisseau ne sera pas enduite de peinture et sera polie comme un miroir, de façon à maximiser le rayonnement de la chaleur. Ce qui confèrera au vaisseau un éclat métallique brillant, particulièrement spectaculaire ! Elon Musk souligne par ailleurs que si le composite présente de meilleures performances mécaniques aux températures ordinaires,

c'est l'inverse aux températures extrêmes qui seront rencontrées.

Verrons-nous effectivement en 2019 les premiers moteurs à méthane soulever puis faire atterrir, sous le ciel du Texas, le premier prototype du premier vaisseau interplanétaire ? Elon Musk tient rarement ses délais... mais il atteint ses objectifs.

Mars est encore loin, mais grâce à cette entreprise audacieuse, on s'en rapproche...

Richard Heidmann



Deux sous-ensembles en inox du prototype du Starship destiné aux essais « hopper », photographiés au port de Los Angeles. (DR)



Vue d'artiste du Starship version « acier poli » en route vers l'espace. (DR)

VOTRE AVIS

Nous souhaitons recueillir les suggestions et commentaires des membres de Planète Mars sur les améliorations que nous pourrions apporter à l'association. Nous voudrions par la même occasion développer de nouveaux axes de travail et permettre à un plus grand nombre de membres, en concrétisant leurs idées, de participer à la vie active de « Planète Mars ».

A cette fin, nous communiquerons prochainement à nos membres un formulaire de sondage. Nous les remercions d'y prêter attention, leurs avis sont importants !

Aline Decadi

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Pierre Brulhet, Aline Decadi, Charles Frankel, Richard Heidmann, Dominique Ledevin, Etienne Martinache, Yves Monier.

Achevé d'imprimer : Objectif numérique 56100-Lorient

Dépôt légal : janvier 2019