

Bulletin

102

Juillet 2025

Bulletin APM

Sommaire

Editorial P. 2

Maîtrise des facteurs humains P. 3

The Martian Mindset P. 15

Nouvelles d'Exomars P. 19

Vie de l'association. P. 22





Bulletin n°102, juillet 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, Starship : doutes et espoirs	2
Maîtrise des facteurs humains	3
The Martian Mindset, un consortium de l'Université de Brême s'apprête à développer des systèmes de production pour Mars	15
Nouvelles d'Exomars	19
Vie de l'association	22



Editorial, Starship : doutes et espoirs

Par Philippe Clermont, Président APM

A l'heure où j'écris ces lignes, le projet Starship de SpaceX vient de connaître de sérieux revers. Rappelons que ce lanceur lourd (et même « super heavy » selon la terminologie de SpaceX), donnera une capacité de lancement jamais égalée¹. Il visera diverses applications : le lancement de satellites (et en premier Starlink) par grappes de dimensions jamais égalées, le transport point à point sur Terre, et surtout, une capacité de transport de personnes (100 personnes !) et cargo vers la Lune, Mars et au-delà.

Sa méthode de développement est également innovante, mode agile avec des cycles rapides d'essai / erreurs. C'est ainsi que SpaceX a déjà démontré des accomplissements exceptionnels : contrôle de 36 moteurs du booster Superheavy, la recapture de SH par des bras articulés lors de l'atterrissage. Et à terme, la capacité de réapprovisionnement en orbite (« orbit refueling »), une nouvelle capacité complètement innovante, qui va révolutionner le spatial.

Puis une première mission Lune puis Mars à moyen terme (quelques années). Starship est le projet le plus avancé susceptible de concrétiser notre ambition commune de l'Homme sur Mars.

Depuis ce début d'année, malheureusement, le projet subit des déconvenues majeures. Les vols 7, 8, 9 en 2025 se sont soldés par des échecs. Pire encore, récemment, un essai statique sol a explosé, détruisant probablement une partie du pas de tir.

Ces échecs n'ont rien d'anormal dans le développement d'un lanceur. On peut même dire que les démonstrations faites sont d'un niveau d'excellence exceptionnel. Mais un lanceur reste un système d'une complexité extrême !

Dans l'intérêt même du projet martien, souhaitons à SpaceX « un prompt rétablissement ».

Philippe Clermont

Président

PS : à vos agendas. Notez les dates des 28 et 29 novembre à Paris. Votre association organise EMC 2025, la réunion des Mars Societies Européennes, qui sera l'occasion de présentations d'experts de premier plan, et, bien sûr, sera ouverte par Robert Zubrin.

1: 100 à 150 tonnes en orbite basse, et en version totalement réutilisable

Maîtrise des facteurs humains

Par Jean-Marc Salotti, APM

Introduction

Les "facteurs humains" sont souvent invoqués comme causes premières des erreurs de conception, de réalisation ou d'organisation, avec comme conséquences de simples retards ou des accidents dramatiques comme celui de la navette spatiale Challenger. Dans l'espace ou sur Mars, dans un contexte environnemental dangereux, l'erreur humaine peut être fatale. Il convient donc d'y prêter une attention particulière et de faire au mieux pour réduire les risques qui y sont associés.



Figure 1 : Le NASA Safety Center (NSC) étudie les facteurs humains lors de simulations en piscine.

Selon Endsley, les erreurs humaines résultent d'une mauvaise décision due à une conscience de situation dégradée. Ce modèle est présenté au chapitre 1 (Endsley 2016). Pour éviter les erreurs, comme cela est suggéré par l'étude du modèle de Endsley, on peut agir à plusieurs niveaux :

- La conception des systèmes et des interfaces qui doivent être certifiés pour le vol (on parle de certification "man rated") et adaptés aux besoins et usages des astronautes. Ces points sont développés au chapitre 2.
- La sélection des astronautes. Les tests de sélection permettent de ne garder que ceux qui n'ont pas de problème d'attention, de mémorisation, de raisonnement, ou qui ne sont pas stables du point de vue psychologique. La problématique de la sélection des astronautes n'est pas abordée plus en détail ici. Un article dédié lui sera consacré ultérieurement.
- L'acquisition ou le renforcement de compétences comportementales, illustrées figure 1 avec un

entraînement en piscine au NASA Safety Center. Ces compétences sont détaillées au chapitre 3. Enfin, le chapitre 4 résume les recommandations spécifiques faites par l'équipe de Kanas et al, experts facteurs humains internationalement reconnus, pour les voyages spatiaux de longue durée (Kanas et al, 2009).

Remarque : de nombreuses études en lien avec les facteurs humains ont été menées depuis les premières stations spatiales, Mir, Skylab, ISS, lors de l'expérience Mars 500 en Russie, ou lors des nombreuses missions en environnement analogue, que ce soit dans le cadre des missions organisées par la Mars Society dans le nord canadien ou dans le désert de l'Utah, lors de l'expérience réalisée à Hawaï, ou lors des missions organisées par l'OEWF (agence spatiale autrichienne) par exemples à Rio Tinto en Espagne, dans le désert algérien ou dans le désert israélien. Un autre article y sera consacré.

1. Modèle de conscience de situation de Endsley

La prise de décision dépend de nombreux facteurs. Une vision statique (qui ne tient pas compte de la dynamique temporelle) est présentée figure 2 (Salotti 2025). Le choix d'une action dépend en particulier de la perception (informations perçues par les sens, y compris celles qui sont communiquées par d'autres personnes), de l'expertise, de variables relevant de la psychologie, mais aussi de la sociologie (par exemple les liens hiérarchiques) et de la physiologie (fatigue, faim, soif, douleurs, etc.). Le contexte, en particulier les événements importants qui ont précédé (conflit avec une autre personne, accident la veille, préparation insuffisante, etc.) peut jouer un rôle important. On peut noter que la formation peut impacter l'expertise ainsi que le comportement général, ce qui justifie le développement de compétences comportementales (voir chapitre 3).

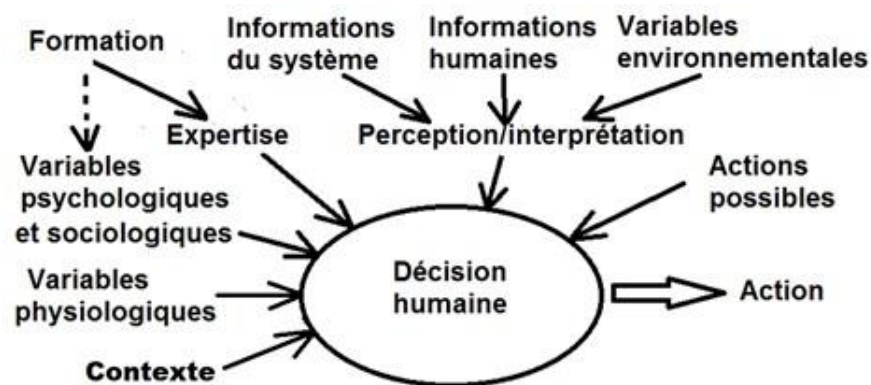


Figure 2 : Modèle statique de la prise de décision.

Pour tenir compte de la dynamique de la décision, il convient d'introduire une boucle entre l'action et la perception, comme cela est proposé par Endsley (ENDsley 2016), qui propose un focus particulier sur la conscience de la situation, voir figure 3.

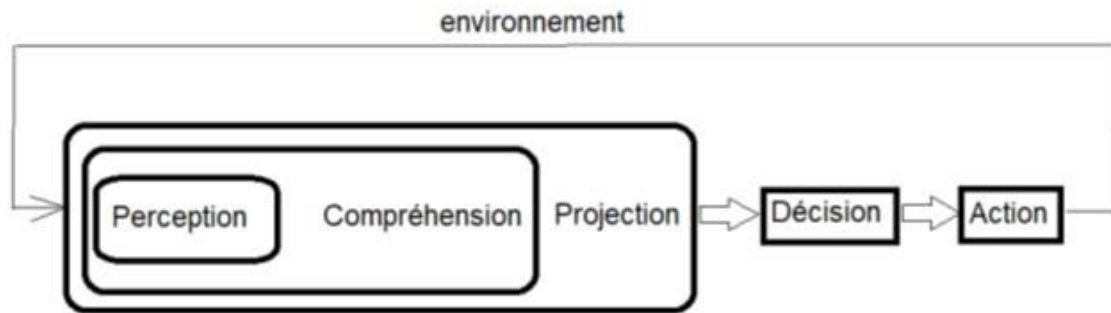


Figure 3 : Modèle dynamique de la prise de décision proposé par Endsley.

La conscience de la situation se caractérise par 3 éléments fondamentaux :

- Une bonne perception de l'environnement.
- Une bonne compréhension de la situation courante, c'est-à-dire la connaissance des principales variables du problème.
- Une bonne projection dans le futur, autrement dit une estimation correcte de l'évolution dans le temps des principales variables du problème.

Par exemple, lors de la manœuvre d'amarrage d'un Soyouz à l'ISS, l'astronaute qui effectue l'approche en manuel doit avoir un bon visuel sur la station et sur les cadrans du tableau de bord (bonne perception). Il doit également être conscient de la distance restante, de sa vitesse actuelle, de son orientation, d'éventuelles rotations parasites, tout cela relativement à des valeurs de référence qu'il doit connaître (compréhension de l'état courant). Enfin, il doit correctement anticiper ce qui va se passer dans les secondes ou minutes à venir, notamment le ralentissement progressif au fur et à mesure que la capsule se rapproche, les nouvelles valeurs de vitesse vers lesquelles il faudra converger et la marge de manœuvre temporelle pour exécuter ce ralentissement.

Toujours selon Endsley, il existe 8 "démons" qui dégradent la conscience de situation et qu'il faut donc éviter (Endsley 2016, pages 50-51):

- 1) Grande charge cognitive, fatigue et stress.
- 2) Attention trop focalisée sur une partie de la tâche et pas assez sur les autres parties.
- 3) Syndrome "hors-de-la-boucle". Survient typiquement quand le pilotage automatique n'est plus opérationnel et que l'astronaute doit reprendre en mode manuel en n'ayant pas suivi le déroulement des opérations (hors de la boucle perception-action).
- 4) Complexité mal maîtrisée.
- 5) Interface mal conçue entraînant une confusion.
- 6) Trop de données à traiter en peu de temps.
- 7) Oubli d'une étape essentielle de la procédure ou d'une consigne.
- 8) Erreur due à une confusion mentale, typiquement en se trompant de procédure.

De nombreux démons sont liés à des erreurs au niveau de la conception des systèmes, ce qui justifie la certification "man rated" et les recommandations présentées au chapitre 2.



De manière similaire à ce qui se fait en aéronautique pour l'entraînement des pilotes, pour l'entraînement des astronautes, on peut privilégier les scénarios tests dans lesquels on facilite l'apparition de ces "démons" pour vérifier que les astronautes sont capables de s'adapter et de prendre les bonnes décisions.

2. Recommandations pour la conception des systèmes

2.1 Accidentologie

La certification "man rated" des systèmes spatiaux et de nombreuses recommandations découlent de l'accidentologie et de l'analyse facteurs humains. Voici quelques exemples illustratifs :

- Alexei Leonov, première sortie extravéhiculaire. Le cosmonaute ne parvient pas à revenir dans la capsule, car la combinaison a beaucoup gonflé. Solution : en dehors de toute procédure, un bouton lui permet de dépressuriser partiellement, ce qui réduit le volume du scaphandre et lui permet de réintégrer la capsule.
- Accident d'Apollo 1. Les 3 astronautes en entraînement dans une capsule Apollo meurent brûlés après qu'une étincelle ait entraîné la combustion soudaine et totale de l'air composé d'oxygène pur. Mise en tension par la NASA au niveau des dates de rendu, l'entreprise qui avait conçu la capsule n'avait pas pris le temps de tester les systèmes en oxygène pur à la pression de 1 bar.
- Mission d'Apollo 13. Après explosion du réservoir d'oxygène, le module de service n'est plus exploitable. Un retour vers la Terre est mis en œuvre en exploitant le module lunaire, qui n'était pas du tout prévu pour un tel usage.

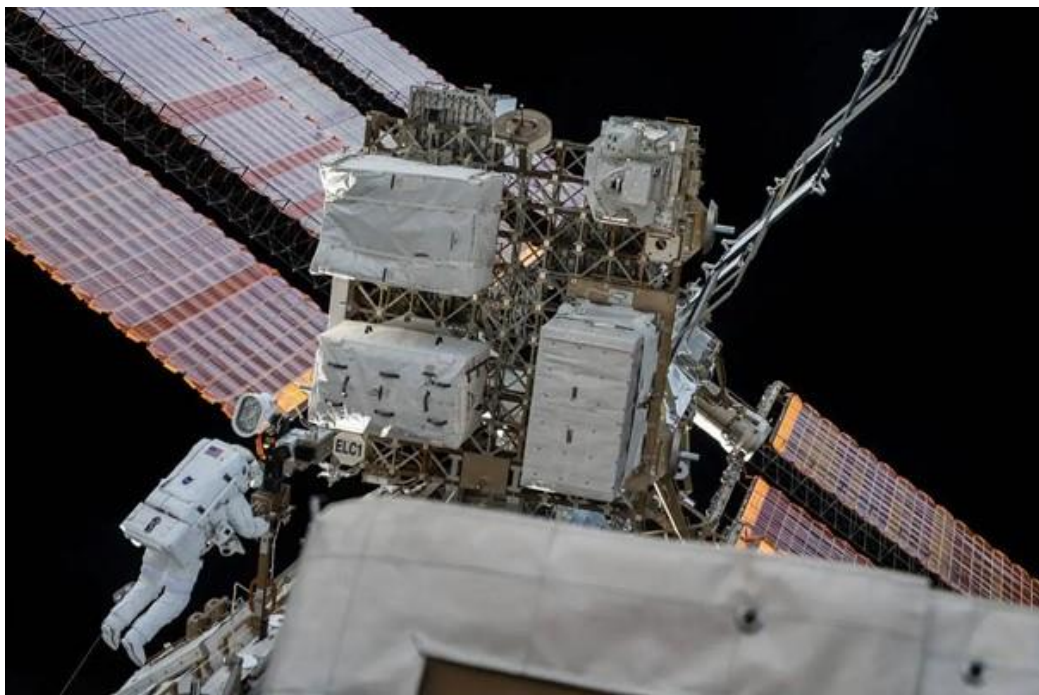


Figure 4 : Luca Parmitano durant une sortie à l'extérieur de l'ISS (crédit NASA).



- Luca Parmitano, sortie en scaphandre à l'extérieur de la station spatiale (figure 4). L'astronaute Luca Parmitano a failli mourir noyé dans sa combinaison spatiale, car de l'eau provenant de son système de climatisation avait réussi à se frayer un chemin jusqu'à son casque. Personne n'a été en mesure de comprendre la situation, alors qu'une alerte avait eu lieu lors d'une sortie précédente. Les spécialistes pensaient que l'eau provenait de la respiration ou de la boisson accessible par une pipette et ont largement sous-estimé le danger.

Il y a deux principales leçons à tirer de ces événements. La première est que les systèmes conçus par les humains ne sont jamais fiables à 100%, car il n'est pas possible de comprendre et maîtriser tous les paramètres physiques et les conditions environnementales, et la deuxième est que les humains ont une grande capacité d'adaptation pour résoudre les problèmes. Il faut donc tester avec la plus grande rigueur tous les systèmes, avoir si possible des systèmes redondants et tolérants aux pannes mais il faut également prendre en considération les interactions humains systèmes pour faciliter la capacité d'intervention et d'adaptation.

2.2 Certification Man Rated

La certification man rated découle des principes précédemment évoqués :

- Tolérance à la double panne. Par exemple 3 batteries au lieu d'une et tolérance d'un système à la défaillance de 2 sous-systèmes (éviter la dépendance de fonctionnement entre les systèmes et le cumul des pannes).
- Software testé de manière exhaustive. Ceci implique en particulier que le software ne soit pas trop complexe, car il serait impossible de le tester de manière exhaustive. On peut noter que les techniques à base d'intelligence artificielle, particulièrement complexes, rentrent dans cette catégorie.
- Tests « flight proven » (qualifié par un test en vol) : les systèmes doivent être testés au préalable dans des conditions similaires à celles qui sont prévues pour la mission. Pour les missions martiennes habitées, ceci implique notamment qu'il faut :
 - Tester dans l'espace le vaisseau intégrant le module habité et vérifier son usage pendant une durée au moins égale à celle qui est prévue pour la mission. Un test de longue durée en orbite terrestre paraît donc incontournable, notamment pour les systèmes de support de vie.
 - Tester les systèmes servant à l'entrée, descente et atterrissage sur Mars dans des conditions similaires à celles de la mission. Ceci implique des tests grandeur réelle avec la même masse à faire atterrir.
 - Tester le vaisseau qui doit remonter de la surface.
 - Tester le vaisseau du retour s'il est différent de celui de l'aller
 - Tester la rentrée finale du vaisseau de retour.

2.3 Recommandations complémentaires de la NASA

Le retour d'expérience des accidents et incidents divers qui ont jalonné la conquête spatiale ont amené les responsables de la NASA à émettre les recommandations suivantes concernant les interactions humains systèmes :

- Le retour au contrôle manuel doit être possible pour les manœuvres importantes.
- Les informations concernant les paramètres de vol, les conditions environnementales, l'état exact des systèmes ainsi que la dynamique en cours doivent être accessibles et disponibles en temps utile pour les astronautes.
- Dans la mesure du possible, chaque système et sous-système doit pouvoir être arrêté et les automatismes doivent pouvoir être reprogrammés.

L'accident de Challenger a eu pour origines un manquement au niveau des exigences fonctionnelles et une dilution des responsabilités (figure 5). La commission Rogers, qui a analysé l'accident, a conduit la NASA à porter une plus grande attention sur les risques et les exigences qui en découlent et à adopter un changement organisationnel avec une définition claire de la chaîne des responsabilités.

Remarque importante : la commission recommandait également à la NASA de trouver des solutions pour intégrer un système d'évacuation d'urgence dans la navette. Rappelons que tous les lanceurs habités actuels comportent au-dessus de la capsule une microfusée permettant une éjection rapide en cas de défaillance critique du lanceur durant les premières minutes du vol. Or, il n'est pour l'instant pas prévu d'équiper le Starship de Space X d'un tel système, ce qui risque de poser problème pour la qualification "man rated" du lanceur.



Figure 5 : L'équipage de la navette Challenger avant le terrible accident. Crédit NASA.



3. Compétences comportementales

La NASA entraîne les astronautes pour améliorer leurs compétences comportementales, par exemple lors de la simulation d'une réparation de panneaux solaires effectuée en piscine avec la reproduction d'un module de l'ISS. Les compétences recherchées sont liées à une bonne gestion des paramètres personnels physiologiques, psychologiques, cognitifs et sociologiques, ainsi qu'à l'efficacité de la communication, la résolution de problème et le travail en équipe (NASA 2008). Ces compétences se déclinent en 11 catégories avec de nombreuses sous-catégories :

1. Autoévaluation

- Identification de tendances personnelles dans les comportements et de leur impact.
- Identification des facteurs personnels impactant la réussite ou l'échec.
- Recherche de feedback pour améliorer ses comportements.
- Evaluation de ses propres compétences en regard de la tâche.

2. Gestion du stress

- Identifie les symptômes et les causes du stress personnel.
- Agit pour empêcher ou réduire le stress, la mauvaise humeur ou le découragement.
- Adopte un comportement calme et réfléchi dans les situations inhabituelles.

3. Attention à soi-même

- Réfléchit à ses erreurs pour progresser.
- Maintient des relations sociales.
- Maintient des objectifs personnels adaptés à ses compétences.
- Maintient un équilibre entre le travail, le repos et la vie privée.

4. Recherche de l'efficacité

- Définit des objectifs ambitieux mais raisonnables.
- Adopte une stratégie pour la gestion du temps.
- Maintient son espace de travail organisé.

5. Efficacité de la communication

- Communique ses informations clairement et de façon concise.
- Partage les informations importantes.
- Communique ses intentions avant d'agir.
- Communique sur l'état de la tâche et son degré d'achèvement.
- Fournit un retour constructif.
- Ajuste son temps et son style de communication au contexte.
- Vérifie la bonne compréhension de ses messages personnalisés
- Etablit une atmosphère ouverte et constructive avec autrui.
- Effectue un briefing et un débriefing sur les points clés avec les membres de son équipe.
- Démonstre une écoute attentive.



- Aborde spontanément tout problème de communication.
- Cherche à obtenir une réponse de manière proactive.
- Vérifie les informations imprécises ou incertaines.
- Admet spontanément une confusion ou une incompréhension.
- Résout les désaccords, les confusions et les incompréhensions respectueusement.

6. Adaptation culturelle

- Démonstre le respect de la culture et des points de vue des autres membres de l'équipe.
- Respecte les différences et les usages culturels en présence de membres de sexe opposé.
- Interprète l'originalité de certains comportements grâce à ses connaissances des autres cultures.
- Accepte les différences organisationnelles, procédurales et culturelles proposées par l'équipe dirigeante.
- Ne cherche pas à trouver des raisons d'ordre culturel pour expliquer des difficultés.
- Montre de l'intérêt pour les différences culturelles.
- Développe une stratégie pour mieux se faire comprendre par des membres de culture différente.
- Communique respectueusement et patiemment avec des gens maîtrisant moins bien sa langue et les usages de communication.
- Fournit un effort pour apprendre et parler la langue de ses collègues.
- Reste réservé sur ses valeurs patriotiques, politiques ou religieuses.

7. Travail en équipe

- Adopte un esprit de collaboration plutôt que de compétition.
- Reconnaît sa part de responsabilité dans les erreurs observées.
- Place les objectifs communs au-dessus des objectifs personnels.
- Travaille spontanément avec son collègue pour gagner en efficacité.
- Respecte le rôle attribué à chacun et le partage des tâches.
- Manifeste de l'empathie en restant respectueux.
- Fournit une aide émotionnelle (encouragement) à ses coéquipiers.
- Invite ses collègues à participer aux activités d'équipe.
- Développe des relations franches ou amicales avec ses coéquipiers.
- Adapte ses habitudes de vie pour améliorer la cohésion du groupe.
- Se porte volontaire pour les tâches répétitives ou peu plaisantes.
- Offre ses services ou son assistance à bon escient.
- Trouve un équilibre entre ses besoins ou envies et ceux des autres.
- Partage ses succès avec les autres membres de l'équipe.

8. Leadership

- Accepte les responsabilités.
- Répartit les tâches en fonction des capacités et des préférences de chacun.
- Répartit les tâches en fonction d'objectifs clairs.



- Adapte son attitude (commande / décision collaborative ...) à la situation.
- Répond aux questions, suggestions et sollicitations des autres membres.
- Maintient la cohésion du groupe dans les situations délicates en gérant les priorités.
- Fournit des directives, des informations et des encouragements de façon opportune.
- Montre l'exemple.
- Soutient le responsable. Verbalise son engagement.
- Réagit promptement à une situation délicate en absence de directive claire.
- Planifie les activités et établit des priorités.
- Adapte le planning en fonction des progrès et des nouvelles conditions.
- Vérifie que chaque membre a les outils adéquats et les autorisations nécessaires.

9. Gestion de conflit

- Discute des sources potentielles de conflit de manière préventive.
- Evite les désaccords par une gestion respectueuse des relations humaines.
- Etablit l'analyse approfondie des facteurs d'un conflit avec les membres impliqués.
- Adapte la stratégie de gestion du conflit pour résoudre le désaccord.
- Accepte l'échange des points de vue et des positions de chacun.
- Cherche une solution acceptable par tout le monde.
- Garde son calme à tout moment.
- Focalise son attention sur l'objet du conflit et non sur les personnes impliquées.
- Exerce le rôle de médiateur neutre entre 2 membres en désaccord.
- Cherche un accord formalisant la fin du conflit de manière positive.

10. Conscience de situation

- Contrôle régulièrement les personnes, les systèmes et l'environnement.
- Contrôle de soi-même et d'autrui pour les signes de stress, fatigue et d'aptitude générale.
- Réduit les distractions lors des tâches opérationnelles.
- Maintient sa vigilance sur les conditions environnementales en même temps qu'il se focalise sur une tâche ou un problème.
- Maintient la vigilance requise pour les charges de travail faibles ou fortes.
- N'hésite pas à solliciter autrui pour exécuter les tâches critiques ou complexes.
- Analyse l'information disponible pour déterminer la pertinence opérationnelle.
- Evalue l'impact de ses actions, de ses plans et de ses décisions sur autrui.
- Anticipe les difficultés potentielles.
- Vérifie que l'équipe est prête à entrer en phase opérationnelle.
- Communique quand la tâche semble mal se passer.
- Identifie et résout les problèmes de données ou informations contradictoires.

11. Prise de décision et résolution de problèmes

- Adopte une stratégie de résolution de problème lors d'une situation stressante.



- Implique les coéquipiers pour aider au processus de décision.
- Etablit une liste aussi claire et complète que possible des faits tangibles.
- Considère différentes options pour résoudre le problème.
- Évalue les risques et les bénéfices de chaque option.
- Décide in fine de l'option à suivre.
- Met en application la décision prise.
- Vérifie les résultats de l'action décidée et si besoin, réitère le processus.

Pour chacune de ces compétences, la NASA a développé des indicateurs spécifiques permettant des mesures quantitatives effectuées pendant la simulation ou a posteriori (délais dans les actions ou les réponses, questions posées après la simulation par exemples). Il n'est pas possible de tout tester en même temps. Des scénarios sont élaborés pour tester certaines compétences en particulier.

4. Recommandations issues des travaux de Kanas et al

Voici les recommandations faites par l'équipe de Kanas et al pour les futurs voyages spatiaux de longue durée (Kanas et al 2009).

4.1 Sélection

Outre les critères médicaux (NASA 2021) et les compétences techniques, les astronautes seront sélectionnés parmi des personnes très motivées avec de bonnes stratégies d'adaptation. Il est essentiel de choisir des personnalités psychologiquement compatibles. Des tests internationaux pourraient aider à évaluer la compatibilité interpersonnelle et les capacités de travail en groupe, comme le test Homeostat utilisé en Russie (Vinokhodova 2012).

4.2 Entraînement

Les agences spatiales devraient :

- Organiser des entraînements en équipe en conditions extrêmes (alpinisme, désert, etc.) pour renforcer la cohésion.
- Faire en sorte que les équipages s'entraînent ensemble longtemps avant le vol.
- Intégrer le personnel au sol dans l'entraînement pour améliorer la communication et la cohésion.
- Proposer des formations sur la sensibilité culturelle et les comportements en groupe, données par des experts en sciences sociales.
- Adapter des programmes de formation sur la communication et la résolution de conflits issus de l'industrie (comme CRM dans l'aviation), en tenant compte des différences culturelles et linguistiques.
- Consulter les équipages sur des aspects opérationnels (logistique, répartition du travail, loisirs) pour prévenir les conflits.

4.3 Surveillance et soutien

Des procédures standardisées devraient être mises en place pour surveiller en continu les



interactions et la performance des équipages en vol. En Russie, des analyses de la voix, du contenu des échanges et des expressions faciales ont fourni des données utiles sur l'état psychosocial des équipages. Cependant, cela est moins applicable aux missions lointaines (comme sur Mars), en raison de la distance, des retards de communication et de la nécessité d'autonomie accrue.

4.4. Réadaptation à la vie terrestre

Après la mission, une stratégie de soutien émotionnel et de réintégration familiale doit être mise en place. Les psychologues spatiaux facilitent ce processus pour maintenir une bonne dynamique entre membres d'équipage et avec leurs proches.

4.5 Etudes complémentaires nécessaires

Les membres d'équipage travaillant sur la Lune ou en mission vers Mars seront plus autonomes et moins dépendants du contrôle au sol que ceux en orbite. Des recherches sont nécessaires pour étudier les effets de cette autonomie accrue pendant les missions spatiales.

Conclusion

Les facteurs humains, qu'ils soient de nature physiologique, psychologique, sociologique ou cognitive, doivent impérativement être pris en compte dans la conception de tous les systèmes et sous-systèmes, ainsi que dans la préparation et la mise en œuvre des missions martiennes habitées. La certification man rated et les recommandations faites par les experts précisent comment y parvenir. Pour la feuille de route, il paraît incontournable de procéder à un test d'usage de longue durée en orbite terrestre du module habité, dans des conditions aussi proches que possible des conditions attendues pour la mission. C'est rendu nécessaire, d'une part pour qualifier les systèmes, notamment les systèmes de support de vie et les contre-mesures pour éviter les problèmes liés à la microgravité, et d'autre part pour mieux comprendre les problématiques facteurs humains d'un séjour long loin de la Terre, avec un confinement important, une communication en différé avec les équipes au sol et une grande autonomie de l'équipage.

Références

- (Endsley 2016) Endsley, Mica R., and Debra G. Jones. 2016, Designing for Situation Awareness, pages 50–61. CRC Press.
- (Kanas et al 2009) N. Kanas, G.Sandal, J.E.Boyd, V.I.Gushin, D.Manzey, R.North, G.R. Leon, P.Suedfeld, S.Bishop, E.R.Fiedler, N.Inoue, B.Johannes, D.J. Kealey, N.Kraft, I.Matsuzaki, D.Musson, L.A.Palinkas, V.P.Salnitskiy, W.Sipes, J.Stuster, J.Wang, "Review: Psychology and culture during long-duration space missions", Acta Astronautica 64 (2009) 659–677.
- (Vinokhodova 2012) Vinokhodova, A.G., Gushchin, V.I., Eskov, K.N. et al. Psychological selection and optimization of interpersonal relationships in an experiment with 105-days isolation. Hum Physiol 38, 677–682 (2012).



(NASA 2008) 'International Space Station Human Behavior and Performance Competency Model', NASA/TM-2008-214775, Vol. 2, Langley, USA.

(NASA 2021) D. Francisco, Astronaut Medical Standards, Selection and Annual Certification, NASA report OCHMO-STD-100.1A, Office of the Chief Health and Medical Officer, 2021.

(Salotti 2025) Jean-Marc Salotti, Polycopié du cours Facteurs Humains et Ingénierie Cognitive, Ecole Nationale Supérieure de Cognitive, Bordeaux INP, Talence, 2025.

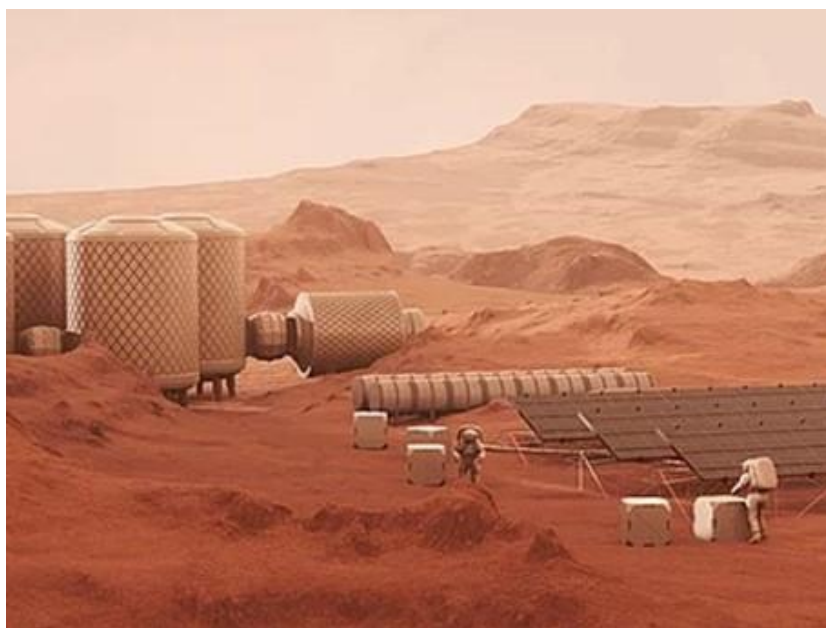
Jean-Marc Salotti est professeur à l'Ecole Nationale Supérieure de Cognitive, Bordeaux INP. Ses activités de recherche sont centrées sur la robotique collaborative et le spatial habité. Docteur en informatique spécialité Intelligence Artificielle, diplômé en 2002 du Master of Space Studies de l'International Space University, il a publié de nombreux articles sur les missions martiennes habitées et est devenu membre de l'International Academy of Astronautics. Il est membre de l'Association Planète Mars depuis 2000.





The Martian Mindset, un consortium de l'Université de Brême s'apprête à développer des systèmes de production pour Mars

par Cyprien Verseux, Université de Brême, APM



Crédit Joris Wegner, Université de Brême

Pour un programme martien pérenne

Un premier vol habité vers Mars pourrait avoir lieu dans les décennies à venir ; si vous lisez ce bulletin, vous en êtes sans doute déjà convaincu. Ce premier vol sera une étape extraordinaire et il faudra qu'il reste ceci : une étape. La question se pose de ce que l'on fera ensuite. Il serait désolant que les programmes martiens s'achèvent une fois accomplis les objectifs politiques les plus simples : qu'après avoir planté un drapeau, laissé une empreinte de botte et collecté quelques échantillons, on quitte la planète rouge pour ne jamais y revenir.

L'équipe dont je fais partie, à Brême, ne promeut pas la mise en place d'une colonie, et encore moins celle d'une ville. Nous espérons par contre que l'exploration de Mars se fera comme celle de l'Antarctique : par quelques expéditions héroïques suivies de la mise en place bases de recherche permanentes, avec un équipage réduit et un impact faible sur l'environnement martien. Pour que ces bases soient pérennes, il faut qu'elles soient autonomes. Il faut donc des systèmes de production qui soient robustes et polyvalents, malgré les conditions extrêmes de Mars et ses ressources limitées : de la roche, quelques gaz à basse pression, un peu d'eau que l'on peut extraire, très peu d'énergie, très

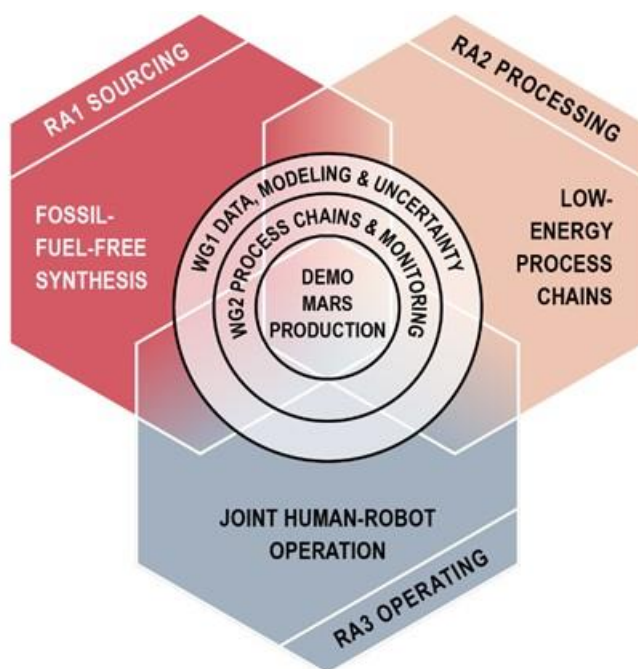


peu de main d'œuvre et peu d'information.

Le Cluster d'excellence : the Martian Mindset

L'Université de Brême, en Allemagne, disposera bientôt de moyens conséquents pour développer de tels systèmes de production. Un consortium dont j'ai la chance de faire partie vient en effet de recevoir d'excellentes nouvelles : son projet The Martian Mindset – A Scarcity-Driven Engineering Paradigm (« La perspective martienne : un paradigme d'ingénierie axé sur la rareté des ressources ») sera financé, dans le cadre d'un Cluster d'excellence (une spécificité du système académique allemand), à hauteur de 50 millions d'euros sur sept ans. Le projet débutera en janvier 2026.

Les projets de recherche du Martian Mindset s'étendent sur trois domaines interconnectés, qui sont présentés ci-après : approvisionnement, transformation et opération.



Organisation de la recherche au sein du Cluster d'excellence The Martian Mindset : trois domaines de recherche (RA1–3), des groupes de travail transversaux (WG1 et 2) et un démonstrateur : une chaîne de processus industriels, dans un hangar dédié, menant à un objet utilisable (une roue de rover) à partir de ressources disponibles sur Mars (principalement régolithe, dioxyde de carbone, diazote et eau) via les procédés développés au sein du Cluster. Crédit Université de Brême.

Approvisionnement : synthèse sans énergie fossile

Nous développerons des systèmes permettant de produire des matériaux et des produits chimiques à haute valeur ajoutée à partir de régolithe martien. Ces systèmes utiliseront les gaz



atmosphériques comme seule source de carbone et d'azote, et ne consommeront pas d'énergies fossiles. Pour cela, nous générerons des connaissances fondamentales sur les transformations des matériaux, à basse température et développerons des technologies de réacteurs électrochimiques, biologiques et photocatalytiques. Par exemple : de nouveaux types de bioréacteurs, alimentés par du régolithe, de l'eau et des gaz à basse pression, seront capables d'extraire des métaux du régolithe et de produire divers composés organiques. Ces matériaux seront ensuite transformés en pièces métalliques, en résines, en dérivés de céramique ou en d'autres composés via les procédés développés dans le deuxième domaine de recherche : Transformation.

Transformation : chaînes de processus industriels à basse énergie

Sur Terre, les procédés de production visent pour leurs produits les plus hautes performances et la meilleure qualité possibles ; on alimente pour cela des chaînes de processus industriels avec des matières premières parfaites, on les optimise et on compte pour leur fonctionnement sur une énergie sans limites. La même approche échouerait sur Mars : il faudra y être capable de générer de nouvelles pièces, des roues de rechange pour rover par exemple, à partir de matières premières impures et avec une consommation d'énergie minimale. Au sein du Martian Mindset, nous développerons des modules élémentaires, ayant chacun une fonction définie (par exemple : frittage de fer, d'aluminium ou de magnésium) mais pouvant être combinés en différentes chaînes de processus. Ces chaînes seront capables de gérer les impuretés des matériaux et de minimiser la consommation d'énergie, tout en répondant aux exigences prédéfinies d'une grande variété de pièces. Une roue de rover ne sera peut-être pas élégante, peut-être pas parfaitement ronde, mais elle sera utilisable et produite avec peu.

Exploitation : système de production, contrôlé à distance, tolérant pénurie et incertitude

Nous conceptualiserons et développerons une installation de production adaptée au contexte martien. Cette installation sera contrôlable à distance, flexible et largement automatisée. Elle sera exploitable malgré une équipe restreinte, composée d'hommes et de robots, et des grandes incertitudes liées à la présence de matériaux impurs, à la rareté des informations et à l'environnement difficile.

Et sur Terre : produire des objets utilisables avec le moins de ressources possibles

Les produits des systèmes de production développés par l'équipe du Martian Mindset ne seront pas parfaits, n'auront pas une esthétique impeccable, ne seront pas polis comme les objets auxquels



nous sommes maintenant habitués. Ils seront fabriqués de façon à minimiser la consommation de ressources (et sans énergie fossile), par nécessité, tout en étant capables de remplir leurs fonctions premières. Développer une telle approche devient pressant sur Terre également, où de nombreuses ressources sont massivement surexploitées et où l'énergie vient en grande partie de matières fossiles. Nous déploierons donc des efforts conséquents et concrets pour que ce que l'on développe en vue d'explorer Mars, où les contraintes sont si extrêmes qu'elles nous forcent à trouver des solutions radicalement nouvelles, nous aident à vivre de façon durable sur Terre.

Pour davantage d'informations

La page internet du projet (en anglais et en allemand) : <https://www.uni-bremen.de/en/the-martian-mindset>

Cyprien Verseux dirige le Laboratoire de microbiologie spatiale appliquée au ZARM, à l'Université de Brême, où son groupe de recherche développe des biotechnologies en soutien aux futures missions habitées de longue durée. Il est notamment responsable des projets MarCyano (financé par l'ERC) et Sustainable bioproduction on Mars (financé par l'Etat de Brême via la Humans on Mars initiative de l'Université)..



Nouvelles d'Exomars

Par Yves Monier, APM

En cette période d'incertitudes il n'est pas aisé de trouver des informations sur le devenir des programmes spatiaux américains et leurs coopérations déjà engagées. Cependant dans la revue Space.com nous avons trouvé un article récent sur le devenir de l'astromobile européen Exomars et sa saga ; nous vous en donnons une traduction ci-dessous :

Les coupes budgétaires de la NASA proposées par le président Donald Trump entraîneront probablement de nouveaux retards pour la mission européenne du rover ExoMars, car certaines technologies essentielles, actuellement indisponibles en Europe, devaient être fournies par l'agence spatiale américaine.

Lorsque l'Europe a commencé à planifier l'atterrissage de son premier rover sur Mars au début des années 2000, la NASA était son partenaire de choix. Cette alliance a cependant connu des difficultés. La NASA s'est retirée du projet ExoMars en 2012 après que l'administration Obama ait supprimé son financement pour la mission. L'agence spatiale russe Roscosmos est intervenue, s'engageant à fournir une fusée, un module d'atterrissage et quelques autres équipements.

Après plusieurs retards et dépassements budgétaires, le projet a finalement été lancé dans les délais prévus en septembre 2022. Mais l'invasion de l'Ukraine par la Russie a mis fin à la coopération. La NASA a fait marche arrière en 2024, proposant d'aider l'ESA à atteindre la table de lancement d'ici 2028. Les coupes budgétaires de Trump signifient désormais que l'Europe devra peut-être faire cavalier seul, et risquer de subir de nouveaux retards.

La NASA devait fournir un lanceur, un système de propulsion pour ralentir le module d'atterrissage ExoMars pendant sa descente, ainsi que des réchauffeurs à radio-isotopes [RTG] pour maintenir le rover au chaud pendant la froide nuit martienne. Cependant, l'Europe ne dispose pas de solutions de remplacement complètes pour ces deux technologies, et des sources internes pensent qu'elle pourrait ne pas être en mesure de les préparer pour la fenêtre de lancement de 2028.

L'ESA a refusé de commenter la situation, mais des sources proches du dossier ont indiqué à Space.com que, bien que les capacités techniques pour remplacer les éléments manquants existent en Europe, le temps de lancement est compté et un report au-delà de 2030 serait probable. Cela pourrait entraîner des complications supplémentaires, car certains aspects de la mission pourraient devoir être modifiés, l'alignement entre la Terre et Mars, qui a lieu environ tous les deux ans, ne se produisant pas toujours à la même distance.

« Si un retard entraîne un dépassement de la fenêtre de lancement de 2028, il est à craindre que les exigences d'approche, d'entrée, de descente et d'atterrissage pour un lancement en 2031 et le site d'atterrissage choisi soient différents », a déclaré une source. « Un retard d'environ 26 mois pourrait donc ne pas résoudre immédiatement les problèmes de la mission. »



Le rover ExoMars, baptisé Rosalind Franklin en hommage à une physico-chimiste britannique qui a étudié la structure de l'ADN, présente une proposition scientifique unique. Il embarque une foreuse de 2 mètres, capable d'accéder à des couches de sol bien plus profondes sous la surface martienne que Perseverance, le prolifique collecteur d'échantillons de la NASA. Mars n'ayant qu'une atmosphère très ténue, sa surface est constamment exposée aux radiations solaires, ce qui aurait très probablement détruit tout organisme vivant depuis longtemps. Si une vie a jamais existé sur Mars, elle (ou des traces de vie) aurait probablement survécu plus profondément sous la surface de la planète.

L'Europe a conçu la mission en 2003, avec un lancement initialement prévu pour 2011. Le travail de toute une génération de scientifiques est à nouveau en jeu, à peine remis des conséquences de l'invasion ukrainienne.

« Rosalind Franklin a été un véritable parcours du combattant depuis 2003 et c'est toujours le cas aujourd'hui », a déclaré Andrew Coates, professeur de physique à l'University College London, à Space.com. « Mais nous espérons qu'elle atteindra sa destination. »

Coates a dirigé l'équipe qui a conçu et construit la caméra panoramique stéréoscopique multispectrale PanCam placée au sommet du mât du rover Rosalind Franklin, qui devrait aider le rover à déterminer les meilleurs endroits pour forer des traces de vie. L'instrument est quasiment prêt pour un lancement prévu en 2018 et se trouve depuis lors, aux côtés du rover, dans une salle blanche de Thales Alenia Space, sous-traitant principal, en attendant son lancement.

Si la NASA se retire de la mission (ce qui pourrait encore changer, le Congrès américain n'approuvant pas les choix budgétaires de l'administration), l'ESA devra faire des économies pour trouver quelques centaines de millions de dollars afin de développer les technologies manquantes et d'amener le rover vieillissant sur la planète rouge.

En novembre 2022, le Conseil des États membres de l'ESA a alloué 360 millions d'euros (417 millions de dollars) à la mission ExoMars, actuellement en échec. Plus tôt cette année, 150 millions d'euros ont été versés à Airbus pour la construction d'une nouvelle plateforme d'atterrissage.

L'Europe ne dispose actuellement pas de fusée capable d'envoyer un vaisseau spatial vers Mars, bien que deux sources aient indiqué à Space.com que la version plus puissante d'Ariane 6 pourrait en être capable, même si elle nécessiterait quelques ajustements pour accueillir la charge utile. Ariane 6 a déjà effectué deux lancements, chaque fois dans sa configuration moins puissante à deux propulseurs d'appoint.

Arianespace, qui exploite la fusée, n'a pas répondu à la demande de commentaires de Space.com.

Une source a confié à Space.com que, bien que l'ESA ait commencé à étudier le développement de rétrofusées modulables et d'unités de chauffage à radio-isotopes, aucun de ces projets n'est actuellement en bonne voie pour produire du matériel prêt à voler dans les délais impartis.

De nombreux membres de la communauté scientifique martienne européenne continuent d'espérer que le Congrès américain, qui décidera en dernier ressort du budget de la NASA,



contrecarrera les coupes budgétaires.

« Je continue de croire que nous forerons sur Mars avant ma retraite, et je n'ai plus 25 ans », a confié une autre source à Space.com.

Coates a déclaré à Space.com que l'investissement de la NASA dans ExoMars est « très faible par rapport aux retombées scientifiques » promises par la mission et que celle-ci conserve une valeur incontestée malgré le caractère quelque peu obsolète de la technologie.

« Aucune autre agence n'envisage réellement de le faire », a déclaré Coates à Space.com, ajoutant qu'ExoMars « peut encore faire la découverte la plus importante de tous les temps », à savoir répondre à la question de savoir si nous sommes seuls dans le système solaire.

Alors que le Congrès américain devrait débattre du budget proposé par Trump pour la NASA pendant des mois, les représentants des États membres de l'ESA se réuniront en novembre prochain à Brême, en Allemagne, avec ExoMars comme point de mire

En attendant, le rover est régulièrement sous contrôle dans les installations de Thales Alenia Space à Turin, tandis que sa maquette est régulièrement sortie dans le chantier martien adjacent.

Au total, 19 missions scientifiques de l'ESA seront mises à mal si le budget proposé par Trump est adopté par le Congrès. Parmi les projets les plus touchés figurent les projets de développement préliminaire, notamment le détecteur d'ondes gravitationnelles LISA (Laser Interferometer Space Antenna), l'orbiteur vénusien EnVision et le télescope spatial à rayons X NewAthena.

ExoMars est la première tentative européenne de poser un rover sur la surface de Mars. Ses deux précédentes tentatives d'atterrissage en douceur sur la planète rouge ont échoué. L'atterrisseur expérimental Schiaparelli, destiné à tester le système de descente et d'atterrissage du rover Rosalind Franklin, s'est écrasé en 2016 suite à une défaillance d'un capteur de mouvement. L'atterrisseur britannique Beagle 2 a été perdu à l'atterrissage, avant d'être découvert sur des images satellites en 2015. Les photographies ont révélé que l'un des panneaux solaires de l'atterrisseur ne s'était pas déployé, occultant ainsi son antenne de communication et l'empêchant d'envoyer et de recevoir des signaux.

 AU SUJET DE L'AUTEUR

Yves Monier



Ingénieur Chimiste CPE/ESCIL. DEA d'Aérothermochimie. Son mémoire du DESS de Maîtrise des armements et Désarmement en 2004 portait sur les prémices du Tiers-Espace (Japon, Chine, Israël, Inde, Brésil). Yves est passionné d'astronautique et d'exploration spatiale depuis 1963. Ancien du Cosmos Club de France, il est membre d'APM depuis 2003, et administrateur depuis 2013. Il est également membre de plusieurs associations spécialisées. Yves s'intéresse aussi à la planétologie, à l'exobiologie et à l'astronomie.



Vie de l'association

Par Jean-Marc Salotti, APM

Chers membres,

Voici les nouvelles de l'association :

- Le 24/04/2025, à l'aéroport Charles de Gaulle, dans le cadre des conférences Air France et à l'instigation de Yves Tichené, Jean-Marc Salotti a fait une conférence devant une trentaine de personnes : "Systèmes de propulsion pour le voyage vers Mars".
- Le 24 juin, Philippe Coué a fait une conférence à la médiathèque José Cabanis à Toulouse : "Les taïkonautes à la conquête de l'espace : le programme spatial habité chinois".
- A venir, conférences et animations sur la planète Mars, Le Raincy, dimanche 21 septembre 2025. Sous la houlette organisationnelle de Yves Tichené, plusieurs membres APM feront des présentations sur l'exploration de Mars. Programme détaillé à venir.
- Organisation de EMC2025 (European Mars Conference) :
De nombreux experts ont donné leur accord pour nous parler de l'exploration de Mars, citons par exemple Robert Zubrin, Michel Viso, Philippe Caïs, Claire Parfitt ainsi que des représentants des Mars Society européennes. La conférence aura lieu au cœur de Paris les vendredi 28 et samedi 29 novembre 2025. L'inscription est ouverte aux membres, en fonction des places disponibles et avec des frais d'inscription modestes qui restent à définir. Vous pouvez également proposer un résumé et participer. Voir <https://planete-mars.com/european-mars-conference-2025/>

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