

Bulletin

100

Janvier 2025

Bulletin APM

Sommaire

Editorial P. 2

"4Artemis3", simulation d'isolement en habitat lunaire ou martien P. 3

Gestion de la poussière martienne P. 11

Vie de l'association. P. 19





Bulletin n°100, janvier 2025.

Images de la page de couverture :

- Planète Mars, image NASA.
- Curiosity Landing with the Crane, image NASA.
- Mars Desert Research Station en Utah, image Alain Souchier, APM.

Association Planète Mars : <https://planete-mars.com/>

Editeur du bulletin : Jean-Marc Salotti

SOMMAIRE

Editorial.....	2
"4Artemis3", simulation d'isolement en habitat lunaire ou martien.....	3
Gestion de la poussière martienne.....	11
Vie de l'Association, octobre à décembre 2025.....	19



Editorial

Par Jean-Marc Salotti,

Pour la 100^{ème}, hommage à Richard Heidmann

Cette 100^{ème} édition du bulletin de l'association est dédiée à Richard Heidmann, qui se retire de la vice-présidence de l'association pour raison de santé.

Membre fondateur de Planète Mars, expert en astronautique, auteur de nombreux articles scientifiques et techniques, conférencier passionnant, longtemps responsable de l'édition du bulletin (toujours impeccable autant sur le fond que sur la forme), auteur également d'un roman de science-fiction qui se déroule sur Mars, les contributions de Richard Heidmann sont très nombreuses et toujours d'une grande justesse technique.

A titre personnel, je retiens en particulier ses contributions sur l'analyse des capacités du Starship ainsi que ses travaux sur les colonies martiennes, qui avaient d'ailleurs été primés lors du concours de la Mars Society. Il serait dommage que ces études se perdent dans les archives de l'association.

Fort heureusement, et c'est l'autre information importante, nous démarrons un Wiki sur les missions martiennes habitées, wiki accessible depuis le site web APM, et des liens fixes ont déjà été insérés vers des contributions de Richard Heidmann. Concernant les missions martiennes habitées, on trouve déjà sur Internet de nombreuses informations pertinentes, y compris sur Wikipédia. Toutefois, sur de nombreux sujets, les informations sont succinctes et incomplètes. L'objectif est de fournir une information structurée, plus riche, parfois même relativement technique, en abordant toutes les problématiques des missions martiennes habitées. C'est un travail de longue haleine...

En attendant de remplir ce Wiki, au nom du Président Philippe Clermont et de tous les membres du Conseil d'Administration, nous vous souhaitons une excellente année 2025 !

Jean-Marc Salotti



"4Artemis3", simulation d'isolement en habitat lunaire ou martien

Par Clara Laforet^{1,2}

¹École Nationale Supérieure de Cognitique, Bordeaux INP

²LUNEX EuroMoonMars

1. Artemis III

Artemis III, prévu au plus tôt pour septembre 2026, marquera le retour des humains sur la Lune, plus de cinquante ans après la dernière mission habitée. Pendant cette mission d'environ 30 jours, les astronautes voyageront jusqu'à l'orbite lunaire, où deux membres de l'équipage - la première femme et le premier homme de couleur - descendront sur la surface de la Lune. Ils passeront environ 6,5 jours à proximité du Pôle Sud avant de remonter en orbite pour retrouver leurs coéquipiers et entamer leur voyage de retour vers la Terre [1].

Cette mission a pour ambition de renforcer notre compréhension scientifique de l'environnement lunaire tout en posant les bases d'une présence humaine durable sur la Lune d'ici la fin de la décennie. Pour cela, des bases lunaires seront installées sur le Pôle Sud, un endroit particulièrement intéressant pour l'exploration en raison de la présence potentielle d'eau sous forme de glace dans les cratères ombragés [1]. Ces bases serviront à tester et à développer des technologies pour des missions humaines futures, non seulement sur la Lune, mais aussi pour des missions vers Mars.

2. Missions d'astronautes analogues

Étant donné que les missions spatiales coûtent très cher, les agences spatiales les préparent soigneusement sur Terre, notamment dans des répliques d'environnements lunaires ou martiens. Pour ce faire, elles font appel à des volontaires prêts à s'isoler pendant de longs mois, dans des conditions proches de celles qu'affronteront les astronautes lors de missions réelles. Ces simulations, appelées missions analogues, visent à reproduire les défis de l'exploration spatiale pour mieux les anticiper et garantir le succès des futures missions sur la Lune ou sur Mars.

Ces missions analogues se déroulent dans des lieux choisis pour leur ressemblance avec les environnements lunaires ou martiens, tels que des déserts arides, des régions volcaniques, des grottes profondes ou des habitats artificiels isolés. Un exemple notable est la Mars Desert Research Station (MDRS), située dans le désert de l'Utah, qui est détenue et exploitée par la Mars Society [2]. Cet environnement, reproduisant les conditions de la planète Mars, permet aux chercheurs et



volontaires de tester des protocoles scientifiques dans un milieu hostile.

Certaines missions analogues vont encore plus loin en simulant des bases lunaires totalement fermées, où les participants vivent dans un habitat sans fenêtre, coupés de tout contact visuel avec l'extérieur. Contrairement aux simulations menées dans des environnements naturels rappelant la Lune ou Mars, ces missions se concentrent sur les effets psychologiques et comportementaux de l'isolement complet, ainsi que sur la gestion des ressources et des activités dans un espace entièrement confiné.

3. 4Artemis3

3.1 Introduction

La société Analog Astronaut Training Center (AATC) géré par Agata Kołodziejczyk à Cracovie, en Pologne, détient l'un de ses habitats artificiels conçus pour simuler les conditions d'une base lunaire ou martienne, offrant un environnement complètement isolé et dépourvu de fenêtres [3].

Chaque année, LUNEX EuroMoonMars dirigé par Bernard Foing, organise des missions analogues en collaboration avec l'AATC [2]. En mai 2024, la 20^{ème} campagne (EMMPOL20, pour EuroMoonMars POLand 20), intitulée 4Artemis3 s'inscrit dans les préparatifs pour Artemis III [4, 5]. Le nom "4Artemis3" repose sur un jeu de mots : le chiffre « 4 » (phonétiquement « for » en anglais) souligne son rôle de mission préparatoire pour Artemis III.

Durant cette simulation, une femme et un homme ont été isolés dans l'habitat lunaire analogue de l'AATC recréant les conditions d'Artemis III où deux astronautes descendront sur la surface de la Lune. En parallèle, deux autres membres jouaient le rôle des astronautes restés en orbite, opérant depuis le centre de contrôle de l'AATC [4, 5]. Ce centre simulait l'orbite rétrograde lunaire, où l'équipage restant à bord de l'Orion accompagnera à distance les opérations sur la surface [1].

3.2 Présentation de l'équipage

L'équipage de la mission 4Artemis3 était composé de deux membres, chacun assumant des rôles bien précis pour le succès de la mission (voir figure 1). Clara Laforet, la Commandante et Officier des Données supervisait les objectifs de la mission, assurait le suivi des expériences et garantissait la qualité des données collectées. Matthew Harvey, l'Officier des Communications et Médecin assurait la liaison avec le Centre de Contrôle de Mission et surveillait la santé de l'équipage, intervenant en cas de besoin médical. Tout au long de la mission, l'équipage portait une montre connectée et un capteur électrocardiographique (ECG) placé sous la poitrine pour surveiller en continu leurs données physiologiques.



Figure 1 : Equipage de la mission 4Artemis3.

3.3 Description de l'habitat

Pendant sept jours, l'équipage de la mission 4Artemis3 a été confiné dans un habitat de 52,7 m², sans fenêtres, composé de six modules distincts : une chambre (16,2 m²) avec trois lits superposés, un géolab (12,8 m²) conçu pour réaliser diverses expériences, une salle de sport (4 m²) composée d'un tapis de course, d'un vélo d'appartement, de poids ..., une pièce principale (15,3 m²) servant à la fois de cuisine et de laboratoire, des toilettes (2 m²) et un abri (2,2 m²) offrant un espace sécurisé en cas d'urgence. L'équipage type étant généralement composé de six astronautes analogues, l'espace pour deux personnes était donc confortable.

Des systèmes de ventilation installés dans l'habitat assuraient une circulation d'air adéquate pour maintenir un environnement sain pour l'équipage.



Figure 2 : Plan de l'habitat d'AATC. Crédit AATC [3].



Figure 3 : Habitat d'AATC, le géolab (à gauche) et le laboratoire dans la pièce principale (à droite).

3.4 Déroulement d'une journée

Lors de la mission, l'équipage ne disposait pas de l'heure terrestre. Les journées étaient organisées en cycles horaires de H0, l'heure du lever à H16, l'heure du coucher.

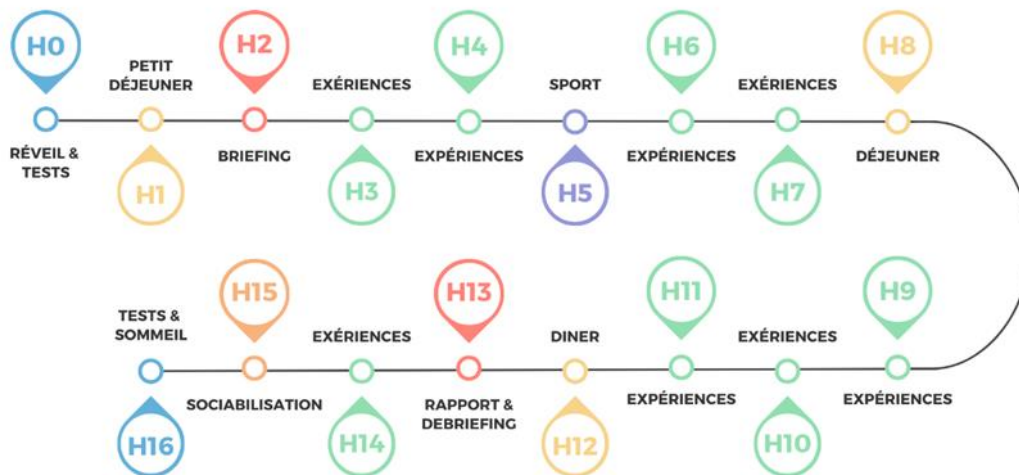


Figure 4 : Planning d'une journée lors de la mission 4Artemis3.

H0 était consacrée au réveil et aux tests matinaux. Lors de ces tests, les membres de l'équipage remplissaient des fiches de données en y inscrivant les informations de sommeil obtenues via la montre connectée, ainsi que les résultats des tests de bio-impédance. Des tests de temps de réaction



et de perception du temps étaient également effectués. Des tests urinaires étaient réalisés tous les trois jours le matin pour vérifier la bonne santé de l'équipage.

Le petit-déjeuner avait lieu à H1 selon un régime spécifique (classique, végétarien ou sans gluten, comme c'était le cas pour l'équipage). Chaque calorie consommée pendant les repas, ainsi que le volume de liquides ingérés était enregistré sur la fiche de données. L'équipage mesurait et enregistrait également l'utilisation de l'eau, répartie en différentes catégories : eau verte (aquaponie), eau grise (technique et hygiénique), eau jaune (urine) et eau brune (selles).

À H2, l'équipage tenait un briefing avec le centre de contrôle pour communiquer leurs ressentis et discuter du programme de la journée.

Entre H3 et H7, l'équipage disposait de temps libre pour mener des expériences personnelles ou collectives avec une heure dédiée à l'exercice physique en salle de sport, programmée à des moments différents pour chaque membre de l'équipage : course sur tapis, vélo d'appartement, musculation et yoga.

Les métriques corporelles comme la température, le rythme cardiaque et la fréquence respiratoire étaient enregistrées avant et après les séances d'entraînement, avec des données sur la durée de l'exercice, la distance parcourue et les calories brûlées. En l'absence de douche, l'équipage utilisait des lingettes pour l'hygiène quotidienne.

Le déjeuner était prévu à H8, suivi de nouveau de temps libre pour des expériences entre H9 et H11. Le dîner avait lieu à H12.

À H13, l'équipage rédigeait un rapport quotidien résumant les activités réalisées et listant la consommation alimentaire du jour (boisson comprise). Après cela, l'équipage faisait un debriefing avec le centre de contrôle.

H14 était réservée aux expériences supplémentaires et H15 aux interactions sociales entre membres de l'équipage. H16 était consacrée aux tests du soir, similaires à ceux du matin, avant de démarrer la phase de sommeil.

Toutes les deux heures, les membres de l'équipage devaient enregistrer leur température, leur poids, leur fréquence respiratoire et décrire leur humeur.

Par ailleurs, tous les appels effectués, les médicaments pris et les problèmes rencontrés dans l'habitat durant la journée devaient être consignés sur la fiche de données.



Afin de simuler les effets d'une tempête solaire qui surviendrait pendant une mission, l'équipage a connu une période de panne électrique où il a été plongé dans l'obscurité totale pendant trois jours. Cet événement imprévu a nécessité des ajustements importants à sa routine car l'absence de lumière a affecté non seulement sa capacité à réaliser certaines activités quotidiennes (expérimentations, exercices physiques...) mais aussi son équilibre psychologique.

3.5 Expériences scientifiques

Pendant la mission, plusieurs expériences ont été réalisées, à la fois individuelles et collectives, afin d'évaluer le bien-être mental et physique de l'équipage [4, 5].

Expérience psychologique et physiologique

Le bien-être mental de l'équipage a fait l'objet d'un suivi rigoureux tout au long de la mission, grâce à une collecte quotidienne de données et à un suivi continu de l'électrocardiogramme (ECG). Dès le début, les membres de l'équipage ont dû s'adapter à une routine exigeante, marquée par une charge cognitive importante liée aux tests quotidiens et par un manque de sommeil, aggravé par le stress initial de la mission, le bruit constant de la ventilation et l'absence de lumière naturelle. La privation totale de lumière durant la période de blackout a encore intensifié les perturbations des rythmes circadiens, avec des effets physiologiques notables, comme une dilatation pupillaire.

Cependant, l'équipage a progressivement trouvé un équilibre, notamment grâce à l'exercice physique. Outre les activités traditionnelles comme la course, l'équipage a expérimenté l'utilisation du casque de réalité virtuelle MetaQuest 2 avec le jeu Beat Saber pendant la période de blackout en tant qu'alternative aux exercices traditionnels [6]. Cette activité a été réalisée en deux sessions d'une heure répartie sur deux jours, avec des pauses régulières pour surveiller la pression artérielle et le rythme cardiaque. Bien qu'elle ait eu un effet bénéfique sur le moral en fournissant une distraction mentale face à l'isolement, cette méthode s'est révélée moins efficace physiquement que les exercices traditionnels et une utilisation prolongée du casque a entraîné des douleurs oculaires.

Ensuite, l'équipage n'étant composé que de 2 personnes, la bonne dynamique de groupe permettant de préserver un état d'esprit positif s'installait rapidement. Par ailleurs, lorsque l'équipage consommait un aliment très apprécié, cela avait un impact direct sur leur moral en apportant une sensation de plaisir et de réconfort.

L'équipage a également trouvé un réconfort dans la culture de plantes. Le soin apporté à ces plantes, ainsi que leur évolution jour après jour, a permis de créer un lien symbolique avec la Terre, offrant aux membres de l'équipage un sentiment de responsabilité et d'accomplissement [7]. Une caméra, installée sur un rover, permettait également d'observer les plantes depuis les postes de



travail.

Cette expérience a mis en évidence l'importance d'une routine bien structurée, d'un environnement stable, d'une cohésion d'équipe forte et de l'intégration d'éléments naturels pour préserver le bien-être des astronautes dans des conditions d'isolement extrême.

Expérience physique

Toutes les huit heures, l'équipage mesurait les niveaux de radiations et les champs électromagnétiques dans chaque module de l'habitat à l'aide de dosimètres. Ces relevés étaient systématiquement corrélés avec l'activité solaire pour analyser l'exposition des astronautes analogues aux radiations et identifier les appareils électroniques émettant d'importants champs électriques et magnétiques.

Certaines données collectées ont démontré que l'activité solaire exerçait une influence sur les niveaux de radiation ainsi que sur les champs électromagnétiques au sein de l'habitat. Ces résultats mettent en lumière l'importance d'intégrer la surveillance de l'activité solaire dans la gestion des risques associés aux radiations et aux interférences électromagnétiques. Une telle surveillance est essentielle pour garantir le bon fonctionnement des équipements électroniques critiques, protéger la santé des astronautes face à une exposition prolongée aux radiations et orienter la conception de futurs habitats spatiaux mieux protégés [8].

4. Conclusion

La mission analogue 4Artemis3 a fourni des données précieuses directement applicables à Artemis III en simulant les conditions extrêmes d'un habitat lunaire pour analyser les impacts psychologiques, physiologiques et physiques sur l'équipage. Ces enseignements permettent non seulement de réduire les risques d'une mission spatiale et de garantir le bien-être des astronautes, mais aussi de contribuer à la réussite d'une installation humaine sur la Lune, étape essentielle pour préparer l'exploration de Mars.

Les défis d'isolement rencontrés pendant la mission sont bien évidemment utilisés pour anticiper les obstacles futurs sur la planète rouge, plaçant chaque étape d'Artemis III dans une perspective plus large d'exploration humaine au-delà de la Lune.

Remerciements

Je tiens à remercier l'Analog Astronaut Training Center, et tout particulièrement Agata Kolodziejczyk ainsi que son équipe, pour l'organisation de la mission 4Artemis3. Je souhaite également exprimer ma gratitude à ILEWG LUNEX EuroMoonMars et EuroSpaceHub, notamment Bernard Foing, pour le co-financement de cette mission, ainsi qu'à Matthew Harvey pour sa collaboration tout au long de celle-ci.



Références

- [1] Smith M., et al. The Artemis program: an overview of NASA's activities to return humans to the moon. 2020 IEEE aerospace conference, 2020. p. 1-10.
- [2] Foing, B. H., Stoker, C., Zavaleta, J., Ehrenfreund, P., Thiel, C., Sarrazin, P., ... & EuroGeoMars, I. L. E. W. G. (2011). Field astrobiology research in Moon–Mars analogue environments: instruments and methods. *International Journal of Astrobiology*, 10(3), 141-160.
- [3] Analog Astronaut Training Center. 2024. From <https://www.astronaut.center/>.
- [4] Laforet, C., Harvey, M., Foing, B., Kołodziejczyk, A. (2024). Simulating the 6.5 days surface Artemis 3 mission with a first woman and man: EMMPOL20 4Artemis3 EuroMoonMarsPoland May 2024 Analog Astronaut Campaign. In Europlanet Science Congress 2024.
- [5] Laforet, C., Harvey, M., Foing, B., Kołodziejczyk, A. (2024). EuroMoonMarsPOLand Space Analog Simulation Campaign 2024: studies on human behaviour combined with human-system interaction. In International Astronautical Congress 2024.
- [6] Thomas, L. J. (2023). The future potential of virtual reality countermeasures for maintaining behavioural health during long duration space exploration. *Frontiers in Virtual Reality*, 4, 1180165.
- [7] Schlacht, I. L., Kolrep, H., Daniel, S., & Musso, G. (2020). Impact of plants in isolation: The EDEN-ISS human factors investigation in Antarctica. In *Advances in Human Factors of Transportation: Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Transportation*, July 24-28, 2019, Washington DC, USA 10 (pp. 794-806). Springer International Publishing.
- [8] Dobney, W., Mols, L., Mistry, D., Tabury, K., Baselet, B., & Baatout, S. (2023). Evaluation of deep space exploration risks and mitigations against radiation and microgravity. *Frontiers in Nuclear Medicine*, 3, 1225034.

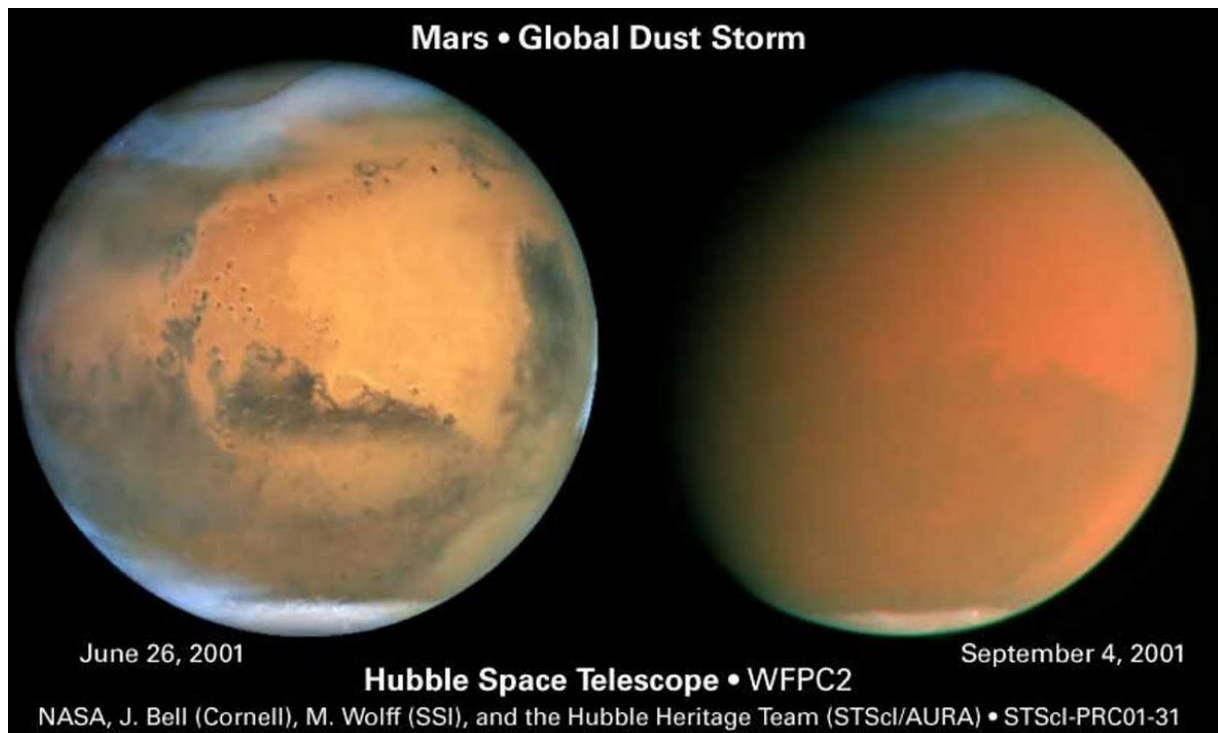


Gestion de la poussière martienne

Par Pierre Brisson, APM

Introduction

La poussière ultrafine rend difficile, déjà au stade robotique, l'exploration de Mars. Elle risque de poser de sérieux problèmes aux missions habitées et à la vie humaine. La NASA recherche des solutions pour la Lune dans le cadre de son initiative générale, « LSII ». Ces solutions bénéficieront aussi à l'activité sur Mars car sur ce plan les deux astres sont semblables et la prolongation pour Mars est déjà clairement énoncée. Dans ce cadre, l'Université d'Hawaï, PHU, a proposé un tissu, LiqMEST, qui pourrait empêcher l'adhérence aux surfaces. La NASA elle-même propose, via le Kennedy Space Center, un traitement électronique des surfaces, l'EDS (Electronic Dust Shield Experiment). D'autres solutions sont en gestation, plus ou moins avancées. Elles sont éventuellement complémentaires. Mais d'abord, qu'est-ce que la poussière martienne ?



1. Poussière martienne

Elle est constituée de petites particules minérales riches en fer (mais composées aussi de toutes sortes de minéraux, dont des silicates) qui n'ont pas pu se stabiliser ou s'agglomérer parce qu'il n'y a pratiquement pas d'eau liquide sur Mars, sauf à de rares périodes de plus en plus espacées dans le temps (périodes pendant lesquelles le problème est bien sûr temporairement partiellement résolu et la



diagénèse très active). Ces particules résultent soit des impacts de météorites, soit de la décomposition de roches accentuée par l'érosion éolienne, soit in fine de la saltation des grains de sable (c'est-à-dire de la dégradation des plus grosses particules en plus petites du fait de leur déplacement et de leur friction avec d'autres grains, ou la roche, causés par le vent).

Les particules ou grains sont de toutes tailles, mais peuvent être extrêmement petites. On a pu l'observer « de très près » avec le microscope à force atomique FAMARS* embarqué à bord de la sonde PHOENIX en 2007 et qui a étudié l'environnement martien de mai à novembre 2008 par 68° de latitude Nord. Le seuil entre sable et poussière, communément admis en granulométrie, est de 0,0625 millimètres (62,5 µm, micromètres). FAMARS a pu distinguer des particules jusqu'à 0,1 µm et a pu constater la très forte abondance des grains autour de 10 µm. Pour référence, les masques chirurgicaux dont il était recommandé le port pendant la période du COVID devait avoir une efficacité de filtration bactérienne > 98% d'un aérosol de taille moyenne 3 µm. Compte tenu de la faible érosion locale les grains de poussière martiens sont un peu moins acérés que ceux de la poussière lunaire mais quand même très anguleux.

**La thèse de doctorat de Sebastian Gautsch (Université de Neuchâtel, aujourd'hui adjoint au directeur de la section microtechnique de l'EPFL et vice-président de la Mars Society Switzerland) a été consacrée à la conception de cet instrument (voir lien ci-dessous).*



Photos prises au début et à la fin de la même tempête, le Soleil étant hors champ (à gauche 7 juin, à droite 10 juin). Le contraste est moins marqué et la visibilité faible mais non nulle. Photos crédit NASA (MastCam Curiosity).

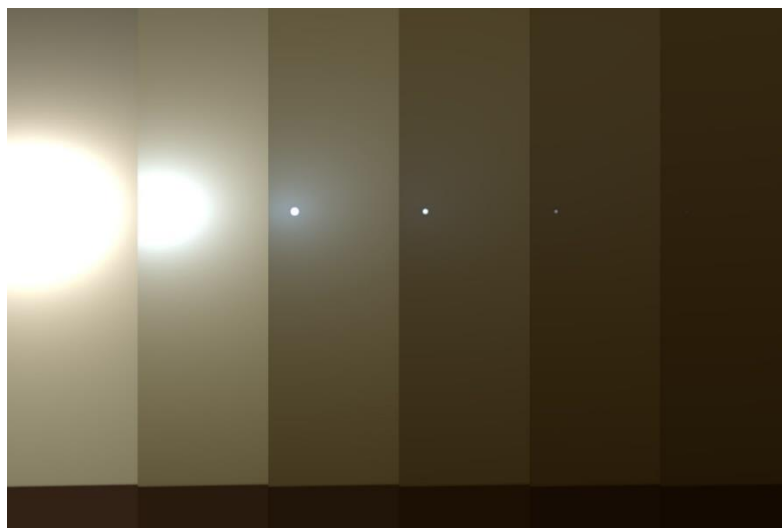
Le vent a transporté la poussière partout autour du globe, le sable moins loin en dehors de sa zone de formation, en raison du poids supérieur des grains. Comme les grains sont très petits et très peu massifs, ils sont portés par l'atmosphère, bien sûr quand il y a du vent mais pas seulement ; une certaine quantité reste toujours en suspension dans l'air. C'est ce qui donne la coloration ocre rouge



au ciel pendant la journée. Au sol, on trouve cette poussière partout, en couches plus ou moins fines, dissimulant par son ocre rouge, les autres couleurs. Elle a été concentrée dans le creux des reliefs où les endroits protégés qui se prêtaient à son accumulation et le sable supportant davantage une structuration en hauteur, a été aligné en dunes. Il y a beaucoup de dunes sur Mars, mais il y a aussi beaucoup de bancs de « sables mouvants » (poussière) dans les creux du relief. Il est intéressant de noter que le brassage de la poussière au niveau planétaire crée sans doute une homogénéité dans une diversité minéralogique très élevée. Il en est de même, mais dans une moindre mesure localement pour le sable (puisque le sable de par sa masse, voyage moins). Cette poussière et ce sable seront donc des ressources minérales de la planète, facilement utilisable par l'Homme, puisque facilement prélevable et manipulable.

Cependant la poussière présente plusieurs aspects négatifs : sa capacité à obscurcir l'atmosphère et à pénétrer « partout » à cause du vent, ses formes anguleuses, sa susceptibilité aux forces électrostatiques.

Sur Mars, par rapport à ce qui se passe sur la Lune, le phénomène est aggravé par l'atmosphère. On sait que cette atmosphère est très ténue (pression de 610 pascals à l'altitude « moyenne », équivalente à celle du niveau de la mer sur Terre). Avec la sécheresse ambiante des quantités énormes de grains de poussière et dans une moindre mesure de sable peuvent être emportés dans des « tempêtes de poussière » qui ne sont pas exceptionnelles. Toutes les trois années martiennes environ, elles peuvent devenir planétaires et durer plusieurs semaines en obscurcissant le ciel, limitant fortement sinon empêchant totalement l'utilisation de l'énergie solaire et tendant à pénétrer les rouages des machines ou les interstices des volumes qui devraient être clos. Cela a beaucoup gêné la fin de la mission Opportunity. Les deux roues avant du rover avaient été immobilisées, usées certes par les aspérités du sol mais dont les articulations avaient aussi été complètement grippées par la poussière.



Tempête de juin 2018 subie par le rover Curiosity. Vues vers le Soleil. L'énergie reçue est passée de 645 W/m² le 5 juin à moins de 22 W/m² le 10 juin. Photos Crédit NASA.



Un autre aspect négatif de la poussière est que ses grains ne pouvant être humidifiés (l'humidité très basse empêche l'évacuation des charges électriques), elle est extrêmement sensible à l'électricité statique, donc « collante ». On retrouve ainsi la poussière sur toutes les surfaces. On a pu constater sur les différents équipements robotiques envoyés sur Mars qu'irréremédiablement et assez rapidement, les surfaces se teignent de cette même couleur. Ceci montre bien que les matériaux les plus lisses ne peuvent éviter d'être revêtus par cette matière diffuse comme s'ils en étaient imprégnés. Pour le moment cela est surtout gênant pour les panneaux solaires dont la capacité de captation d'énergie est altérée. Opportunity a été « tué » par une tempête de poussière qui l'a empêché de recueillir par ses panneaux photovoltaïques totalement enduits, l'énergie minimum qui lui était nécessaire pour passer l'hiver austral martien. Plus tard, quand l'homme vivra sur Mars, il risque de l'importer sur sa combinaison ou ses instruments à l'intérieur des habitats. Une fois son casque de scaphandre retiré, il respirera l'air ambiant. Si sa combinaison n'a pas été impeccablement dépoussiérée, il absorbera des particules car disséminées dans l'habitat, elles seront très difficiles à aspirer mécaniquement. Elles pourraient lui apporter la silicose et gêner le bon fonctionnement de différents appareils indispensables. Il faudra donc impérativement s'en débarrasser, au plus tard dans le sas d'accès.

2. Solutions

2.1 La NASA en première ligne

On cherche depuis des années les solutions. Celles qu'on envisage aujourd'hui (en dehors des méthodes plus classiques de vibration des surfaces, de soufflage ou d'aspiration) sont de trois ordres : la structure des tissus, le nettoyage par projection de gaz et le nettoyage par polarisation électrique.

Les recherches sont menées par la NASA (plus précisément son Space Technology Mission Directorate) dans le cadre de la LSII (Lunar Surface Innovation Initiative) par l'intermédiaire du LSIC (Lunar Surface innovation Consortium) dirigé par le John Hopkins University Applied Physics Laboratory (JHU/APL). La LSII a été créée en 2019. Il s'agit de stimuler l'intérêt et l'innovation dans les technologies de l'exploration lunaire par missions habitées (identification des besoins et évaluation des travaux, recommandations, centralisation des données et des résultats). L'action est menée via des partenariats ou des « collaborations » auxquels participent la NASA au côté du JHU (financièrement comme techniquement). Mars est clairement déjà nommée comme l'étape où les technologies découvertes et devenues opérationnelles seront mises en œuvre après la Lune. L'on espère aussi des retombées sur les activités terrestres. Bien sûr la « dust mitigation », que l'on pourrait traduire par « atténuation des nuisances de la poussière », n'est pas la seule ligne de recherches (« key capability areas ») mais c'est l'une des six* que l'on a décidé d'entreprendre.

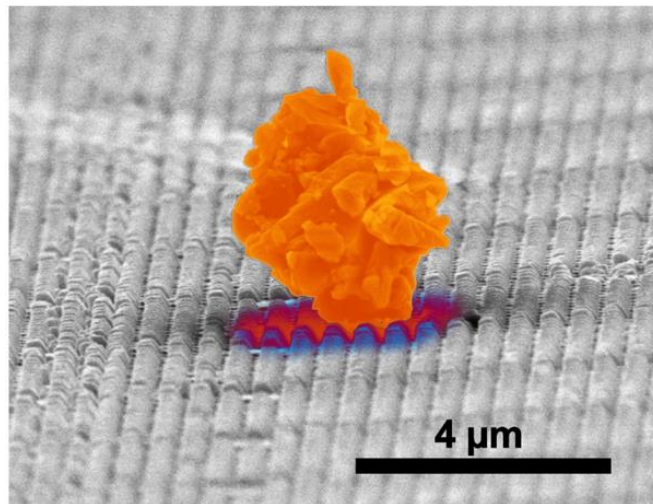
*Les autres sont (2) l'ISRU (In Situ Resources Utilization) bien connue des membres de la Mars Society puisque le concept en revient à son fondateur, Robert Zubrin ; (3) l'énergie (« surface power ») ; (4) l'extraction des minéraux et la construction (« excavation and construction ») ; (5) l'adaptation de l'homme et de ses équipements à l'environnement extrême (« extreme environment ») et (6) la



capacité d'accès aux sites difficiles (« extreme access »). La LSIC n'est pas une petite organisation puisqu'elle comporte 2400 participants actifs au sein d'un millier d'institutions ou établissements présents dans tous les états américains et une cinquantaine de pays étrangers.

2.2 Première solution, la structuration des tissus

Un tissu répulsif (« self-cleaning ») a été conçu (publication en février 23) par l'Université du Texas à Austin (UTA) avec la société Smart Material Solutions Inc. L'équipe a modifié la géométrie des surfaces planes pour créer un réseau serré de structures pyramidales nanométriques. Ces structures, angulaires et pointues, empêchent les particules de poussière d'adhérer au matériau. Ne pouvant coller à ce support, elles s'agglomèrent entre elles pour rouler ensuite en surface et tomber au sol sous l'effet de la gravité. Copyright : American Chemical Society.



2.3 Deuxième solution, le nettoyage par projection de gaz ultra-froid

Un spray a été conçu (février 23) par l'Université de l'Etat de Washington (WSU). Il s'agit de projeter une pulvérisation d'azote liquide (forcément très froid) sur un tissu relativement beaucoup plus chaud que le gaz. Le nettoyage va se faire par effet Leidenfrost. NB : Cet effet peut être observé lorsque de l'eau froide est versée sur une poêle à frire chaude et qu'elle perle puis se déplace à la surface de la poêle. Par analogie, lorsque de l'azote liquide est pulvérisé sur une combinaison spatiale (même s'il y a isolation thermique, sa température est très largement plus élevée que celle du gaz), les particules de poussière sont extraites par le jet, s'accumulent sans pouvoir attacher et s'éloignent du tissu en flottant avec la vapeur d'azote.

2.4 Troisième solution, nettoyage par polarisation électrique

Un tissu très réceptif à la polarisation et en même temps souple et extensible a été conçu (Octobre 23) par l'Université d'Hawaï Pacifique (PHU). Lorsqu'il est activé, ce « LiqMest »*, doit générer un champ électrique qui empêche la poussière d'adhérer à sa surface. Son concepteur le Professeur Arifur Rahman de l'Université de Bangkok a obtenu une subvention de 50.000 dollars de la

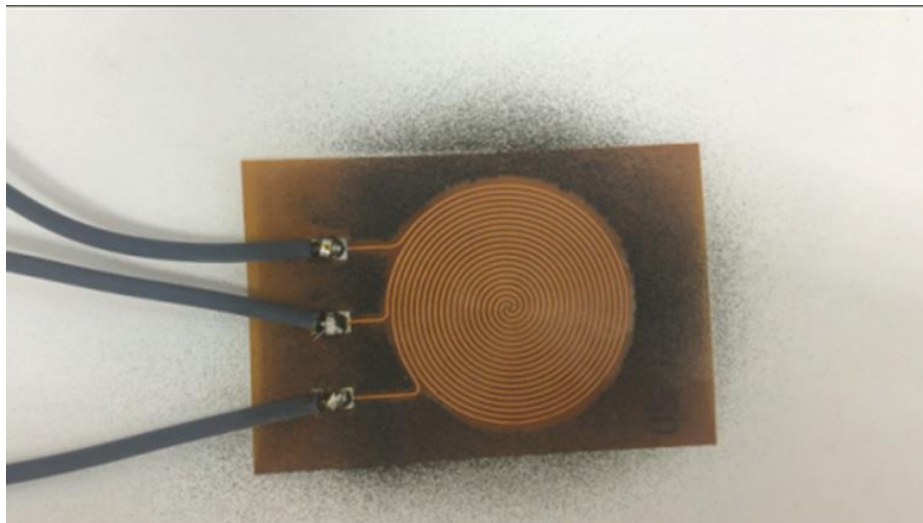


NASA pour présenter un prototype dans le délai d'un an (mai 24). Le tissu pourrait être utilisé pour la mission Artemis III (mi 2027)...mais aucun rapport sur le sujet n'apparaît encore en décembre 2024.

*Liquid Metal Electrostatic Protective Textile.

Une variante de cette dernière technologie est l'EDS (Electronic Dust Shield Experiment). Il s'agit de déstabiliser et dégager les poussières des surfaces à l'aide d'un champ électrique dynamique (avec plusieurs électrodes, chacune donnant une impulsion différente pour créer comme une ondulation de vagues). La technologie est étudiée au sein de la NASA (Kennedy Space Center). Elle vise la prévention de l'empoussiérement et le dépoussiérement de toutes sortes de surfaces solides : radiateurs thermiques, panneaux solaires, lentilles d'appareil photo et autre matériel nécessitant une protection contre la poussière. Elle a été testée en 2019 dans l'ISS dans le cadre de la série de tests MISSE-11 (Materials International Space Station Experiments)*. Des essais au sol avant le vol avaient montré que des électrodes posées sur des plaques de verre pouvaient éliminer « plus de 98 % de la poussière dans des conditions de vide poussé ». L'expérience dans l'ISS a confirmé l'intérêt du processus. Elle a fourni des données utiles sur les performances des électrodes, des revêtements et des composants électroniques qui lui sont propres. Une seconde expérience dans l'espace devrait partir sur la Lune en janvier 25 avec la « Blue Ghost Mission 1 (TO 19D) » de la société Firefly Aerospace (concepteur et producteur d'atterrisseurs lunaires) qui doit être lancée par un Falcon-9 de SpaceX.

*Le programme MISSE existe depuis 2001 (c'est tout l'intérêt de l'ISS).



Conclusion

Avec ces technologies, on a de bonnes probabilités d'obtenir une solution au problème de la poussière, non seulement pour les vêtements mais aussi pour les équipements. Si on développe un jour l'astronomie sur Mars, l'EDS sera incontournable (elle est spécifiquement prévue pour maintenir la propreté des optiques). Mais on peut aussi concevoir de mettre les différents équipements dont on aura besoin sous une bâche de liqMEST ou peut-être de nettoyer périodiquement les dômes et les



surfaces vitrées avec un spray d'azote liquide*. Le nettoyage effectué par des robots équipés d'une caméra sera par ailleurs l'occasion de vérifier l'état du dôme ou des baies vitrées des habitats. Pour les combinaisons spatiales on utilisera probablement les trois technologies ensemble.

*L'impact du gaz sur la surface vitrée (plaques laminées de 1,5 x 2 cm d'épaisseur) serait extrêmement bref, mais les lecteurs physiciens pourront sans doute dire si le choc thermique serait ou non supportable (ou à quelles conditions elles le seraient).

Références et liens

Liens :

La tempête de 2018 :

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190027303/downloads/20190027303.pdf>

LSII :

<https://www.nasa.gov/space-technology-mission-directorate/lunar-surface-innovation-initiative/>

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220012324/downloads/DARPA%20NOM4D%202022.pdf>

Tissu répulsif :

<https://interestingengineering.com/innovation/new-tech-solve-lunar-dust-problem>

<https://www.eurekalert.org/news-releases/980467>

<https://news.utexas.edu/2023/02/22/anti-dust-tech-paves-way-for-self-cleaning-surfaces/>

Réf. : ACS Appl. Mater. Interfaces 2023, 15, 10, 13678–13688.

Microscope FAMARS à force atomique :

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=15eb88aa339e4f766ade40475a6458af47f246ef>

LiqMEST :

<https://www.space.com/moon-spacesuit-dust-static-electric-field-hawaii-pacific-university>

<https://www.phonandroid.com/la-nasa-travaille-sur-des-combinaisons-spatiales-a-champ-electrique-pour-lutter-contre-les-poussieres-lunaires.html>

<https://www.hpu.edu/about-us/the-ohana/article.php?nid=nc10162301>

<https://interestingengineering.com/innovation/this-liquid-metal-fabric-will-protect-astronauts-from-lunar-dust>

Pulvérisation d'azote liquide :

<https://news.wsu.edu/press-release/2023/02/28/liquid-nitrogen-spray-could-clean-up-stubborn-moon-dust/>

Electrodynamic Dust Shield, EDS :

<https://www.nasa.gov/humans-in-space/science-in-space-week-of-sept-22-2023-exposing-materials-to-space/>

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20150016160/downloads/20150016160.pdf>

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experiment/display.action?id=BLUEGHOST-07>



<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=BLUEGHOST>

https://en.wikipedia.org/wiki/Firefly_Aerospace_Blue_Ghost

L'ISS comme laboratoire scientifique :

<https://www.nasa.gov/mission/station/research-explorer/investigation/?#id=8033>

Pierre Brisson



Economiste, ancien banquier, passionné de planétologie et de paléogéobiologie, membre fondateur de la Mars Society, président de la Mars Society Switzerland.



Vie de l'Association, octobre à décembre 2024

Par Jean-Marc Salotti, APM

Chers membres,

Nous vous souhaitons une très bonne année 2025 !

Voici les nouvelles de l'association pour le troisième trimestre 2024 :

- Richard Heidmann se retire de la vice-présidence de l'association (voir l'éditorial).
- Yves Monier nous informe d'une conférence très intéressante de la SAF sur MMX, mission martienne nipponne avec 2 instruments français. Le conférencier est Antonin Wargnier, doctorant astrophysicien au LESIA. Il présentera sa thèse dans 6 mois, puis ira au Japon continuer ses travaux en post-doc. La conférence est sur le web : <https://www.youtube.com/watch?v=4A4g-Li63Jk>
- Un "Wiki missions martiennes habitées", réservé aux membres, est maintenant accessible sur le site de l'association :

<https://planete-mars.com/wiki-missions-martiennes-habitees/>

De nombreux articles détaillés sont déjà disponibles, par exemples sur la composition de l'air des modules habités, sur les trajectoires astronautiques pour rejoindre Mars, sur la gestion de la poussière martienne (article de ce numéro) ou sur l'architecture de mission de référence de la NASA publié en 2009. Tous les thèmes ou presque sont ou seront abordés, que ce soit dans le domaine de l'astronautique, des technologies nécessaires à la surface de Mars, des systèmes de support de vie, de la psychologie, ainsi que les architectures de mission proposées par les spécialistes. C'est toutefois un travail de longue haleine et le wiki sera donc progressivement alimenté et modifié. N'hésitez pas à nous faire part de vos remarques et à apporter vos contributions !



DEVENIR MEMBRE :

Vous pouvez soutenir notre Association en devenant membre : <https://planete-mars.com/devenir-membre/>

Prenez soin de vous et en avant Mars !

Jean-Marc Salotti

Responsable du bulletin APM