

Mars : état des lieux et enjeux

I. Introduction

II. Décollage

III. En orbite

IV. Formation et évolution de Mars

V. Survol de Mars / Caractéristiques physico-chimiques et paysagères

VI. Exploration de Mars

IV. Habitabilité de Mars

I. Introduction

Nous nous trouvons à l'aube d'une ère où les frontières de notre connaissance s'étendent bien au-delà des limites de notre Terre. Parmi ces nouvelles frontières, la planète Mars se dresse comme un symbole d'exploration. Notre fascination pour cette planète remonte à des millénaires. Les anciennes civilisations regardaient vers le ciel nocturne et se demandaient ce que représentait ce mystérieux point rouge. Aujourd'hui, grâce aux avancées de la science et de la technologie, nous sommes capables de transformer ces anciennes rêveries en réalité.

Pourquoi Mars ? Parce que elle représente pour nous une opportunité unique d'appréhender notre propre place dans l'univers, et peut-être un jour, de trouver une deuxième maison parmi les étoiles. Pour comprendre son histoire et son évolution, Mars fait actuellement l'objet de nombreuses explorations... Son importance scientifique et même géopolitique n'est plus à démontrer. Mais tous ses mystères n'ont pas encore été levés et Mars continue de fasciner. Que sait-on de cet objet céleste ? Comment Mars s'est-elle formée ? Quelles sont ses caractéristiques ? Pourquoi est-elle si importante pour nous ?... Embarquement immédiat pour explorer cet astre et essayer d'avoir quelques éléments de réponses à toutes ces questions.

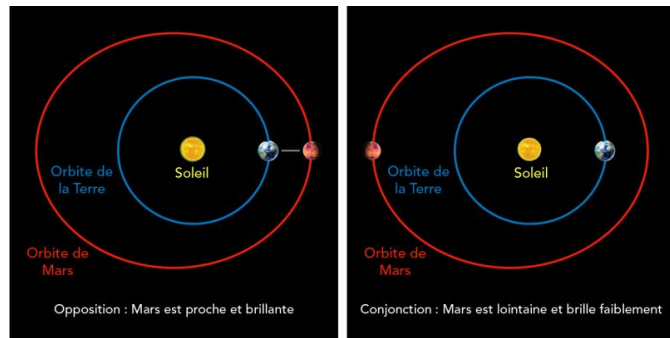
II. Décollage

Bienvenue à bord d'Ariane 5, un lanceur spatial européen, développé et exploité par l'Agence spatiale européenne (ESA) et Arianespace. Il est l'un des lanceurs les plus fiables et les plus puissants au monde. Mesurant 50 m de haut, Ariane 5 comprend deux étages. Il peut avoir une masse au décollage allant jusqu'à 780 tonnes (dont 10 tonnes de charge utile), selon la version et la configuration. Avec ses nombreuses contributions importantes aux missions spatiales commerciales et scientifiques, il reste un élément important du programme spatial européen, tout en préparant le terrain pour la prochaine génération de lanceurs avec Ariane 6. **Illustration**



III. En orbite

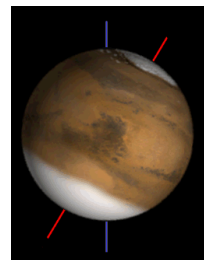
Mars est la quatrième planète du Système solaire. D'un diamètre de 6 779 km, soit presque **la moitié de la taille de la Terre**, Mars est située à une distance moyenne de 227,9 millions de km du Soleil. En suivant une orbite légèrement elliptique, elle tourne autour du Soleil en environ **687 jours** terrestres, ce qui constitue **une année martienne**.



Mars dispose de 2 satellites (lunes) : Phobos et Deimos.

De par sa masse qui de l'ordre de 0.107% fois celle de la Terre, **la gravité** sur Mars est relativement faible. Elle est d'environ **38 % de la gravité terrestre** ($9,81 \text{ m/s}^2$). En d'autres termes, un objet pesant 100 kg sur Terre pèserait environ 38 kg sur Mars. Cela a des implications importantes pour la physiologie humaine et pour les opérations sur la surface.

Mars a **une inclinaison axiale** de 25,2 degrés, ce qui est très proche de celle de la Terre (23,5 degrés). Cette inclinaison est responsable des variations saisonnières sur cette planète. **Illustration ?**



Le **cycle jour-nuit y est similaire à celui de la Terre** en termes de structure, mais il présente des différences notables en raison de la rotation et des caractéristiques propres à la planète... La durée d'un jour sur Mars, appelée un "sol," est d'environ 24 heures et 39 minutes.

Avant d'aller découvrir ces caractéristiques, remontons dans le temps pour savoir comment cette planète s'est formée il y a environ 4.6 GA.

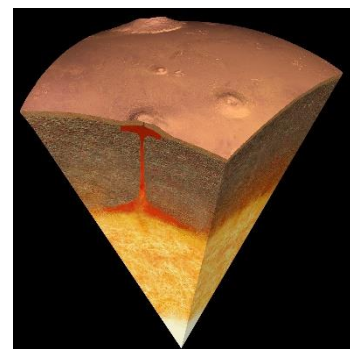
IV. Formation et évolution de Mars

Comme les autres planètes, Mars s'est formée, au début de la création du Système solaire. À cette époque, un immense nuage de gaz et de poussières s'est effondrée sous l'effet de la gravité. Ce processus a entraîné la formation du Soleil et des corps célestes qui l'entourent, y compris les planètes.

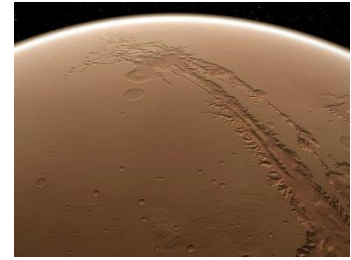
Mars s'est alors constituée à partir de la collision et de la fusion de différents corps célestes (planétésimaux). Après sa formation, cette planète a subi une différenciation, où les matériaux plus lourds (comme le fer) se sont enfoncés vers le centre pour former un noyau métallique, tandis que les matériaux plus légers rocheux ont formé le manteau et la croûte. **Illustration**



La planète a ensuite connu une intense activité volcanique. D'énormes édifices se sont formés en raison de l'accumulation continue de lave. Cette activité volcanique a également contribué à la formation de vastes plaines de lave, comme celles du plateau Tharsis. **Illustration**

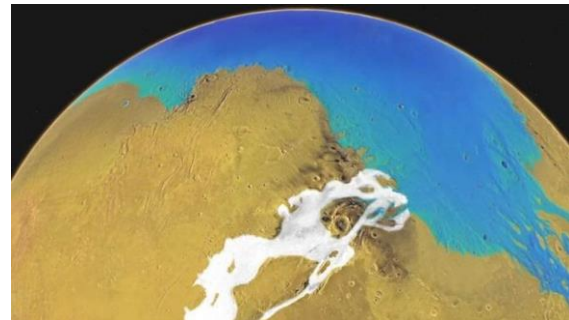


Des grands canyons se sont formés à la suite de l'érosion et de mouvements tectoniques. Des forces internes auraient étiré et fracturé la croûte, créant ces structures géologiques monumentales. Néanmoins, il faut savoir que, contrairement à la Terre, Mars semble ne pas avoir de tectonique des plaques active. La croûte martienne est considérée comme rigide et immobile. A noter également que la présence d'eau liquide aurait aussi joué un rôle dans la formation des vallées et des canyons. **Illustration ?**



Parallèlement, Mars a été frappée par de nombreux astéroïdes et comètes, créant d'énormes bassins et cratères contribuant ainsi à la structuration de la surface de la planète.

A ses débuts, Mars possédait une atmosphère plus dense, riche en gaz comme le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau et le méthane. Cette atmosphère était probablement à l'origine d'un effet de serre qui permettait à la planète de conserver de la chaleur et d'avoir un climat chaud et humide. Des preuves géologiques suggèrent que Mars, sous ces conditions, avait autrefois des rivières, des lacs voire même des océans potentiellement propices à la vie.



Illustration

Mais, au fil du temps, cette atmosphère s'est dissipée, probablement à cause de l'absence d'un champ magnétique global pour la protéger des vents solaires.

Aujourd'hui, Mars est une planète froide et aride avec des signes de changements climatiques passés et d'une activité volcanique ancienne. La surface est marquée par des volcans géants, des canyons profonds, des plaines de lave et des calottes glaciaires. Allons survoler ces paysages de près et explorer les caractéristiques de cette fascinante planète...

V. Survol de Mars : caractéristiques paysagères et physico-chimiques

Paysages et sol martien

⇒ Volcans

- Olympus Mons : Le plus grand volcan du système solaire, Olympus Mons, s'élève à environ 22 kilomètres au-dessus du niveau moyen de la surface martienne, soit presque trois fois la hauteur du mont Everest. Sa grande taille est due à l'absence de tectonique des plaques sur Mars, permettant aux éruptions de continuer sur une même région pendant des milliards d'années. **Illustration**
- Ascreus Mons, Pavonis Mons, et Arsia Mons : Ces volcans, situés sur le massif Tharsis, sont également de grands volcans boucliers, moins élevés mais tout de même impressionnants par leur taille et leur forme. **Illustration ?**



⇒ Vallées et Canaux

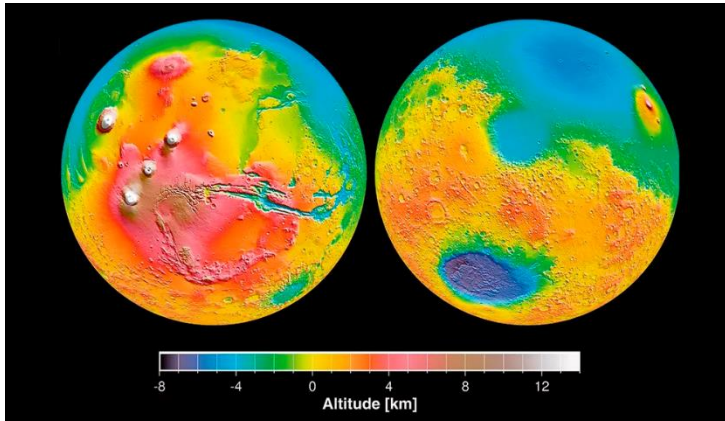
- Valles Marineris : ce gigantesque canyon s'étend sur environ 4 000 kilomètres de long, 200 kilomètres de large et jusqu'à 7 kilomètres

de profondeur. Il est l'un des plus grands canyons du Système solaire et pourrait avoir été formé par des mouvements tectoniques ou des érosions dues à de l'eau. **Illustration**



⇒ Plateaux et Hautes Terres

- Hémisphères Nord et Sud : La surface martienne est divisée en deux grandes régions géologiques : les hautes terres du sud, qui sont plus anciennes, plus élevées et plus accidentées, et les basses terres du nord, qui sont plus jeunes, plus plates et souvent recouvertes de lave.



- Hellas Planitia : Ce vaste bassin d'impact est l'un des plus grands cratères d'impact connus dans le Système solaire, avec un diamètre d'environ 2 300 kilomètres et une profondeur de 7 à 9 kilomètres. Il est situé

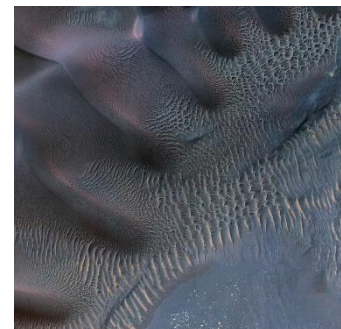
dans l'hémisphère sud de Mars. **Illustration**

⇒ Cratères d'Impact

- Endurance Crater (130 m diam / 20 m prof) : situé dans la région explorée par le rover Opportunity, ce cratère a révélé des preuves de conditions aqueuses passées, y compris des dépôts de sulfates et des sédiments indiquant la présence d'eau liquide. **Illustration**

⇒ Dunes et Déserts

- Le sol martien est principalement composé de régolithe, une couche de débris rocheux et de poussière. Ce régolithe contient des minéraux comme l'hématite, qui se forme en présence d'eau, et d'autres composants tels que des oxydes de fer (rouille), donnant à **Mars sa couleur rouge caractéristique**.
- Mars possède également des dunes de sable qui ressemblent à celles trouvées sur Terre, formées par le vent. Ces dunes peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres de hauteur et sont souvent observées dans les régions équatoriales et les plaines basses. **Illustration ?**



⇒ Tempêtes de poussière

- Mars connaît des tempêtes de poussière qui peuvent couvrir la planète entière et durer plusieurs mois. Ces tempêtes peuvent affecter la température et la visibilité, et ont des implications importantes pour les missions spatiales.

⇒ Activité sismique

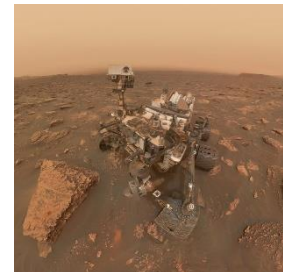
- Mars présente des signes d'activité sismique, mais elle est beaucoup moins intense que sur Terre. Les tremblements de terre martiens, ou "marsquakes", sont détectés par des instruments comme ceux de la mission InSight (2018) et peuvent fournir des informations sur la structure interne de la planète.

Température à la surface de Mars

Mars, bien qu'elle soit notre voisine dans le Système solaire, présente des conditions climatiques très différentes de celles de la Terre.

La température moyenne sur Mars est d'environ $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Néanmoins, les températures varient considérablement allant de $-125\text{ }^{\circ}\text{C}$ près des pôles en hiver à environ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à l'équateur en été. Cette grande variation de T° est liée à de nombreux facteurs :

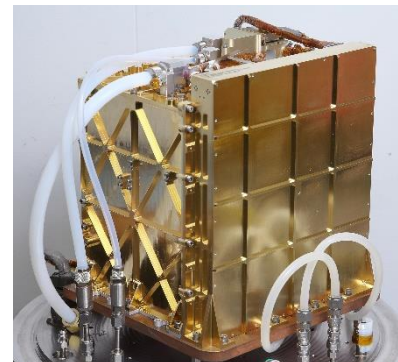
- ⇒ La distance au Soleil : Mars est, en moyenne, à environ 228 millions de kilomètres du Soleil, soit environ 1,52 fois la distance entre la Terre et le Soleil. Cette distance plus grande signifie que Mars reçoit moins de chaleur solaire.
- ⇒ L'atmosphère de Mars qui est très mince, composée principalement de dioxyde de carbone (CO_2), avec des traces d'azote, d'argon et d'autres gaz. La faible densité de l'atmosphère martienne limite sa capacité à retenir la chaleur, entraînant des variations de température extrêmes entre le jour et la nuit.
- ⇒ Inclinaison axiale et Saisons : l'inclinaison axiale de Mars est pratiquement similaire à celle de la Terre. Cela signifie que Mars connaît des saisons comme la Terre, mais chaque saison dure environ deux fois plus longtemps en raison de son orbite plus longue autour du Soleil.
- ⇒ Les tempêtes de poussière martiennes, qui peuvent durer des jours ou des semaines, peuvent également affecter la lumière du jour et la visibilité, altérant ainsi les conditions de jour et de nuit. **Illustration ?**



Oxygène martien

L'oxygène est essentiel à la vie humaine mais aussi la propulsion des fusées, et sa présence ou sa production sur Mars est un enjeu crucial pour les futures missions habitées.

L'atmosphère de Mars est très différente de celle de la Terre. Très mince, elle est composée principalement de dioxyde de carbone (CO_2) à environ 95,3 %, avec seulement 0,13 % d'oxygène. Cette faible concentration d'oxygène est insuffisante pour les besoins des humains. De plus, la pression atmosphérique à la surface de Mars est environ 0,6 % de celle de la Terre, ce qui complique davantage l'utilisation directe de l'atmosphère pour la respiration humaine. **Illustration**



Bien que l'atmosphère martienne ne contienne que des traces d'oxygène, des technologies prometteuses telles que MOXIE (procédé d'électrolyse) montrent qu'il est possible de produire de l'oxygène à partir du CO_2 . La production d'oxygène à partir de glace d'eau est également envisageable. En effet, l'eau qui en résulte peut être décomposée en oxygène et en hydrogène par électrolyse. Cette méthode nécessite des sources d'énergie très importantes et fiables, telles que des panneaux solaires ou des réacteurs nucléaires.



Une autre source potentielle d'Oxygène réside dans certaines roches et sols martiens (régolithe) qui contiennent des minéraux/oxydes. Ces derniers pourraient potentiellement être chauffés ou traités chimiquement pour libérer de l'oxygène.

Eau sur Mars

Comme l'oxygène, l'eau est un élément crucial pour la vie telle que nous la connaissons. Et la recherche de l'eau sur Mars a été une priorité pour les scientifiques depuis les premières missions vers la planète rouge. Cet élément y a été découvert sous différentes formes : solide, piégée dans des minéraux et récemment sous forme liquide. Les sources potentielles pour la production de l'eau :

⇒ Glace

- Les calottes polaires de Mars sont composées principalement de glace d'eau, mélangée avec du dioxyde de carbone gelé. Les calottes polaires changent de taille avec les saisons martiennes.

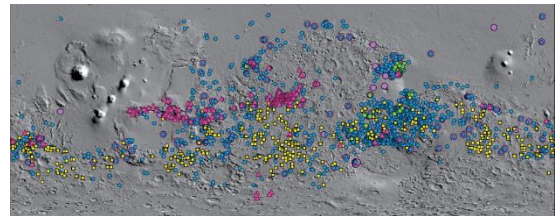
Illustration

- De grandes quantités de glace d'eau souterraine ont été détectées dans le sous-sol martien dans des régions proches des pôles mais aussi à des latitudes plus basses.



⇒ Piégée dans des minéraux

- Des analyses de roches et de sols par les rovers Spirit, Opportunity et Curiosity ont révélé la présence de minéraux hydratés tels que les argiles, les sulfates ou de la silice hydratée. Ces minéraux se forment en présence d'eau, indiquant que l'eau liquide a autrefois été présente en abondance sur Mars. **Illustration** -*phyllosilicates (vert), silices (mauve), chlorures (jaune), carbonates (vert), sulfate (triangle vert)* -



⇒ Liquide !

- En 2018, des données radar de la sonde Mars Express de l'ESA ont indiqué la présence d'un lac d'eau liquide sous la calotte polaire sud, à environ 1,5 km sous la surface. Ce lac pourrait être maintenu liquide par la présence de sels (perchlorates) qui abaissent le point de congélation de l'eau. Récemment (2024), des données de la sonde Mars Insight de la Nasa, qui a enregistré des vibrations sur la planète rouge, révéleraient la présence d'eau liquide entre 11 et 20 km de profondeur. **Illustration ?**



Il est à noter que la présence d'eau, même sous forme de saumures salées, soulève la possibilité que des formes de vie microbienne puissent exister ou avoir existé sur Mars.

VI. Exploration de Mars

Importance de Mars pour l'homme

Mars, en tant que planète voisine dans notre Système solaire, occupe une place centrale dans les ambitions de l'exploration spatiale et de la colonisation humaine. Sa proximité relative, ses caractéristiques géologiques et son potentiel pour l'habitabilité font de Mars un objectif clé pour les futures missions spatiales. Cette planète offre des opportunités uniques pour :

- La recherche scientifique notamment en matière de la compréhension de l'origine et de l'évolution du Système solaire et de ses objets ainsi que de la compréhension de leurs processus géologiques, climatiques et potentiellement biologiques,
- La préparation pour la vie extraterrestre (par exemple tester des technologies pour la vie humaine dans des environnements extraterrestres),
- L'exploitation de ressources (par exemple, le régolithe martien contient des éléments comme le fer, le nickel et le cobalt qui pourraient être utiles pour la construction et la fabrication sur place) ...

Actuellement, l'un des principaux objectifs des missions martiennes est de rechercher des signes de vie passée ou présente. La découverte de preuves de vie, même sous forme microbienne, aurait des implications profondes pour notre compréhension de la biologie, de l'évolution et de la possibilité de vie ailleurs dans l'univers

Exploration : des engins conçus par les humains sur Mars

Les sondes et engins en orbite ou positionnés sur Mars ont considérablement élargi notre compréhension de la planète rouge. Chaque mission a contribué à notre connaissance de la géologie, de l'atmosphère, du climat et du potentiel d'habitabilité de Mars.

Missions Actuelles (cf. Men in space)

- ⇒ Curiosity (NASA, 2012)
 - Curiosity a découvert des preuves de l'eau passée, de l'argile, et des composés organiques sur Mars. Il continue à analyser les échantillons de sol et de roche pour comprendre l'histoire de l'eau sur Mars.
- ⇒ InSight (NASA, 2018)
 - Réalisations : InSight a enregistré de nombreux séismes martiens, fournissant des informations sur l'activité tectonique et la composition interne de Mars.
- ⇒ Perseverance (NASA, 2021)
 - Perseverance a déjà commencé à collecter des échantillons de roche et a déployé l'hélicoptère Ingenuity pour des vols d'essai dans l'atmosphère martienne.
- ⇒ Tianwen-1 et Zhurong (CNSA, 2021)
 - Zhurong a exploré la surface de Mars, prenant des images et analysant les caractéristiques géologiques, et a fourni des données sur la structure du sol martien.

Missions Passées Notables

- ⇒ Viking 1 et 2 (NASA, 1976)
 - Les atterrisseurs Viking ont réalisé les premières analyses biologiques directes du sol martien, pris des images détaillées de la surface et fourni des données météorologiques importantes.
- ⇒ Spirit et Opportunity (NASA, 2004)
 - Les rovers jumeaux ont découvert des minéraux formés dans l'eau, exploré de vastes zones de Mars et pris des milliers de photos détaillées. Opportunity a parcouru plus de 45 km avant de terminer sa mission en 2018.

Missions Futures

- ⇒ Mars Sample Return (NASA/ESA, Années 2030)
 - Son objectif est de ramener des échantillons de roche et de sol martiens sur Terre pour une analyse détaillée.

Durée du voyage pour aller sur Mars

La durée du voyage vers Mars dépend principalement des trajectoires choisies et des technologies de propulsion utilisées. En utilisant des méthodes actuelles, comme le transfert de Hohmann (trajectoire elliptique), le voyage prendrait environ **6 à 9 mois**. Des technologies de propulsion avancées, telles que la propulsion nucléaire ou ionique, pourraient potentiellement réduire cette **durée à 4 à 6 mois**. La gestion des défis associés, notamment la protection contre les radiations et la santé des astronautes, sera cruciale pour le succès des missions habitées vers Mars.

Quand pourrons-nous aller sur Mars ?

Les premières missions habitées vers Mars pourraient avoir lieu dans **les années 2030**, selon les plans de la NASA (Artémis), tandis que SpaceX envisage des délais plus courts. Ces échéances sont sujettes à de nombreux défis techniques, financiers et politiques. La coopération internationale, les avancées technologiques continues et la résolution des problèmes de santé et de logistique joueront un rôle clé dans la réalisation de ce grand pas pour l'humanité. **Illustration**



VII. L'habitabilité de Mars

L'habitabilité de Mars est un sujet de fascination et de recherche intense. Bien que la planète rouge soit actuellement inhospitalière pour la vie humaine, elle présente des caractéristiques qui pourraient rendre la colonisation possible à l'avenir.

Rappelons d'abord des conditions Environnementales

- ⇒ Mars possède une atmosphère extrêmement mince composée principalement de dioxyde de carbone (95%), avec des traces d'azote et d'argon. Cette atmosphère est incapable de retenir la chaleur, ce qui entraîne des températures extrêmement froides, avec une moyenne d'environ -60°C et des pointes jusqu'à -125°C aux pôles pendant l'hiver martien.
- ⇒ En raison de l'absence d'un champ magnétique global et de l'atmosphère mince, la surface de Mars est exposée à des niveaux élevés de radiations cosmiques et solaires. Cela pose un risque important pour la santé humaine et nécessite des solutions d'abri appropriées. **Illustration**
- ⇒ L'eau, sous forme de glace, est présente aux pôles martiens et sous la surface. Des missions ont également découvert des traces de saumures (eaux) salées, suggérant la présence d'eau liquide dans des conditions extrêmement spécifiques. L'eau est essentielle non seulement pour la consommation humaine mais aussi pour la production de carburant et d'oxygène.



En ce qui concerne les ressources Disponibles

- ⇒ Le sol martien, riche en fer et en d'autres minéraux, pourrait être utilisé pour la construction et la fabrication. Cependant, il contient également des perchlorates qui sont toxiques pour l'homme et nécessitent un traitement avant toute utilisation agricole. **Illustration**



- ⇒ Malgré sa composition majoritairement en dioxyde de carbone, l'atmosphère martienne pourrait être exploitée pour produire de l'oxygène et du carburant (méthane) grâce à des processus comme l'électrolyse et la réaction Sabatier. **Illustration**



Technologies et Infrastructure

- ⇒ Pour survivre sur Mars, les habitats devront fournir une protection contre les radiations, maintenir des températures supportables, et assurer une atmosphère respirable. Des concepts comme les habitats gonflables, les dômes en verre et les structures creusées dans le sol martien sont à l'étude. **Illustration**
- ⇒ La production de nourriture sur Mars nécessitera des serres pressurisées avec contrôle de la lumière, de la température et de l'humidité. Des expériences de culture dans des sols simulant celui de Mars ont montré que la culture de certaines plantes est possible avec des amendements et un traitement adéquat. **Illustration**
- ⇒ Les sources d'énergie essentielles sur Mars incluront les panneaux solaires et les petits réacteurs nucléaires pour assurer une alimentation constante en énergie, indépendamment des conditions météorologiques. **Illustration**



Défis et Solutions

- ⇒ Les effets à long terme de la gravité martienne, qui est environ 38% de celle de la Terre, sur la physiologie humaine ne sont pas entièrement compris. Des solutions potentielles incluent des programmes d'exercice rigoureux et des recherches en biologie spatiale.
- ⇒ L'envoi de matériel et de fournitures depuis la Terre sera coûteux et complexe. Le développement de technologies d'autosuffisance et de production locale (in-situ resource utilization, ISRU) sera crucial pour une présence humaine durable sur Mars.

L'habitabilité de Mars, bien que présentant de nombreux défis, n'est pas une idée farfelue. La vision d'établir des colonies humaines sur Mars devient de plus en plus réalisable. Chaque mission, chaque découverte nous rapproche un peu plus de ce futur où l'humanité pourrait étendre sa présence au-delà de la Terre, transformant la planète rouge en une deuxième maison pour l'humanité.

Que cette présentation nous inspire tous à regarder au-delà de notre horizon quotidien et à embrasser l'esprit d'exploration et d'innovation qui nous pousse vers les étoiles.

Votre mission est d'apporter des idées contribuant à solutionner certains problèmes ... avec pourquoi pas une aide à la mise en place d'une future base martienne habitable par l'homme. Nous comptons sur vous !