



PLANÈTE MARS



Numéro 69 Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris www.planete-mars.com octobre 16

ISSN 1772-0370

L'EUROPE ET LE TRAIN POUR MARS

On peut reprocher à l'administration Obama d'avoir, une fois de plus, détruit la dynamique de l'effort spatial de son pays en arrêtant le programme Constellation. Depuis en effet, la volonté de relancer l'exploration humaine de l'Espace ne s'est pas véritablement concrétisée (par une programmation pluriannuelle) si ce n'est au travers des développements du lanceur lourd SLS et de la capsule Orion, cependant imposés par le Congrès à un président réticent.

Pourtant, ces huit années n'auront pas été totalement stériles. D'une part parce qu'elles ont permis à des acteurs privés, avec, il faut le souligner, un soutien décisif de la NASA, de développer leur présence et leur influence sur les choix engageant le futur. Mais aussi parce que le président en personne a réaffirmé clairement, à plusieurs reprises, que l'objectif à assigner aux vols spatiaux devait bien être Mars. L'espace circumlunaire doit en conséquence n'être considéré que comme un terrain de qualification des équipements, et sa fréquentation ne devrait pas conduire à des développements spécifiques inutiles vis-à-vis de l'objectif.

Naturellement, la Lune, avec ses atouts de proximité et scientifiques propres, garde son attrait, et on peut craindre que le débat se prolonge, à la satisfaction de ceux qui souhaiteront ne pas s'engager dans de lourdes décisions à long terme.

L'ESA, pour sa part, tout en manifestant concrètement son intérêt scientifique pour Mars, s'est vigoureusement engagée dans la promotion d'un programme consacré à la Lune, médiatisé sous le nom de « Moon Village ». Elle pense être rejointe dans cette initiative par d'autres puissances spatiales, et obtenir ainsi, de facto, une position moins dépendante du leader.

A la pousser trop loin, cette politique peut cependant entraîner des risques. D'abord, sans véritable engagement des Américains, les ressources vont manquer ; une coopération globale s'impose. Mais surtout, lorsque ceux-ci, dynamisés par les entrepreneurs de l'espace du futur, dont on constate déjà l'influence, finiront par lancer un véritable programme martien, l'Europe pourrait y avoir perdu la place que ses capacités scientifiques et industrielles l'autorisent à ambitionner. Nous serions en 3^{ème} classe dans le train pour Mars, pour ne pas dire sur un strapontin. Les récentes prises de position du président du CNES en faveur de l'objectif Mars sont donc particulièrement bienvenues.

Richard Heidmann

vice-président de l'Association Planète Mars

Dans ce numéro :

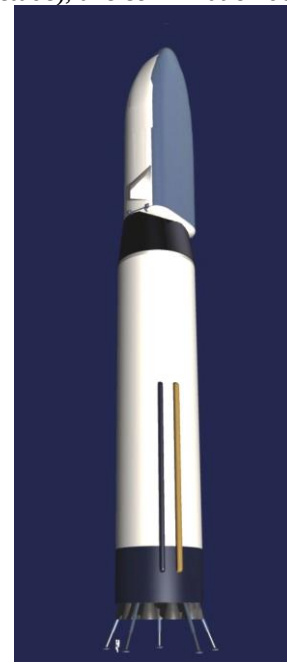
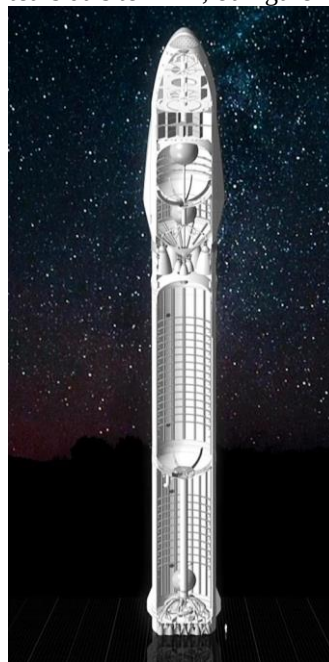
- 27 Septembre 2016, Guadalajara p.1
 - L'IAC 2016 p.3
 - La vie de l'Association p.5
 - MELiSSA, une bulle de vie... p.6
- prochain numéro : janvier 2017...

27 SEPTEMBRE 2016, GUADALAJARA



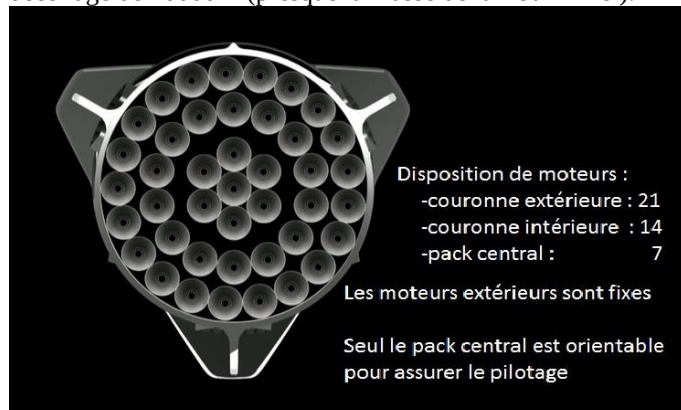
C'est, à l'occasion du 67^{ème} Congrès International d'Astronautique, le jour et le lieu qu'avait choisis Elon Musk pour révéler le projet SpaceX de système de transport de masse devant permettre de coloniser la Planète rouge. Ce fut un moment historique, auquel ont eu le privilège d'assister plusieurs milliers de spécialistes et de fans, après avoir fait la queue jusqu'à près de deux heures avant de se ruer dans l'immense salle de conférence du centre d'exposition.

Si le gigantisme et l'audace du projet ont stupéfait l'assistance, ce fut aussi, pour les « geeks » les plus avertis (dont les visiteurs du site APM, où figure notre étude), une confirmation de



Le MCT, tel que dévoilé (à gauche) et que pressenti par APM (à droite). Architecture et masse au décollage identiques, mais diamètre de 12 m (contre 15) et 42 moteurs de 300T, contre 17 de 700T.

ce que permettaient de pressentir les indices distillés ces dernières années au fil des déclarations d'Elon Musk. C'est un mono étage de 12 m de diamètre, muni de 42 (!) moteurs Raptor d'un peu plus de 300 T de poussée, autorisant une masse au décollage de 10000 T (presque la masse de la Tour Eiffel).



L'impressionnante baie de propulsion du booster ; les moteurs se touchent presque ; mais l'arrêt d'un moteur n'empêcherait en principe pas le poursuite du lancement. (doc. SpaceX)

Cet étage est surmonté d'une navette assurant la fin de mise en orbite de parking, l'impulsion de transfert interplanétaire et le freinage dans la descente. Contrairement à notre option, l'atterrissage sur Mars se fait en position verticale, solution facilitant grandement l'intégration des 9 moteurs Raptor de la navette mais compliquant les opérations de déchargement du cargo et de débarquement des passagers. Avant de s'élancer vers Mars, la navette reçoit un complément de plein de la part d'une navette « tanker » placée en orbite de parking de la même façon.



L'ITS (ex-MCT) au décollage ; la navette (d'une envergure de 15 m) est juchée sur le booster récupérable. A gauche, la navette « tanker » attend le retour du booster pour être lancée à son tour.

(doc. SpaceX)

Dans cette architecture, tout est récupéré, ce qui est aux yeux de SpaceX un impératif absolu pour prétendre baisser radicalement les coûts.

La durée des transferts est fortement réduite (90 à 140 jours, selon la date), permettant de diviser pas 2 la dose de radiations. Apparemment rien n'est prévu en matière de gravité artificielle (par force centrifuge), mais le vaisseau est conçu avec le souci d'agrémenter le plus possible la longue traversée : vaste verrière, large espace d'habitation. Elon Musk a d'ailleurs indiqué que tout sera fait pour rendre le voyage « fun » (sports et jeux en apesanteur, films, conférences...).

Curieusement, rien n'a été dit sur le mode de retour, à part le fait que le plein serait fait avec des ergols martiens et une indication sur la capacité (importante) des réservoirs du vaisseau. C'est probablement le signe que tout n'est pas encore décidé à ce sujet. Le mode de retour joue de façon essentielle

sur le montant des investissements, selon que les vaisseaux reviennent dans le domaine terrestre avant la fenêtre de tir suivante (cycle opérationnel : 26 mois) ou après (52 mois).



Une immense verrière, aménagée à l'avant du vaisseau, permettra aux passagers de contempler l'approche de leur destination rêvée.



Un instant magique : la porte du sas s'ouvre sur le paysage grandiose d'un autre monde. (doc. SpaceX)

Dans son exposé, Elon Musk a insisté sur le fait que, contrairement à ce que certains imaginaient, il ne s'agit pas d'un projet pour le futur, mais pour maintenant. Un projet sur lequel SpaceX travaille déjà, certes à hauteur seulement de 5% de ses ressources, mais avec la perspective d'augmenter progressivement ce pourcentage, au fur et à mesure que les développements en cours se termineront et que les rentrées commerciales d'exploitation augmenteront. A l'appui de ses dires, il a montré le film du premier essai d'un Raptor et, à la stupéfaction des spécialistes, le prototype du réservoir oxygène liquide de la navette (12 m de diamètre), réalisé en fibre de carbone, une première mondiale.

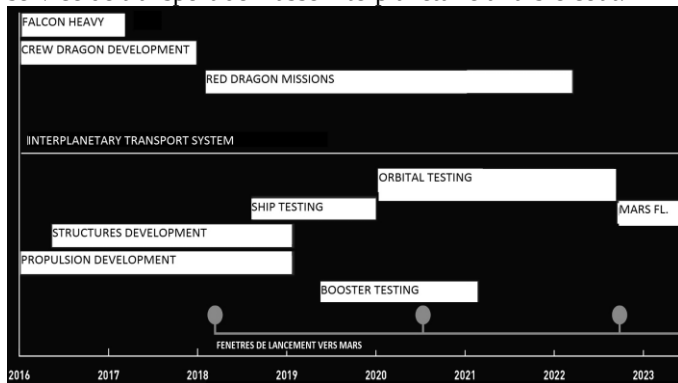


Premier essai d'un Raptor LOX/Méthane « full flow », réalisé avec succès tout récemment. Il s'agit probablement du modèle de 100 T développé pour les besoins de l'Air Force. (doc. SpaceX)



Prouesse technique et première mondiale : l'immense réservoir d'oxygène liquide de la navette réalisé en fibre de carbone.

Elon Musk a aussi donné des éléments de coût et un planning relativement détaillés, mais il faut se rappeler qu'il fait régulièrement preuve d'un optimisme exagéré, même s'il finit par atteindre ses objectifs. C'est ainsi qu'il évalue le développement à 10 milliards \$... En tout cas, pour ceux qui doutent du financement d'un tel projet, il a répété que l'accumulation de richesses qu'il construisait avait pour but la réalisation de ce service de transport de masse interplanétaire à faible coût.



Robert Zubrin, le président de la Mars Society, tout en qualifiant Elon Musk de « héros », considère que le concept pourrait être amélioré au plan économique. Son idée serait de ne demander au vaisseau que de propulser la charge utile sur une orbite terrestre fortement elliptique et de confier le complément d'impulsion à un « petit » troisième étage. Le vaisseau pourrait exécuter cette manœuvre plusieurs fois au sein d'une même fenêtre et serait disponible pour la fenêtre suivante. Mais se pose alors la question du retour. Pour une charge utile sans passagers, le problème ne se pose pas, sauf que le système n'est plus entièrement récupérable ! Mais nos réflexions sur le fonctionnement possible d'une première étape de colonisation font penser qu'après une phase cargo, il sera nécessaire d'assurer un trafic passagers retour important, car une bonne partie des résidents martiens auront prévu de revenir sur Terre.

Richard Heidmann

L'IAC 2016

Richard Heidmann et moi-même avons représenté l'Association Planète Mars au congrès IAC 2016 (**International Astronautical Congress**, 26 au 30 septembre, Guadalajara, Mexique). A noter que d'autres membres étaient présents, en particulier **Camille Gontier** et **Jean-Marc Salotti**, auteurs de présentations remarquables.

Avec environ 4000 participants du monde entier, cette conférence, organisée par l'IAF, est la référence mondiale du domaine. Elon Musk l'avait choisie pour dévoiler ses choix pour le voyage habité vers Mars (« Making humans a multiplanetary species », 27 septembre 2016). Elle est organisée autour de très nombreuses sessions de divers types (plénières, GNF – Global Networking Forums – sessions industrielles ou politiques..., sessions techniques, thématiques scientifiques variées). Voici quelques impressions et faits marquants.

La conférence d'Elon Musk

Cette conférence, très attendue, fait l'objet d'un article spécifique dans ce numéro et d'un compte-rendu détaillé sur notre site. Bien que la vidéo soit disponible sur le Web, rien ne remplace l'ambiance locale, qui illustre la popularité d'Elon Musk (1h30 de queue pour rentrer dans l'amphithéâtre...).

La vision est simple, élégante et pragmatique, non exempte de beaux défis technologiques. Les membres d'APM ne pourront que se satisfaire globalement de la vision : véhicule capable de transporter 100 personnes « dans des conditions aussi agréables que possible » (réponse à une question posée), lanceur lourd spécifique (42 moteurs nouveaux oxygène/méthane, dont le lien avec le contrat Air Force n'est pas précisé), complément de propergol livré en orbite lors d'un deuxième tir. Le véhicule a une capacité d'atterrissage direct après aérocapture. Un commentaire d'Elon Musk mérite d'être noté, reflétant un état d'esprit peu conformiste, y compris sur le plan financier : « Les profits que SpaceX dégage de son activité ont vocation à financer ce projet ». Si l'on fait le parallèle avec d'autres initiatives qu'il porte (brevets Tesla partiellement mis dans le domaine public, initiative OpenIA – algorithmes d'intelligence artificielle en Open Source), on conçoit que ce projet est celui d'un homme dont l'ambition est de changer le monde.

L'envoi d'une capsule Dragon2 en 2018, puis 2020, pour tester les conditions de rentrée atmosphérique, a été confirmé. La conférence se termine sur une image ambitieuse, mais discutable : le véhicule posé sur le satellite Encelade (Jupiter).

Les questions ont été très nombreuses. Une sélection :

« Le voyage sera-t-il dangereux ? » ; la réponse a été clairement affirmative, partir pour coloniser Mars nécessitera d'être prêt à perdre la vie.

« Je suis étudiante russe, puis-je rejoindre votre équipe ? » ; réponse : SpaceX est une société soumise à la réglementation américaine (Greencards, mais aussi, en réponse à d'autres questions, aux règles d'export US...).

Une approche alternative : Mars Base Camp

Le projet, porté par Lockheed Martin, est intéressant, alternatif au projet de SpaceX. Son dimensionnement est adapté aux flux budgétaires prévisibles de la NASA, ainsi qu'aux véhicules promus par la NASA (SLS, premiers tirs prévus en 2018 ; Orion). Il a fait l'objet d'une promotion importante auprès du

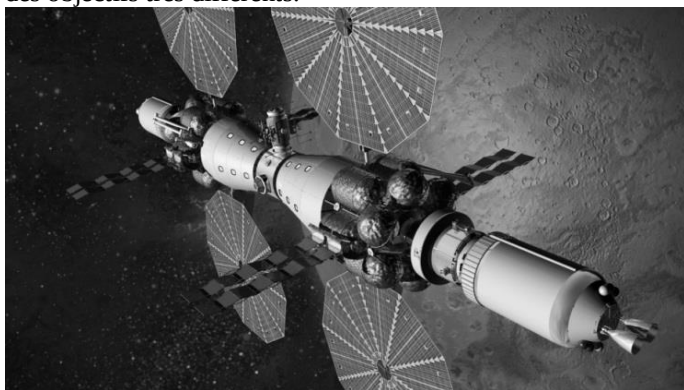
Congrès (sponsoring, affiches, autocollants partout).

Il est plus « classique » dans sa conception, et beaucoup plus complexe. La première mission, prévue pour 2028, a vocation à transporter 6 personnes en orbite autour de Mars. L'équipage irait visiter les satellites Deimos et Phobos, piloter en temps réel des rovers et drones sur Mars, et utiliser un laboratoire spatial prépositionné. J'ai pu lever certaines ambiguïtés de la présentation lors d'un entretien avec le chef de projet.

La sécurité de l'équipage est affichée comme priorité, avec de la redondance au cœur de la conception : symétrie du véhicule, avec deux capsules Orion (en mode survie, il est considéré qu'une capsule pourrait héberger les 6 passagers) ; lors du retour, mode dégradé possible en perdant le véhicule de retour et récupérant seulement la capsule Orion.

Le véhicule est assemblé au départ en orbite circum-lunaire. Au retour, une partie du système reste en orbite martienne pour réutilisation ultérieure. A terme, l'objectif est l'Homme sur Mars avec un véhicule spécifique, mal précisé.

La production (efficace) de carburant in-situ n'est pas prise en compte (ce qui est cohérent avec l'absence d'atterrissage lors de la première mission) : la propulsion est basée sur le couple H_2 / LOX , en ayant privilégié l'impulsion spécifique, supérieure au CH_4 / LOX . Arbitrages très différents correspondant à des objectifs très différents.



Concept Lockheed Martin (doc. LM)

Dans les deux cas, les sceptiques soulèveront, au-delà des défis technologiques, les problèmes de la tolérance aux radiations permanentes, de la protection contre des éruptions solaires aléatoires, du support vie, et des voies de secours pour ramener l'équipage sur Terre en cas d'incident majeur.

C'est la réponse apportée comme justification pour le projet « Moon village », porté par l'ESA (avec un fort soutien notamment d'OHB).

Moon village (ESA)

Selon les présentations, les projets autour de Moon Village (et les véhicules en circum-lunaires) sont compatibles avec une exploration humaine de Mars à *long terme*, et permettraient d'en diminuer les risques en testant des points critiques :

- Exposition de longue durée aux radiations : l'expérience ISS n'est pas représentative du séjour prolongé en ambiance radiative spatiale, car à 400 km d'altitude, elle est encore protégée par le champ magnétique terrestre.
- Gestion de crises : test de situations de séjours humains où les situations de crise seraient plus difficiles à gérer (que pour l'ISS) à cause de la distance, tout en

restant maîtrisables.

- Développement de technologies de vie dans l'espace (habitats lunaires, production de ressources in-situ).

Le projet a été présenté par J. Woerner, directeur général de l'ESA, lors d'une session intitulée « Making the Moon Village and Mars Journey Accessible and Affordable for All ». Si le projet présente une cohérence technique, il était difficile de comprendre le rattachement aux objectifs « Accessible and Affordable ». Le concept évoqué de « Moon Marketplace » reste peu compréhensible.

De manière générale, la priorisation donnée à un tel projet peut donner lieu à critiques :

- il n'est pas plus exempt de risques majeurs (perte d'équipages) comme l'ont démontré les missions Apollo ;
- les coûts restent importants ;
- les développements techniques (ISRU, habitat,...) seront largement spécifiques à l'environnement lunaire, sans faire progresser les connaissances pour Mars : absence d'atmosphère lunaire (vs 95% CO_2 sur Mars), problème critique de la gestion de la poussière lunaire pour les combinaisons et habitats, extrêmement corrosive (riche en fer, calcium et magnésium, elle est également composée de composés vitreux créés par les impacts de météorites, et présente des bords acérés en l'absence d'érosion).

Les projets de lanceurs et autres véhicules ambitieux

Des acteurs industriels connus ou nouveaux, notamment acteurs affichés du tourisme spatial, ont montré clairement une volonté de positionnement sur les lanceurs (pour microsatellites, ou lanceurs lourds), et sur les opportunités offertes par les constellations de microsatellites défilants.

Virgin Galactic (Richard Branson), initialement orientée vers le tourisme spatial (véhicules WhiteKnight2 – porteur, et SpaceShip2 – avion suborbital) se diversifie vers les lanceurs pour microsatellites (projet LauncherOne).

Blue Origin (Jeff Bezos, Amazon), également positionné sur le tourisme spatial (projet New Shepard, lanceur réutilisable, concept de capsule récupérée sous parachutes), se diversifie avec le développement annoncé d'un lanceur lourd (projet New Glenn, 2 ou 3 étages), exclusivement financé par le privé, dont le composant clé est le moteur BE-4 (poussée 250 tonnes, premiers tests prévus en 2019). Sur le plan industriel, Blue Origin prévoit une grande efficacité par le recours systématique au supercalcul intensif et aux dernières techniques de fabrication (robotisation, impression 3D).

Deux projets sont fondés sur l'utilisation de microsatellites défilants à faible coût :

OneWeb : fondé par Greg Wyler (présent), financé par des investisseurs lourds (dont Airbus), le projet prévoit d'offrir l'accès Internet à faible coût partout sur le globe. La constellation projetée regroupe à terme 648 microsatellites défilants, dont la fabrication est très optimisée. Les installations sol regrouperont 75 stations, et les équipements terminaux sont également standardisés, développés et conçus pour l'auto-installation par le client.

Il a été indiqué que le principal objectif est la résolution de la fracture numérique, avec notamment la connexion de toutes les écoles. Néanmoins, aucun élément n'a été présenté sur le « business model ». Quelle pérennité financière à terme pour le projet ? Les questions posées ont notamment porté sur le contexte politique terrestre (les autorisations nécessaires, pour la mise en œuvre au sol, pourraient varier selon les États), et le risque de détournement à des fins terroristes.

Planet Labs.

Le projet concerne la conception, le développement et la mise en œuvre, là également, d'une constellation de microsattellites pour l'observation de la Terre. L'objectif final est la mise à jour... quotidienne d'une base d'images spatiales couvrant le globe. Cette base vise à être exploitée par diverses applications (agriculture, environnement, urbanisme...).

Les projets politiques

Au-delà des projets des grandes agences spatiales, la session GNF a également été l'occasion d'exposés à caractère politique, par exemple l'ambition de la Norvège de créer le « *SpacePort Norway* », ou l'appel public à coopération de l'agence spatiale chinoise pour l'utilisation de sa future station spatiale (le calendrier chinois est volontariste : début de construction 2018, mise en exploitation 2022). L'objectif est de proposer cette station spatiale pour des expériences. Un protocole a été signé entre la Chine et l'ONU.

A noter également des sessions dédiées au volet juridique, actuellement mal défini, de l'utilisation commerciale de l'Espace. L'utilisation de l'Espace est actuellement régie par le Traité de 1967, ratifié par 104 pays, et conçu pour des interventions dans l'Espace des États, et non d'acteurs privés. Son périmètre est large, formellement : « Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes ». Diverses questions y ont été traitées : la cohérence avec des lois nationales récentes (notamment aux États-Unis), la protection de la propriété intellectuelle, le droit d'exploiter des ressources naturelles à terme (Lune, Mars, astéroïdes), les risques aux tiers et garanties, l'incitation donnée à des acteurs privés pour investir dans des activités spatiales... Il apparaît que ce secteur, légal et régulation, progresse en parallèle avec les activités technologiques pour l'exploration spatiale.

Curiosités scientifiques

Parmi les sessions, quelques références concernant des recherches à long terme : l'exploitation automatisée de ressources minérales d'astéroïdes (« Asteroid mining ») : quels concepts, quelles architectures, quelles retombées économiques, ou les concepts de câbles spatiaux / ascenseurs pour la mise en orbite de petites charges (un test japonais est prévu en 2016 – 100m de câble entre deux satellites, puis 2018 – 2km de câble avec un démonstrateur d'élévateur).

Pour la mécanique spatiale, quelques exposés très mathématiques à noter : par exemple, la navigation de sondes dans l'environnement de Jupiter (quatre satellites et Jupiter, problème à 5 corps, hautement instable), ou encore la navigation dans la ceinture d'astéroïdes.

Conclusion

Ce congrès, incroyablement riche, avec ses nombreuses sessions techniques (y compris... juridiques), ses sessions de présentation de projets politiques, reflète visiblement un monde en effervescence, se transformant et accélérant sous l'impulsion d'acteurs privés nouveaux et entrepreneuriaux, conséquence de la politique américaine de favoriser le financement des activités spatiales par des capitaux privés. Nous sommes également dans un mode de ruptures technologiques à court terme, rendant possibles des constellations de microsattellites défilants, ou le développement sur fonds privés de moteurs-fusées de forte puissance, domaine traditionnellement considéré comme l'apanage du financement des États décideurs (risques, capitaux nécessaires). A moyen terme, 10 à 20 ans, il est hautement probable que l'exploration humaine de l'espace lointain aura débuté, notamment Mars (SpaceX, Lockheed Martin). Serons-nous prêts en Europe, au vu du dynamisme des acteurs privés américains ?

Philippe Clermont

Liens :

<http://www.lockheedmartin.com/us/ssc/mars-orion.html>
<http://spacex.com/mars>
<https://www.blueorigin.com/be4>
http://www.virgingalactic.com/assets/uploads/2014/11/VG_LaucherOne_ServiceGuide_v0.2_OS.pdf
<http://oneweb.world/#technology>
<https://www.planet.com/> (Planet Labs)
<https://iafastro.directory/iac/browse/IAC-16/catalog-technical-programme>

LA VIE DE L'ASSOCIATION

Le 26 mai **Jean-Marc Salotti** a traité des « Projets de voyage habité vers Mars » dans le cadre du festival de l'Air et de l'Espace « Big Bang » à St Médard en Jalles, puis a donné une nouvelle conférence « Les projets actuels de missions habitées vers Mars » le 10 juin à Martignas-sur-Jalles. **Alain Souchier** a présenté « L'Espace et l'exploration » le 3 juin à la médiathèque de Tourville puis « Mars, pour quand le voyage ? » le 11 juin au Palais de la Découverte, et monté une exposition à Saint Wandrille du 9 au 13 juin dans le cadre de la célébration de 100 ans d'activités aéronautiques en Normandie. Deux rencontres (7 juin et 21 septembre) ont eu lieu entre une équipe d'élèves de Polytechnique qui veulent construire un démonstrateur de scaphandre pressurisé, dont la seconde dans les locaux de l'école. Depuis le mois de juin aussi différents contacts ont été engagés avec des équipes médias sur des projets liés à Mars. Nous en reparlerons ultérieurement.

En Juin, **Jonathan Barbier** et **Jean-Marc Salotti** ont tourné de nouvelles séquences pour la chaîne Youtube de l'association dans la série « Les clés de Mars », dont certains nouveaux épisodes ont été mis en ligne ce dernier trimestre.

Le 22 juin **Alain Souchier** a présenté « L'histoire des lanceurs en Europe et dans le monde » au Musée aéronautique et spatial de Safran à Réaux. Le 3 juillet **Jean-François Pellerin** a dédié le livre « Embarquement pour Mars » à Pampelone puis le 24 juillet à Veules-les-Roses. **Richard Heidmann**, **Pierre Brulhet** et **Olivier Walter** sont intervenus lors de la manifesta-

tion « Ideas Days » du CEA les 4 et 5 juillet à Grenoble, sur les thèmes des colonies et habitats martiens.

Le 11 août, dans le cadre de la Nuit des étoiles, **Alain Souchier** a de nouveau effectué une démonstration de marche en pesanteur martienne dans le bassin de l'Euro Space Center en Belgique, puis présenté « L'exploration de Mars ».

Après une réunion avec le scientifique spécialiste de Mars, Sylvain Bouley, le 20 juin, les caractéristiques de deux nouveaux scaphandres de simulation ont été définies. Ceux-ci ont été réalisés par **Armande Zamora** et **Patrick Sibon**. Le premier a pu être livré à temps pour utilisation lors du festival d'astronomie de Fleurance du 6 au 12 août. Le deuxième a été testé par **Armande Zamora** le 2 septembre dans un décor martien rouge des environs de la montagne Ste Victoire. Sylvain Bouley va aussi utiliser ces scaphandres dans le cadre de son association de visite aux enfants malades.



Armande Zamora testant l'un des nouveaux scaphandres le 2 septembre...sur Terre.
(doc. P. Sibon)

Le 6 octobre, **Richard Heidmann** a tenu la première réunion avec un groupe d'élèves de Polytechnique ayant choisi un projet de « Service de ballon touristique » à proposer aux résidents d'une future colonie... Par ailleurs, 5 thèmes sont proposés à l'IPSA.

Déplacement d'**Alain Souchier** en Bretagne du 6 au 11 octobre pour exposition et conférences sur l'exploration de Mars, le 8 à Scaer et le 10 au collège Kervihan à Fouesnant, dans le cadre de la manifestation « Chroniques martiennes - 3ème rencontres prospectives 2016 », organisée par **Liam Fauchard**.

Le 19 octobre, à l'occasion de l'insertion de la sonde européenne TGO en orbite martienne, **Pierre Brisson** a donné à l'EPFL une conférence dont le titre, choisi par l'invitant, Anton Ivanov de l'Euro Space Center, est « Current status of Mars Exploration and role of TGO ». **Alain Souchier**, de son côté, est intervenu à Poissy à l'occasion de ce même événement.

La simulation d'exploration martienne Mars 160, organisée par la Mars Society, a commencé le 24 septembre. Elle comporte deux phases, l'une de 80 jours à la station MDRS dans l'Utah, et l'autre de 80 jours également, mais dans le grand Nord canadien, à la station FMARS. Dans les deux cas il s'agit du même équipage, dirigé par **Alexandre Mangeot**, de l'Association Planète Mars. Félicitations et bonne chance !

Le congrès européen de la Mars Society, EMC 16, était organisé cette année par la Mars Society italienne au centre des congrès de Bergame, du 14 au 16 octobre. Le thème général en était « de la simulation à la réalité ». Nous en rendrons compte dans le prochain bulletin.

MELISSA, UNE BULLE DE VIE POUR ALLER AILLEURS

Pour voyager dans l'espace, l'Homme doit partir avec sa « coquille » et celle-ci ne peut être faite seulement de métal et de plastique. Il a aussi besoin d'un « ECLSS » (« Environmental Control and Life Support System ») pour respirer, pour se laver, pour se nourrir. Tant qu'il ne s'éloigne pas vraiment de la Terre (en allant dans l'ISS ou sur la Lune) le caractère « régénérateur » de cet ECLSS n'est pas capital, il suffit simplement de recycler un peu et de réapprovisionner beaucoup les éléments (gaz respirables, eau, aliments) nécessaires à la survie, et cela peut se faire à chaque voyage ou par des missions de réapprovisionnement. Le seul aspect négatif (et il n'est pas négligeable) c'est que le transport des consommables coûte cher puisqu'il faut en arracher la masse à la gravité terrestre. Pour les voyages dans l'espace profond, les réapprovisionnements seront difficiles, voire impossibles et, de toute façon, très espacés dans le temps (pour Mars les fenêtres de lancement ne s'ouvrent que tous les 26 mois). Il faut donc penser à recycler davantage, idéalement à 100%, l'environnement de support vie que l'on aura embarqué avec soi. Dans le même esprit, l'établissement permanent sur Mars ne sera possible que si l'Homme parvient à greffer sa propre bulle de vie à la surface de ce monde, pour le moment hostile ou du moins non adapté au support de la vie. On peut, à la limite, envisager d'emporter avec soi les consommables nécessaires au séjour d'un équipage réduit pour une mission qui durera 30 mois (deux fois six mois de voyage et 18 mois de séjour) mais on ne peut pas envisager de réapprovisionner une base dont la population augmenterait au fil du temps. NB : le problème énergétique ne se pose pas dans les mêmes termes puisqu'au moins jusqu'à l'environnement de Mars, on pourra toujours exploiter l'énergie du soleil.

Il y a plusieurs solutions de recyclage plus ou moins partiel mais la quintessence en est recherchée par le programme MELISSA (Micro Ecological Life Support-System Alternative) car ce programme vise à réaliser la capacité régénératrice complète du support vie embarqué. Sa réussite est extrêmement importante car un fort taux de recyclage est une condition de l'installation permanente de l'homme sur Mars.

MELISSA est un programme de l'ESA, entrepris informellement en 1989 et formellement en 1993 (création du Consortium MELISSA). Son « Project Manager » est le Dr. Christophe Lasseur, coordinateur des activités R&D de Support-vie de l'ESA-ESTEC. Il regroupe dans une structure souple une quarantaine de partenaires répartis dans 13 pays.

Les recherches menées dans ce cadre sont organisées en 6 « compartiments » (officiellement 5, mais il y a deux compartiments « quatre ») dont on étudie le fonctionnement isolément et en relation les uns avec les autres. Ils permettent de comprendre et d'élaborer des processus ou des stratégies concernant les différents stades d'interactions écologiques au cours d'une boucle de vie.

Dans le « Compartiment I » les bactéries anaérobies thermophiles effectuent la dégradation des déchets organiques des animaux et plantes supérieures (qui évoluent dans le Compartiment V), en acides gras volatils, minéraux et ions ammonium. Dans le « Compartiment II » des bactéries photo-hétérotrophes fixent le carbone, procèdent à la dégradation des acides gras volatils en leurs composants, gaz carbonique et hydrogène / eau et transforment les ions ammonium (NH_4^+) en ammoniac (NH_3).

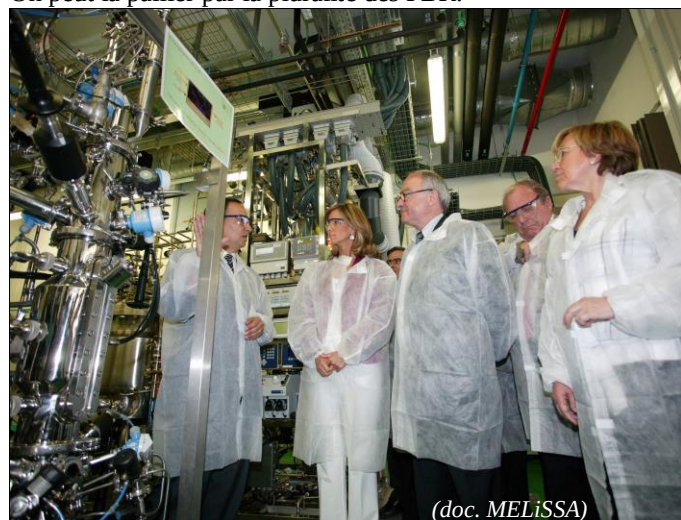
Dans le « Compartiment III » des bactéries nitrifiantes effectuent, grâce à l'apport d'oxygène du Compartiment IV, la transformation de l'ammoniac en nitrates (NO_3^-).

Dans le « Compartiment IV » les nitrates et le gaz carbonique viennent nourrir des plantes supérieures (« IVb ») et des bactéries photo-autotrophes du genre spiruline (« IVa »), dont le métabolisme puise ses ressources dans le gaz carbonique et rejette de l'oxygène.

Dans le « Compartiment V » vivent les animaux supérieurs (des rats et plus tard l'Homme) qui s'alimentent de la production des deux compartiments IV.

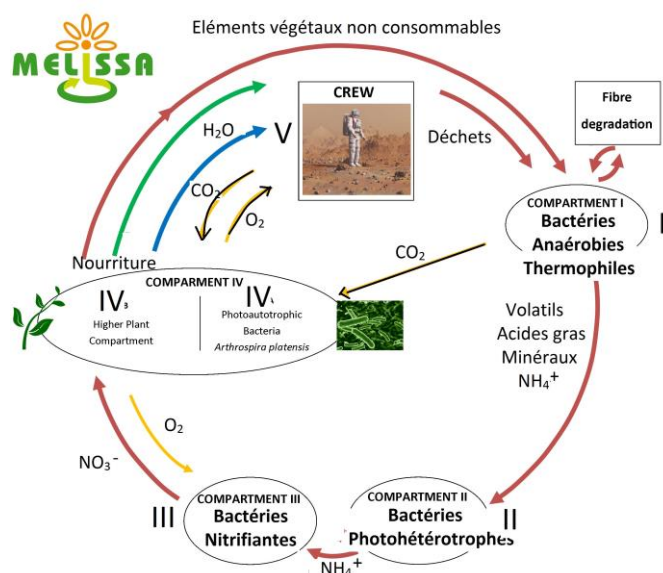
Les chercheurs travaillent chacun sur leur compartiment mais correspondent et se retrouvent régulièrement. Le dernier « workshop » a eu lieu à l'Université de Lausanne les 8 et 9 juin. Depuis peu on a commencé à faire interagir les compartiments en installant les quatre premiers ensembles à l'Université autonome de Barcelone (UaB). L'approche spatiale se fera progressivement, par tests successifs. Ainsi cette année doit avoir lieu dans l'ISS l'expérience « Biorat » (des rats utilisant en microgravité l'atmosphère produite par des micro algues). Des progrès sont faits mais ils sont lents et on ne peut pas dire qu'on soit arrivé à la fermeture de la boucle, ce qui veut dire qu'il y a encore beaucoup de pertes non récupérables et une instabilité trop grande du processus. Voyons quelques détails.

Pour l'oxygène on n'a pas trop de problème. Les spirulines cultivées dans des PBR (photo-bioreacteurs), construits pour donner un maximum de lumière à un maximum de biomasse, fournissent tout l'oxygène dont un équipage peut avoir besoin. Une difficulté cependant, celle de la santé des micro-algues. Il faut pouvoir faire face à une éventuelle dégradation du milieu (chimie, température) ou à une éventuelle attaque microbienne. On peut la pallier par la pluralité des PBR.

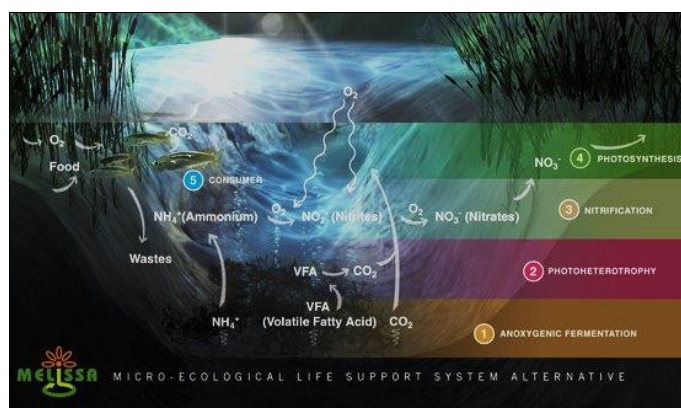


(doc. MELiSSA)

Le labo MELiSSA de l'Université autonome de Barcelone reçoit la visite de l'ex-directeur général de l'ESA, Jean-Jacques Dordain.



La « boucle de vie », avec ses 6 compartiments. (doc. MELiSSA)



La « boucle de vie », dans l'environnement naturel. (doc. MELiSSA)

Pour l'eau le traitement est plus complexe. Il y a une grande diversité d'eaux grises ou noires. On ne parvient pas encore à un recyclage total (93% dans le meilleur des cas). Les travaux ont été essentiellement menés sur l'urine en utilisant des bactéries nitrifiantes. Ces bactéries sont très efficaces mais elles ont besoin d'un milieu stable. Un des éléments de cette stabilité est le débit d'urine fraîche. Le maintenir n'est pas facile pour un petit nombre d'astronautes.

Pour les matières organiques, diverses expériences sont menées allant de la fermentation à la pyrolyse, cette dernière permettant de récupérer les éléments chimiques de base, ce qui limite les risques de contamination (ne serait-ce que si on considère les métaux lourds ou les microbes pathogènes !); mais cela force à repartir de zéro pour élaborer des molécules organiques réutilisables.

A part l'oxygène et l'eau pure, que peut-on produire dans la boucle de recyclage ? Sûrement une très grande variété de végétaux et même d'animaux, mais on doit choisir et le choix se fait en fonction de la rapidité de croissance, du rapport masse comestible et non comestible, de la qualité nutritionnelle, de la taille, de la connaissance de la plante et de son microbiome, de la facilité de culture, et aussi de la compatibilité des cultivars (variétés cultivées). MELiSSA s'attache aussi à l'effet de l'apesanteur et de la gravité réduite sur les plantes (notre collègue **Lucie Poulet** y travaille) mais nous espérons à

la Mars Society que cette particularité des voyages spatiaux sera contrée par une gravité artificielle. Actuellement le « menu » proposé serait le suivant : kale (chou frisé), laitue, oignon, riz, tomate, épinard, betterave, pomme de terre, soja, blé tendre ou dur. Vous pouvez déjà imaginer votre salade !

Les animaux, ce sera pour plus tard car leur métabolisme complexe, l'espace et les soins qu'il faut leur assurer et leur proximité avec l'homme (leur microbiome) doivent être possibles / compatibles et soigneusement pris en compte. De toute façon, il faudra toujours « penser petit » et efficacité de la conversion de l'énergie en protéines, lipides ou autre élément nécessaire à notre nutrition. Dans cet esprit, les insectes (grillons) ou les poissons (tilapia) et les algues ont la faveur des chercheurs (Professeur Alexander Mathys). Les steaks de bœufs ne sont en principe pas pour demain (à moins de synthétiser la viande et d'en faire des cultures... ce qui est considéré actuellement) !

Dans la boucle de vie on constate une omniprésence, celle des microbes. Il s'agit aussi bien des bactéries (et des archées) que des protistes et des champignons. Leur rôle est essentiel aussi bien dans la dégradation des matières organiques, que dans la croissance de nouveaux êtres vivants. Dans ce contexte, on doit toujours avoir présent à l'esprit (1) l'existence pour chacun d'entre eux d'un microbiome comprenant un microbiote spécifique, nécessaire et délicat, et (2) de la présence partout dans l'environnement de microbes pathogènes qui auraient échappé au nettoyage initial des lieux et des objets (surtout dans un espace accueillant pour la vie). Il ne faut pas oublier non plus les microbiomes de chaque membre d'équipage, qu'il n'est bien sûr pas question de stériliser. Tout ce petit monde évolue et interagit, entre soi et avec l'environnement (y compris les matériaux constituant l'habitat ou les objets embarqués). Il en résulte un microbiome général à l'habitat, extrêmement complexe, d'autant plus difficile à maîtriser qu'il est assez mal connu (sauf le microbiome humain, que l'on a étudié en premier pour des raisons médicales) et qu'il est très instable en fonction de toutes sortes de facteurs (qualité de l'atmosphère, apesanteur, température, humidité, pH des liquides, radiations, éclairage, durée). Tout déséquilibre se corrigera d'autant plus difficilement que l'espace du microbiome sera petit. Dans un habitat il ne pourra y avoir d'effet tampon permettant à un déséquilibre local d'être corrigé par un environnement omniprésent partout ailleurs et d'une importance considérable par rapport à lui-même. A cet égard les nettoyages (pour ne pas parler des stérilisations) peuvent s'avérer très délicats, non parce qu'ils détruiraient les pathogènes visés mais parce qu'ils détruiraient également les « bons microbes » permettant une autorégulation.

Tout ceci pour dire qu'un voyage dans l'espace profond ne sera pas de ce point de vue, de tout repos. En termes d'imprécision, les astronautes auront à faire à une problématique du même type que celle posée par l'évolution du climat. Un des intervenants au Workshop MELiSSA, Alberto Bemporad (professeur en contrôle de systèmes, IMT Institute for Advanced Studies, Lucques) disait que l'on ne pouvait que piloter un microbiome, comme on le ferait d'une voiture de course. Cela revient à dire qu'on peut anticiper mais non prévoir à long terme.

Pour anticiper au mieux, la recherche MELiSSA travaille sur un détecteur extrêmement puissant et rapide, MiDASS. Cet appareil permet déjà d'analyser une vingtaine d'échantillons

d'atmosphère par jour sans les cultiver (ce qu'on faisait toujours jusqu'à présent) mais en examinant directement la structure moléculaire de leurs composants. On obtient les résultats en seulement trois heures (au lieu de 48 heures au mieux), et on peut ainsi corriger les déséquilibres avant qu'ils ne deviennent hors de contrôle. On s'applique maintenant à mettre au point une version de MiDASS pour l'eau (thèse de la doctorante Anne-Laure Béchy du Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive de l'Université Claude Bernard Lyon 1, en liaison UMR avec le CNRS et Biomérieux).

A noter que la plus grande difficulté se présentera pendant le voyage puisqu'il n'y aura alors aucune possibilité d'apport extérieur. Sur Mars, on peut imaginer la création de redondances (habitats, cultivars), la constitution de stocks ou même la production locale de produits chimiques correcteurs à partir d'éléments minéraux ou gazeux martiens. On estime aujourd'hui à plus de six mois et moins d'un an la possibilité de conserver un environnement 100% régénératif viable (sans risque trop important d'une divergence non corrigable).



Le module de traitement des eaux usées, en Antarctique. (doc. ESA)

MELiSSA est axé sur la recherche pure. Mais certains membres, notamment Théodore Besson, qui va défendre sa thèse de doctorat cet automne à l'Unil, se concentrent sur un agenda devant permettre la réalisation effective d'un habitat...habitable. Dans son agenda il prévoit la réalisation d'un local permettant de tester avec des hommes les différentes technologies et enfin ces technologies toutes ensemble. Son projet « FIPES » (Facility for Integrated Planetary Simulations) est en fait un Mars 500 « grandeur nature » où l'on ne considérerait pas seulement les problèmes psychologiques des astronautes mais également leur vie physico-chimique.

Comme on le voit, la recherche MELiSSA n'est pas un gadget. Elle est une démarche indispensable pour l'établissement de l'Homme sur Mars. Son aboutissement risque d'être très long mais nous pourrons partir sans l'attendre, en mettant à profit tout progrès. Chaque avancée signifiera de la masse en moins, de la sécurité en plus et l'espoir d'un séjour sans limite de durée sur Mars pour une population toujours plus nombreuse...en quelque sorte la réalisation de notre rêve.

Pierre Brisson

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Philippe Clermont, Richard Heidmann, Alain Souchier.

Achévé d'imprimer : QuadriCopie 27200-Vernon.

Dépôt légal : octobre 2016