



Numéro 80

PLANÈTE MARS



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

juillet 19

ISSN 1772-0370

EDITORIAL : 20 ANS DEJA

La Mars Society naît en 1998. Un an plus tard, en mars 1999, sa branche française voit le jour : ce sont les débuts de l'association Planète Mars. Vingt ans ont passé, elle s'est bien développée : la branche française compte le nombre de membres parmi les plus élevés du réseau. Merci à vous, pour votre confiance et pour votre engagement dans ce beau projet. Nous soufflerons, ensemble, les 20 bougies lors d'un événement au second semestre. Nous sommes membres du réseau de la Mars Society, mais conservons notre empreinte française et plus largement européenne. Notre spécificité figure dans nos statuts dès mars 1999 : Planète Mars vise à « promouvoir l'exploration de la planète Mars, l'accession de l'homme à ce monde, la poursuite de cet effort en coopération internationale et une participation majeure de la France et de l'Europe ».

Les compétences de la France et de l'Europe sont très reconnues pour la conquête de Mars. Nous pouvons citer, par exemple, les instruments à l'œuvre sur Mars, tels que le sismomètre d'InSight et l'instrument Chemcam, embarqué par Curiosity. Ce dernier permet l'analyse spectrométrique des roches à distance. Une version améliorée sera embarquée dans le Rover NASA 2020.

L'Europe ne s'arrête pas aux instruments et charges utiles. L'article ci-dessous (H. Gilibert, ArianeGroup), dévoile la préparation encourageante de l'Europe en propulsion Oxygène-Méthane. Ce virage historique dans les choix d'ergols est partagé par les acteurs américains et est une technologie clé pour produire des ergols in situ sur Mars.

Ces vingt dernières années ont aussi été marquées par espoirs et déceptions, accélérations et ralentissement pour l'exploration spatiale lointaine : l'ambitieux programme Constellation est lancé par George Bush en 2004, puis annulé en 2010 par Barack Obama, à l'exception du lanceur lourd SLS (dont les retards s'accumulent) et de la capsule Orion.

Entre enthousiasme et désillusion, où nous situons-nous à présent ? Donald Trump semble faire preuve de volontarisme pour réaffirmer la suprématie américaine dans l'Espace (programme Artemis – Lune 2024, Mars 2030+). Il tient cependant des discours peu cohérents. Les moyens budgétaires dégagés sont-ils à la hauteur de l'ambition affichée ? Richard Heidmann fait une analyse approfondie dans l'article ci-dessous.

En vous souhaitant un excellent été. Et un bel anniversaire à l'association Planète Mars, qui nous réunit.

Philippe Clermont président

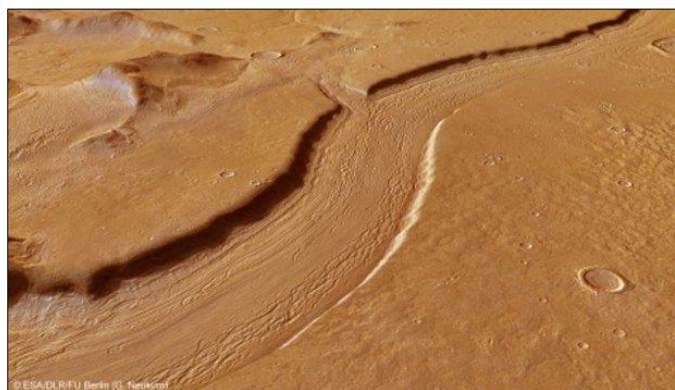
Dans ce numéro :

- L'histoire de l'eau liquide sur Mars s'avère complexe p.1
- Les tribulations d'Artémis p.3
- Le méthane, nouvelle voie en propulsion fusée... p.4
- La vie de l'association p.6
- Un site la colonisation p.7

prochain numéro : octobre 2019...

L'HISTOIRE DE L'EAU LIQUIDE SUR MARS S'AVÈRE COMPLEXE

Des traces d'écoulement d'eau liquide apparaissent partout en surface de Mars, surtout dans la zone intertropicale. Une étude parue dans Science-advances (AAAS) en date du 29 mars 2019 jette le trouble sur une partie de son histoire. Elle a été dirigée par Edwin S. Kite, de l'Université de Chicago.



Reul Vallis, dans Promethei Terra.

(doc.ESA/DLR/FU Berlin G.Neukum)

On estime qu'après une période très ancienne correspondant à une partie de nos éons Hadéen et Archéen (ère de l'Eoarchéen), où l'eau liquide a coulé en surface, la planète s'est irrémédiablement asséchée à la suite de la perte de son atmosphère épaisse. Cette période humide est divisée en deux éons martiens, le Phyllosien et le Théiikien (classification stratigraphique proposée par l'astrophysicien Jean-Pierre Bibring, de l'Institut d'Astrophysique Spatiale) correspondant chronologiquement plus ou moins aux éons morphologiques Noachien et Hespérien – du moins à la partie la plus ancienne de ce dernier).

Le Phyllosien (éon des argiles), jusqu'à -4 milliards d'années (« 4 Ga »), correspond à une planète encore chaude en surface et enveloppée d'une atmosphère épaisse résultant de l'accrétion primordiale et du dégazage interne en résultant ; cette atmosphère est probablement protégée par un bouclier électromagnétique généré par un effet dynamo interne (comme sur Terre encore aujourd'hui), à l'interface du noyau de la planète avec son manteau. Cet éon prend fin avec le « Grand Bombardement Tardif » (LHB) aux alentours de -4 Ga.

Le Théiikien (éon du soufre), succédant à cet événement et se prolongeant jusqu'à environ -3,6 Ga, correspond à une période de très fort volcanisme permettant malgré l'arrêt de l'effet dynamo planétaire, de conserver une bonne pression atmosphérique, beaucoup de gaz à effet de serre (notamment composés soufrés, d'où son nom) et une bonne couverture nuageuse.

Après cela, pendant l'éon suivant, le Sidérikien (éon du fer) qui se prolonge jusqu'à aujourd'hui, l'eau liquide n'a fait que des apparitions de moins en moins fréquentes sous forme d'écoulements à l'occasion des grandes éruptions volcaniques ponctuant

l'histoire géologique de la planète. Et ces écoulements devaient, selon la théorie en vigueur, avoir été **peu abondants** (sans doute compte tenu du fait qu'ils étaient rares et que le fond du climat évoluait vers toujours plus d'aridité).

Le fait nouveau résultant de l'étude publiée dans Science-advances, n'est pas la contestation du changement climatique entre le Theiikien et le Sidérikien mais plutôt l'**abondance d'eau liquide s'écoulant au cours des épisodes humides pendant ce dernier éon**, surtout entre -3,6 Ga et -2 Ga mais même vraisemblablement jusqu'après -1 Ga.

L'étude qui a conduit à cette constatation, dérangeante, a consisté à évaluer les flux d'eau courante (volume, force et durée) en prenant en compte :

(a) la largeur de lits asséchés (plus de 200) partout à la surface de la planète et datant de cette période (-3,6 Ga à -2 Ga), et des chenaux qui les parcourent ;

(b) les longueurs d'onde des sinuosités des chenaux (méandres) en fonction des dénivelés ;

(c) la masse des sédiments charriés et observés dans les deltas de décharge.

Elle a été rendue possible par la précision et l'abondance des photos prises par les caméras HiRISE (High Resolution Science Experiment) et CTX (Context camera) à bord de l'orbiteur MRO (50 cm à l'horizontale par pixel et moins de 1 mètre à la verticale, permettant de déceler des variations de pente de 2°). Elle a été menée en intégrant toutes sortes de correctifs pour prendre en compte l'érosion.

Il en ressort :

(1) que les fleuves martiens de cette époque tardive étaient très généralement plus larges que les fleuves terrestres pour un même bassin versant ce qui suggère des précipitations intenses ;

(2) que les fleuves de l'éon Sidérikien étaient plus bas en altitude et plus bas en latitude ce qui suggère effectivement une baisse de la pression atmosphérique à moins de 300 mbar ;

(3) que le volume des sédiments charriés est caractéristique de violents épisodes (abondance des flux) intercalés avec de longues périodes d'aridité.

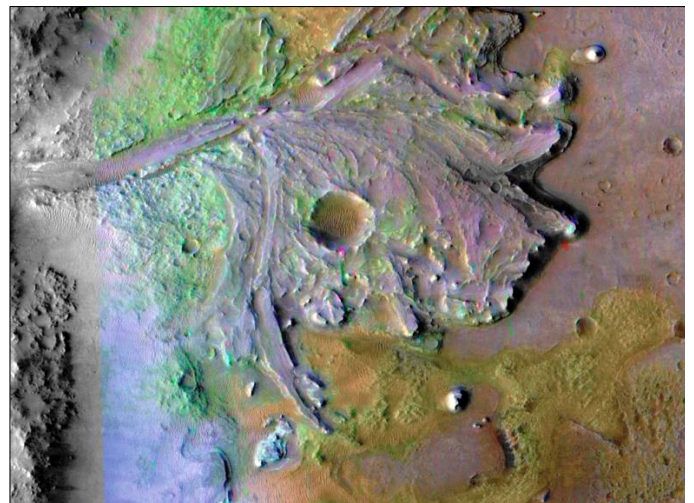
Reste à expliquer ces particularités. On en est pour le moment à des hypothèses. Ce pourrait être une combinaison de plusieurs phénomènes amplificateurs tendant à accroître temporairement un effet de serre déclenché par un événement tel qu'une éruption volcanique ou la chute d'une grosse météorite : la fonte des glaces de gaz carbonique au pôle Sud, la fonte des clathrates porteuses de méthane dans le sol ou l'augmentation exponentielle de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, formant des nuages de glace d'eau, ces phénomènes interagissant les uns avec les autres et s'auto-alimentant. Les modélisateurs de climats ont un défi à relever et ils pourraient en tirer des leçons pour notre propre planète (effets d'« emballement »). Ce qui est rassurant dans un certain sens (pour nous), c'est que sur le temps long (dizaines de milliers d'années ?) les fondamentaux planétaires reprennent leurs droits. Les caractéristiques structurelles de Mars et sa position par rapport au Soleil (irradiance !) ne lui ont en effet pas permis de recouvrer de façon pérenne un climat tempéré.

Sur le plan de la recherche de la vie, cela donne aussi un nouvel éclairage. Des périodes humides plus importantes, au moins en ce qui concerne les quantités d'eau ayant coulé au sol, peuvent

avoir permis de prolonger la possibilité pour la vie de continuer à évoluer après qu'elle ait apparu (dans l'hypothèse bien entendue où cela se serait produit). En effet les bactéries se protégeant de l'adversité (situations empêchant leur reproduction) en évoluant en spores, ce qui leur permet de conserver leur potentiel reproductif pendant de très longues périodes d'inactivité (lorsque les conditions environnementales sont défavorables). Pour certaines bactéries ces périodes peuvent être de l'ordre de plusieurs millions d'années. Les intermittences très humides de l'histoire de Mars prolongées très tardivement (jusqu'à moins de 1 Ga) auraient pu permettre à la vie non seulement de se réactiver pendant ces périodes mais aussi de continuer à évoluer en reprenant, même pour peu de temps son activité, et donc de s'adapter à des conditions de plus en plus dures, en surface peut-être mais surtout dans le sous-sol, dans des nappes phréatiques puis simplement dans des endroits plus humides que d'autres.

Nous verrons ce qu'il en est si nous continuons nos recherches sur Mars avec des moyens adéquats... y compris des hommes disposant d'équipements sophistiqués (radars, sondes, analyses chimiques utilisant de multiples réactifs, forages précis et profonds, préparation de coupes ultra-fines avec exhausteurs de composants, instruments de manipulation délicats et ultrapropres, microscopes ultrapuissants). Dans l'immédiat le rover Mars2020 de la NASA qui va se poser à proximité immédiate du cratère Jezero, va disposer d'un champ d'études pertinent pour évaluer plus précisément les corrélations entre les données prises en compte dans l'étude morphologique de Kite et al., permettra sûrement de l'affiner.

Pierre Brisson



Ce spectaculaire delta alluvionnaire (au relief inversé par l'érosion) témoigne de l'importance des écoulements ayant débouché dans le cratère Jezero à diverses époques. Une cible bien choisie pour Mars2020 ! Les (fausses) couleurs traduisent la composition minéralogique des sols.

Références:

(1) Persistence of intense, climate-driven runoff late in Mars history in ScienceAdvances (AAAS).

(2) National Geographic: Rivers may have flowed for longer than anyone realized (by Maya Wei-Haas) 27 Mars 2019.

<https://www.nationalgeographic.com/science/2019/03/mars-rivers-lived-longer-scientists-realized/>

LES TRIBULATIONS D'ARTEMIS

L'arrivée de Donald Trump à la Maison blanche était propice à une relance de l'exploration spatiale habitée, tant cette perspective semble correspondre à la volonté du président de voir les États-Unis réaffirmer leur leadership.



Signature de la directive de politique spatiale, demandant de relancer l'exploration habitée, sous l'égide de la NASA. (doc. NASA)

Le premier acte officiel en la matière a été la signature, en décembre 2017, de la directive de politique spatiale, qui assigne à la NASA la mission de faire revenir des Américains sur la Lune et lui demande d'établir un projet à cette fin. Ce geste est important, car il semble témoigner de l'intérêt persistant des États-Unis pour l'exploration spatiale.

Pourtant, dès le 24 avril 2017, un entretien du président avec la commandante de l'équipage à bord de l'ISS semait déjà un doute sur la robustesse des intentions de l'administration. En effet, après lui avoir fait dire que la NASA prévoyait l'arrivée sur Mars « durant les années 30 », il répliquait : « nous voulons y arriver durant mon premier ou, au pire, mon deuxième mandat. Donc il faut accélérer quelque peu, pas vrai ? » Sans préciser si la Lune devait être une première étape, ce discours non seulement confirmait l'objectif Mars, mais surtout affichait pour la première fois l'ambition d'aller beaucoup plus vite que prévu ! Mais, dès le début 2018, l'élaboration du budget 2019 révélait un net décalage avec cette proclamation : les sommes allouées (en-dehors de celles engagées de longue date sur le lanceur SLS et la capsule Orion) démontraient que le programme de retour de l'exploration habitée n'était pas encore adopté ; par contre, les échéances annoncées par la NASA pour le retour sur la Lune (2028) et l'arrivée sur Mars (années 30) n'étaient pas, à cette date, remises en cause, les injonctions du président à ce propos étant jugées irréalistes.

Dans ce contexte pour le moins confus et peu rassurant, la NASA et l'ESA sont néanmoins parvenues à faire émerger une vision stratégique internationale, centrée sur une première étape lunaire, à atteindre en 2028. Pour la première fois, un projet astronautique réaliste et conforté par son caractère international émergeait des interminables attermolements des cinquante années qui nous séparent de l'éclat d'Apollo 11 ! Si, de notre point de vue, ce projet disperse des ressources aux dépens de l'objectif final, il a le mérite de sortir l'astronautique de sa situation d'abandon. Il devrait aussi, s'il est conçu en ayant les deux destinations à l'esprit, offrir des synergies profitables.

Mais, au début de cette année, le président impose soudain une contraction radicale du calendrier de la NASA, tant pour l'objectif lunaire (avancé de 2028 à 2024 !) que pour la mission

martienne, qu'il reproche à l'agence de ne pas prendre sérieusement en considération. C'est qu'il entend qu'un événement aussi marquant que le retour d'Américains sur la Lune se produise avant la fin de son (supposé) second mandat. Pour la NASA (et ses coopérants) tout est à reconsidérer, y compris la nature même de la mission. Celle-ci, sous la contrainte de délais réduits de moitié, risque de devoir abandonner une bonne part de ses ambitions et de retomber dans le schéma décrié du « planté de drapeau et traces de bottes »).

A cette confusion s'ajoutent les interrogations sur le coût et la politique budgétaire de l'administration. Après avoir déclaré ne pas vouloir donner d'évaluation du coût, car l'étude est en cours, le patron de la NASA la confiait finalement peu après à la presse ; le montant s'élèverait de 20 à 30 milliards \$ (en sus des crédits actuels), sur la période 2020/2024. Rappelons que dans l'immédiat, le président Trump propose plus 1,6 milliard \$, tout en précisant que la rallonge globale ne financera pas la totalité du coût et que la NASA devra se débrouiller pour cannibaliser le reste au sein de son présent budget (ce que Bridenstine avait pourtant prétendu qu'il ne ferait pas) !

Naturellement, on peut douter que le Congrès (à majorité démocrate) accepte de telles dépenses supplémentaires, même pour le « modeste » hors-d'œuvre de 1,6 milliard. En effet, non seulement il va se méfier de cette estimation (en l'absence de dossier programme digne de ce nom), mais en plus il sait que le rapprochement de l'échéance de 2028 à 2024, imposé à l'Agence, est jugé peu crédible par les acteurs, du moins dans le cadre programmatique traditionnel. Enfin, il sera difficile de faire voter aux parlementaires des annulations de programmes concernant leurs États pour financer un retour sur la Lune accéléré.

C'est sur cette toile de fond peu rassurante que, tout dernièrement (7 juin) un tweet du président est venu rajouter de la confusion : « avec tout l'argent qu'on lui accorde, la NASA ne devrait pas parler d'aller sur la Lune, on l'a atteinte il y a 50 ans... Ils devraient se concentrer sur les autres choses bien plus grandes que nous accomplissons, incluant Mars (dont la Lune constitue une partie), la Défense et la Science ». Cette déclaration a perturbé les acteurs, même s'il a été rappelé que Mars a toujours été désigné comme l'objectif à long terme. Dès le lendemain, devant l'émotion soulevée, un porte-parole de la Maison blanche a redit que la Lune restait une étape vers Mars.

Il apparaît ainsi que c'est la forme plutôt que le fond du tweet du 7 juin qui puisse être incriminé ; il n'y aurait pas de modification du plan. Par contre les interrogations majeures sur la faisabilité en matière de budget et de délai demeurent, ainsi que les craintes qui en découlent à propos de la robustesse du projet.

Cet épisode aura eu quand même un effet positif, celui de rappeler à la NASA les exigences de son objectif à long terme, en matière de programmation duale Lune-Mars, mais aussi en termes de communication. C'est dans ce registre que le secrétaire exécutif du National Space Council, Scott Pace, enjoignait l'administration et la NASA « à prêter plus d'attention à l'aspiration pour les missions humaines vers Mars ».

Fait significatif, les perspectives offertes par un recours aux lanceurs de SpaceX (ou de Blue Origin) n'ont pratiquement pas été évoquées. Il faut reconnaître que celles-ci, pour prometteuses qu'elles soient, ne simplifient pas le contexte politique du projet, en particulier du fait de l'implication profonde de la NASA dans le programme du lanceur lourd SLS, objet de très sérieux soucis.

Richard Heidmann

LE MÉTHANE, NOUVELLE VOIE EN PROPULSION FUSÉE, OPTIMALE POUR LES VOYAGES VERS MARS

A l'heure où nous célébrons le 50^{ème} anniversaire de la première mission lunaire, et après également un demi-siècle de développements de fusées appuyées sur les mêmes solutions technologiques, une évolution s'est engagée ces dernières années, vers une nouvelle formule, celle du couple Oxygène / Méthane, tous deux sous forme liquide cryogénique, pour les rôles respectifs de comburant et de carburant. Outre les attraits économiques, environnementaux et opérationnels de cette solution, la perspective très actuelle d'un renouveau de l'exploration spatiale, notamment à travers les missions Martiennes, se trouve également derrière cette tendance forte chez les constructeurs de moteurs de fusées.

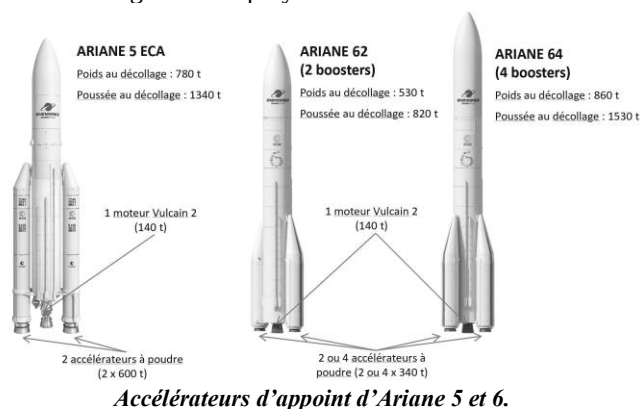
Nous revenons ici sur l'historique de cette propulsion et nous explicitons les atouts-attraits de cette nouvelle technologie.

Principes, technologies employées jusqu'à présent.

L'efficacité d'un couple comburant-carburant se mesure à travers son impulsion spécifique, l'ISp, qui reflète le rapport Poussée / Débit obtenu avec la réaction chimique : une ISp élevée est recherchée puisqu'elle représente un haut niveau de Poussée, pour un faible Débit en relatif, ce dernier signifiant une consommation d'ergols (comburant et carburant) plus faible. Par convention, le paramètre ISp est normalisé, et son unité est finalement la seconde, après division du rapport précédent par la constante de pesanteur terrestre $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Les combinaisons comburant-carburant mises en œuvre depuis le début de l'aventure spatiale ont poursuivi deux objectifs principaux : la recherche de la simplicité de mise en œuvre d'une part et la recherche de l'ISp maximale d'autre part, mais les lois chimiques sont ce qu'elles sont, et il a fallu finalement trancher entre les deux objectifs, ce qui a conduit à deux grandes catégories de solutions propulsives :

-**Les solutions recherchant avant tout la simplicité** de conception et de fabrication des moteurs fusée, ainsi que la simplicité de mise en œuvre à bord des étages (conditionnement thermique des propergols, acheminement vers la chambre de combustion, etc ...). Elles représentent la majorité des solutions adoptées au tout début de l'aventure des lancements spatiaux et sont encore largement employées :



-**Les moteurs à propulsion solide** (réaction chimique d'un composite explosif de nature élastomérique) : très simples d'emploi, aptes à rester prêt à l'emploi pendant des années avant

leur utilisation, ils sont aussi aptes à générer de très fortes poussées, mais leur ISp reste modeste, limitée à environ 270 s.

-**Les moteurs à ergols liquides non cryogéniques et dits « stockables »** : ne nécessitant pas de stockage à ultra-basse température dans leurs réservoirs, ni le recours à des turbo-pompes pour l'alimentation de la chambre de combustion, ils présentent aussi l'intérêt d'être hypergoliques, c'est-à-dire qu'ils s'auto-catalysent et déclenchent la réaction chimique dès qu'on les met en contact l'un avec l'autre. Le couple le plus fréquent est le couple tétra-oxyde d'azote (N_2O_4) et diméthylhydrazine.

-**Les moteurs à ergols cryogéniques « simples »** : le couple le plus usité en la matière est le couple Oxygène Liquide (LOx) – Kérosène cryogénique. On le retrouve sur les premiers lanceurs de l'ère spatiale, tant côté Russe que côté Américain. Son impulsion spécifique est supérieure aux précédentes, et peut aller jusqu'à 350 s. L'ordre de grandeur de la poussée accessible est la centaine de tonnes, ce qui permet de motoriser les premiers étages de lanceurs, ce qui est régulièrement fait par recours à une baie arrière équipée de plusieurs moteurs.

-**Les solutions recherchant avant tout la performance** (ISp élevée), quitte à subir une complexité de mise en œuvre supérieure : un seul couple à citer ici, c'est celui de l'Oxygène Liquide (LOx) associé à l'Hydrogène Liquide (LH_2). La réaction chimique de ces 2 espèces est fort connue comme étant extrêmement énergétique pour générer de la vapeur d'eau : cette énergie se traduit pour nos moteurs fusée par un niveau d'ISp très élevé, de l'ordre de 450 s, tout en donnant accès à une poussée également élevée. L'étage central d'Ariane 5 et celui d'Ariane 6 sont ainsi équipés du moteur Vulcain 2, qui délivre 130 t de poussée. Néanmoins, il y a un tribut à payer pour accéder à cette performance, essentiellement à deux niveaux :

-Le recours à l'Hydrogène requiert la maîtrise d'un *conditionnement thermique* de très haut niveau, s'agissant de maintenir d'importantes masses à la température de 20 K, de manière passive et pendant plusieurs dizaines de minutes, à l'intérieur de réservoirs qui subissent des flux thermiques externes importants lors des chronologies de lancement puis le long des vols eux-mêmes. La faible taille des molécules H_2 exige également des niveaux absolus d'imperméabilité des circuits et des réservoirs.

-Il faut également recourir à des *turbopompes à haute performance* pour pousser de forts débits d'un liquide à faible densité vers la chambre de combustion en maîtrisant les risques d'entrée en cavitation des turbines, qui seraient catastrophiques.

L'entrée en scène du Méthane liquide.

Depuis le début des années 2010, une nouvelle combinaison arrive sur la scène des moteurs fusées, c'est l'association du LOx avec le Méthane liquide cryogénique (LCH_4). Quelques-uns des motoristes majeurs ont jeté leur dévolu sur ce nouveau couple et développent actuellement les moteurs de la toute prochaine génération sur cette base :

-**ArianeGroup** en Europe, convaincu dès 2006 du potentiel de cette technologie pour des moteurs réutilisables, a conçu et testé des éléments de moteurs dès 2009 et développe actuellement, sous l'égide de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), le moteur PROMETHEUS, dont le nom même est évocateur. Nous y revenons plus loin.

-**SpaceX**, la société de service de lancement d'Elon Musk, a affiché au début de la décennie qu'elle passerait dans le futur de

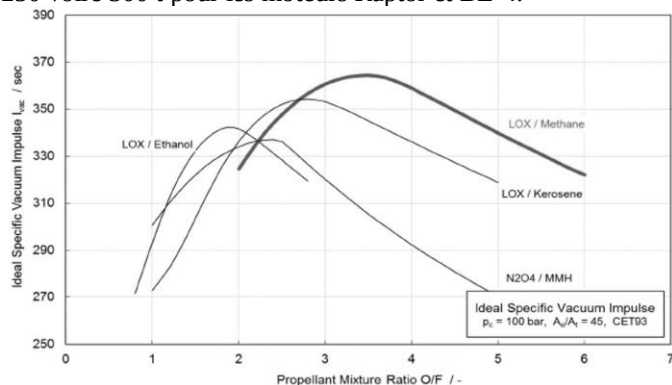
la propulsion à base de LOx-Kérosène à une propulsion LOx-Méthane, avec un moteur dénommé Raptor, destiné au lanceur appelé désormais Super Heavy, dont l'objectif est d'être entièrement réutilisable. Ce lanceur est destiné au transport vers Mars et est équipé de plusieurs dizaines de moteurs de classe de poussée 250 à 300 t sur le 1^{er} étage et plusieurs moteurs également sur le 2^{ème} étage Starship.

-**Blue Origin**, la société de Jeff Bezos (Amazon), qui a pris un chemin différent, en commençant par développer des moteurs LOx-LH₂, avant de se tourner désormais vers le LOx-CH₄ avec son moteur à forte poussée BE-4. Ce moteur, qui vise également une capacité de réutilisation sur de nombreuses missions, est aussi adopté par l'entreprise ULA (association de Lockheed et de Boeing) pour son lanceur Vulcan, le successeur des lanceurs lourds Américains Delta IV et Atlas V. On voit donc des acteurs partis de solutions différentes converger désormais vers l'emploi du Méthane comme carburant.

La bonne combinaison entre performance et opérabilité ...

Les raisons de cette convergence non concertée résident en effet dans la bonne synthèse que représente ce couple d'ergols vis-à-vis des 2 critères mentionnés précédemment :

-**L'accès à une performance propulsive de très bon niveau**, en commençant par l'ISp, comme en témoigne la figure ci-dessous, où l'on présente les niveaux d'ISp accessibles pour différents couples d'ergols en fonction du paramètre de « rapport de mélange », qui représente les proportions respectives des 2 ergols, autour du point idéal, celui des proportions stœchiométriques. Mais les niveaux de poussée accessibles sont également élevés, de l'ordre de 100-130 t pour PROMETHEUS et jusqu'à 250 voire 300 t pour les moteurs Raptor et BE-4.



ISp pour différents couples d'ergols en fonction des proportions injectées (rapport de mélange). (doc ArianeGroup)

-Ce gain en ISp peut apparaître comme peu significatif par rapport au cas du Kérosène (de l'ordre de 10 s soit 3 %), tout en restant bien en deçà de ce que procure l'Hydrogène, mais ce sont les nombreux autres **facteurs de mérite opérationnels et techniques** du Méthane qui font la différence :

-**La simplification des moteurs eux-mêmes** : là où le rapport des densités entre l'Oxygène liquide et l'Hydrogène liquide est de 16, il n'est plus que de 3 entre l'Oxygène liquide et le Méthane Liquide, ce qui autorise la conception de turbopompes avec des vitesses de rotation similaires, donc des parties communes (turbopompes mono-arbres) et une maîtrise facilitée du risque de cavitation. Plus généralement, le recours au Méthane permet des gains de masse totale des moteurs, à iso-poussée, de l'ordre de 50% par rapport à l'emploi de l'Hydrogène.

-**Une très grande commonalité** avec les technologies turbopompes et chambre de combustion des moteurs oxygène-hydrogène, ce qui facilite les choses pour le développement de cette filière qui profite de tout le socle de compétences disponibles en Europe acquis au travers du développement des moteurs d'Ariane.

-**La très grande propreté de cette combustion** : à l'opposé de la combustion du Kérosène, celle du Méthane ne génère pas de suies au niveau des injecteurs dans les chambres de combustion, ce qui ouvre la perspective de réutiliser ces chambres (et donc les moteurs) de très nombreuses fois.

-**Les exigences de conditionnement** thermodynamique sont très comparables à celles de l'Oxygène liquide : conditionnement vers 100 K pour le Méthane, 80 K pour l'Oxygène, là où l'Hydrogène requiert 20 K.

-**La facilité de mise en œuvre** : le méthane est largement utilisé dans d'autres industries et présente un avantage certain tant pour la disponibilité du lanceur que pour ses coûts de mise en œuvre.

-De plus, avec seulement quelques Kelvin de différence dans les réservoirs LOx et LCH₄, il devient plus aisé de concevoir des réservoirs avec 2 compartiments séparés par un fond commun et avec des lignes d'alimentation depuis le compartiment supérieur qui peuvent traverser le compartiment inférieur pour alimenter le moteur, en lieu et place de réservoirs séparés et de lignes d'alimentation extérieures.

-Enfin, et ce n'est pas le moindre de ses avantages, le Méthane est un gaz naturel dont la synthèse peut être réalisée dans le respect de l'environnement (biométhane).

Vis-à-vis des missions spatiales lointaines, pour l'exploration et notamment pour les missions Martiennes, on notera également cette perspective de production in-situ (pour le remplissage des réservoirs des vaisseaux de retour vers la Terre), à partir d'eau, de dioxyde de carbone et de l'électricité solaire disponibles sur place. Certes, la production d'Hydrogène est également possible par électrolyse de l'eau, mais 2 obstacles majeurs sont ensuite à franchir avec cette espèce, celui du conditionnement à 20 K et celui de la maîtrise des fuites dans la durée à l'intérieur des réservoirs, du fait de la volatilité de la molécule. C'est un facteur essentiel qui nous fait privilégier alors le Méthane.

La propulsion LOx-Méthane en Europe.



Le moteur Prometheus (doc.ArianeGroup)

Si les couples d'ergols utilisés sur les lanceurs Européens, comme dans le reste du monde, n'ont pas fait appel au Méthane

jusque-là, les premières études sur le sujet remontent au début des années 2000, le plus souvent dans des études en coopération internationale avec les instituts ou industriels spécialisés Russes. La réutilisation des moteurs pour plusieurs missions, devenue aujourd'hui une réalité avec les moteurs et les premiers étages des lanceurs Falcon 9 (SpaceX) et New Shepard (Blue Origin), se trouve déjà depuis longtemps derrière cette motivation à creuser la piste du Méthane comme nouveau carburant.

La motivation initiale des équipes d'ArianeGroup n'était pas la motorisation d'un lanceur lourd : le véhicule visé était le projet de « SpacePlane », c'est-à-dire celui d'un véhicule ailé doté d'un moteur fusée, destiné à réaliser des vols suborbitaux avec jusqu'à 4 passagers et un pilote à bord.

Les trade-offs de conception du véhicule et de sa propulsion, et notamment la nécessité dictée par le business plan de réutiliser le moteur fusée plusieurs dizaines de fois, on conduit très rapidement à sélectionner le couple LOx-LCH₄ pour la propulsion, et à engager le prototypage et des essais pour un moteur totalement nouveau.

La philosophie pour la conception de ce moteur était résolument la recherche d'un moteur simple, robuste, réutilisable et à bas-coût.



La chambre de combustion du moteur LOx-Méthane du SpacePlane d'Airbus et un des essais à Lampoldshausen. (doc. DLR)

C'est exactement la philosophie qui prévaut aujourd'hui dans le cadre du développement du moteur PROMETHEUS, dont les ambitions se résument très simplement : un coût de production réduit d'un facteur 10 par rapport au moteur principal actuel d'Ariane 5 (Vulcan 2) pour un niveau de poussée comparable et avec une masse significativement réduite, tout en autorisant à la fois un fort niveau de modulation de poussée (typiquement de 100 % à 30 % du régime maximal) et de l'ordre de 5 réutilisations. Les 2 premiers prototypes de ce moteur seront sujets à essais à feu en 2021, à Lampoldshausen, dans les installations d'essai du DLR.

Grâce à l'utilisation extensive de la fabrication additive, les cycles de développement de ce moteur sont réduits de 30 % ce qui permettra – une fois la démonstration par essai acquise – de dériver de ce moteur toute variante au niveau de poussée optimal pour la mission considérée en utilisant les mêmes moyens de production.

Synthèse

Initialement ignorée par toutes les nations au profit de solutions de propulsion qui privilégiaient soit la facilité de mise en œuvre opérationnelle (et donc les coûts), soit la performance technique

(et donc la masse de charge utile envoyée vers l'espace), la propulsion à base de Méthane cryogénique représente de plus en plus la bonne synthèse entre ces deux objectifs antagonistes, et devient aujourd'hui la voie privilégiée pour les lanceurs terrestres, en particulier pour les lanceurs réutilisables.

Avec, outre son faible impact environnemental, un attendu implicite qui motive tous les motoristes de fusées sur la planète : c'est le carburant pour aller vers Mars et en revenir !

Hervé Gilibert

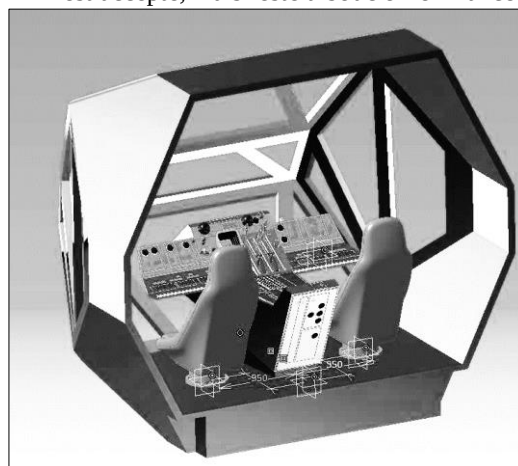
Directeur Technique ArianeGroup

LA VIE DE L'ASSOCIATION

Le **Conseil d'Administration**, renouvelé lors de l'Assemblée Générale du 23 mars, a tenu sa première réunion le 16 mai. Le président, ainsi que tous les autres membres du bureau, ont été reconduits dans leurs fonctions. **Aline Decadi** a pris en charge la mise à jour de nos panneaux « katemono », en particulier en vue de notre présence (stand, conférence de **P. Clermont**) au grand festival d'astronomie de **Fleurance** (Gers), du 4 au 9 août. Suite à la sollicitation de la **Banque Publique d'Investissement**, nous avons remis une note sur les perspectives de développement économique du projet martien, note faisant l'objet d'une réunion le 10 avril. À leur demande, nous avons pu mettre BPI en relation avec un haut responsable de SpaceX, rencontré à la convention 2018, pour une longue interview.

L'équipe de 3 membres d'APM (**P. Brisson**, **R. Heidmann**, **T. Volkova**) ayant participé au **concours « premier établissement humain sur Mars »** de la Mars Society a été sélectionnée parmi les 10 finalistes (sur plus de 100 contributions). P. Brisson et R. Heidmann feront le déplacement à la convention de Los Angeles pour défendre leur dossier le 17 octobre devant le jury final (avec, si possible, T. Volkova en liaison Skype).

Parmi les **6 projets étudiants** proposés et suivis cette année, le rapport du groupe ESTACA 4^e année sur le thème du « rover pressurisé martien » s'est distingué par la qualité de son approche des points techniques à prendre en compte ; nous avons donc décidé d'encourager le groupe à présenter son étude à la convention de Los Angeles, en lui attribuant un soutien financier. L'abstract » est accepté, mais reste à boucler le financement !



Rendu du poste de pilotage du projet rover ESTACA 4^eannée.

À l'invitation du **groupe Colas** (travaux publics), R. Heidmann a donné une conférence au centre de recherche de l'entreprise. Auparavant, Philippe Lognonné, responsable du sismomètre de la sonde InSight, avait fait le point sur la mission.

Richard Heidmann

UN SITE SUR LA COLONISATION

Cet article se fait l'écho d'un blog posté début Juillet par notre collègue **Florent Daumas**. L'an dernier nous avons eu l'occasion d'échanger sur les ressources in situ martiennes, sujet dont Florent a pris connaissance suite à la lecture des notes publiées sur notre site sur le thème de la colonie martienne.

Florent est particulièrement intéressé par la question de l'utilisation des ressources in situ pour l'installation et le fonctionnement d'un établissement martien.

Richard Heidmann

Extrait du blog cité :

Je reviens aujourd'hui pour vous présenter un projet que je porte ; il s'agit d'un site pédagogique sur la colonisation de Mars (et l'utilisation des ressources locales), pour synthétiser les connaissances sur le sujet de manière ludique et attrayante...

De nombreux membres de l'APM ont déjà fait des blogs sur le sujet notamment :

J-M. Salotti <https://salotti.pagesperso-orange.fr/>,

C. Frankel <https://blogs.futura-sciences.com/frankel/>,

P. Brisson <https://www.contrepoints.org/author/pierre-brisson>,

ou encore **R. Heidmann** et **A. Souchier** via le site APM... Il y a donc déjà des mines de documentation en français, sans compter l'importante littérature en anglais disponible sur le Web.

La structure du site est déjà en place, ainsi que certains articles

<https://coloniemartienne.wixsite.com/mars>

Je viens ici tout d'abord pour présenter mon projet mais également pour demander de l'aide dans la rédaction d'articles. Voici une liste de thèmes pouvant faire l'objet de contributions :

- Infirmerie
- Atelier d'entretien
- Rover
- Habitations
- Laboratoire
- Dôme
- Zone de construction
- Combinaisons
- Engins de chantiers
- Stockage du Monoxyde de Carbone (CO)
- Stockage du Dioxyde de Carbone (CO2)
- Liquéfaction de l'hydrogène (H2)
- Décomposition du CO2 en CO
- Stockage d'hydrogène liquide (H2)
- Liquéfaction de l'oxygène (O2)
- Distillation fractionnée de l'air Martien
- Stockage d'hydrogène (H2)
- Liquéfaction du diazote (N2)
- Stockage du diazote (N2)
- Stockage d'oxygène liquide (O2)
- Stockage du Méthane (CH4)
- Production de l'éthylène (C2H4)
- Méthaneur

- Dessiccateur
- Fabrication Briques et Duricrete
- Séparation de la Silice (SiO2) du régolite
- Réduction directe du minerai de fer (Fe2O3)
- Raffinage de l'acier par four électrique
- Electrolyseur (à terminer)
- Production de polyéthylène (Plastique)
- Purification de la Silice (SiO2)
- Fabrications Verre (PM, déjà renseigné)

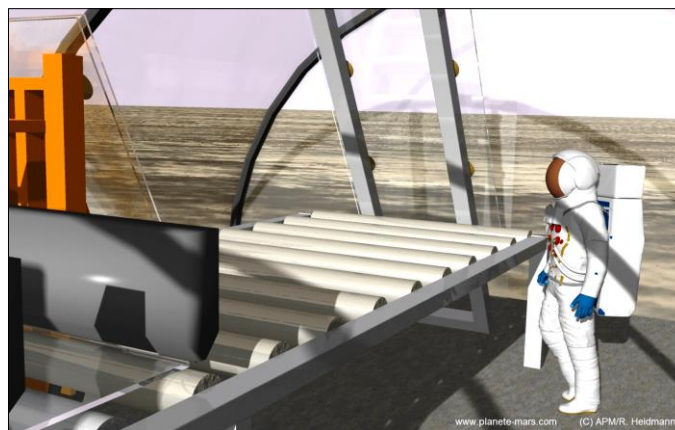
N'hésitez surtout pas à m'informer si vous avez des idées qui pourraient être intéressantes à ajouter ou si vous voyez des coquilles, mais rappelez-vous qu'il ne s'agit ici que d'une version bêta donc soyez indulgent avec moi !

Dans l'avenir, je proposerai, si le site devient d'une très bonne qualité, de l'ajouter directement à notre site APM. Pour l'instant tout est gratuit, mais il y a des inconvénients à rester en version gratuite : présence permanente de la pub wix en haut de chaque page, très mauvais référencement Google, donc peu de chance que le site soit visité, et adresse url peu attractive.

Seriez-vous intéressé pour m'aider dans la rédaction d'un ou plusieurs articles pour ce site ?

Florent Daumas

daumas.florent@hotmail.fr



Représentation du poste terminal (découpe) d'un atelier de production de panneaux de verre.

Celui-ci est à l'air libre, compte tenu de l'intense chaleur dégagée par les fours d'élaboration du verre. Une couverture en plastique le protège pendant des vents de poussière.

Le verre se prête bien à la production en série de serres et d'habitats, mais présente des difficultés sérieuses :

- parmi les ingrédients on trouve la soude et la chaux, synthétisables à partir de carbonates... qu'on peine à localiser à la surface de la planète !

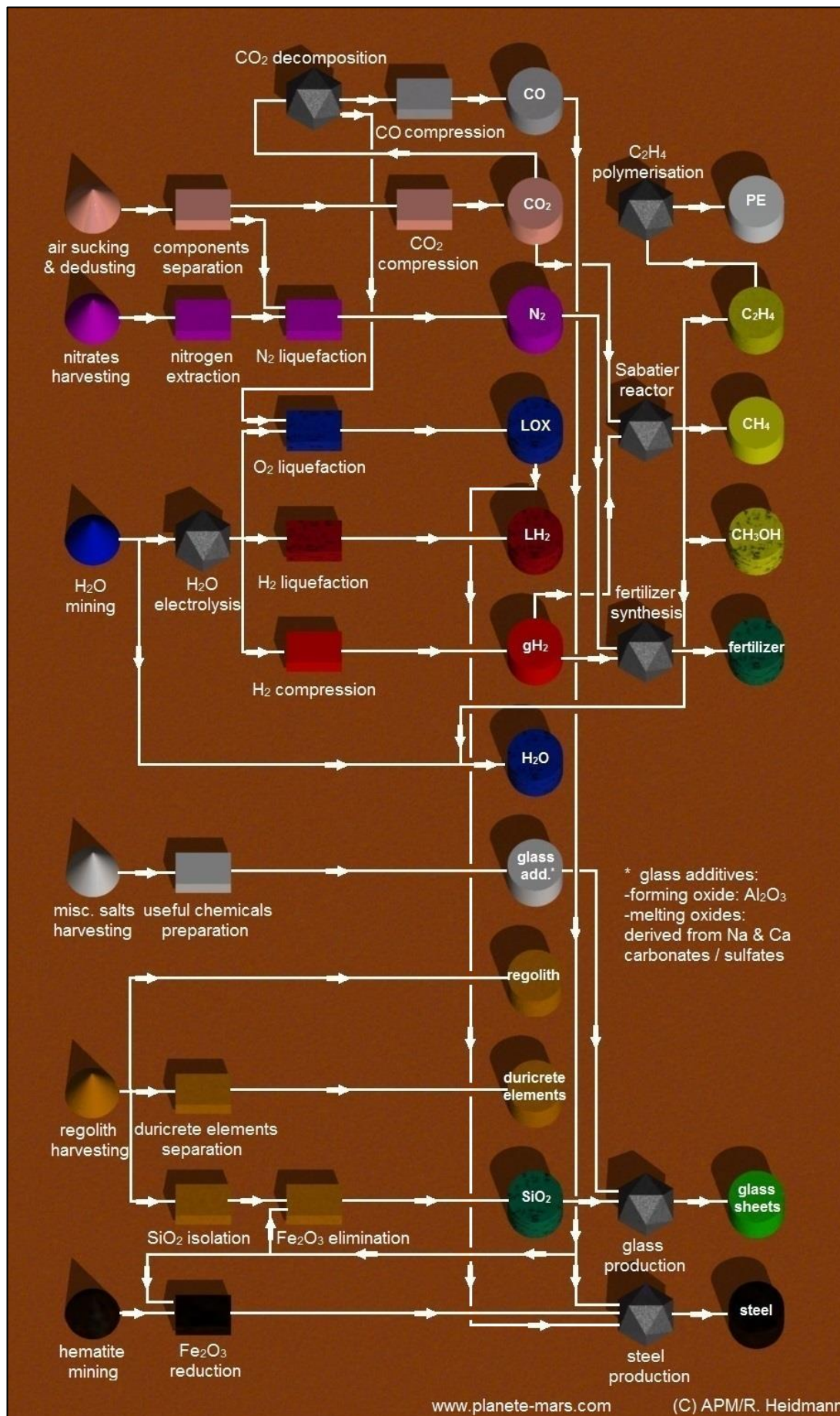
- le process nécessite un, voire deux fours à haute température, massifs et énergivores ;

- c'est un mauvais isolant ; les panneaux devront donc ne pas être directement exposés à l'atmosphère, sauf dans les cas où on recherche la visibilité extérieure (fenêtres, serres).

Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Philippe Clermont, Florent Daumas, Hervé Gilibert, Richard Heidmann.

Achevé d'imprimer : Objectif numérique 56100-Lorient

Dépôt légal : juillet 2019



Symboles

Cône : source matériau de base.

Parallélépipède : opération élémentaire.

Cylindre : stockage.

Dodécaèdre : enceinte processus chimique.

Schéma des ressources martiennes in situ et de leurs transformations.