



LE RETOUR DE LA CRAINTE SUR L'ENVIRONNEMENT RADIATIF ?

Une étude récente, financée par la NASA à l'université de Georgetown et publiée dans le Bulletin de l'Académie des Sciences américain, a été reprise par des médias français¹. L'article étudie l'impact, sur des souris, de l'effet sur le système gastro-intestinal des ions lourds présents dans l'espace.

Résumons les faits :

- grâce à l'ISS, nous avons acquis de nombreuses connaissances scientifiques sur l'impact médical du séjour prolongé de l'homme dans l'espace, et en particulier sur l'impact des radiations, même si l'ISS est partiellement protégée par le champ magnétique terrestre ;
- grâce à son instrument RAD, Curiosity mesure l'environnement radiatif à la surface de Mars ; également activé pendant le voyage, il a permis d'accumuler de précieuses connaissances sur les radiations ;
- sur la base de données ainsi confirmées, l'évaluation de la dose reçue au cours de la mission reste conforme aux normes internationales établies pour l'ISS.

A l'heure actuelle, rien ne permet d'affirmer que l'environnement radiatif du voyage vers Mars serait rédhibitoire, en accroissant de manière intolérable la probabilité de cancer. Ceci mérite pourtant d'être rappelé, au vu de communications assez régulières et trop simplificatrices en ce sens.

Sans négliger pour autant ce risque, avançons positivement dans la recherche de solutions. Face aux tempêtes solaires sporadiques, un abri léger (par exemple utilisant les réservoirs d'eau) suffira. Face à l'autre menace, celle des rayons cosmiques, on peut décider de raccourcir le voyage, à trois mois au lieu de six par exemple, en acceptant une charge de propergol supérieure. Autre approche, au niveau des équipements : la société StemRad a noté que le risque radiatif n'est pas le même pour tous les organes, et propose AstroRad, une armure bustier articulée en polymère protégeant le buste et l'appareil digestif. Enfin, sur Mars, l'architecture et la localisation des habitats pourront être optimisées, plus ou moins enterrés...

En conclusion, nous assistons à une effervescence intellectuelle pour trouver des solutions, et tout laisse à penser que des solutions existent pour que le voyage aller/retour vers Mars ne dépasse pas les doses actuellement admises pour l'ISS.

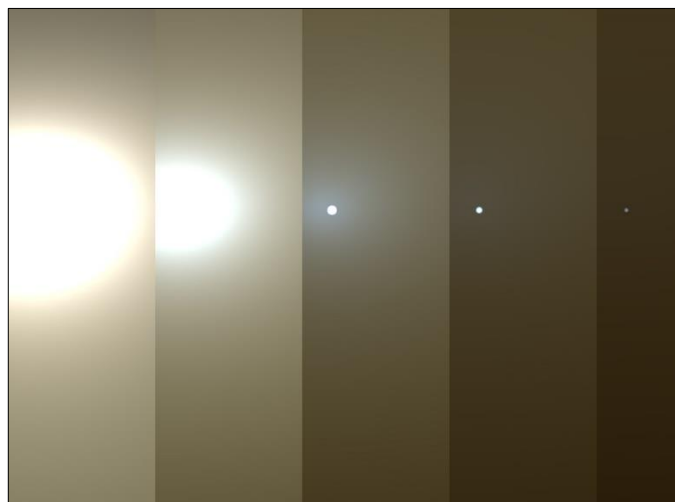
Philippe Clermont
président

Dans ce numéro :

- Les tempêtes de poussière et la question de l'énergie p.1
- Rencontres de l'Espace à Auriol p.3
- Trajectoires p.4
- Convention annuelle de la Mars Society p.6
- L'Europe dans les missions à venir p.7

prochain numéro : janvier 2019...

LES TEMPÊTES DE POUSSIÈRE ET LA QUESTION DE L'ÉNERGIE



Évolution sur deux jours (9 et 10 juin) de l'opacité de l'atmosphère martienne vue par le rover Opportunity. Chaque prise de vue correspond à un taux d'opacité (tau). De gauche à droite, on passe de 1 à 3,5 ; 7 ; 9 et 11.

(doc. NASA/JPL-Caltech/TAMU).

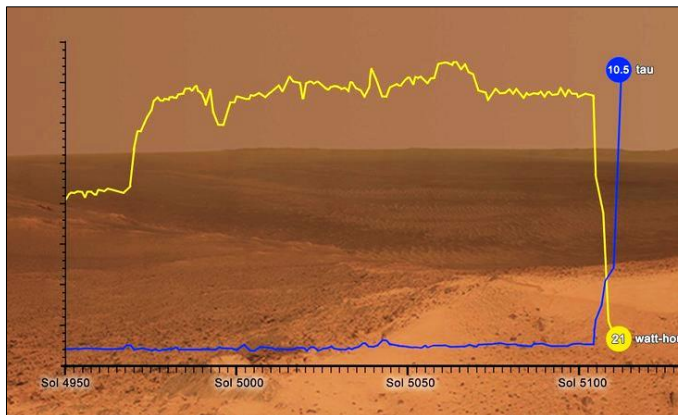
Tous les trois ans martiens en moyenne*, une tempête de poussière se lève dans l'hémisphère Sud de Mars et enveloppe l'ensemble de la planète. Cette année, elle s'est manifestée le 9 juin dans la région où opérait le rover Opportunity de la NASA. Le 10 juin, l'énergie produite par les panneaux solaires du rover tombait à 21 Watts-heure contre environ 350 la veille et les jours précédents, et le rover entrait en mode veille ; simultanément le taux d'opacité de l'atmosphère (T), montait en flèche à 10,8, beaucoup plus haut que lors de la tempête globale précédemment subie en 2007 par le même rover (T 5,5). Vers le 23 juillet, enfin, davantage de poussière retombait qu'il n'en était soulevé ! On parvenait donc à un renversement de situation, une sorte de phénomène de décrue, 43 jours après le début de la tempête. Il faudra bien sûr un certain temps, plusieurs semaines, avant que la situation ne redevienne normale ; la taille des grains de poussière est très faible et la gravité martienne seulement de 0,38 g, ce qui contribue à ralentir considérablement le retour au sol de ces particules.

Les tempêtes de poussière sont inévitables sur Mars puisqu'il n'y a pas d'eau liquide en surface et que, comme dans toute atmosphère (ou dans tout fluide), des mouvements de convection résultant des différences de température (particulièrement en fonction de l'altitude) emportent dans leurs déplacements les matériaux qu'ils peuvent soulever. Actuellement l'explication est la suivante : les rayons du soleil frappent le sol de la planète

*Une année martienne dure 688 jours, trois ans martiens font donc 5 ans et 8 mois (terrestres).

et le réchauffent. Le sol chauffe la couche d'atmosphère se trouvant à son contact. Celle-ci (de ce fait relativement plus légère) se trouve confrontée à la couche supérieure plus froide (donc relativement plus dense). L'élément léger monte, l'élément froid descend, le mouvement est lancé et il va avoir d'autant plus d'intensité qu'il se généralise et que les contrastes de température sont importants. Or, à l'arrivée du printemps dans l'hémisphère Sud*, on sort d'une période d'hiver long et très froid (la saison correspond à l'aphélie de la planète sur son orbite ; elle est alors au plus loin du Soleil et se déplace à vitesse minimale, mais croissante vers des conditions exactement opposées). C'est dans ces périodes que les vents martiens soulèvent le plus de poussière. Cette poussière faisant écran à la déperdition de température la nuit (effet de serre) on obtient des nuits moins froides, de l'air de surface moins froid, et un sol qui se réchauffe plus lentement, idéal pour un effet qui s'auto-entretient et s'intensifie, jusqu'à retrouver un nouvel équilibre. La poussière déjà soulevée a un double effet « boule de neige », d'une part en faisant écran au rayonnement infrarouge du sol et de la couche inférieure de l'atmosphère (effet de serre) , mais aussi en réchauffant directement l'atmosphère car les grains absorbent une partie du rayonnement incident solaire.

Bien sûr « la mayonnaise » ne prend pas à toutes les occasions et elle « prend » plus ou moins fort, sans doute en raison des particularités géographiques des endroits où elle commence (plus ou moins de poussière au sol) et sans doute parce que certaines années la jonction de plusieurs zones de déclenchement en même temps dans une même région se fait. Toujours est-il que le risque existe et que la probabilité qu'il se concrétise est forte.

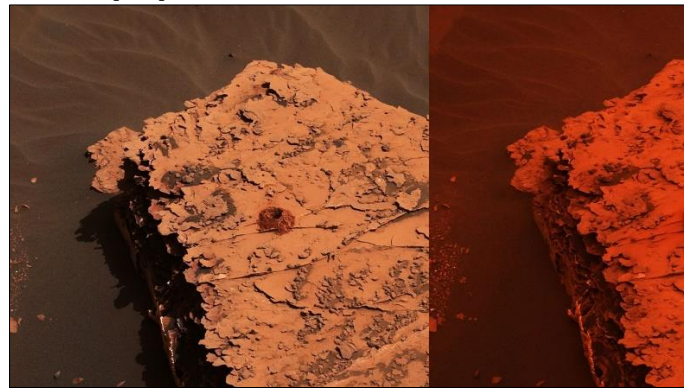


Dernières mesures de production d'énergie par les panneaux solaires du rover Opportunity. (doc.NASA/JPL-CalTech/New Mexico Museum of Natural History.)

Les conséquences de ces tempêtes planétaires (ou « globales » comme on dit en anglais) sont très importantes. Elles constituent des obstacles à l'exploration robotique et demain à l'installation de l'Homme sur Mars.

D'abord, l'écran constitué par les masses de poussière soulevées fait obstacle à la collecte de l'énergie solaire. Sur un graphique fourni par la NASA on voit qu'en deux jours, l'énergie disponible pour la maintenance et le fonctionnement d'Opportunity a été divisée par 15. Si l'on utilise l'énergie solaire pour les instruments d'exploration ou demain dans les bases martiennes, il faudra envisager de pouvoir commuter sur une autre source en secours (batteries ou piles à combustible puisant dans les stocks de pergol).

La seconde conséquence négative, c'est la réduction de la luminosité. Sur les photos du Soleil prises par le rover Opportunity (image en tête d'article), on voit la luminosité passer en deux jours d'une opacité quasi nulle (taux = 1) à une opacité maximum (11). Pendant la tempête, le rover Curiosity a continué à fonctionner (il est alimenté en énergie nucléaire) et sur les photos prises, on n'a pas la même impression d'obscurité mais plutôt d'un fort rougeoiement de l'image (très peu de lumière bleue et verte peuvent pénétrer l'écran de poussière en raison de leurs longueurs d'ondes). On peut donc penser que des moyens sont disponibles pour améliorer la luminosité des caméras et donc des optiques que pourront porter les astronautes en mission sur Mars, mais surtout que la densification de l'atmosphère (son encombrement par des poussières) n'est pas telle qu'elle empêche de voir à quelques centaines de mètres.



Roche "Duluth", photo prise le 21 mai (à gauche) et le 17 juin (à droite). Il faut noter que le taux d'opacité ajoute une baisse de luminosité au « virage » vers le rouge ; temps d'exposition à gauche 7,3 millisecondes et à droite 66 millisecondes.

(doc. NASA/JPL-Caltech/MSSS)

La troisième conséquence, c'est le risque de grippage des instruments et véhicules. La poussière est abondante, et comme c'est elle qui est le plus soulevée par la tempête, c'est elle qui pose problème, d'autant que la sécheresse favorise l'électricité statique, qui rend les grains collants. Ceux-ci vont s'insinuer partout et en particulier dans tout ce qui est interstices et articulations, les replis des combinaisons spatiales, les points de jonction des pièces métalliques, toutes les jonctions de pièces mobiles. Il faudra prévoir des moyens de nettoyage particulièrement puissants et efficaces (et des surfaces de vêtements et d'instruments antistatiques) car il n'est pas question de laisser rentrer la poussière dans les habitats (les particules fines sont dangereuses pour la santé ; inhalées en trop grande quantité, elles pénétreraient profondément dans les poumons et pourraient y causer des dégâts - silicose - d'autant qu'elles sont beaucoup moins érodées que sur Terre (sans être cependant aussi acérées que sur la Lune).

Une quatrième conséquence, c'est que la durée contraind à l'adaptation. Un des avantages majeurs de Mars par rapport à la Lune c'est que la nuit n'y dure qu'une partie du jour (sol). Dans le cas d'une tempête globale ce n'est plus le cas et il faut s'adapter. Les plantes qui pousseront dans les serres ne pourront pas attendre plus de 40 jours que la lumière revienne. Certains travaux en extérieur devront pouvoir être interrompus, des atterrissages devront pouvoir être différés, des contrôles ou des commandes à distance interrompus, pendant la durée nécessaire.

*dans l'hémisphère Sud de Mars, le dernier équinoxe de printemps était le 22 mai, le solstice d'été est le 6 octobre 2018.

La leçon que l'on doit tirer de ce phénomène est à mon avis la suivante : la continuité de fonctionnement du dispositif d'approvisionnement en énergie et la fiabilité de la source étant primordiales puisque c'est d'elles que dépend le support vie, il n'y a pas d'alternative à l'énergie nucléaire pour les missions d'exploration (dans la perspective d'une hypothétique colonisation, le problème se présente différemment, dans la mesure où on peut supposer que de massifs packs de batteries puissent être installés). Pour cela il y a déjà un développement très avancé, le projet KRUSTY (Kilowatt Reactor Using Stirling Technology) sur lequel la NASA travaille. Des tests, satisfaisants (cf. lien ci-dessous) ont été menés de novembre 2017 à mars 2018. Ces réacteurs nucléaires de petite puissance thermique (40 Kw) sont couplés à des moteurs Stirling pour délivrer une puissance électrique de 10 Kw. D'après la NASA, quatre réacteurs KRUSTY seraient suffisants pour alimenter une base d'exploration de quatre personnes pendant 10 ans. Ils ont un cœur d'Uranium 235 (^{235}U) mais, afin d'éviter la fission spontanée (et faciliter le transport !), les ingénieurs de KRUSTY limitent l'utilisation de cette matière à 43 kg, en-dessous de la masse critique qui est de 48kg. La réaction peut être activée grâce à une enceinte en béryllium (réflecteur) et déclenchée/interrompue par une barrette en carbure de bore amovible, au centre de la masse d'uranium. La masse d'uranium est elle-même stabilisée par un alliage avec du molybdène (7%) pour éviter les problèmes de changement de phase, de température de fusion trop basse et améliorer la résistance au fluage à haute température.

Bien entendu recourir à cette source nucléaire n'exclut pas que l'on utilise le solaire ou éventuellement le géothermique (quand on trouvera un point chaud exploitable proche de la surface !) mais la sécurité impose une source d'énergie indépendante des conditions climatiques.

NB : vous remarquerez que je n'ai pas parlé de la force du vent lors de ces tempêtes. Contrairement à la grossière approximation d'Andy Weir dans son roman « Seul sur Mars », la très faible densité de l'air martien rend tout simplement impossible la destruction de la base par une tempête, comme il l'imagine.



(doc. NASA/JPL-Caltech/MSSS)

Photos du paysage vers le bord du cratère, prises le 7 juin (à gauche) et le 10 juin (à droite) par Curiosity. La baisse de lumière est moins dramatique que dans l'image en tête de l'article, car la caméra de Curiosity ne fait pas face au Soleil et donc les contrastes sont moins forts. L'heure de la prise de vue n'est pas indiquée et le taux d'obscurité était sans doute plus proche de 5 que de 10, valeur atteinte en fin d'après-midi le 10 (on est sans doute entre le deuxième et le troisième rectangle, $T=4$). En dépit du taux d'obscurité de toute façon élevé, on voit quand même encore assez loin.

Pierre Brisson

Lien vers la note de presse de la NASA rendant compte des tests de KRUSTY :

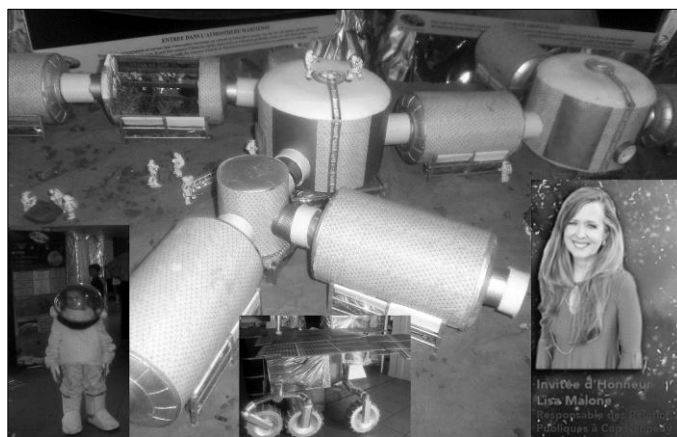
<https://www.nasa.gov/press-release/demonstration-proves-nuclear-fission-system-can-provide-space-exploration-power>

RENCONTRE DE L'ESPACE À AURIOL

Portée par la Mairie d'Auriol depuis maintenant 13 ans, cette journée est dédiée à un public familial pas spécialement orienté vers le domaine spatial, même si on est parfois étonné par les réflexions et les connaissances.

Cette année l'invitée d'honneur était Lisa Malone, plus de 30 ans d'expérience au Kennedy Space Center de la NASA sur des responsabilités de communication, « Shuttle launch commentator » (pendant 15 ans) comme elle nous l'a annoté sur un document. Elle s'est révélée une des invitées les plus sympathiques qui soient venues, à notre avis, à l'instar de Sergueï Ryazanskiy, Anna-Lee Fisher ou encore Brian Duffy...

Le public, toujours au rendez-vous, a été attentif et réactif, le temps superbe (à l'inverse de l'année dernière !) et on a diffusé le plus possible les valeurs et les buts de notre association en faveur de l'exploration robotique et humaine de Mars, avec l'apport de deux conférenciers APM, Charles Frankel et Jean-François Pellerin. C'était un plaisir également de revoir les autres associations, dont celles des astronomes, et d'échanger avec eux pendant la pause de midi et en soirée. L'année prochaine, c'est l'anniversaire des 50 ans après Apollo, et peut-être la dernière des Journées de l'Espace Auriolaises, car la municipalité actuelle ne se représenterait pas... Comme il y a peu d'événements comparables en région PACA, c'était une bonne raison d'y « briller » une ultime fois.



Deux nouveautés exposées cette année sur le stand APM : le scaphandre X1 (réalisé par des étudiants de Polytechnique) et une maquette de base martienne inspirée d'un projet NASA : « Mars exploration zone » ; en médaillon Lisa Malone, une visiteuse en scaphandre APM et notre maquette rover ExoMars taille 1.

Patrick Sibon

TRAJECTOIRES

Voyager dans le système solaire impose de surmonter, indépendamment de toutes les difficultés liées au maintien en condition et à la sécurité des astronautes, des contraintes fondamentales résultant des grandes distances et des lois de la mécanique céleste. Ces contraintes s'expriment en particulier en termes d'isolement, de durées et de programmation des vols.

Pour bien saisir la nature et la force de ces contraintes, il faut tenter de se représenter deux facteurs essentiels gouvernant les mouvements (des planètes et des vaisseaux) dans le système solaire : l'échelle des distances et la force d'attraction du Soleil.

L'étendue des espaces parcourus peut se mesurer aux durées des trajets. A la base, on peut se rappeler que la Terre, bien que circulant à 30 km/s autour du Soleil, met plus de 31 millions de secondes pour en faire le tour (Mars pour sa part circule au voisinage de 24 km/s en un peu moins de deux ans). On comprend que, du moins avec les techniques de propulsion connues, il soit exclu de s'éloigner d'un ordre de grandeur de l'année pour les trajets interplanétaires.

Il est sans doute plus difficile, mais aussi plus essentiel, de « mesurer » mentalement la force d'attraction du Soleil. Ce qui est peut-être le plus parlant, c'est de constater que lorsqu'on s'élance sur une trajectoire de transfert interplanétaire, non seulement on est amené à accroître sa vitesse héliocentrique de façon significative (de l'ordre de 10% pour un trajet Terre-Mars), au prix d'une consommation de propergol très significative, mais, de plus, il est très coûteux en énergie de changer tant soit peu la direction initiale du mouvement, celle de la vitesse de la Terre. En quelque sorte, l'attraction du Soleil maintient les planètes et nos vaisseaux sur des rails !

Ces deux facteurs expliquent pourquoi les trajets sont longs, coûteux en énergie à communiquer aux vaisseaux et ne peuvent être planifiés qu'à certaines époques (les « fenêtres » de lancement). Penchons-nous plus spécialement sur le cas de Mars.

Durée des transferts *

Le mode le plus économique en propergol est le transfert de Hohmann, qui consiste en une demi-ellipse tangente à l'orbite terrestre et à celle de Mars. La durée est alors de 8 à 9 mois, suivant que Mars se trouve proche de son périhélie ou de son aphélie au moment de l'arrivée (transfert aller) ou du départ (transfert retour). Naturellement, cette manœuvre n'est pas rigoureusement applicable à chaque fenêtre, car il faut que la Terre se trouve à un endroit précis pour que l'arrivée sur (ou le départ de) Mars se produise au moment où la planète passe à un de ces deux points remarquables.

Mais pour un aller et retour, la course des deux planètes complique le scénario. En fait, après avoir effectué l'aller, deux possibilités se présentent. Soit on souhaite avant tout réduire la durée totale de la mission ; dans ce cas il faut limiter le séjour à un ou deux mois et s'embarquer pour un voyage de près d'un an faisant plonger le vaisseau à l'intérieur de l'orbite de Vénus et conduisant à une vitesse d'arrivée très élevée. Ce scénario, dit d'opposition, avait la faveur des spécialistes au début de l'ère spatiale, car Mars, alors quasiment inconnue, faisait peur, et on voulait limiter la durée du séjour planétaire, quitte à accroître – très significativement – la durée totale des transferts dans l'espace.

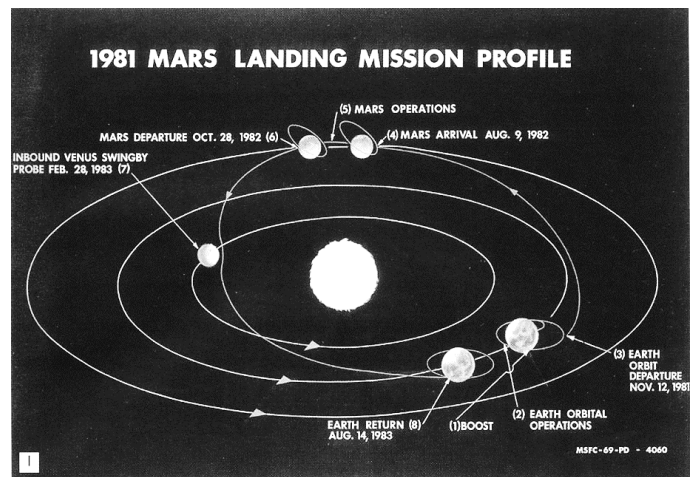


Schéma d'une mission habitée en mode opposition, mode désormais abandonné. (doc. NASA)

Soit on désire effectuer aussi le retour de façon économique ; dans ce cas on est contraint de prévoir un séjour sur la planète de 18 mois, pour permettre à la Terre de se positionner favorablement. Ce schéma, dit de conjonction, fait désormais l'unanimité ; il ne présente en fait que des avantages : économie de propergol, rentabilisation du séjour d'exploration (une dizaine de fois plus long) et, surtout, réduction conséquente de l'exposition aux rayonnements ionisants, dont le flux est maximum durant les transferts dans l'espace (sur Mars, la moitié est bloquée par le sol, l'atmosphère atténuée légèrement et on peut utiliser le régolite pour se protéger). Autrement dit, on a réalisé que, loin d'être le lieu de tous les dangers, Mars était un séjour préférable à l'espace, d'autant plus que les astronautes pourront y disposer d'infrastructures permanentes, d'une protection adéquate contre les radiations et de réserves. On aboutit au schéma classique : **aller & retour en 8-9 mois, séjour de 18 mois.**

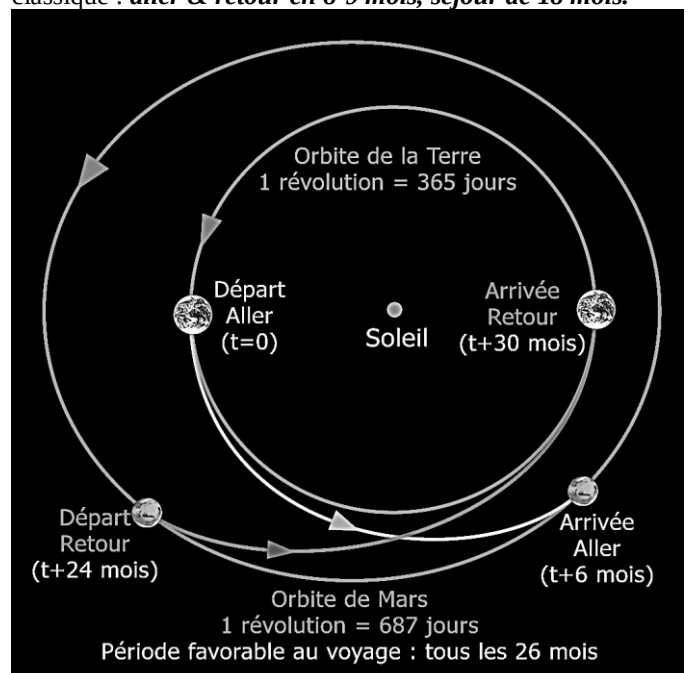


Schéma nominal d'une mission habitée, en mode conjonction.

(doc. APM)

Il existe une variante très sérieusement considérée de ce scénario. Elle consiste à préférer pour l'aller une **trajectoire dite « de libre retour »** qui, ayant une période de deux ans, permet au

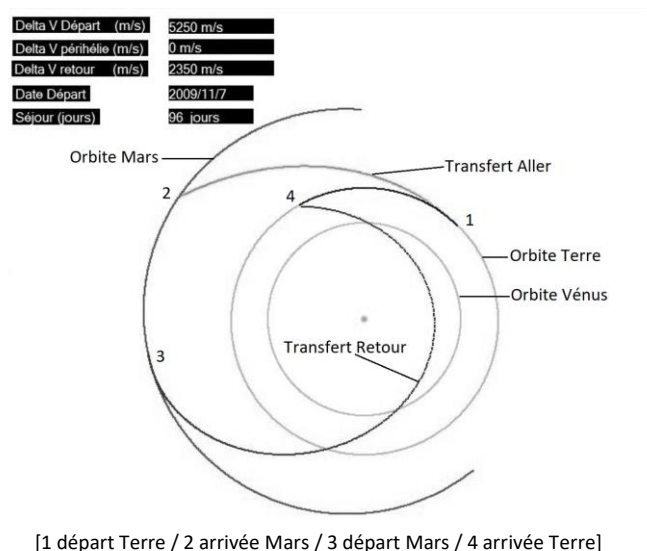
vaisseau de revenir vers la Terre sans manœuvre propulsive, offrant ainsi un mode de secours en cas de panne interdisant le déroulement normal de la mission. Dans ce cas la durée du voyage aller est significativement réduite, à environ 6 mois, ce qui est un avantage supplémentaire ; par contre la charge utile est réduite, à iso-masse initiale en orbite de parking terrestre. Plus récemment (2016), SpaceX a prôné, dans son projet « *Big Falcon Rocket* », un voyage beaucoup plus rapide, considérant **un transfert aller réduit à 3 ou 4 mois** (suivant la fenêtre). Bien entendu ceci impose une consommation de propergol (« carburant ») plus importante, car la vitesse d'élancement à partir de l'orbite terrestre doit être plus grande. Mais, SpaceX entendant construire un lanceur (lourd) totalement réutilisable et donc, dans son idée, d'un très faible coût opérationnel, la prise en considération de plusieurs vols de ravitaillement du vaisseau en attente de départ en orbite de parking est acceptable. Inutile de dire que les esprits des concepteurs « vétérans » du vol spatial n'étaient pas préparés à un tel choc conceptuel, tant le critère de la masse minimale à lancer sur cette orbite était considéré comme une priorité essentielle pour le coût - et donc l'acceptabilité - du projet. Mais le coût réduit des lancements de BFR réutilisables permettrait de transporter des passagers qui apprécieront la réduction de la durée du voyage, du point de vue agrément mais encore plus pour la réduction de leur exposition aux radiations ionisantes de l'espace.

Le problème du séquençage des vols

Les fenêtres de lancement vers Mars s'ouvrent tous les 26 mois environ, durée que mettent les planètes à se retrouver dans la même configuration autour du soleil (par exemple lorsque les trois astres sont pratiquement alignés, les deux planètes étant du même côté du soleil (opposition) ou à l'opposé (conjonction)). Au départ, la Terre est « en retard » sur Mars, mais à l'arrivée (par exemple 6 mois plus tard) elle est « en avance », vu que sa vitesse angulaire vue du soleil est environ deux fois plus grande. La largeur (durée) de ces fenêtres dépend principalement des marges de performance du vaisseau et de son lanceur. Généralement, on la trouve de l'ordre d'un mois et demi. C'est suffisant pour permettre, quand le besoin s'en fera sentir, le lancement de plusieurs vaisseaux à partir du même pas de tir au cours de la même fenêtre ; mais par contre s'en éloigner devient vite coûteux en consommation d'ergols. **On ne peut donc lancer que pendant une courte période (~1,5 mois) tous les 26 mois.**

Mais ce n'est pas tout. Si on reste dans le schéma « conjonction », il faut stationner, comme on l'a noté, de l'ordre de 18 mois sur Mars avant d'entreprendre un transfert retour, dans des conditions et sur une trajectoire symétrique du transfert aller. La conséquence de la durée totale de 30 mois à laquelle on aboutit est que le vaisseau est de retour après la fermeture de la fenêtre de lancement suivant la sienne (4 mois de retard...). Autrement dit, le cycle opérationnel du vaisseau est porté à plus de 4 ans. Pour assurer un trafic donné, il faudra donc deux fois plus de vaisseaux que si on ne ratait pas la fenêtre suivante. Pour un investissement de cette taille, c'est un sérieux handicap !

En théorie, il existe un moyen de rentrer à temps, c'est d'utiliser une trajectoire de retour du type « opposition ». Mais, on l'a dit, ce mode présente de lourds inconvénients : quantité d'ergols supplémentaire, durée du transfert (11 mois), nécessité de s'approcher du soleil plus près que Vénus et, de surcroît, vitesse d'abord du domaine terrestre fortement accrue, compliquant le freinage atmosphérique...



Exemple de mission du type « opposition », à une époque plutôt défavorable (arrivée sur Mars proche de l'aphélie). (doc. R. Heidmann).

Influence sur les conditions d'arrivée

Dans la comparaison des différents schémas de trajectoire, on ne peut se limiter aux considérations de durée de mission et de quantité de propergol à dépenser. Les conditions de capture par les deux domaines planétaires et de descente finale varient fortement en fonction du schéma et des paramètres choisis (principalement les durées de trajets plus ou moins raccourcies).

Le choix influe sur la vitesse qu'il faut soustraire au vaisseau (ΔV) et sur la vitesse d'interaction avec l'atmosphère. Le ΔV détermine soit la quantité de propergol à sacrifier dans le cas d'un freinage propulsif, soit le dimensionnement de la protection thermique dans le cas d'une descente directe ou d'une mise en orbite de parking par freinage aérodynamique (aérocapture). Quant à la vitesse à l'entrée dans l'atmosphère, elle est déterminante pour l'intensité du flux thermique à supporter.

Pour Mars, le souhait de réduire la durée du transfert aller est pénalisant, car au lieu d'aborder tangentiellement la trajectoire de Mars (ce qui minimise la vitesse relative), on coupe celle-ci avec un angle important (cf. l'image ci-dessus), ce qui accroît cette vitesse. Aller plus vite est donc un « luxe » à payer en quantité de propergol à fournir au vaisseau et en dimensionnement de sa protection thermique (sauf si celle-ci sert aussi pour le freinage terrestre, qui est dimensionnant).

La même problématique se présente, amplifiée, pour le retour vers la Terre, qui se fait dans tous les cas à une vitesse supérieure à la vitesse de libération (11 km/s), contre 6 à 9 km/s de vitesse d'entrée dans l'atmosphère martienne. La situation serait particulièrement défavorable si on choisissait un retour du type « opposition » car, comme on le voit sur l'image, l'angle des vitesses est important. Même en se cantonnant au schéma « conjonction », s'éloigner d'une trajectoire type Hohmann, pour réduire la durée du retour, restera une option dimensionnante. Cela pourrait conduire soit à avoir une protection partiellement abordable (admis par SpaceX), soit à fractionner la descente, en faisant une étape sur une orbite très elliptique permettant de dissiper la charge thermique déjà encaissée, avant de procéder à la descente finale. C'est dans ce contexte que l'idée d'une station-relais dans le domaine lunaire trouve place, station où le vaisseau martien pourrait être réapprovisionné...

Richard Heidmann

CONVENTION ANNUELLE DE LA MARS SOCIETY

La Convention Annuelle de la Mars Society s'est déroulée du 23 au 26 août à Pasadena, en Californie, sous le thème de « Mars and the space revolution » ; comprenez « Mars et la révolution spatiale » concernant l'exploration martienne par l'Homme !

Les quatre jours de la convention se sont déroulés de la façon suivante : présentations plénières le matin ; sessions de présentations en après-midi, sur quatre thématiques : technologies, culture, science, résultats d'expérience et initiatives internationales ; débats et de discussions en fin de journée sur les enjeux majeurs de l'homme sur Mars.

L'agenda complet est disponible sur le lien suivant :

http://www.marssociety.org/wp-content/uploads/2018/08/Schedule_21st_Mars_Society_Convention.pdf

De nombreuses présentations ont été filmées. Les vidéos sont en ligne à l'adresse suivante :

<https://www.youtube.com/user/TheMarsSociety/videos>

Le thème de cette 21^{ème} convention a permis de réunir un panel d'experts de tous les horizons, comme par exemple :

- NASA HQ in Washington: *Michael Meyer* – Lead scientist for NASA's Mars Exploration Program ;
- NASA Jet Propulsion Laboratory / California Institute of Technology : *Jeffrey J. Plaut* – Senior Research Scientist, *Abigail Fraeman* – Senior Research Scientist, *Tom Hoffman* – Project Manager of the upcoming Mars In-Sight lander mission ;
- Space X : *Paul Wooster* – Lead in the technical development of SpaceX's Mars architecture and vehicles, including both Red Dragon and human-scale systems ;
- Dr Robert Zubrin*, fondateur et président de la Mars Society, hôte de la convention annuelle et auteur de nombreux ouvrages sur l'Homme sur Mars. Il est également le président de Pioneer Astronautics, une compagnie de recherche et développement en aérospatial.

Nous avons ainsi pu collecter de nombreuses informations concernant les dernières découvertes et résultats d'Opportunity, Mars Express, Mars Reconnaissance Orbiter, MAVEN, Mars Trace Gas Orbiter et Curiosity, explorant la planète rouge. Cette convention a permis également de faire le point sur les missions à venir avec Insight et les missions Mars 2020.

Par ailleurs, SpaceX a présenté le concept du BFR (Big Falcon Rocket), présentation très semblable à celle de l'an dernier pour le Congrès International de l'Astronautique (IAC) en Australie. Pour plus d'information, voici la vidéo de sa présentation : <https://youtube/C1Cz6vF4ONE>. J'ai d'ailleurs eu la chance de piloter un monomoteur au-dessus du port de Los Angeles, site du futur centre de fabrication du BFR (photo ci-contre).

En outre, une présentation a été faite sur les dernières simulations déroulées à la station Mars Desert Research Station (MDRS) dans le désert de l'Utah. Également, durant la convention a eu lieu le dernier face-à-face de la compétition Red Eagle Design, pour laquelle 5 équipes d'étudiants ingénieurs/ universitaires sur 15 avaient été retenues après plusieurs mois de préparation et se sont affrontées pour présenter leur design devant

un panel de juges experts. Il s'agissait du design complet d'un atterrisseur de 10 tonnes de charge utile incluant le système de transport (existant) pour le voyage vers Mars. L'équipe française en course, tutorée et soutenue par notre association, a fini 3^{ème} de la compétition. Nous les félicitons pour leur projet « Red Rover » et leur souhaitons une bonne continuation !



L'équipe soutenue par l'APM, congratulée par R. Zubrin (de g à d : L.Comby, A. Sabadie et M. Lenormand, chef du projet).



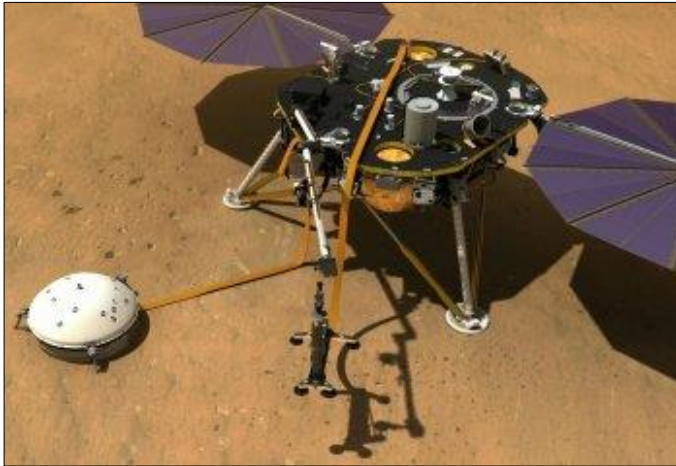
Zone du futur atelier de construction du BFR, port de Los Angeles. (doc. A. Decadi)

J'ai pu présenter les résultats des expériences déroulées durant la simulation martienne à laquelle j'ai participé en février dans le désert de Oman. J'ai ainsi décrit l'architecture de la mission et la station martienne, les objectifs de chacune des 20 expériences déroulées incluant les sorties extravéhiculaires, ainsi que les résultats obtenus et les retours d'expérience en préparation de la prochaine mission en 2020. Les vidéos faites sur le terrain sont ici : <https://www.youtube.com/user/alinedecadi1>. Je ferai une nouvelle présentation le 31 octobre à Paris dans le 12^{ème} arrondissement, dans les locaux de l'ESA. Les détails sur : <https://spacetalks.net/event/experiment-mars-with-aline>

Aline Decadi

L'EUROPE DANS LES MISSIONS À VENIR

InSight



Le 26 novembre 2018, après un voyage de 485 millions de kilomètres, l'atterrisseur InSight se posera sur le sol martien. InSight signifie *INterior exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport*.

Après son atterrissage, InSight déploiera ses instruments en préparation de sa mission pour étudier la structure interne de Mars, via le déploiement à sa surface d'une station géophysique. L'objectif de la mission est de mieux comprendre comment se forment les planètes rocheuses.

Il contient à son bord plusieurs instruments, dont le sismomètre français SEIS (*Seismic Experiment for Interior Structures*) qui mesurera l'activité tectonique de Mars, ce qui permettra d'en déduire des informations sur sa structure (taille du noyau, épaisseur du manteau...).

De nombreux événements seront organisés partout dans le monde pour l'occasion. Ne manquez pas la soirée qui sera organisée à la *Cité des Sciences et de l'Industrie* à Paris en présence de scientifiques et d'ingénieurs et en direct du Jet Propulsion Laboratory (JPL) à Pasadena en Californie. Y seront décrites les connaissances acquises sur Mars, les étapes et les enjeux de la mission, ainsi que la délicate phase de descente et d'atterrissage d'InSight en direct.

Voici le lien avec les détails de l'évènement :

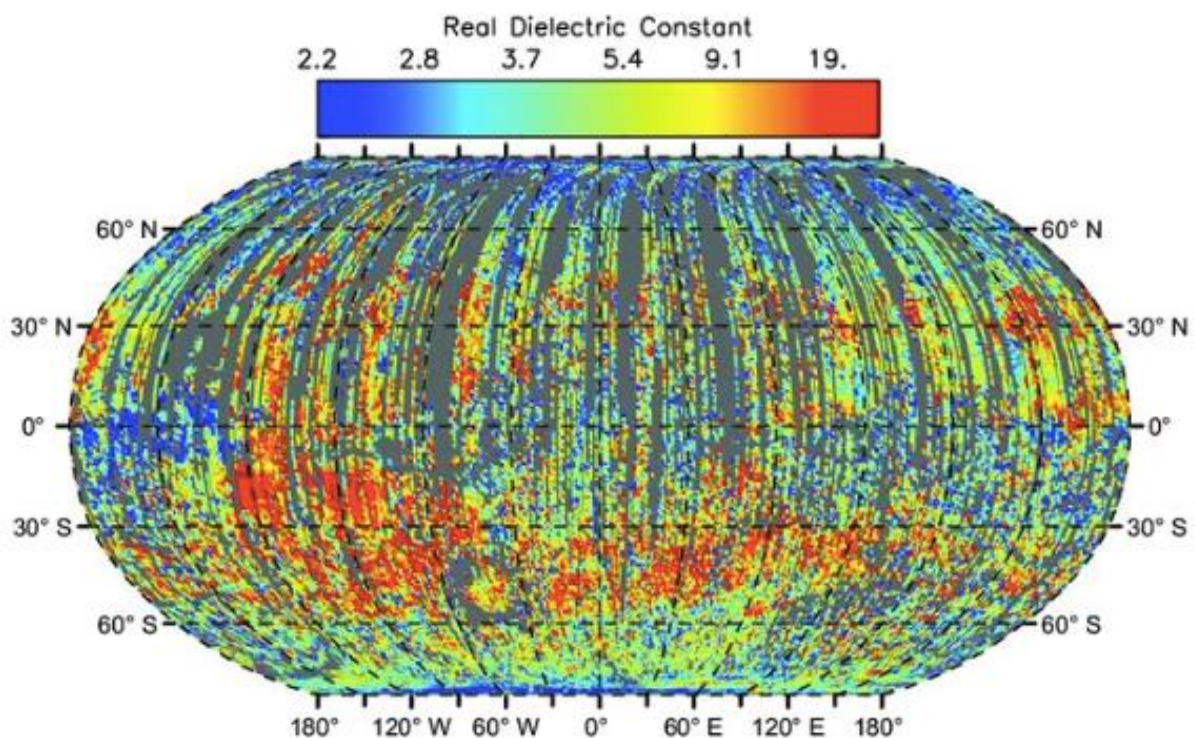
<https://spacetalks.net/event/insight-sur-mars-atterrissage-a-haut-risque/?lang=fr>

À la découverte de Mars !

Nous savons déjà que de l'eau glacée se trouve localisée dans la région polaire arctique.

Depuis les années 2000, les scientifiques nous ont montré de nombreux endroits sous la surface de Mars présentant de la glace d'eau, grâce aux observations des sondes spatiales Mars Odyssey, Mars Express et MRO (Mars Reconnaissance Orbiter). En 2008, le robot Phoenix nous en a fait la démonstration en localisant des dépôts de glace d'eau en égratignant simplement la surface, au 68^{ème} parallèle.

Début 2018, ces dépôts étaient observés pour la première fois sur le flanc de falaises, par la sonde MRO. Ces empilements de glace ont beaucoup à raconter sur les conditions passées sur



Carte globale des mesures de constante diélectrique du sol martien, permettant d'évaluer la concentration en glace d'eau). (doc. NASA)

Mars. Peu profondes, bien localisées, ces réserves d'eau pourraient constituer des ressources faciles d'accès dans des latitudes moyennes. Pour les scientifiques, c'est une excellente opportunité d'étudier plus en détail le passé géologique et climatique de la Planète rouge.

Nous avons également entendu parler en juillet 2018 de la découverte d'un lac d'eau liquide salée d'environ 20 kilomètres de large sous la surface de Mars, près du pôle Sud. Après bientôt 15 années de sondages du sol avec le radar de la sonde européenne Mars Express, c'est cette mission de l'ESA qui a fait la découverte. En orbite autour de la Planète rouge, la sonde, avec son instrument MARSIS (*Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionospheric Sounding*), a mis en évidence ce lac logé sous une couche de glace et de poussière d'environ 1,5 kilomètre d'épaisseur. Et pour que MARSIS repère cette masse d'eau, il faut qu'elle soit profonde d'au moins quelques dizaines de centimètres.

Par conséquent, il est aujourd'hui généralement admis que Mars a possédé de grandes quantités d'eau très tôt dans son histoire, période durant laquelle neige et pluie tombaient sur la planète, créant rivières, lacs. De grands dépôts d'argile ont été produits. La vie peut peut-être même y avoir vu le jour. Les grandes surfaces d'eau liquide ont disparu, mais les changements climatiques ont fréquemment déposé de grandes quantités de matériaux riches en eau aux moyennes latitudes.

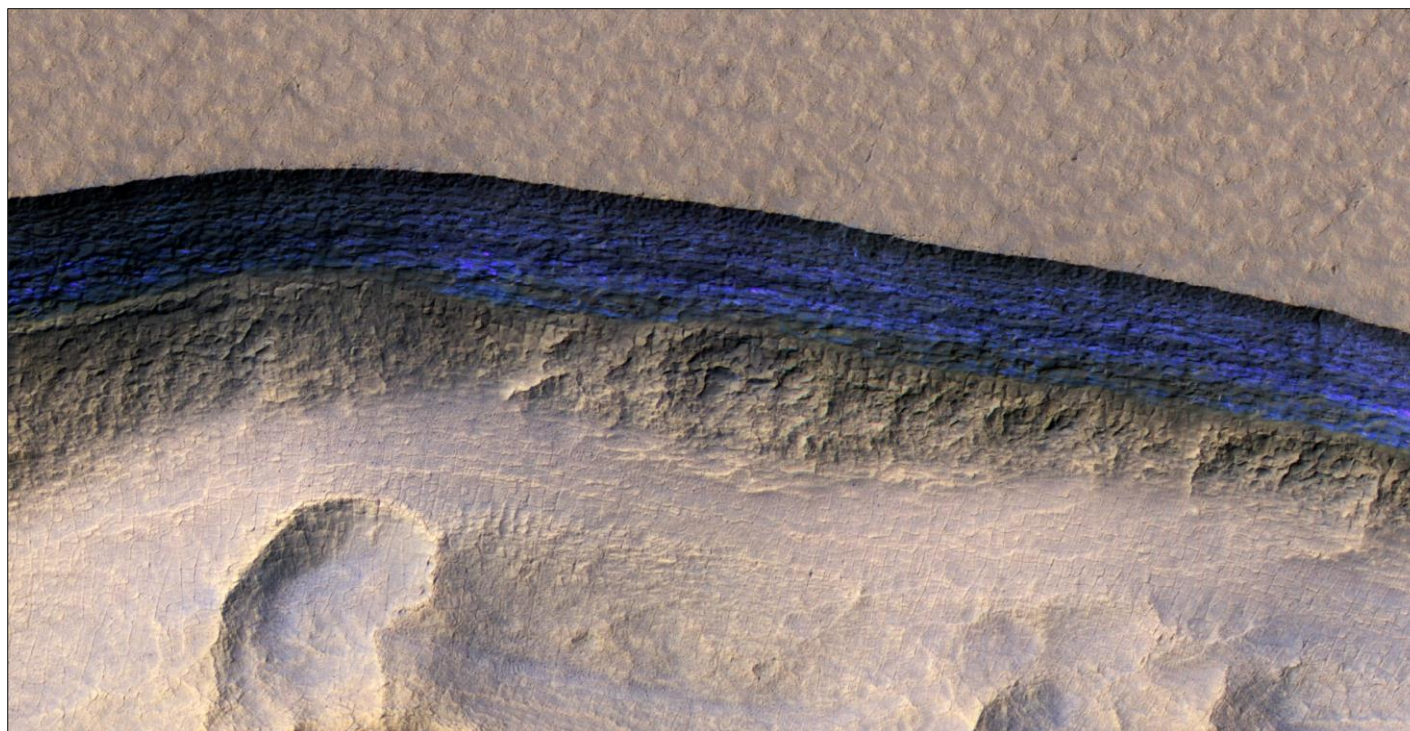
Il existe aujourd'hui une cartographie des zones accessibles (en particulier aux latitudes moyennes) et correspondant à de

potentielles zones d'eau glacée à une profondeur très faible (de quelques dizaines de cm à quelques mètres).

De nombreuses missions robotiques sont prévues pour aller prélever des échantillons et les ramener sur Terre : Mars 2020 sera chargé de la collecte d'échantillons martiens ; un rover récupérateur aura pour fonction de récupérer le conteneur des échantillons collectés par Mars 2020 et le rapporter au MAV (Mars Ascent Vehicle) ; le MAV, aura pour fonction de ramener le conteneur en orbite martienne à quelque 600 km. Une autre sonde se chargerait ensuite de les récupérer et les apporter sur Terre. Il est à mentionner qu'en avril 2018, une lettre d'intention pour la réalisation de la mission « Mars Sample Return » a été signée entre la NASA et l'ESA pour s'accorder sur un partage des responsabilités. Dans ce cadre-là, l'Europe réaliserait le rover récupérateur, le bras de récupération et de transfert des échantillons dans le conteneur et du conteneur sur le MAV, ainsi que le satellite de capture et de retour vers la Terre. Ce développement sera confirmé dès que les états membres de l'ESA auront approuvé la participation de l'ESA à cette mission inédite lors de sa conférence ministérielle, prévue en 2019.

En complément, il serait nécessaire d'utiliser des satellites pour relayer les télécommunications, tester les techniques à mettre en œuvre et assurer le support de cette mission de retour d'échantillons. Ainsi, il serait envisagé d'utiliser les satellites MAVEN et MRO de la NASA, et de s'appuyer également sur l'Agence spatiale européenne (ESA). Ceci est donc très prometteur pour les futures missions d'exploration martienne robotiques à échelle européenne.

Aline Decadi



Ont collaboré à ce numéro : Pierre Brisson, Philippe Clermont, Aline Decadi, Richard Heidmann, Dominique Ledevin, Patrick Sibon.

Achevé d'imprimer : Objectif numérique 56100-Lorient

Dépôt légal : octobre 2018

Cette photo spectaculaire révèle que ce terrain désertique recèle en fait un proche sous-sol riche en glace (ici, en fausses couleurs, en bleu). En bien des régions, la glace d'eau sera une ressource facilement accessible.
(doc. NASA/JPL)