

20.07.2069

Enoncé théorique du projet de master

EPFL - Architecture

2018 - 2019

Julien Fawaz

Sous la direction de:

Professeur énoncé théorique: Fivet Corentin

Directeur pédagogique: Braghieri Nicola

Maître EPFL: Zurbrügg Peter

*Fig.1 Couverture du TIME
le 25 juillet 1969.*

FIFTY CENTS *

JULY 25, 1969

TIME

**MAN
ON THE
MOON**



INTRODUCTION

Mars, quatrième planète de notre système solaire et visible à l'œil nu, est observée, fantasmée depuis que l'homme scrute le ciel nocturne. Sa couleur rouge, qui n'est pas sans rappeler à nos ancêtres les champs de batailles, nourrit les mythologies antiques.

Le rêve d'une vie intelligente sur la planète rouge reste dans l'imaginaire collectif jusqu'au XX^{ème} siècle. Le 20 juillet 1969, l'homme pose son premier pied sur la Lune. Cette soif colonisatrice perdure et se transpose aujourd'hui sur d'autres planètes, comme Kepler-452, située à quelques 1 400 années-lumières de la terre et découverte le 23 juillet 2015. Du fait de notre volonté d'expansion, Mars n'est que la prochaine étape de la colonisation de notre système solaire.

Cette planète non foulée par l'être humain possède des caractéristiques physiques spécifiques à son milieu. L'atmosphère, les températures, la géologie et même les ressources sont différentes de ce que l'on peut trouver sur Terre, même s'il existe des points communs. Le milieu martien, est le milieu le plus hostile que l'homme veut conquérir.

Pourtant l'homme veut aller plus loin. Les conquêtes passées le prouvent encore aujourd'hui. Du programme Apollo américain au programme mondial de la station spatiale internationale, l'homme cherche à comprendre et à construire au mieux des habitats extraterrestres.

Les agences spatiales, comme la NASA (National Aeronautics and Space Administration) ou encore l'ESA (European Space Agency)

ont d'ores et déjà commencé à collecter les données. Les écosystèmes écologiques fermés témoignent de l'intérêt porté par les agences à recréer du mieux possible le milieu terrien.

Les simulations de vie martienne viennent ponctuer les recherches. Mars 500 par exemple, ou encore le programme Hi-seas sont des premiers pas dans la compréhension d'une nouvelle forme de vie et d'architecture.

Cependant ces expériences passées ne mettent pas en lumière les questions architecturales primordiales au bon déroulement de ce voyage, elles se concentrent sur la psychologie et les protocoles que peuvent rencontrer nos prochains colons. Les nouveaux défis qui incombent à une telle entreprise sont immenses, l'architecture et l'urbanisme en étant une partie importante.

L'architecture doit s'adapter à un nouveau milieu et s'inventer. Le contexte étant une planète d'apparence stérile située à 75.3 Millions de kilomètres, lorsqu'elle est le plus proche de nous.

Ce travail vise à apporter des réponses architecturales et urbaines à une question nouvelle. Les particularités physiques, sociologiques et mathématiques n'étant pas mises de côté, il faut réfléchir les espaces en conséquence. L'architecture se doit d'être intégrée dans la réflexion d'une nouvelle forme de vie extra-terrestre.

Dans le but de préparer nos futurs astronautes, protagonistes d'une expérience architecturale déduite par la science, ramenons les conditions martiennes sur Terre.

MARS	9-32
(Milieu martien)	
Atmosphère	12-13
Température	14-15
Géologie	16-21
Ressources	22-29
Non Simulables	30-31
 MARS-TERRE	 33-62
(Inclusion du milieu terrien dans un milieu hostile)	
Lune	36-39
Stations Spatiales	40-55
Habitat Martien	56-61
 TERRE-MARS-TERRE	 63-88
(Inclusion du milieu terrien, dans le milieu martien, dans le milieu terrien)	
Systèmes écologiques fermés	66-71
Voyage Inter-planétaire	72-73
Simulations	74-85
Site	86-87

MARS



Depuis des siècles, nous essayons de comprendre notre planète voisine. Pourtant cela fait seulement quelques décennies que nous commençons à connaître ses propriétés physiques. Grâce aux robots présents sur Mars et aux sondes envoyées en orbite, nous pouvons faire un état des lieux des conditions martiennes, et les comparer si nécessaire à celles sur Terre.

Pour ce faire, regardons ces caractères par ordre de nécessité à la vie d'un astronaute sur le sol rouge. Étudier l'atmosphère est une condition primordiale. Les températures rencontrées, la géologie de la planète, les ressources disponibles sont autant de critères qui ne peuvent être ignorés. Ces données, et contraintes peuvent se recréer ou même se trouver sur terre. Cependant, il reste des données qui ne peuvent être reproduites sur terre, comme la gravité martienne ou les radiations que la planète reçoit.

ATMOSPHERE

Les données ont été récoltées par les atterrisseurs des sondes Viking 1 et Viking 2 en 1976. Les observations précédentes étant étonnantes, la connaissance de l'atmosphère martienne est très récente.

En terme de volume, l'atmosphère de Mars est constituée à 95% de Dioxyde de carbone (CO_2), 3% de Diazote (N_2), 1.6% d'Argon (Ar) ainsi que des traces d'Eau (H_2O), de Méthane (CH_4) et d'Oxygène (O_2).⁽¹⁾

En comparaison l'atmosphère terrestre (en condition sèche) est composée à 78.09% de diazote (N_2), 20.95% d'oxygène (O_2), 0.93% d'argon (Ar), 0.03% de dioxyde de carbone (CO_2) mais aussi de; néon (Ne), hélium (He), krypton (Kr), hydrogène (H_2), xénon (Xe), ozone (O_3) et enfin du radon (Rn), tout cela en quantités minimales.⁽²⁾

La plupart des gaz présents sur Mars sont similaires à ceux sur la Terre, mais dans des proportions telles, qu'ils ne permettent pas à un être humain d'y respirer et d'y survivre.

La pression atmosphérique moyenne de Mars est de 610 Pascal, sur Terre elle avoisine les 101'325 Pascal.⁽³⁾

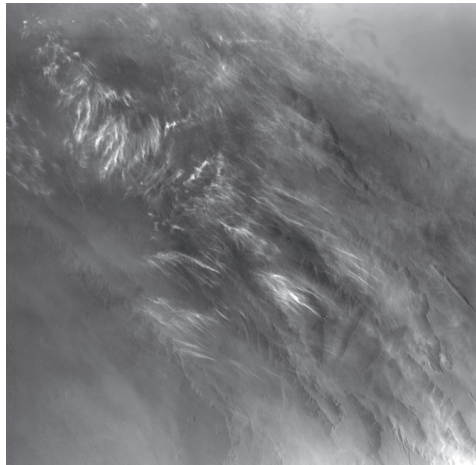


Fig.2 Nuages martiens vus par l'orbiteur Viking 1 en 1976.

⁽¹⁾ Grego, Peter. *Mars and How to observe it*. Springer, New York, Ny. 2012. Chapter 4. Atmospherics, Meteors and Magnetic Field. pp. 67-69

⁽²⁾ Saha, Kshudiram. *The Earth's Atmosphere*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. Chapter 2.2. Composition of the Atmosphere. pp. 10-12

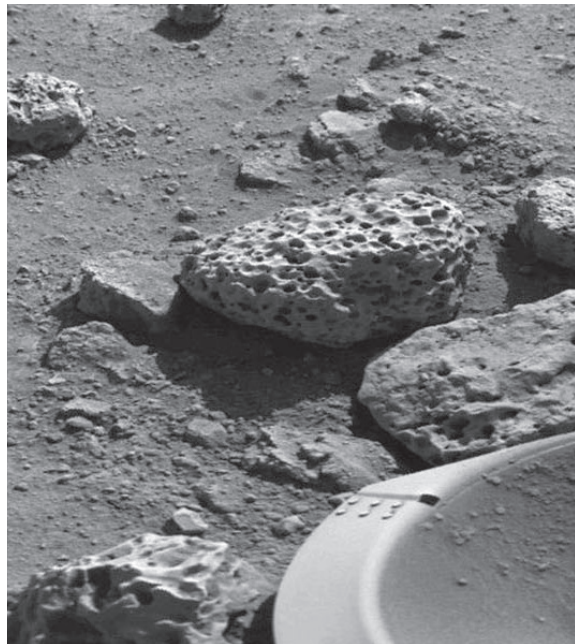
⁽³⁾ «Pression», Météo France. Vu le 2 novembre, 2018. <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/parametres-observees/pression>



Fig.3 Dr. Carl Sagan, connu pour sa série télévisée «Cosmos», pose avec un modèle de l'atterrisseur Viking 1 dans la vallée de la mort.

Fig.4 (en bas à gauche) L'image prise par l'orbiteur Viking 1 en juin 1976, présente l'atmosphère translucide et poussiéreuse au-dessus de la surface martienne.

Fig.5 (en bas à droite) Première photo de l'atterrisseur Viking 2, quelques minutes après son atterrissage. Elle est prise le 3 septembre 1976.



TEMPÉRATURE

Mars est à 229.000.000 kilomètres du Soleil, en comparaison, la Terre n'est qu'à 150.000.000 kilomètres de l'étoile. Par conséquent, la planète rouge est irradiée avec des valeurs comprises entre 492 et 715 W/m², en ce qui concerne notre planète bleue, nous sommes plutôt entre 1321 et 1413 W/m². Enfin, l'atmosphère de Mars est 100 fois moins dense que celle de la Terre, l'effet de serre en devient donc négligeable.⁽⁴⁾

La température moyenne de Mars est de -63°C (-81°F) contre 14°C (57°F) sur Terre. Les extrêmes martiens sont de -140°C (-284°F) à 30°C (86°F), contre -88°C (-126°F) à 58°C (136°F) sur Terre.

La sonde Viking 1 de la NASA, enregistre le 20 juillet 1976 sur une même journée, un écart de -14°C (7°F) à -77°C (-107°F). Soit une amplitude thermique diurne de 63°C.⁽⁵⁾

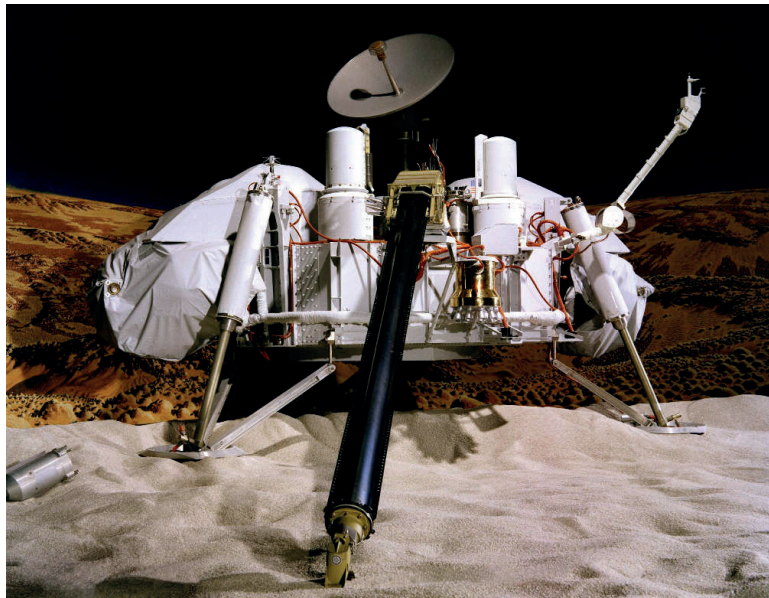


Fig.6 Prototype de la sonde Viking 2.

⁽⁴⁾ «Mars Facts», NASA. Vu le 3 décembre, 2018, <https://mars.nasa.gov/allaboutmars/facts/>

⁽⁵⁾ Jet Propulsion Laboratory. *Viking Mission to Mars*. 1988. https://www.jpl.nasa.gov/news/fact_sheets/viking.pdf

⁽⁶⁾ «Le Climat en Antarctique», Institut Polaire Français. Vu le 11 décembre, 2018, <http://www.institut-polaire.fr/ipev/informations-polaires/en-antarctique/le-climat-en-antarctique/>

En moyenne, Mars a des températures similaires aux températures basses extrêmes sur Terre. Par exemple, au nord de l'Islande, en hiver la température peut baisser jusqu'à -40°C . Enfin, l'une des régions les plus froides de notre monde reste l'antarctique, avec une moyenne de -59.5°C au mois de juillet.⁽⁶⁾



Fig.7 Base Russe Vostock en Antarctique.

Par ailleurs, le record est détenu par la station de recherche russe Vostock, -89°C en 1983. Cette station subit des minimales en août allant en moyenne jusqu'à -72°C .⁽⁷⁾

Concernant les amplitudes thermiques terrestres, en 1916 la ville de Browning, dans le Montana aux États-Unis, a expérimenté une amplitude diurne de 55.5°C . La température est passée de -6.7°C à 48.8°C , en quelques heures seulement. Mais un tel phénomène reste un record et exceptionnel.⁽⁸⁾

En Afghanistan, Kaboul est une ville qui subit régulièrement des amplitudes thermiques journalières de l'ordre de 20°C .⁽⁹⁾

Concluons simplement que sur Terre, les amplitudes thermiques diurnes ne peuvent être mises en parallèle avec celles de Mars.

⁽⁷⁾ «Records météorologiques et climatiques», Notre Planète Info. Vu le 11 décembre, 2018, https://www.notre-planete.info/terre/records/meteo_climat.php

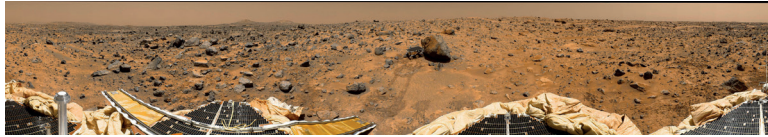
⁽⁸⁾ British Antarctic Survey. *Final Comprehensive Environmental Evaluation*. 2007. Chapter 2.5. Halley VI Design. pp. 10-13

⁽⁹⁾ Paul Guichonnet. *Le climat de l'Afghanistan*. Revue de Géographie Alpine. 1950 38-1 pp. 195-197

GÉOLOGIE

En 1971, les premières données géologiques sont parvenues grâce au survol de Mariner 4 et au vol orbital de la sonde Mariner 9. Au milieu des années 1970, les engins Viking 1 & 2 permettent d'analyser par spectrométrie et fluorescence X des échantillons de roches Martiennes. Ces analyses démontrent des richesses en fer (Fe), magnésium (Mg) et calcium (Ca). Toutefois, le sol reste pauvre en potassium (K+), silicium (Si) et aluminium (Al).⁽¹⁰⁾

Fig.8 Panorama de 360 degrés, image prise par Mars Pathfinder le 5 juillet 1997.



Mars Pathfinder, un des rovers de la NASA, se pose le 4 juillet 1997 à la surface de Mars. Grâce au «Alpha Proton X-Ray Spectrometer» équipé sur le robot, des analyses plus approfondies confirment les données initiales du programme Viking. Des précisions sont cependant apportées, comme la présence d'eau liquide lors d'une période plus chaude et stable de la planète rouge.⁽¹¹⁾

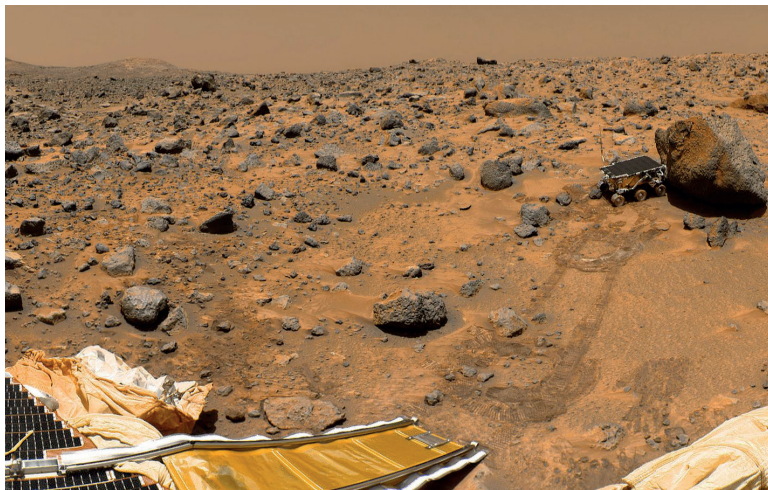


Fig.9 Zoom du panorama de Mars Pathfinder

⁽¹⁰⁾ Philippe Masson. *Géologie et morphologie de la Planète Mars (Geology and morphology of planet Mars)*. Bulletin de l'Association de Géographes Français. 1984. N°504. pp. 237-244

⁽¹¹⁾ Jet Propulsion Laboratory. *Mars Pathfinder*. 1998. https://www.jpl.nasa.gov/news/fact_sheets/mpf.pdf

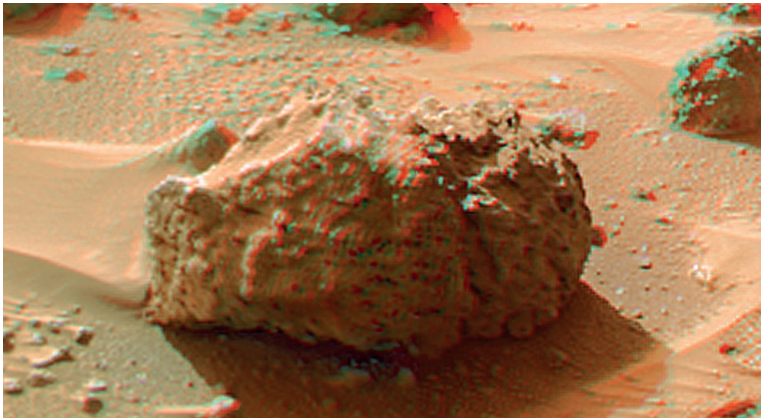


Fig.10 «Barnacle Bill» est la première roche étudiée par le spectomètre à rayons X. La photo met en avant la résolution disponible quant à l'étude des roches par Mars Pathfinder.



Fig.11 Illustration de Mars Pathfinder et du rover Sojourner à la surface Mars.

La couleur rougeâtre de Mars est due à sa composition surfacique majoritaire en fer. L'exposition des roches et de la poussière à l'atmosphère martienne les oxyde. Le fer se transforme alors en oxyde de fer (Fe_2O_3).⁽¹²⁾ En somme la planète rouille, c'est pour cette raison que son apparence est rouge.

Fig.12 Zoom du cratère Bonneville par le rover Spirit, le 13 mars 2004.



Esthétiquement, Mars ressemble à un désert aride terrien. Par exemple, le désert du Namib, se situe au sud-est de la Namibie. Son sable est coloré par les oxydes de fer. Ou encore en Jordanie, le Wadi Rum a été le décor de films comme Star Wars ou The Martian (Seul sur mars). Le désert d'Acatama lui, au Chili, est tellement similaire à Mars, que des chercheurs de la NASA s'y sont installés. Ils tentent d'y élucider le mystère des résultats négatifs des sondes Viking 1 & 2 concernant la vie sur Mars.⁽¹³⁾

Enfin, le volcan Mauna Loa à Hawaï a été choisi par la Nasa pour les missions de simulations martiennes Hi-seas, en partie pour son sol volcanique et ses coulées de laves qui rappellent les paysages martiens.

⁽¹²⁾ NASA. *Mars in a Minute: Is Mars Really Red?* 2011. <https://mars.jpl.nasa.gov/msl/multimedia/videos/index.cfm?v=29&a=2>

⁽¹³⁾ NASA. *Mars-like Atacama desert could explain Viking «no life» results.* 2003, 7 Novembre, https://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2003/03_87AR.html

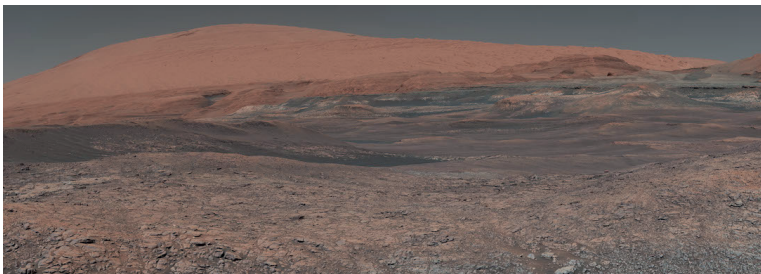


Fig.13 Image prise par le rover Curiosity, le 4 avril 2017.



Fig.14 Désert du Namib.



Fig.15 Wadi rum.



Fig.16 Désert d'Acatama.



Fig.17 Mauna lao à Hawaï.



Fig.18 (en haut) Vue de la gorge sur le plateau du Columbia, dans l'Oregon, Etats-Unis.

Fig.19 (au milieu) Gorge Ajanta sur le plateau du Deccan en Inde.

Fig.20 (en bas) Nord de l'Islande à 10 km de la ville de Varmahlö.

Fig.21 (page de droite) Altimétrie de Mars en km.

En somme, la composition globale des échantillons de roches martiennes récoltées sont des pierres dites basaltiques et riches en fer.⁽¹⁴⁾ On en trouve en bon nombre sur Terre, le basalte étant une roche magmatique.

Les étendues de roches basaltiques sont effectivement nombreuses. Nous pouvons en citer quelques-unes, qui sont particulièrement grandes. Le plateau du Columbia aux États-Unis, l'Islande ou encore le Deccan en Inde.⁽¹⁵⁾

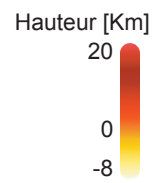
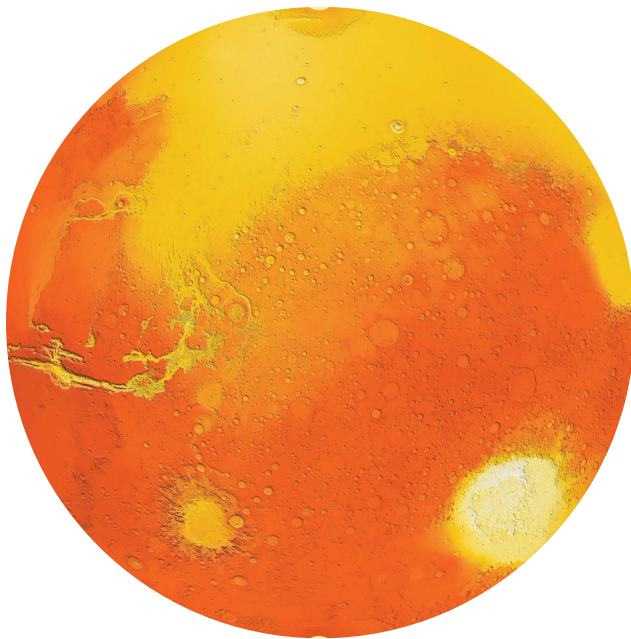
Encore une fois, Hawaï, où est installée la base Hi-seas de la Nasa est proche des conditions géologiques martiennes, du fait de son volcan encore actif produisant des coulées de laves basaltiques.

Enfin, Mars a une topographie propre à sa planète. A force d'érosions, il y a des milliards d'années, sa topographie reste pourtant similaire à celle de la Terre. Cependant il n'y a pas d'eau liquide ou d'océan sur Mars. La définition du niveau de la mer Terrestre n'est alors pas applicable sur cette planète. Pour palier ce manque, les astronomes définissent la surface équipotentielle de référence en fonction de la pression atmosphérique moyenne. Cela signifie qu'à 610 Pascal, le niveau de la surface martienne est à 0.⁽¹⁶⁾

⁽¹⁴⁾ Philippe Masson. *Géologie et morphologie de la Planète Mars (Geology and morphology of planet Mars)*. Bulletin de l'Association de Géographes Français. 1984. N°504. pp. 237-244

⁽¹⁵⁾ Hetu Sheth. *A Photographic Atlas of Flood Basalt Volcanism*. Springer International Publishing AG. 2018.

⁽¹⁶⁾ «Mars Datum», Lunar and Planetary Institute. Vu le 4 novembre, 2018, <https://www.lpi.usra.edu/education/K12/gangis/marsdatum.html>



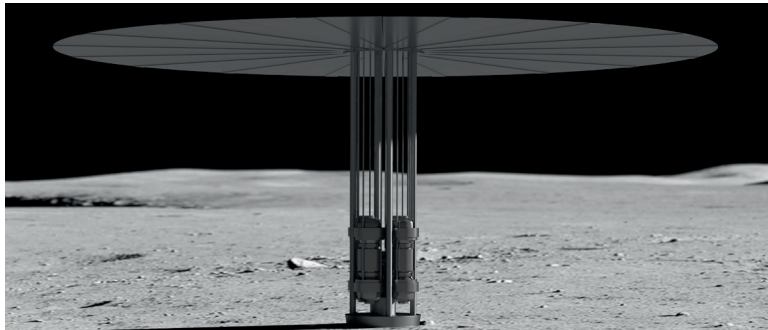
RESSOURCES

Si des êtres humains devaient vivre sur Mars, les ressources nécessaires à sa survie se feraient rares. Il n'y a, semble-t-il, ni charbon, ni pétrole, ni autres hydrocarbures fossiles. A des millions de kilomètres de la Terre, et au vu de la technologie actuelle, les ravitaillements à courts termes sont aujourd'hui impossibles. Il faut donc trouver des solutions sur place, aussi bien en termes d'énergies, de matériaux de construction, d'eau ou de nourriture. Plusieurs solutions sont d'ores et déjà envisageables en fonction des différentes découvertes scientifiques.

Energie

L'énergie est une ressource cruciale si l'on envisage de séjourner sur Mars. L'idée la plus concrète aujourd'hui est l'énergie nucléaire. Celle-ci semble être la solution la plus envisageable, du fait de son efficacité et de sa compacticité, la NASA conceptualise, en ce moment même, des mini réacteurs à fission nucléaire. Le projet concerné, Kilopower,⁽¹⁸⁾ fut présenté le 2 mai 2018. Il peut produire jusqu'à 10.000 W pour un poids de 1.500 Kg.⁽¹⁷⁾ Une taille qui lui confère un avantage certain en comparaison à d'autres ressources énergétiques. Certaines machines toujours en place sur Mars fonctionnent à l'énergie nucléaire. Par exemple, le rover Curiosity sur Mars fonctionne, depuis 2012, à l'énergie nucléaire.

Fig.22 Image de rendu pour le projet Kilopower de la Nasa.



⁽¹⁷⁾NASA. Space Technology. *The Fission System Gateway to Abundant Power for Exploration*. 2018. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/ns_kilopower_fs_180111.pdf

⁽¹⁸⁾NASA. Space Technology. *Kilopower Press Conference*. 2018. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/kilopower_media_event_charts_16x9_final.pdf

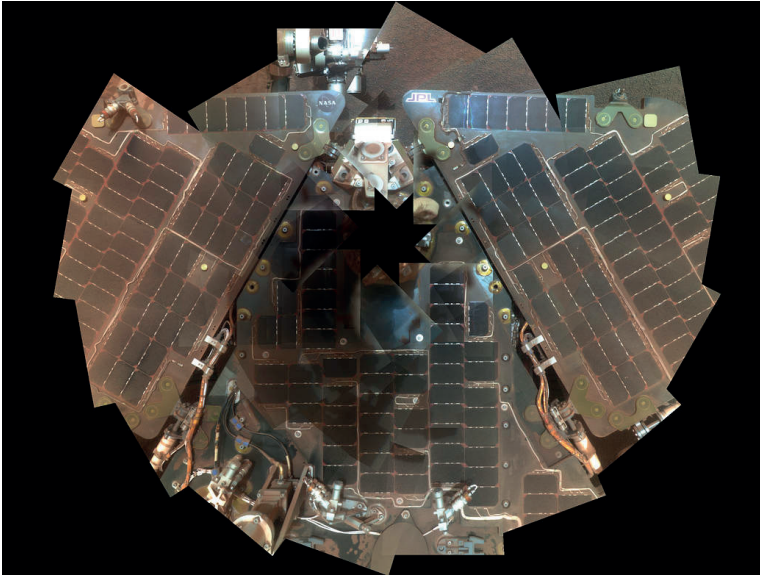


Fig.23 Auto-portrait du rover Opportunity en 2007.

La deuxième source d'énergie possible est celle de notre étoile, l'énergie solaire. Les rovers précédant Curiosity, tels que Opportunity ou Spirit fonctionnent à l'énergie solaire. Cependant leurs besoins sont minimes, l'irradiance comme vu précédemment est très faible, leur puissance par surface unitaire est faible, 140 W au mieux. De plus, ces rovers ne peuvent fonctionner la nuit et lors de tempêtes de sable.⁽¹⁹⁾

Enfin la dernière énergie envisageable et intéressante car inépuisable est la géothermie. Sur terre, il existe ce qu'on appelle des points chauds. Si nous en trouvons également sur Mars, il sera alors possible d'exploiter cette ressource. Il suffira de forer quelques mètres. Mais tout comme l'éolienne, le rapport énergie dépensée/énergie récupérée est trop faible.

⁽¹⁹⁾ «Pour s'installer sur Mars l'homme devra utiliser les ressources locales», Le Temps, Pierre Brisson. Vu le 5 décembre, 2018, <https://blogs.letemps.ch/pierre-brisson/2017/12/19/lisru-clef-de-lexploration-de-mars-par-vols-habites/>

Construction

Construire sur Mars est un véritable défi, aujourd'hui le matériel nécessaire à la construction ne peut être entièrement envoyé sur la planète rouge. 4000 \$,⁽²⁰⁾ c'est le prix du lancement d'un kilogramme de matériel dans l'orbite basse terrestre. Il est donc impossible d'envoyer des tonnes de matériaux dans l'espace, et par conséquent sur Mars.

C'est pour ces raisons, que les chercheurs se penchent sur une utilisation locale des matériaux de construction. Plusieurs possibilités sont explorées:

Aussi simple que cela puisse paraître, l'utilisation de la rigolithe martienne pourrait permettre de créer des briques d'un nouveau genre. L'université de San Diego en Californie, et plus précisément le chercheur Yu Qiao, a testé ces briques réalisées par compression. Ces briques ont des propriétés physiques défiant celles du béton armé. Il suffirait d'amener une compresse, mais la rigolithe doit être récoltée en nombre pour que l'on puisse espérer construire un habitat en brique.

Fig.24 Brique fabriquée à partir d'un sol similaire à celui de Mars. Celle-ci est fissurée, les chercheurs l'ont testée jusqu'à son point de rupture.



⁽²⁰⁾ «To build settlements on Mars, we'll need materials chemistry», Neil Savage. Vu le 3 décembre, 2018, <https://cen.acs.org/articles/96/i1/build-settlements-Mars-ll-need.html>

⁽²¹⁾ «Bricks made from fake Martian soil are surprisingly strong», Popular Science. Sarah Fecht. Vu le 14 novembre, 2018, <https://www.popsci.com/mars-soil-bricks>

L'utilisation de l'impression 3D est une piste sérieuse et promotionnée par bon nombre de chercheurs. Plusieurs matériaux peuvent être utilisés.

Une des propositions, serait d'utiliser la glace martienne. Les températures martiennes étant très basse, une pression adéquate à l'intérieur de l'édifice permettrait le maintien de l'eau à l'état solide. La limite de cette idée réside dans la question de l'économie de l'eau sur Mars. Il semble effectivement plus juste de l'utiliser pour les systèmes de survie.⁽²²⁾



Fig.25 L'imprimante 3D créée par l'équipe de l'Université d'Alaska pour la phase 1 du concours de la Nasa: 3D-Printed Habitat Challenge.

L'autre matériau à fort potentiel est lié à la constitution même du sol martien. En effet, nous pouvons utiliser le basalte et avec un mélange adéquat directement l'imprimer en 3D. La Nasa a lancé le « 3D-Printed Habitat Challenge » avec 2.5 millions de dollars en récompense pour une solution viable sur Mars. Plusieurs agences d'architecture et universités participent à ce challenge qui se déroule sur plusieurs années. Ce qui rend l'impression 3D intéressante, c'est sa polyvalence, le principe peut être utilisé pour l'habitat mais aussi pour l'outillage, ou encore pour réparer des pièces défectueuses.⁽²³⁾

⁽²²⁾ «Mars Ice House», Space Exploration Architecture et Clouds AO. Vu le 9 novembre, 2018, <http://www.marsicehouse.com>

⁽²³⁾ «SpaceX to Mars City: How to Build on Mars», Constructible. Sarah Lorek. <https://constructible.trimble.com/construction-industry/spacex-to-mars-city-how-to-build-on-mars>

Eau

Pendant longtemps, nous avons cru possible l'existence d'eau liquide sur le sol de Mars. Jusqu'en 1960, les canaux, cratères martiens le laissent penser et font douter des astronomes.

C'est le 15 juillet 1965, que la sonde Mariner 4 passe à 9846 kilomètres de Mars et rapporte les premiers clichés photographiques de Mars.⁽²⁴⁾ La déception est immense, la surface apparaît alors stérile et sans aucune trace d'eau liquide.

Quelques années plus tard, la sonde Mariner 9 est placée en orbite martienne, elle cartographie 70% de la planète. Grâce à ces nouvelles données, les scientifiques imaginent la présence massive d'eau par le passé.

Il aura fallu attendre 2003, les rovers Spirit et Opportunity pour avoir une preuve formelle d'une présence antérieure d'eau liquide à la surface martienne. Les roches ont été hydratées par le passé, c'est un fait.

2008, Phoenix devient le premier engin à récolter de la glace d'eau martienne à son pôle nord. On officialise la présence d'eau sous forme solide à la surface de Mars, quant à l'eau liquide, elle remonte à au moins 4,5 milliards d'années.⁽²⁵⁾

De nos jours, en raison de la température et de la pression sur Mars, nous savons qu'il est impossible de trouver de l'eau liquide à sa surface.

Le 25 juillet 2018, grâce au radar MARSIS, une nouvelle retentit dans le monde scientifique: il y a, semble-t-il, de l'eau liquide sous la surface de Mars.⁽²⁶⁾ Ce lac sous-terrain se situerait au dessous d'une immense masse de glace. Sous son propre poids, la glace se transforme en eau. Une annonce, qu'il faut encore confirmer. A prendre avec des pincettes donc.

⁽²⁴⁾ «L'eau sur Mars, une épopée légendaire et scientifique», Le Temps. Sami Zaïbi. Vu le 6 novembre, 2018, <https://www.letemps.ch/sciences/leau-mars-une-epopee-legendaire-scientifique>

⁽²⁵⁾ Idem

⁽²⁶⁾ Ibidem

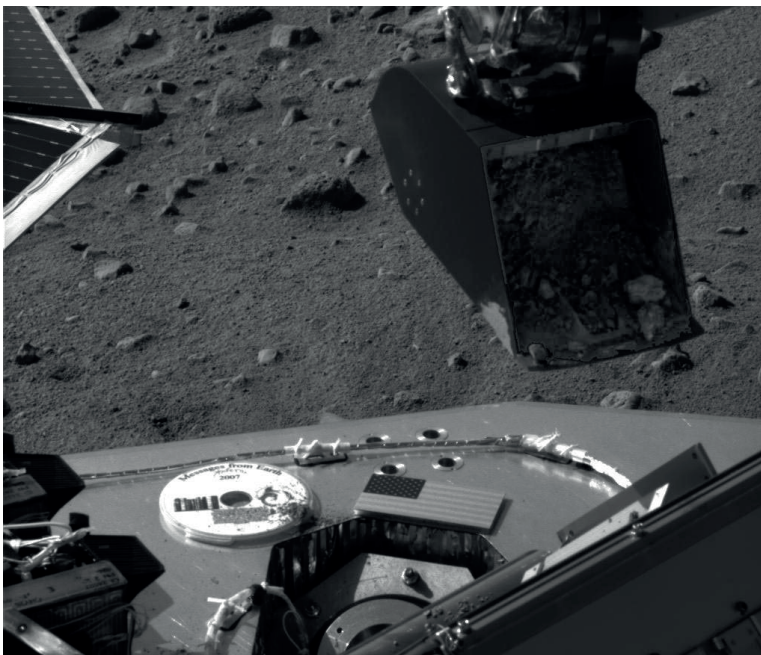


Fig.26 Photo prise par l'atterrisseur Phoenix de la Nasa, le 5 juin 2008, soit onze jours après son arrivée.



Fig.27 Le rover Phoenix récolte pour la première fois de la glace d'eau martienne.



Fig.28 (en haut) Le film The Martian imagine Matt Damon cultivant des pommes de terre dans le sol martien.

Nourriture

Tout comme les matériaux de construction, il est impossible d'être approvisionné en nourriture depuis la Terre. Pour un homme de 82kg, il faut produire environ 1.7 kilogramme de nourriture quotidienne.⁽²⁷⁾ Dès lors se posent les questions de la production de nourriture. Cependant, nous sommes encore très loin de la patate martienne hollywoodienne de Matt Damon, le sol martien manquant terriblement de nutriments.



Fig.29 Etude à la base américaine de Cape Canaveral en 1992. Dans cette chambre d'incubation, des pommes de terre de la variété Norland ont été cultivées.

Plusieurs solutions sont déjà étudiées, bon nombre de start-up dans le monde travaillent à fournir une production extraterrestre de nourriture.⁽²⁸⁾ Les agences spatiales procèdent depuis quelques années déjà à des expériences prouvant la possible culture de leurs propres produits dans l'espace.

⁽²⁷⁾ NASA. *Life Support Baseline Values and Assumptions Document*. 2015, Mars. Chapitre 4.5.1. p. 105.

⁽²⁸⁾ «NASA Plant Researchers Explore Question of Deep-Space Food Crops», Nasa. Linda Herridge. Vu le 6 novembre, 2018, <https://www.nasa.gov/feature/nasa-plant-researchers-explore-question-of-deep-space-food-crops>

Les interfaces qui ressortent le plus souvent sont les chambres d'incubation et les aliments lyophilisés.

Les chambres d'incubation permettront, grâce aux cultures hydroponiques, de cultiver des laitues, épinards, tomates, oignons verts, radis, poivrons, fraises, herbes fraîches et choux.⁽²⁹⁾

Par la suite, la production de pommes de terre, riz et haricots pourra être possible. L'utilisation de l'eau pourra et devra être minimale.



Fig.30 Laitue Mizuna en pleine pousse à bord de la station spatiale internationale avant d'être récoltée et congelée pour un retour prévu sur Terre.

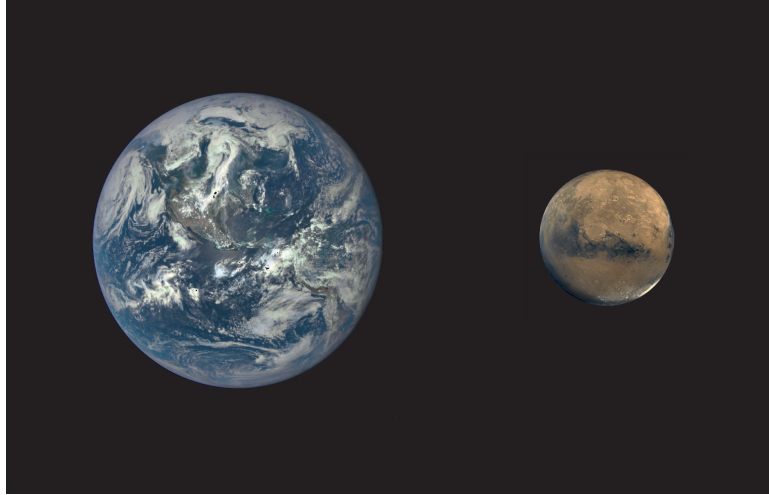
La nourriture est un facteur primordial en ce qui concerne la santé physique et mentale des astronautes. La variété des produits, le meilleur goût possible, peuvent contribuer au bien-être psychologique d'êtres humains loin du milieu terrestre.

⁽²⁹⁾ Nasa. *Nasa Facts: Cosmic Cuisine*. 2016.

NON SIMULABLES

Des questions concernant la colonisation de Mars restent toujours en suspens. Par manque de connaissances et de sciences, nous ne savons pas comment protéger efficacement nos astronautes des rayons cosmiques, ou ne savons pas exactement comment l'être humain réagira physiquement à une gravité différente de celle de la Terre, lors d'une longue exposition. Ces paramètres ne pourront pas être reproduits sur terre, et aucune équivalence n'est possible.

Fig.31 Comparaison à la même échelle de la Terre et de Mars.



Mars a une masse beaucoup plus faible, 1/10ème de la terre, son accélération est également plus faible, 3.711 m/s^2 au lieu de 9.807 m/s^2 sur terre.⁽³⁰⁾ Ces deux facteurs produisent une gravité de 0.38 fois celle de la terre, le ressenti sera donc très faible pour nos colons martiens.

L'autre risque, à prendre au sérieux, est celui des rayons cosmiques. L'absence de magnétosphère autour de Mars réduit considérablement la protection naturelle présente sur terre.⁽³¹⁾ Les radiations solaires et rayons cosmiques qui frappent le sol martien ont pu être mesurés.

⁽³⁰⁾ «C'est la gravité qui fera des colons terriens, de vrais Martiens», Pierre Brisson. Vu le 14 décembre, 2018, <https://blogs.letemps.ch/pierre-brisson/2017/05/23/cest-la-gravite-qui-fera-des-colons-terriens-de-vrais-martiens/>

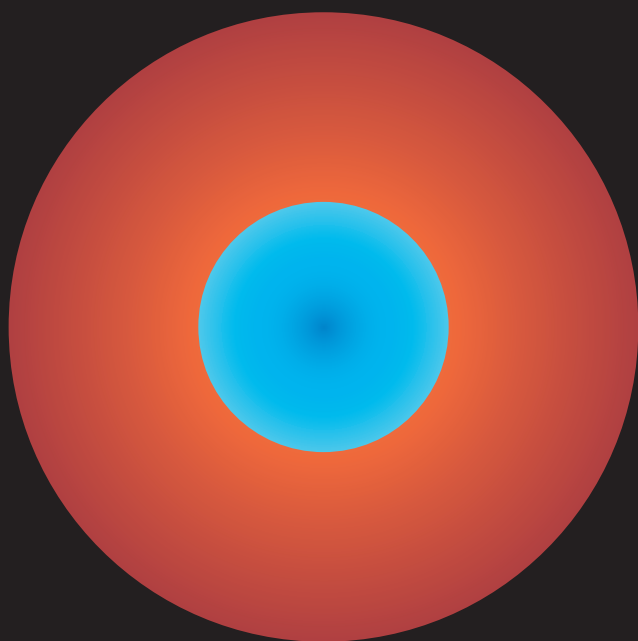
⁽³¹⁾ «Why Space Radiation Matters», Nasa. Vu le 14 décembre, 2018, <https://www.nasa.gov/analog/nsrl/why-space-radiation-matters>

Dans les années 2002-2003, la sonde 2001 Mars Odyssey a déterminé la dose de radiations à 200 mSv/an. 1mSv est équivalent à 3 radios médicales de l'abdomen, rester une année sur Mars reconstitue la dose de 600 radios médicales en une seule année. Sur Terre, à titre de comparaison, la radioactivité moyenne s'élève à 3,5 mSv/an.⁽³²⁾

Les agences spatiales n'autorisent généralement pas un astronaute à dépasser les 1 000 mSv reçus lors de toute une carrière. C'est un phénomène particulier qui met grandement en danger les astronautes, des solutions sont envisagées, mais elles ne sont pas encore adéquates.

⁽³²⁾ «Real Martians: How to Protect Astronauts from Space Radiation on Mars», Nasa. Rob Garner. Vu le 14 décembre, 2018, <https://www.nasa.gov/feature/goddard/real-martians-how-to-protect-astronauts-from-space-radiation-on-mars>

MARS-TERRE



Sortir du système terrestre implique un changement de milieu. Si nous voulons que l'être humain vive dans un milieu extraterrestre, il faut alors y reproduire le milieu terrestre. Le reproduire du mieux possible, est une tâche à laquelle les agences spatiales du monde entier y travaillent depuis des années. La conquête spatiale a une histoire et une architecture.

Afin de mieux comprendre, dans quelles circonstances le milieu terrien est reproduit à l'intérieur d'entités flottantes dans l'espace, portons notre regard sur les conquêtes notables de notre histoire. Une analyse chronologique approfondie permet de mieux comprendre les ambitions de tels projets. Il faut bien entendu étudier la durée des séjours, les espaces intérieurs, les programmes fonctionnels, les activités des astronautes et les systèmes de survie.

LUNE



Fig.1 Photo d'équipe avant le départ (de gauche à droite Neil Armstrong, Michael Collins et Buzz Aldrin.)

Le 25 mai 1961 John F. Kennedy, alors président des Etats-Unis dans un contexte de guerre froide, exprime l'ambition de poser un pied américain sur la Lune. C'est la naissance du programme Apollo. Parmi les missions Apollo, la numéro onze est la plus remarquable. Les objectifs de la mission sont clairs: une exploration scientifique grâce au module lunaire; une retransmission télévisuelle; des échantillons de roches lunaires; des photos et vidéo du matériel déployé.

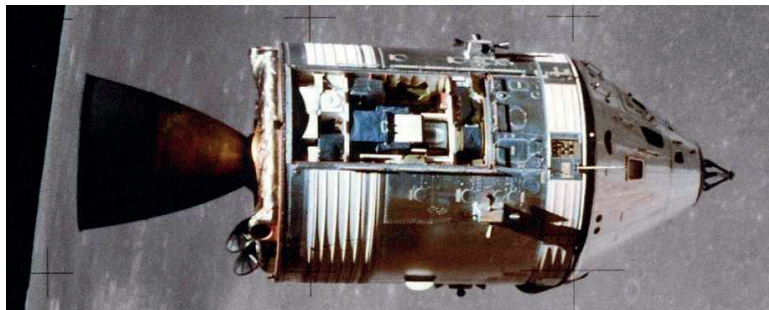
C'est alors que Neil Armstrong, Michael Collins et Edwin «Buzz» Aldrin partent le 16 juillet 1969 depuis Cape Kennedy pour un alunissage prévu le 20 juillet 1969. Neil Armstrong et Buzz Aldrin restent 21 heures et 36 minutes sur la surface de la Lune, pendant que Michael Collins reste en orbite autour de la lune. Armstrong prononce, lors de la sortie de son module lunaire, cette phrase devenue légendaire: «...one small step for a man, one giant leap for mankind».

Au bout de 195 heures, 18 minutes et 35 secondes de voyage, Apollo 11 tombe dans l'océan pacifique. Nous sommes le 24 juillet 1969, l'homme a pu marcher sur sa seule lune et en revenir sain et sauf. Apollo 11 devient un court instant le premier habitat humain extraterrestre, suivis par Apollo 15 en 1971 et Apollo 17 en 1972.⁽¹⁾

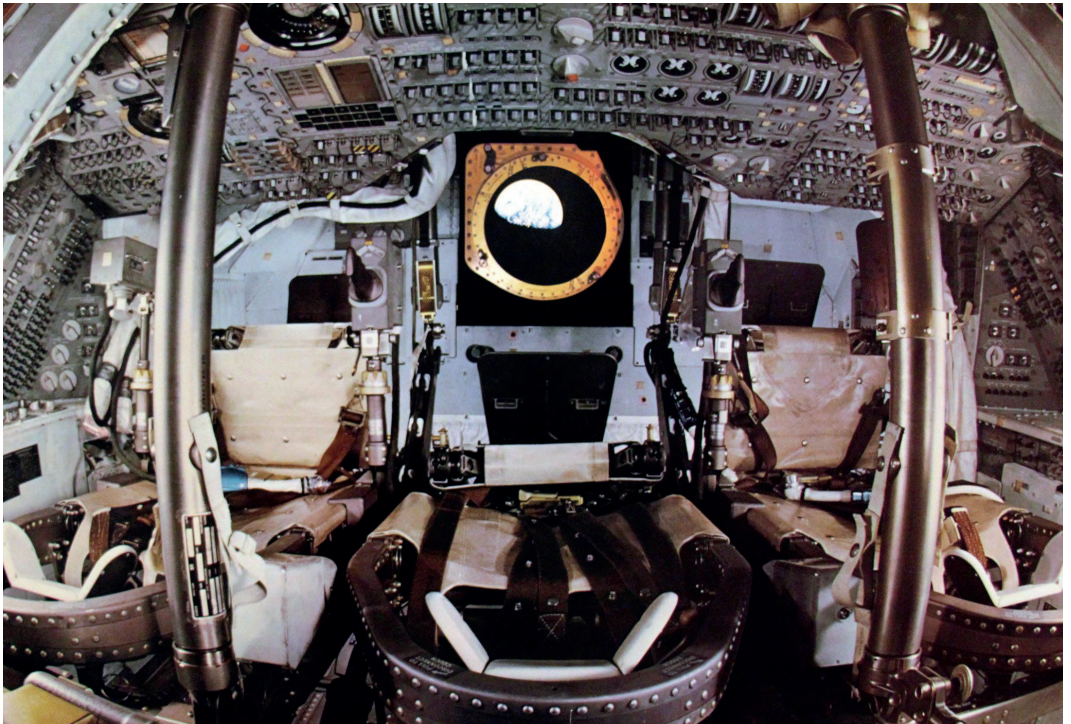
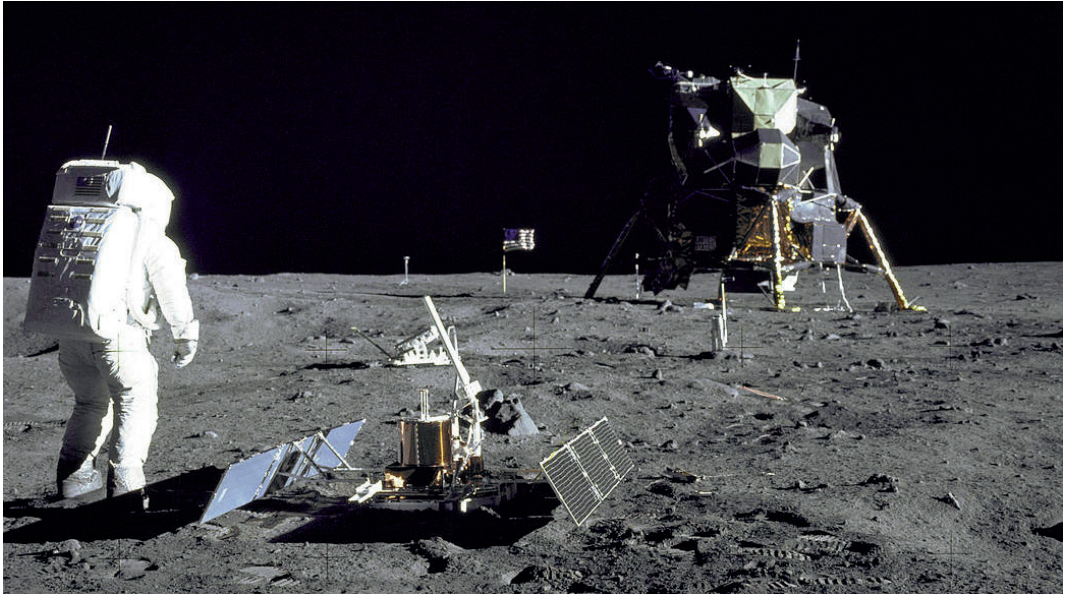
Fig.2 (page de droite en haut) Photo prise par Neil Armstrong sur la surface de la Lune, le 20 juillet 1969.

Fig.3 (page de droite en bas) Reproduction de l'intérieur du module de commande Apollo.

Fig.4 Photo prise par Buzz Aldrin depuis le module lunaire lors du détachement du module de commande.



⁽¹⁾ «Apollo 11 Mission Overview», Nasa. Vu le 14 décembre, 2018 https://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo11.html



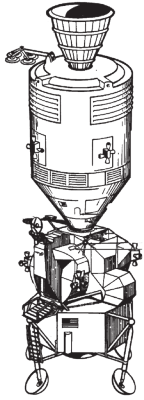


Fig.5 Dessin du vaisseau spatial Apollo.

Fig.6 (page de droite) Coupe de l'habitat du module de commande Apollo. Basé sur les documents du livre *Architecture for Astronauts*.

Les principaux éléments architecturaux du vaisseau spatial Apollo sont: le module de commande, le module de service, l'étage de remontée et l'étage de descente.

Le module de commande est la partie du vaisseau dans laquelle les trois astronautes séjournent lors de la mission Apollo 11. L'espace habitable, très exigü, n'est que de 6m³. La partie, dite de service, est utilisée pour le stockage des énergies.

Le module lunaire est composé de deux parties. Le module est utilisé pour le transport de seulement deux astronautes depuis l'orbite lunaire jusqu'à sa surface. Le volume habitable est plus grand, 6,6 m³. L'étage de descente est essentiellement utilisé pour le stockage, il contient aussi le rover dans le cas d'Apollo 15, 16 et 17. L'étage de descente reste à la surface lunaire, tandis que l'étage de remontée, où séjournent les astronautes, permet de rejoindre le module de commande, alors en orbite autour de la lune.⁽²⁾

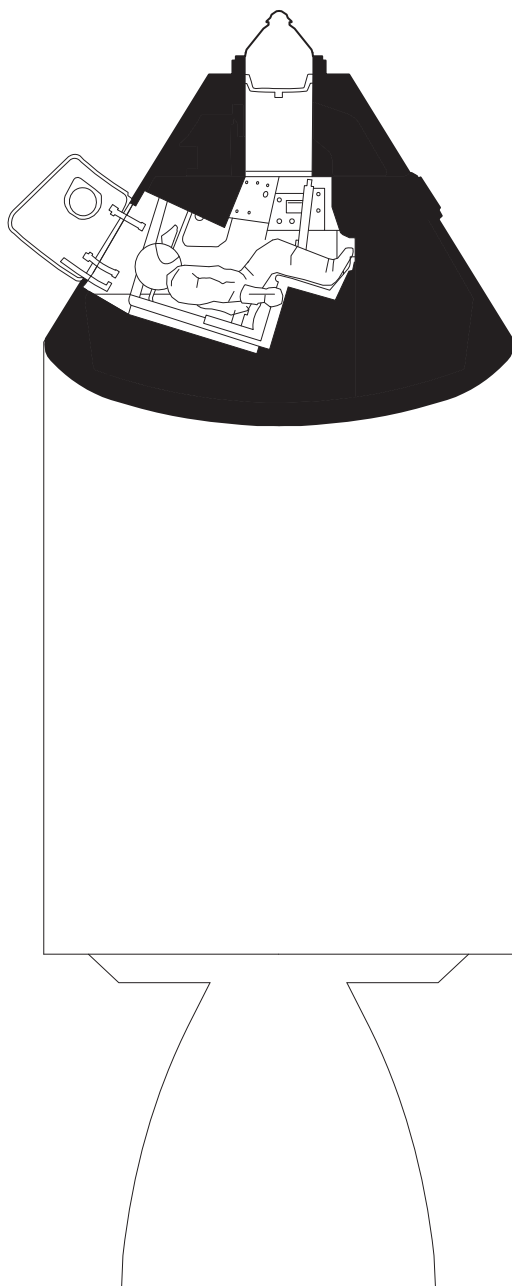
Dans le cas des missions Apollo, autant dans le module de commande que dans le module lunaire, toutes les activités humaines se déroulent dans un même espace. Les astronautes dorment (quatre heures par jour dans le cas d'Apollo 11), mangent, s'exercent et travaillent dans le petit volume⁽³⁾ mis à disposition. Les modules sont réfléchis en conséquence afin de maximiser l'efficacité de l'habitable.

En terme d'autonomie, le CO₂ est chimiquement enlevé. Alors que l'oxygène n'est pas généré, il est stocké lors du départ. Le fuel, également stocké, alimente l'électricité. Un petit réservoir d'eau potable est rempli au préalable.⁽⁴⁾

⁽²⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.2. Apollo Spacecraft. pp. 36-43

⁽³⁾ Idem

⁽⁴⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.8.1 Architectural Concept Comparison. pp. 88-89



Module de Commande
L : 7.6 m
D : 3.9 m

STATIONS SPATIALES

Salyut Space station

Le programme de stations spatiales soviétique Salyut est considéré comme le premier dans son genre. Il commence en 1971 lorsque l'Union soviétique lance Salyut 1, suivis par 5 différentes stations jusqu'en 1976. La dernière étant Salyut 7, elle est placée en orbite basse terrestre le 19 avril 1982 et reste opérationnelle jusqu'en 1991.⁽⁵⁾

Les missions y sont longues, jusqu'à 237 jours. Les cosmonautes Leonid Kizim, Vladimir Solovyov et Oleg Atkov sont restés du 8 février 1984 au 2 octobre 1984 en orbite autour de la terre. Les vaisseaux peuvent chacun accueillir 3 cosmonautes.⁽⁶⁾

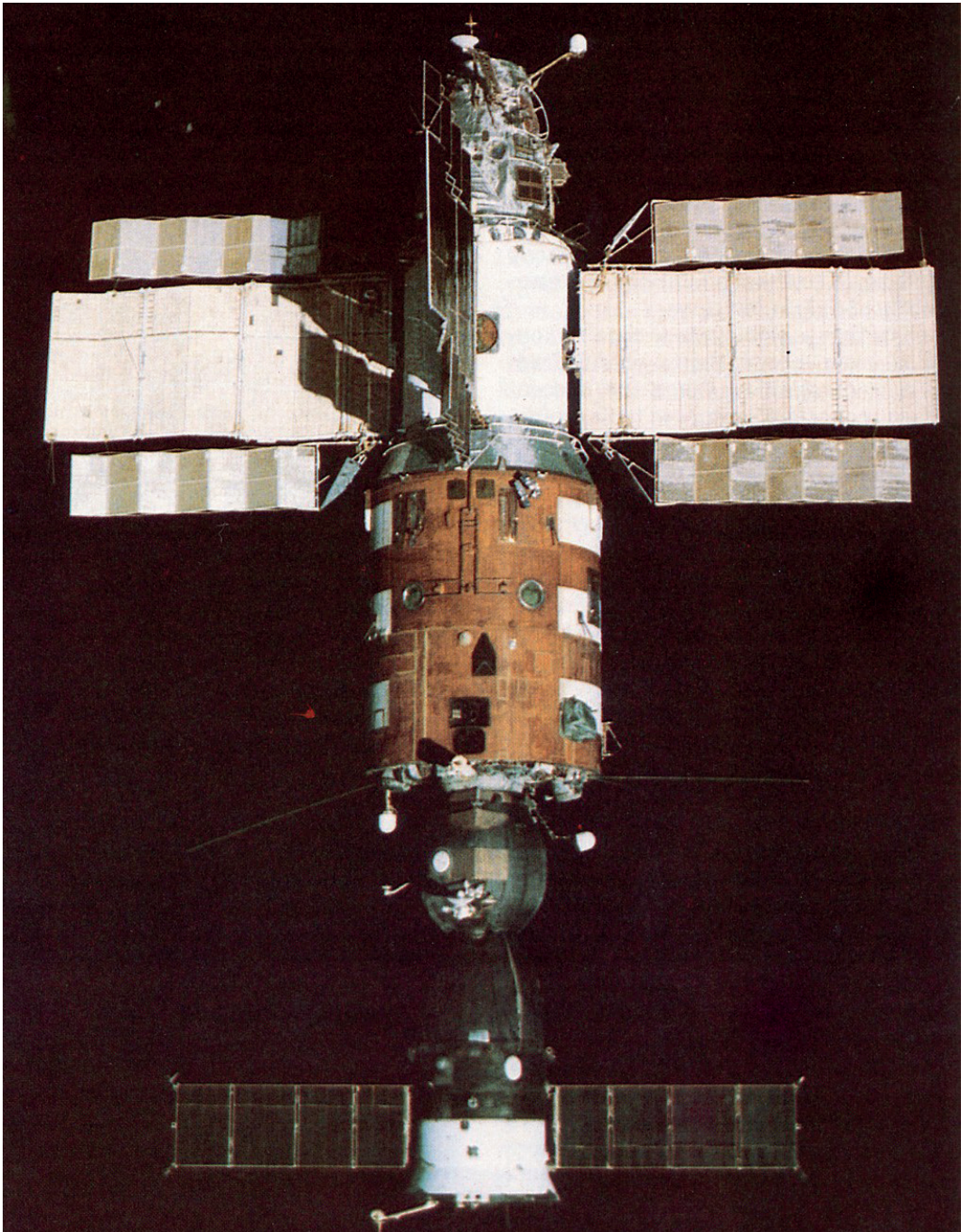
Fig.7 Leonid Popov, Alexander A. Serebrov et Svetlana Savitskaya, qui est la seconde femme dans l'espace, dans la station Salyut 7.



Fig.8 (page de droite) Station spatiale Salyut.

⁽⁵⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.3. Salyut Space Station. pp. 46-51

⁽⁶⁾ «LA STATION SALIOUT 7», Capcom Espace, Vu le 24 octobre 2018. https://www.capcomespace.net/dossiers/espace_sovietique/saliout/saliout_7.htm



*Fig.9 (page de droite)
Coupe de la station spatiale
Salyut 7. Basé sur les docu-
ments du livre Architecture
for Astronauts.*

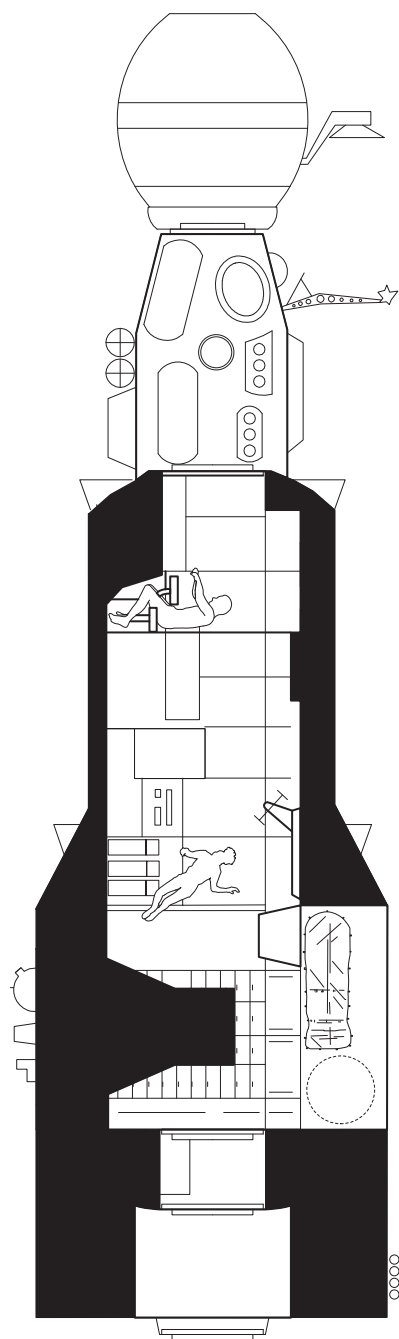
Salyut 7 est l'objet spatial du programme qui nous intéresse. Cette station est la plus complète et la mieux développée du programme Salyut. Son volume habitable total est de 90 m³.⁽⁷⁾ La station est composée en trois compartiments: le compartiment de transfert, le compartiment de travail et le compartiment intermédiaire. Le premier permet les sorties extra-véhiculaires et aux ravitaillements (humains ou non) de s'arrimer. Le compartiment de travail regroupe toutes les fonctions de vie et permet les expériences scientifiques des cosmonautes. Enfin, le compartiment intermédiaire n'est autre que le sas pour un deuxième port d'arrimage.

Dans la station spatiale russe, les activités sont majoritairement regroupées dans un même espace: le compartiment de travail. Les cosmonautes dorment dans des sacs de couchages et mangent dans ce même espace, sans séparations possibles. Les machines d'exercices et la douche, elles, peuvent être temporairement séparées. Les toilettes sont spatialement indépendantes et se situent dans le compartiment intermédiaire.

Dans le Salyut 7, le CO₂ est expulsé à l'extérieur de la station. L'oxygène est produit par électrolyse, l'eau est recyclée et l'énergie est fournie par des panneaux solaires.⁽⁸⁾

⁽⁷⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.3. Salyut Space Station. pp. 46-51

⁽⁸⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.8.1 Architectural Concept Comparison. pp. 88-89



Compartiment de
Transfert
L : 3 m
D : 2 - 2.9 m

Compartiment de
Travail
L : 7.4 m
D : 2.9 - 4.15 m

Compartiment
Intermédiaire
L : 2.2 m
D : 4.15 m

Skylab space station

Côté américain, le 14 avril 1973 est lancé le Skylab. Cette station a pour objectif d'étudier et de tester les environnements de travail et de vie des astronautes, et ceci sur des longues périodes. Elle permet de mieux comprendre les ravitaillements extérieurs nécessaires et doit mener à l'autosuffisance en énergie. Opérationnelle jusqu'en 1979, elle accueille 3 missions avec chacune trois membres.⁽⁹⁾

Le record de temps passé en orbite dans la station Skylab est détenu par la mission Skylab 4. En 1973, les astronautes Gerald Carr, William Pogue et Edward Gibson sont restés 83 jours en orbite.⁽¹⁰⁾

Fig.10 Photographie prise dans l'atelier orbital de la Skylab. L'astronaute Edward G. Gibson, scientifique et astronaute de Skylab 4, et le commandant, l'astronaute Gerald P. Carr, examinent le passage entouré de sacs poubelles. 1er février 1974.

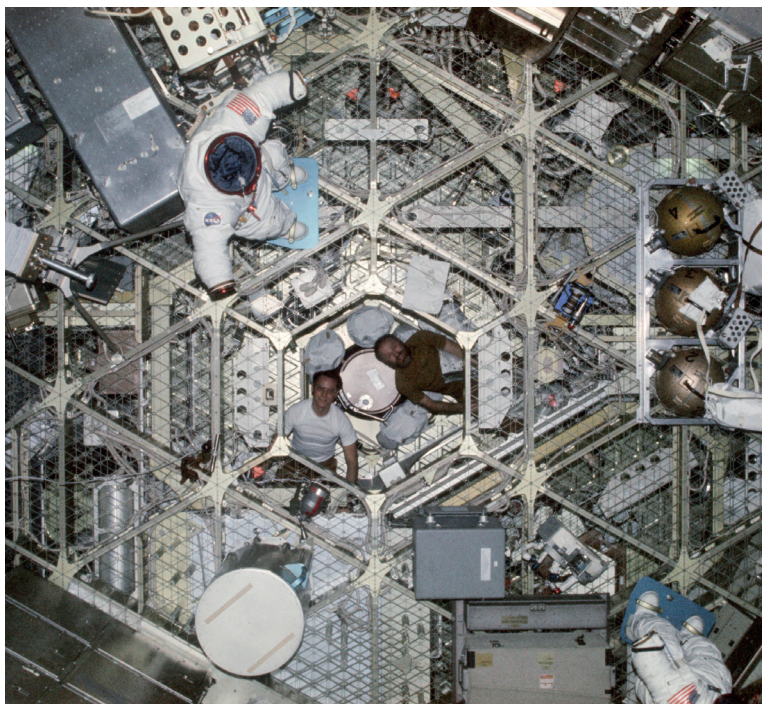


Fig.11 (page de droite) Photographie de la station spatiale Skylab au dessus de la Terre.

⁽⁹⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.4. Skylab Space Station. pp. 52-59

⁽¹⁰⁾ «Liste des records spatiaux», Wikipedia, Wikimedia Foundation, dernière modification le 9 septembre 2018. https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_records_spatiaux



Fig.12 (page de droite)
Coupe de la station spatiale
Skylab. Basé sur les docu-
ments du livre *Architecture
for Astronauts*.

Le volume total offert par Skylab est de 320m³. Il est composé de l'atelier orbital OWS (Orbital Workshop Module), du module de sas AM (Airlock Module), et du module d'amarrage multiple MDA (Multiple Docking Adapter). Les différents composants sont appelés modules, même si Skylab es lancé en une seule fois. L'OWS est séparé en deux zones. L'étage du dessous contient les couchages, un compartiment de gestion des déchets (toilettes), une salle à manger et enfin un réservoir de stockage (eau et fuel principalement). Au dessus on trouve une salle beaucoup plus grande où les astronautes peuvent travailler et procéder aux expériences scientifiques.⁽¹¹⁾

Les activités au sein de la station sont spatialement séparées. On distingue ainsi la salle à manger, les toilettes et les couchettes. La douche et les machines d'exercices physiques peuvent être temporairement séparés de la zone de travail.

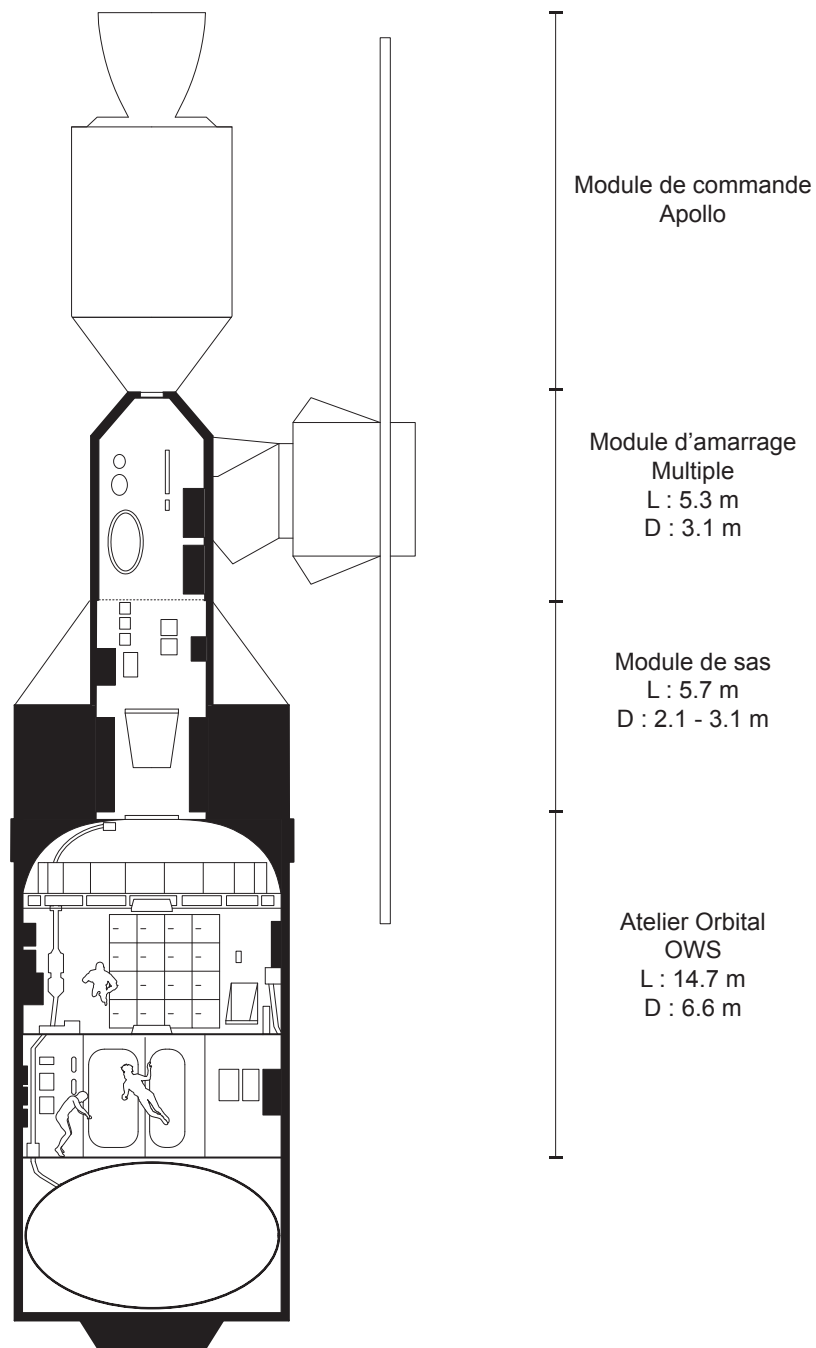
Dans la Skylab, l'oxygène n'est pas produit, il est amené directement depuis la Terre. Il n'y a pas de recyclage de l'eau, elle est stockée dans la station. Le CO₂ est expulsé de la station. L'énergie est fournie par des panneaux solaires et du fuel.⁽¹²⁾

Fig.13 Le pilote Jack Lous-
ma se douchant dans l'at-
lier orbital de la Skylab. le
1er juillet 1973.



⁽¹¹⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.4. Skylab Space Station. pp. 52-59

⁽¹²⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.8.1 Architectural Concept Comparison. pp. 88-89

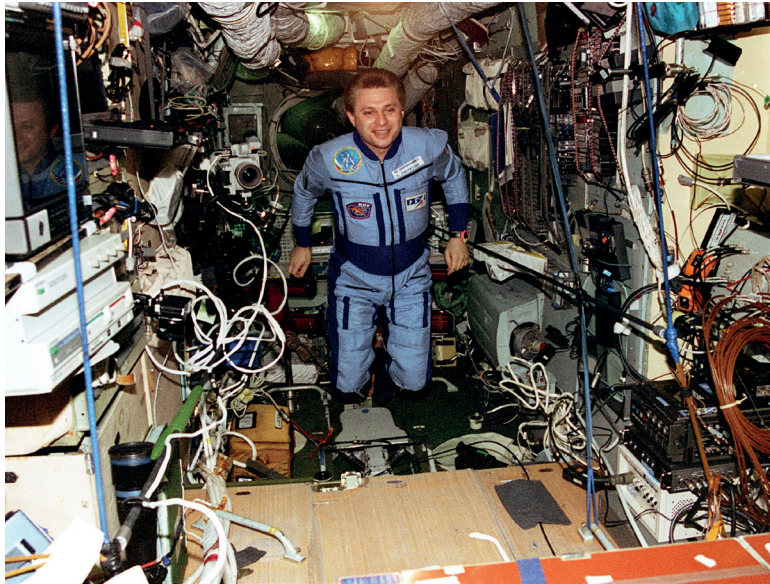


MIR

La station MIR est mise en orbite en 1986. Elle devient, même si cela n'est pas planifié, la première station spatiale internationale. MIR accueille, durant ses 15 années d'activité, 105 cosmonautes de 11 nationalités différentes. L'éthymologie de son nom, encore contestée, a plusieurs significations, la plus connue étant celle d'un village. Composée de plusieurs modules, ces derniers sont lancés inhabités et s'amirent automatiquement entre eux. L'approche de son architecture est donc modulaire. Elle reste opérationnelle jusqu'en 2001.⁽¹³⁾

Elle peut accueillir jusqu'à 6 cosmonautes (10 lors de l'arrimage d'une navette spatiale). Elle détient le record du plus long vol spatial habité et sans interruptions. C'est le cosmaunote Valeri Poliakov qui l'emporte haut la main, resté 437 jours à bord.⁽¹⁴⁾

Fig.14 Le cosmonaute Yury Onufrienko flottant dans le module Kristall de la station MIR. 1996.



*Fig.15 (page de droite)
Photo prise de la station
MIR depuis une navette
spatiales américaine en
janvier 1997.*

⁽¹³⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.6. MIR Space Station. pp. 68-75

⁽¹⁴⁾ «Liste des records spatiaux», Wikipedia, Wikimedia Foundation, dernière modification le 9 septembre 2018. https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_records_spatiaux



Fig.16 (page de droite)
Coupe de la station spatiale MIR et de trois de ses modules. Basé sur les documents du livre *Architecture for Astronauts*.

Le volume maximum du complexe est de 380 m³ (navette spatiale comprise). La station est composée de 4 modules. Le Kvant 1, le Kvant 2, le Kristall et enfin le MIR Core Module.

Le premier module est lancé en 1986: le MIR Core Module. Il bénéficie de 90 m³ habitables. Il héberge les outils de communications et de maintenances. Les cosmonautes y mangent, et deux d'entre eux peuvent y dormir.

En 1987 le module Kvant 1 se rattache au Core Module. Il est surtout utilisé pour les expériences astrophysiques et les contrôles d'altitude.

1989, Kvant 2 s'arrime. Il fournit la station d'un système de régénération urinaire et d'un compartiment de douche.

Enfin le module Kristall accoste en 1990, il contient la Svet Greenhouse et du matériel permettant d'observer la terre. Il sera aussi utilisé pour l'accrochage des navettes spatiales américaines. Les modules Spektr et Priroda seront ensuite rattachés en 1995 et 1996, mais ils ne seront pas habitables.⁽¹⁵⁾

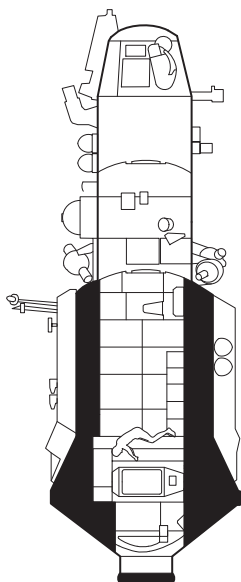
En ce qui concerne les activités, nous savons que deux cosmonautes sont résidents permanents. Pour ce faire, des quartiers séparés sont à leur disposition dans le Core module. Les autres cosmonautes, en « visite », investissent les modules scientifiques pour y dormir. Au niveau de l'hygiène, deux toilettes et une douche sont disponibles. La douche se situe dans le Kvant 2. Il n'y a pas de séparations spatiales entre les zones de travail et la salle à manger. Mais l'espace dédié aux exercices physiques peut être temporairement séparé.⁽¹⁶⁾

La station MIR produit son oxygène par électrolyse. Le CO₂ est traité et expulsé de la station directement dans l'espace. L'énergie est fournie par des panneaux solaires. Et enfin l'eau est traitée, c'est l'apparition du recyclage de la condensation, de l'eau des toilettes, et même de l'urine.⁽¹⁷⁾

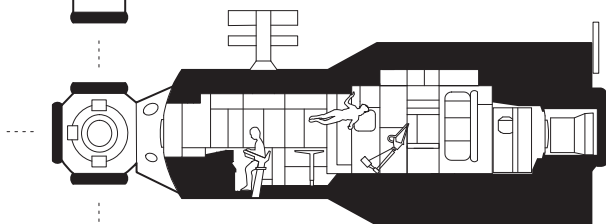
⁽¹⁵⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.6. MIR Space Station. pp. 68-75

⁽¹⁶⁾ Idem

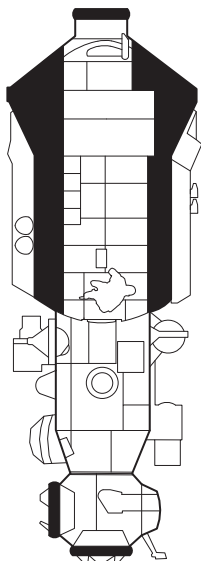
⁽¹⁷⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.8.1 Architectural Concept Comparison. pp. 88-89



Kvant 2
L : 13.7 m
Max. D : 4.15 m



MIR Core Module
L : 13.2 m
Max. D : 4.15 m



Kristall
L : 13.7 m
Max. D : 4.15 m

Station Spatiale Internationale

En 1984 Ronald Reagan, alors président des États-Unis, annonce que la NASA conceptualise et développe une station spatiale permanente. Elle est mise en place dans la décennie qui suit. Dès les premières années de recherches, la Nasa inclue l'ESA, les japonais Nasda et les canadiens CSA. Comme la station MIR, son approche architecturale est modulaire. Le 20 novembre 1998, le premier module prénommé «Zarya» est ainsi mis en orbite. Contrairement à MIR, les modules ne sont pas arrimés automatiquement. Une navette spatiale munie d'un bras robotique est nécessaire au placement des modules. En 1993, peu après la chute de l'union soviétique, la Fédération Russe entre dans la danse. La station spatiale internationale est habitée depuis 2000 et est encore aujourd'hui opérationnelle.⁽¹⁸⁾

L'ISS peut accueillir jusqu'à 6 astronautes. Le temps des missions à bord varie, mais certaines peuvent durer 6 mois.⁽¹⁹⁾

Fig.17 Thomas Pesquet au téléphone avec des étudiants à bord de l'ISS.



Fig.18 (page de droite) Photo de la station spatiale internationale.

⁽¹⁸⁾ «International Space Station», Nasa. Vu le 27 novembre, 2018. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/overview/index.html

⁽¹⁹⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.7. ISS Space Station. pp. 76-85



*Fig.19 (page de droite)
Coupe de la station spatiale
internationale et de ses
principaux modules. Basé
sur les documents du livre
Architecture for Astronauts.*

Son volume habitable total est aujourd'hui de 935 m³.

Le premier module Zarya est lancé en 1998. Son volume pressurisé disponible est de 71,5 m³. Il contient les systèmes principaux; énergie, communication et contrôle d'altitude. Il est inspiré des modules de MIR et est aujourd'hui utilisé pour le stockage et les systèmes de secours.

Le module de service Zvezda (lancé par la suite) est le centre structurel et fonctionnel du segment russe à bord de l'ISS. Il comprend le système de support électrique et de distribution, le système de contrôle de vol et un système de propulsion.

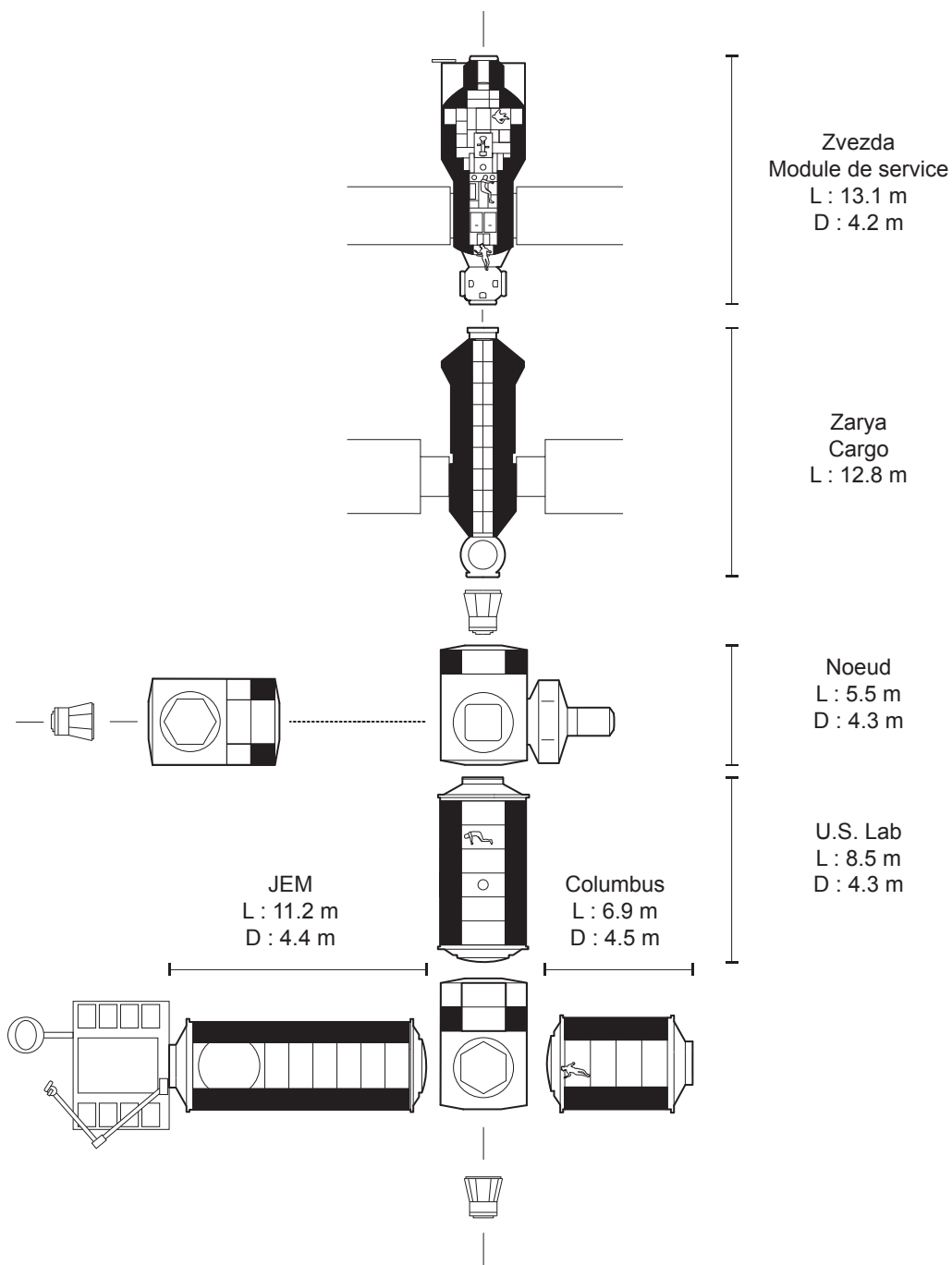
Après les modules de vies, les partenaires de l'ISS ont commencé à mettre en place des modules de laboratoires et ce qu'on appelle les nœuds (node). Ils permettent les connections entre les modules. Le premier module scientifique fut le U.S. Lab (Destiny).

Dans l'ISS, chaque module a une fonction spécifique. Par exemple, Le U.S. Lab, le JEM (Module d'expérimentation japonais) et le Columbus (ESA lab) sont des modules exclusivement réservés aux recherches scientifiques. Le module Zvezda, lui accueille les installations de vie, comme les quartiers privés. Dans toute la station, il y a en tout 6 couchettes avec quartiers privés et indépendants. Les toilettes ne sont pas toutes indépendantes, et toutes les autres activités ne sont pas spatialement séparées. Il n'y a pas de douches dans l'ISS, les astronautes se lavent avec des gants humidifiés.⁽²⁰⁾

L'ISS est l'objet spatial le mieux développé à ce jour, l'oxygène y est entièrement recyclé et généré dans la station. L'eau aussi est recyclée, rien n'est jeté. L'urine est transformée en eau potable. La condensation, l'humidité et l'eau des toilettes sont réutilisées. Enfin, les panneaux solaires fournissent l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de la station.⁽²¹⁾

⁽²⁰⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.7. ISS Space Station. pp. 76-85

⁽²¹⁾ Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011. Chapter 3.8.1 Architectural Concept Comparison. pp. 88-89



HABITAT MARTIEN

Construire un habitat sur Mars est un défi. Quelques agences développent d'ores et déjà des projets de construction et/ou de colonisation martienne. Mars One, Foster + Partner ou encore Clouds Architecture Office en sont des projets notables. Nous distinguons alors deux façons de procéder:

L'habitat est préconstruit sur terre, il est ensuite amené sur Mars. Nous sommes dans une situation analogue à celle d'une caravane qui se déplace, mais qui ne se construit pas sur place. C'est pourquoi nous nommons ce procédé, la caravane.

Ou alors, par opposition à la caravane, nous construisons l'habitat des astronautes sur Mars avec les ressources disponibles sur place. Nous pouvons appeler ce scénario, celui de la maison.

Mars One

Bas Landorp lance en 2012 le projet Mars One. Ce projet fou vise à établir une colonie martienne d'ici 2032. C'est un voyage sans retour pour les colons. Le financement doit se faire grâce aux dons et à une diffusion monétisée des opérations, en somme: une télé-réalité martienne.⁽²²⁾

La base se construit à l'aide de modules envoyés sur place. Les modules ont chacun un rôle spécifique: un des modules est utilisé pour transporter les systèmes de vie (générateur électrique, eau et air), un autre pour la nourriture, un troisième pour les espaces de vies et les derniers modules sont envoyés pour amener les astronautes.⁽²³⁾

Cependant, cette vision de la colonisation martienne est critiquée et critiquable. Premièrement, il est difficile de concevoir que les astronautes ne reviendront pas.

⁽²²⁾ «About Mars one», Mars one. Vu le 26 Novembre, 2018, <https://www.mars-one.com/>

⁽²³⁾ «The Technology», Mars one. Vu le 26 Novembre, 2018, <https://www.mars-one.com/mission/the-technology>



Fig.20 Image de synthèse du projet d'habitation Mars One.

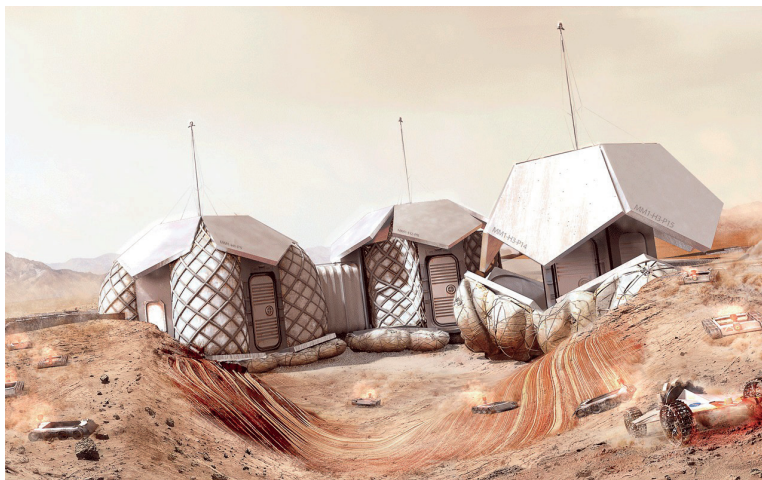
Nous n'avons pas les connaissances pour les faire vivre durablement. Ensuite, comme énoncé plus tôt, nous sommes dans la situation dite de la caravane. Dans ce cas, comment développer la colonie? Si un module est défectueux, comment le réparer ou même le remplacer? Pour ne rien arranger, le budget prévu pour une telle entreprise est de 6 milliards de dollar américains, cette somme semble dérisoire selon les prévisions des agences spatiales mondiales. En comparaison la Nasa prévoit un budget de 100 milliards de dollar américains, même si celle-ci prévoit de rapatrier ses astronautes.

Foster + Partner

La Nasa organise régulièrement des concours internationaux pour des constructions extraterrestres. L'une d'elle se prénomme: NASA Challenge to 3-D Print a habitat. Le cabinet d'architecture Foster + Partner termina à la 1ère place lors de la phase 2 du concours.⁽²⁴⁾

⁽²⁴⁾ «NASA Awards \$400,000 to Top Teams at Second Phase of 3D-Printing Competition», Nasa. Vu le 24 Octobre, 2018, <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-awards-400000-to-top-teams-at-second-phase-of-3d-printing-competition>

Fig.21 Image de synthèse du placement des modules du projet de Foster + Partner.



L'intérêt que nous pouvons porter à ce projet réside dans sa construction. Le plan d'attaque est simple: après avoir envoyé des modules de vies sur mars, les architectes ont imaginés une structure imprimée en 3D avec de la rigolithe martienne (70%) et des matériaux recyclés (30%). Celle-ci serait construite par des robots envoyés en amont de l'arrivée des astronautes et viendrait protéger les modules déjà sur place.⁽²⁵⁾

Fig.22 Image de synthèse de la construction in situ de la seconde peau du projet de Foster + Partner.



⁽²⁵⁾ «Foster + Partners and Branch Technology Win Phase 2 of NASA's 3D-Printed Habitat Challenge », Archdaily, Patrick Lynch. Vu le 24 octobre, 2018, <https://www.archdaily.com/878998/foster-plus-partners-and-branch-technology-win-phase-2-of-nasas-3d-printed-habitat-challenge>

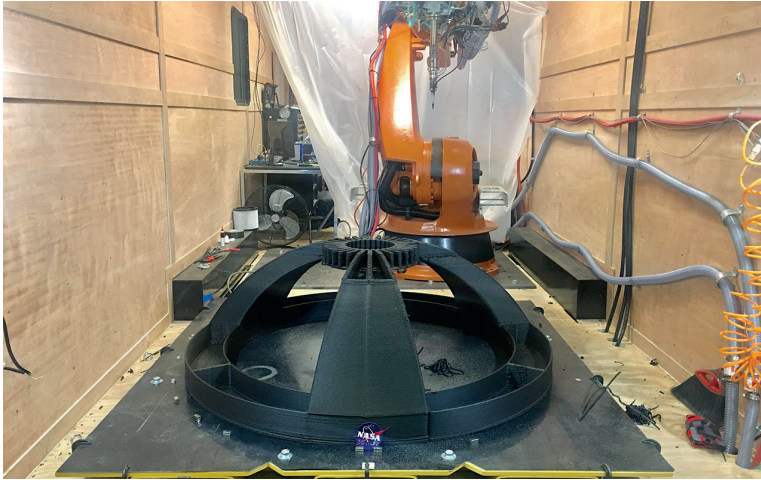


Fig.23 Photo du prototype et du modèle gagnant de la phase 2 du concours «NASA Challenge to 3-D Print a habitat». Modèle imprimé en 3D par Foster + Partner.

La structure est un dôme pouvant supporter un poids de 1684 kg, soit plus du double que les autres équipes en concurrence.⁽²⁶⁾

L'idée s'inscrit dans celle de la caravane, mais se développe en maison. En effet, le scénario explicite un envoi de modules de base sur Mars, similaire à ceux de Mars One. Cependant, ces modules se voient recouverts par des constructions in-situ. Ces constructions imprimées en 3D par des machines importées de la Terre permettent une protection plus en adéquation avec les caractéristiques martiennes. De plus ces robots-machines peuvent remplacer et réparer les modules avec les ressources se trouvant sur place, s'ils viennent à être endommagés.

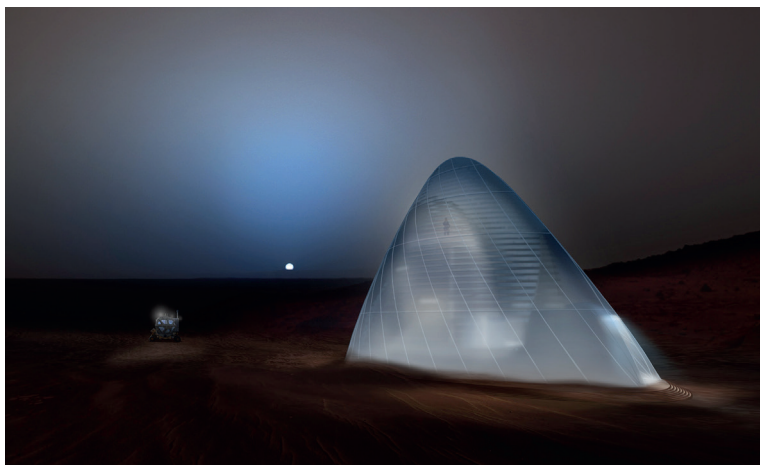
Cette solution en demi-mesure est une option envisageable, qui assure une pérennité de la colonisation martienne, si la terre continue d'envoyer des modules.

⁽²⁶⁾ «Foster + Partners reveals concept for 3D-printed Mars habitat built by robots», Deezen, Amy Frearson. Vu le 24 octobre, 2018, <https://www.deezen.com/2015/09/25/foster-partners-concept-3d-printed-mars-habitat-robots-regolith/>

Clouds Architecture

Lors du concours NASA 3D-Printed Habitat Challenge, le premier prix est attribué au projet Ice House. Ce projet imaginé par Clouds Architecture Office utilise l'eau comme ressource de construction. Le projet repose sur l'impression 3D de l'eau sous la forme de glace.⁽²⁷⁾

Fig.24 Image de synthèse du projet d'habitation Mars Ice House.



Le projet préconise l'eau comme ressource pour plusieurs raisons. La glace absorbe les radiations à haute énergie et à faible longueur d'onde, ce qui la rend efficace contre les rayonnements cosmiques. De plus elle est translucide, elle permet une lumière unique et naturelle dans le bâtiment. L'eau peut être récoltée sous-terre, ou encore dans l'atmosphère. C'est une denrée que l'homme n'a pas besoin de transporter.⁽²⁸⁾

L'architecture du bâtiment est un mélange entre la caravane et la maison. Mais contrairement au projet précédent, les ressources locales viennent non seulement apporter une protection supplémentaire mais elles créent également des espaces habitables.

⁽²⁷⁾ «NASA 3D-Printed Habitat Challenge», Nasa. Vu le 25 octobre, 2018, <http://3dpchallenge.tumblr.com/post/128777557703/team-searchclouds-architecture-office-design>

⁽²⁸⁾ «Ice on Mars», Clouds Architecture. Vu le 25 octobre, 2018, <http://www.marsicehouse.com/ice-on-mars/>

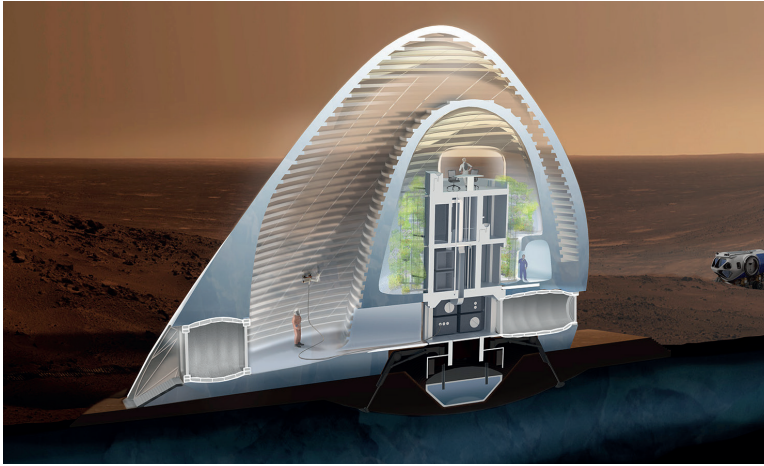


Fig.25 Une double coque de glace abritant des espaces programmatiques au sein de ses couches est imprimée en 3D autour de module atterrisseur. Une serre verticale entre l'habitat et la coquille forme la cour de l'équipage.

Le premier module arrivant sur la planète, qui devient par la suite le centre névralgique et habitable du complexe, amène les robots. Ces derniers déploient des membranes gonflables autour du module. Ces membranes servent in fine de support pour imprimer la glace.⁽²⁹⁾

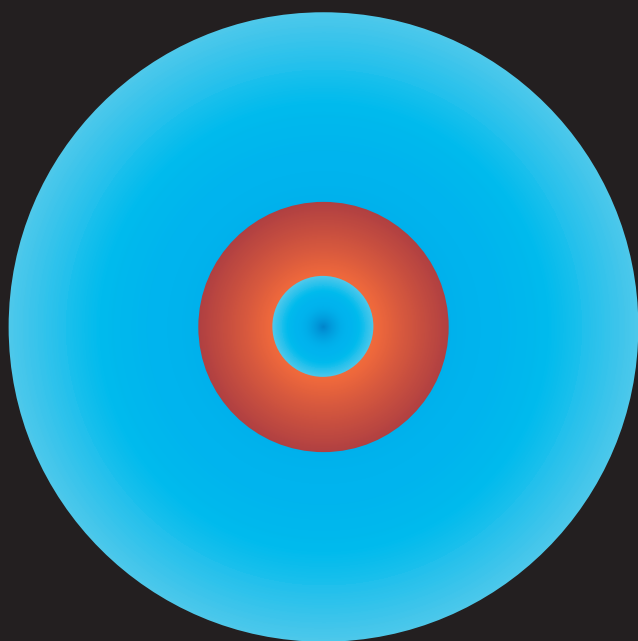
Le bâtiment a plusieurs couches, avec différentes températures et différents sas. Son architecture est verticale. L'oxygène et la nourriture sont entièrement produits par la chambre verte entourant le module de base. Et enfin, avant la désolation martienne se trouve un compartiment intermédiaire, qui permet de garder la glace solide grâce à une différence de pression.⁽³⁰⁾

Le projet ne répond cependant pas à une expansion possible de la colonie martienne. De plus, il est difficile de trouver l'eau en suffisance. Il est préférable de garder cette ressource pour les systèmes de survie. Nous ne savons toujours pas si l'eau est facilement accessible sur Mars.

⁽²⁹⁾ «The Habitat», Clouds Architecture. Vu le 25 octobre, 2018, <http://www.marsicehouse.com/ice-on-mars/2015/9/24/water-ice-radiation-shield-light-transmitter>

⁽³⁰⁾ «Building on Mars», Clouds Architecture. Vu le 25 octobre, 2018, <http://www.marsicehouse.com/building-on-mars/>

TERRE-MARS-TERRE



Nous avons étudié l'inclusion du milieu terrien dans un milieu hostile, le milieu spatial et enfin le milieu martien. Il nous faut maintenant ramener toute cette science acquise, sur Terre. La mise en abîme des milieux devient alors clair.

Pour ce faire, regardons de plus près certaines études déjà orchestrées. Premièrement, les systèmes écologiques fermés et indépendants sont nécessaires à la survie d'une base sur Mars. Après avoir compris les paramètres d'un voyage inter-planétaire, l'étude des simulations déjà entreprises sur Terre mettra en lumière les différentes typologies possibles. Enfin nous pourrons alors énumérer quelques candidats, quant au choix d'un site pour une telle expérience.

SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES FERMÉS

Un système écologique fermé désigne un écosystème artificiel qui n'échange aucune matière quel que soit le milieu extérieur. Trois expériences sont importantes: Bios-3, Biosphère 2 et Melissa.

Bios-3

Bios-3 est un système écologique fermé dont la construction commence en 1965 par l'institut russe de biophysics à Krasnoyarsk. Le système se finalise et est réalisé en 1972. Par la suite entre 1972 et 1984, dix expériences de séjour y sont menées. La plus longue expérience dure environ 180 jours, à cheval entre 1972 et 1973. Le complexe peut accueillir jusqu'à trois personnes. Depuis 1995, le laboratoire sert à des expériences pour l'agence spatiale européenne mais n'est plus utilisé pour y séjourner.⁽¹⁾

C'est un bâtiment de 315 m³ construit sous terre. Bios 3 mesure quatorze mètres par neuf mètres, avec une hauteur de deux mètres et demi. Afin d'être parfaitement hermétique, il est entièrement construit en acier et scellé lorsqu'il est fermé. Il y a quatre compartiments: un compartiment de vie et trois compartiments dits de «phytotrons».⁽²⁾

Ces derniers compartiments fournissent à l'équipe de scientifiques invitée la nourriture et l'oxygène nécessaire à sa survie. Deux compartiments sont consacrés à la culture de légumes et de céréales alors que le troisième est essentiellement destiné à la production atmosphérique. Il faut savoir que l'entretien de seulement 8m² d'algues de type chlorella, permet à l'oxygène de se renouveler en suffisance pour une personne. Un seul phytotron avec des cultures de cette algue suffit amplement à renouveler la demande d'une équipe de trois humains en oxygène.

⁽¹⁾ Frank Salisbury, Josef Gitelson et Genry Lisovsky. *Bios-3: Siberian Experiments in Bioregenerative Life Support*. 1997. p. 575

⁽²⁾ Josef Gitelson and Genry Lisovsky. Creation of Closed Ecological Life Support Systems: Results, Critical Problems and Potentials. *Journal of Siberian Federal University*, 2008. p. 19



Fig.1 Un scientifique se couche dans sa Chambre.

Cependant les deux autres phytotrons ne suffisent pas à cultiver assez de nourriture, il faut donc retirer une partie des algues pour y mettre des végétaux. La surface de pousse totale est de 63m². Cette surface suffit à alimenter les trois protagonistes de l'expérience en nourriture à 50% et leur confère une indépendance en oxygène à 100%.⁽³⁾

Le compartiment de vie est divisé en trois chambres séparées, une cuisine, une salle d'eau, une salle de contrôle et une salle de travail.



Fig.2 Une scientifique récolte des végétaux dans un des phytotrons.

⁽³⁾ Iosef Gitelson and Genry Lisovsky. Creation of Closed Ecological Life Support Systems: Results, Critical Problems and Potentials. Journal of Siberian Federal University, 2008.

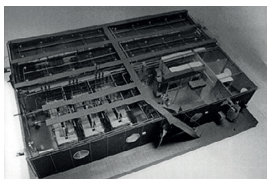
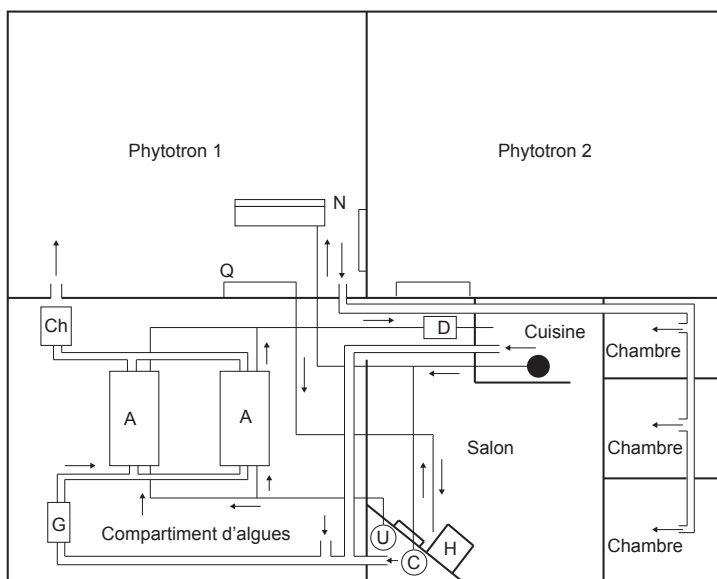


Fig.3 (en haut) Modèle réduit du complexe Bios-3.

Fig.4 (à droite) Schéma des échanges de gaz et d'eau dans le système fermé du Bios-3.



A - Cultivateur de micro algues; G - Souffleuse à gaz; Ch Filtre à charbon; C - Collecteur d'eaux grises des toilettes et de la cuisine; N - Culture de blé; Q - Collecteur d'humidité du phytotron; H - Réfrigérateur; U - Collecteur d'urine; D - Traitement pour eau potable

Il s'est avéré que les protagonistes qui sont restés jusqu'à 6 mois dans le complexe n'ont présenté aucun signe de malnutrition ou d'effets secondaires concernant leur mode de vie.⁽⁴⁾

Biosphère 2

En 1991, une expérience grandeur nature de système écologique fermé naît aux États-Unis dans le désert d'Arizona. Huit chercheurs s'enferment volontairement durant deux années, le but étant de savoir s'il est possible de recréer la Biosphère 1 (la Terre) sur la surface d'une autre planète et plus spécialement dans un complexe préconçu pour. Le bâtiment est composé de plusieurs bio-mes simulant différents milieux terrestres: désert, marais, savane, désert épineux, océan et forêt tropicale humide.

⁽⁴⁾ Iosef Gitelson and Genry Lisovsky. *Creation of Closed Ecological Life Support Systems: Results, Critical Problems and Potentials*. Journal of Siberian Federal University, 2008. p. 22



Fig.5 (en haut) Photo du Bio-me de la Forêt tropicale humide.

Fig.6 (à gauche) Photo aérienne de Biosphère 2.

Les poumons sud et ouest sont des éléments architecturaux qui peuvent s'expandre et se retracter. Cela permet un contrôle absolu des pressions internes.⁽⁵⁾

Hermétique et totalisant une superficie de 1.27 hectares, les chercheurs doivent se nourrir, respirer et vivre avec ce qu'offre Biosphère 2. L'expérience, critiquée dans la communauté scientifique, est financée par le milliardaire Texan Edward Bass.

L'entièreté du volume disponible avoisine les 200 000 m³. L'habitat humain a une surface de plus ou moins 2400 m². Les 6 occupants bénéficient de bureaux, de laboratoires, d'une infirmerie, d'ateliers, de salles de contrôles, d'une cuisine et de quartiers privés.⁽⁶⁾

Après quelques mois dans l'enceinte des dômes, le volume d'Oxygène de 20.95% descendit, et tomba à 14,5%. En cause: le sol absorbant l'oxygène et les plantes avides d'oxygènes qui se sont multipliées et ont asphyxié les dômes.⁽⁷⁾

⁽⁵⁾ «Biosphere 2: An american Space Odyssey», The New York Times. Youtube. 2013. www.youtube.com/watch?v=oUJGR6qNVzA&feature=youtu.be

⁽⁶⁾ John Allen and Mark Nelson. *Ecological Engineering*. Overview and Design Biospherics and Biosphere 2, mission one (1991–1993). Elsevier, 1999. pp. 15-29

⁽⁷⁾ Idem

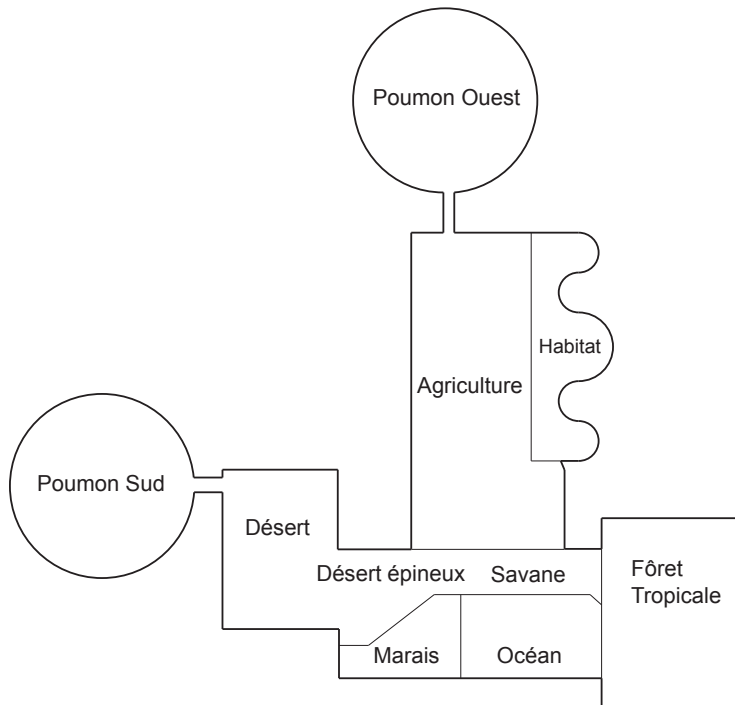


Fig.7 Schéma des différents bio-omes de Biosphère 2.

Les six protagonistes ont dû quitter pendant quelques jours l'expérience. Malgré l'échec de cette expérience, elle permet de mieux comprendre les relations entre êtres vivants et écosystèmes.

Melissa

Melissa est une aventure qui commence en 1980, l'idée de base étant de développer et lancer un projet européen de recyclage des déchets et du dioxyde de carbone par des bactéries. En 1993, l'ESA reprend le management du projet.⁽⁸⁾

⁽⁸⁾ «Terrestrial lake eco-loop», ESA. Vu le 28 décembre, 2018. https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Melissa/Highlights/Terrestrial_lake_eco-loop

Aujourd'hui le programme comprend 40 partenaires dans 13 pays. La boucle écologique est formée aujourd'hui par quatre compartiments. Ces quatre compartiments permettent un cycle de vie circulaire.⁽⁹⁾



Fig.8 Schéma du fonctionnement des quatre différents compartiments.

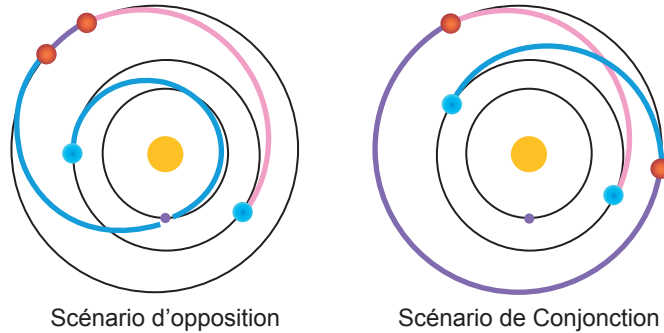
Mais Melissa n'est pas encore au stade du test humain. Il faut attendre un 5ème compartiment qui ne devrait pas tarder à voir le jour pour pouvoir intégrer des êtres vivants à l'intérieur de ce système.

⁽⁹⁾ «Melissa: De la recherche spatiale utile sur la Terre», ESA. Vu le 28 décembre, 2018. http://www.esa.int/fre/ESA_in_your_country/Belgium_-_Francais/MELISSA_de_la_recherche_spatiale_utile_sur_la_Terre

VOYAGE INTER-PLANÉTAIRE

Depuis les années 60, les agences spatiales mondiales envisagent sérieusement l'exploration de Mars. En 2009, la NASA établit un scénario de référence actualisé en 2015. Ce plan précis des marches à suivre, explicite plusieurs paramètres. Ceux qui ont un impact sur la mission et qui nous intéressent sont les suivants: la durée du séjour et le nombre d'astronautes envisagés.

Fig.9 Schéma des deux scénarios envisagés concernant le voyage vers Mars. Basé sur des documents de la Nasa.



La durée du séjour sur Mars dépend de deux scénarios. Effectivement, il faut prendre en considération la trajectoire empruntée. Celle-ci impacte la durée de la mission, compte tenu de la quantité de carburant emportée. Mais le choix d'une trajectoire est aussi influencé par les mécaniques spatiales des planètes et de notre système solaire. On se retrouve alors en face de deux scénarios, celui de conjonction et celui d'opposition.⁽¹⁰⁾

Le scénario d'opposition propose un voyage de 217 jours et un séjour de 30 jours sur la planète rouge. Cependant, il faut 403 jours pour revenir sur Terre, soit un séjour totalisant 650 jours.

Le scénario de conjonction, prévoit un aller de 210 jours et un retour de 210 jours. Mais les astronautes doivent rester 496 jours sur la surface martienne. Le séjour dure, dans cette proposition 916 jours. Evidemment le scénario de conjonction est préféré par la communauté scientifique. C'est aussi le choix de la NASA, même si les astronautes restent 266 jours de plus dans l'espace.⁽¹¹⁾

⁽¹⁰⁾ Bret Drake. *Human Exploration of Mars Design Reference Architecture 5.0*. Chapitre 4.1 Interplanetary Trajectory and Mission Analysis. Nasa, 2009. pp. 21-23.

⁽¹¹⁾ Idem

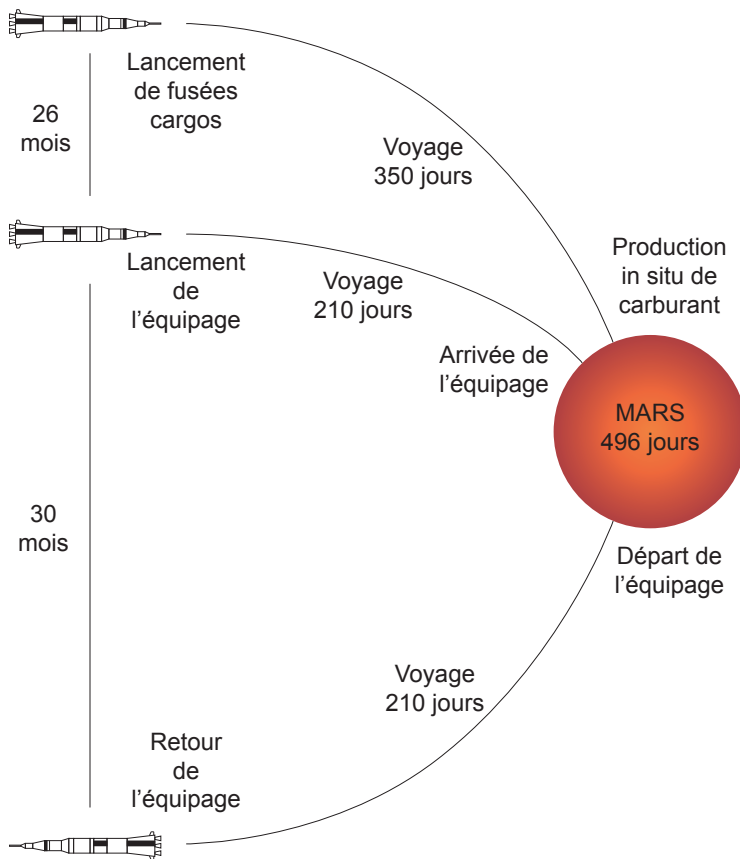


Fig.10 Scénario de référence quant aux étapes à suivre lors de l'entreprise d'un voyage vers Mars. Basé sur des documents de la Nasa.

Le nombre d'astronautes, est un paramètre important. Le facteur psychologique est crucial pour le bon déroulement d'une telle mission. Les astronautes vont devoir rester 910 jours ensemble et dans un environnement totalement hostile. Dans le scénario référence de la NASA, on parle de 6 astronautes. Ces chiffres sont seulement indicatifs, mais c'est un chiffre qui semble porter bonheur à l'ISS.

SIMULATIONS

Mars society

La « Mars society » est une organisation à but non lucratif américaine, mais aujourd'hui mondiale qui promeut l'exploration humaine et la colonisation de Mars.

Fondée par le Dr. Robert Zubrin en 1988, son but est d'éduquer le public, afin de prouver l'importance d'établir une colonie martienne.

Flashline Mars Artic Research station

C'est dans cette idée que la Mars Society construit à la fin de l'été 2000 la première station de recherches d'un nouveau genre. Cette station simule la vie de quelques chercheurs sur Mars, cela afin de mieux comprendre les défis liés à la colonisation/exploitation martienne. Elle se situe dans un désert froid voir arctique au nord du Canada sur l'île de Devon. Ce lieu a été choisi pour ses conditions de vie extrêmes et semble esthétiquement analogue au désert martien. Aujourd'hui la station fonctionne encore, et des missions d'isolement y sont régulièrement effectuées.⁽¹²⁾

Fig.11 (page de droite en haut) Située à moins de 1 609 km du pôle Nord, l'installation Flashline Mars Artic Research station est au bord d'un cratère de 14 km de large. Le désert est considéré comme l'un des environnements les plus ressemblants à la planète Mars.

Fig.12 (page de droite en bas) Photo aérienne de la station de recherche Mars Desert, située près de Hanksville, dans l'Utah.

L'habitat est un cylindre de 7.7 mètres de haut, avec un diamètre de 8.3 mètres.⁽¹³⁾ Il est prévu d'y accueillir 6 membres, le rez-de-chaussée est composé de deux sas, une douche et une toilette, une salle pour se changer et enfiler les combinaisons, ainsi qu'un atelier combiné à un laboratoire. Le premier étage accueille les chambres des protagonistes, le salon, ainsi qu'une cuisine équipée d'un réfrigérateur, d'une cuisinière à gaz et d'un micro-onde.

Les conditions extrêmes de températures sont semblables à celles sur Mars. L'esthétisme géologique est respecté, en effet la base est établie au fond d'un cratère. Il est probable que ce soit le cas également sur Mars.

⁽¹²⁾ «About The FMARS», Mars Society. Vu le 10 décembre, 2018. <http://fmars.marssociety.org/about-the-fmars/>

⁽¹³⁾ Mars Society. *Mars Analog Research Station Project*. Mars society, 2006. pp. 11-12

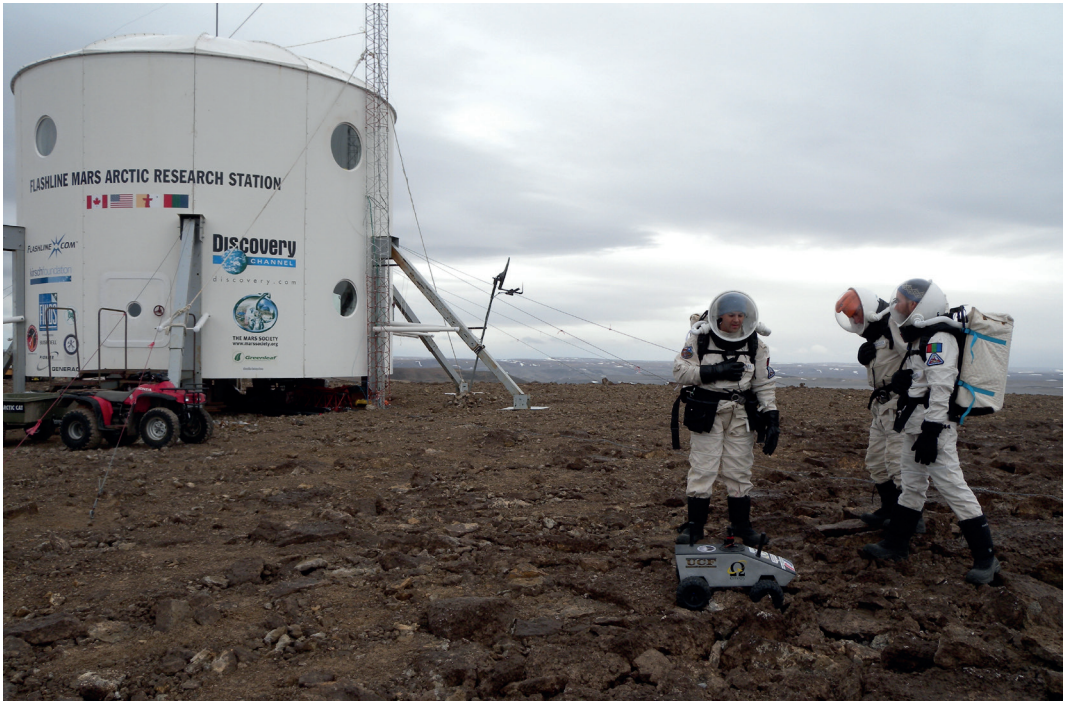




Fig.13 Les membres de l'équipe 138 se réunissent pour un repas du soir dans la Mars Desert Research Station.

Fig.14 (page de droite) Plans de la Mars Desert Research Station. Basé sur les documents de la mars society.

Cependant, l'architecture du bâtiment n'est pas locale, c'est une caravane sans possible extension. Les ressources énergétiques, l'eau et la nourriture ne sont pas des circuits fermés. Le bâtiment n'est absolument pas autonome et est alimenté au fuel, chose impossible sur mars. Il n'y a qu'un seul module, même si l'expérience est intéressante, elle n'est pas aboutie.

Mars Desert Research Station

La Mars Desert Research Station est la deuxième simulation proposée par la Mars Society. Construite aux débuts des années 2000, la station se situe dans l'Utah, à l'ouest des États-Unis.⁽¹⁴⁾

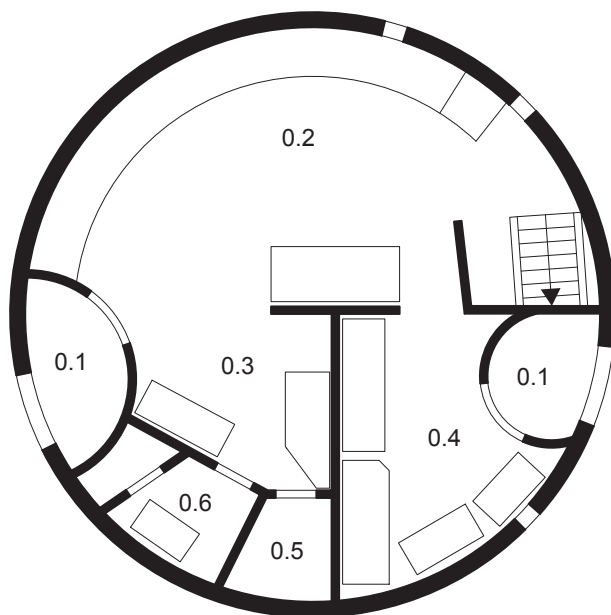
Le campus est composé de plusieurs bâtiments: l'habitat, la serre, l'observatoire solaire, l'observatoire robotique, l'atelier d'ingénierie et enfin un atelier scientifique. Les bâtiments sont tous reliés par des tunnels qui permettent leur communication.

Le module de vie est similaire à celui présent au Canada, il est seulement un peu plus haut.⁽¹⁵⁾

Encore une fois l'architecture des modules est de type caravane, ils ne prennent pas en considération la possibilité de construire sur place. Même si le bâtiment semble plus complet et préparé à une vie martienne, les ressources n'y sont toujours pas maîtrisées.

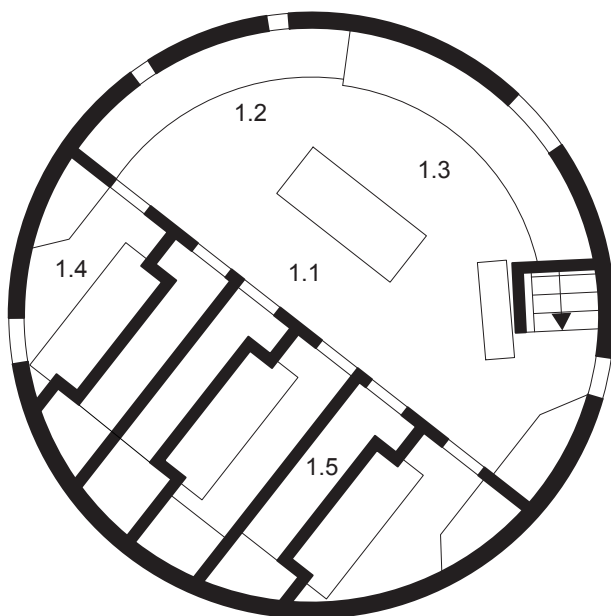
⁽¹⁴⁾ «About The MDRS», Mars Society. Vu le 10 décembre, 2018. <http://mdrs.marsociety.org/about-the-mdrs/>

⁽¹⁵⁾ «Mars Desert Research Station», Wikipedia. Vu le 11 décembre, 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Mars_Desert_Research_Station



Rez-de-chaussée

- 0.1 Sas
- 0.2 Laboratoire
- 0.3 Atelier
- 0.4 Vestibule
- 0.5 Toilettes
- 0.6 Douche



Premier étage

- 1.1 Salon
- 1.2 Cuisine
- 1.3 Bureaux
- 1.4 Chambre type 1
- 1.5 Chambre type 2

Echelle
1:100

Mars 500

Entre 2007 et 2011, la Russie, la Chine et l'agence spatiale européenne ont mis en place une simulation prénommée Mars 500. Le nom fait référence aux 500 jours prédits par le scénario référence de la Nasa.

Après une expérience d'isolement de 105 jours dans le complexe, le 3 juin 2010 démarre le véritable programme. Six chercheurs, trois russes, un français, un italien et un chinois sont volontairement enfermés et isolés dans le bâtiment. Tout est simulé pour coller au plus proche des conditions martiennes, même les délais entre émission et réception depuis la terre (environ 20 minutes).

Un bâtiment est spécialement aménagé au nord-ouest de Mouscou pour accueillir l'expérience. Le complexe expérimental est séparé en deux parties, une partie simule le trajet de la terre jusqu'à Mars et l'autre partie simule la descente et le séjour des astronautes sur la surface de Mars.⁽¹⁶⁾

Le vaisseau spatial est séparé en trois modules interconnectés et hermétiquement fermés.

Le principal module de vie (EC - 150) a un volume d'environ 150 m³. Il contient 6 chambres individuelles, une salle à manger, une salle de contrôle, un salon, une cuisine et une salle d'eau. Les compartiments individuels sont de dimensions modestes, entre 2,8 m² et 3.2 m², cela comprend un bureau, un lit et une chaise.

Vient ensuite le module médical (EC - 100). Son volume est d'environ 100 m³. Il contient deux lits médicaux, des toilettes et des équipements pour les tests médicaux de routine. Quelques expériences y sont aussi faites. Si un chercheur tombe malade, c'est également le compartiment dans lequel l'équipe peut l'isoler afin qu'il ne contamine pas les autres protagonistes.

*Fig.15 (page de droite)
Photo du complexe Mars
500 au nord-ouest de Mos-
cou.*

⁽¹⁶⁾ «The Isolation Facility», ESA. Vu le 18 décembre, 2018. http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Mars500/The_isolation_facility





Le dernier module mis en place pour un voyage vers mars est celui du stockage (EC - 250). En terme de volume, c'est le plus gros, environ 250 m³. Il contient un réfrigérateur (pour la nourriture), un compartiment de stockage de nourriture non périssable, une serre expérimentale, et enfin un compartiment regroupant une douche-Sauna, toilette et une salle de sport.⁽¹⁷⁾



La seconde partie du complexe n'est accessible que durant 30 jours et seulement pour trois chercheurs. Simulant la descente des astronautes sur Mars, le simulateur est divisé en deux parties: Evidemment le module d'atterrissage (EC - 50) est présent. Il contient trois couchettes, deux stations de travail, une cuisine et une toilette. Les astronautes y séjournent, y travaillent et repartent avec.⁽¹⁸⁾



Fig.16 (en haut) Vue dans le module d'atterrissage après l'ouverture de la trappe le 1er février.

Fig.17 (au milieu) Romain Charles et Sukhrob Kamolov au travail dans les installations de Mars500.

Fig.18 (en bas) Vue dans le module de vie: EC - 150.

Fig.19 (page de droite) Plan du complexe Mars 500. Basé sur des documents de l'ESA.

Le deuxième module est un simulateur de surface martienne (SMS). Son volume est de 1200 m³. Deux chercheurs peuvent effectuer des sorties avec des combinaisons spécialement conçues.

La mission est un réel succès, et ne connaît pas d'incidents notables. Il est pourtant regrettable que cette expérience ne prenne encore une fois pas en considération l'établissement pérenne d'une colonie martienne. La mission ne se concentre que sur 30 jours sur mars,⁽¹⁹⁾ alors qu'il est possible que nos futurs colons restent bien plus longtemps à la surface de Mars.

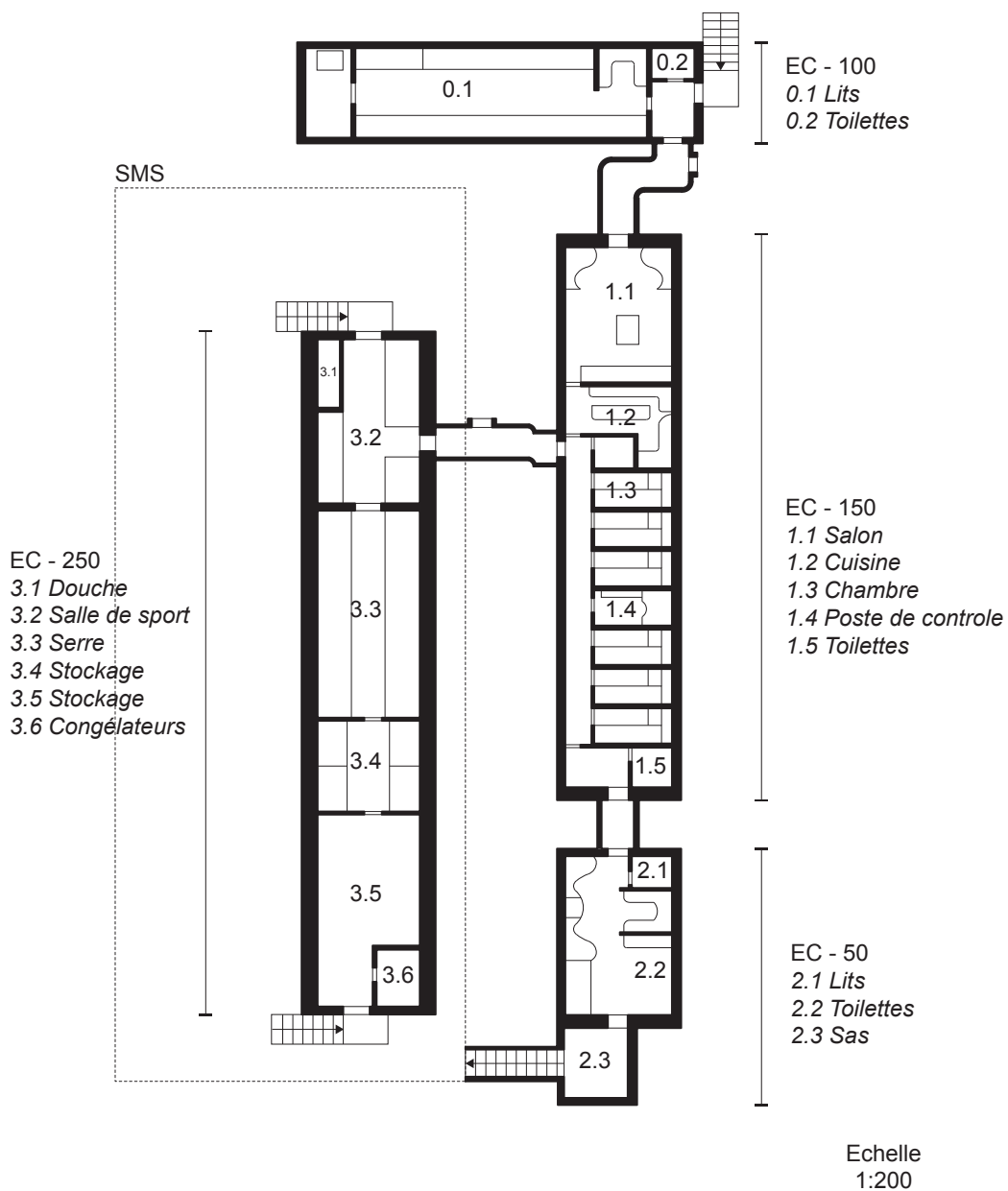
Par ailleurs, le simulateur de surface martienne semble trop petit, il n'entoure pas réellement le complexe, le milieu est reproduit à son minima.

Enfin les ressources d'énergie et d'eau ne sont pas prises en compte.

⁽¹⁷⁾ «The Isolation Facility», ESA. Vu le 18 décembre, 2018. http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Mars500/The_isolation_facility

⁽¹⁸⁾ Idem

⁽¹⁹⁾ Ibidem



Hi-Seas

Hawai Space Exploration Analog and Simulation, voilà ce que signifie les sigles de cette expérience menée par la Nasa et l'université de Hawaï. Se situant sur le volcan Manau Loa sur l'île de Hawaï, 2500 mètres au dessus du niveau de la mer, 6 chercheurs sont régulièrement isolés dans le complexe. Toutes les conditions d'un isolement sur la planète rouge y sont simulées, à part les radiations et la gravité. Les objectifs sont la compréhension des mécanismes psychologiques qui influent sur le bon déroulement d'une telle mission, mais aussi la cohésion d'un groupe qui doit régulièrement effectuer des sorties extra-véhiculaires. En août 2016, le programme réussit une mission d'isolement de plus d'un an.

L'habitat de Hi-seas est semi portable. Divisé en deux étages, il contient un volume de 368 m³ avec une surface de 112 m². Au premier étage, on y trouve une cuisine, un salon, une salle de bain, un laboratoire, une salle de sport et un atelier. Au deuxième étage se trouve six chambres spatialement séparées et indépendantes.⁽²⁰⁾

Contrairement à Mars 500, les chercheurs ne sont pas dans un espace confiné. La base se trouve au milieu d'un terrain favorable à la simulation de la surface martienne. Cela permet des missions extra-véhiculaires avoisinant celles que pourraient rencontrer l'équipe sur mars.

La base est alimentée grâce à des panneaux solaires (10 Kw) que l'on voit depuis l'une des fenêtres du complexe. Lors des jours nuageux, les batteries ne sont pas complètement chargées, l'équipage doit donc, par exemple revoir à la baisse le chauffage et les temps de cuisine.⁽²¹⁾

*Fig.20 (page de droite)
Photo de l'habitat du programme Hi-seas.*

⁽²⁰⁾ Dr. Kim Binsted et Dr. Bryan Caldwell. *Hawaii Space Exploration Analog and Simulation. Media kit.* University of Hawaï. pp. 1-9

⁽²¹⁾ Idem





Hi-seas ne recycle pas son eau, toutes les 4 semaines une équipe vient remplir les réservoirs d'eau.

Cependant les systèmes de communications, comme dans Mars 500, ont un délai de 20 minutes.⁽²²⁾



Fig.21 (en haut) Photo de la cuisine lors de la première arrivée d'un équipage.

Fig.22 (en bas) Photo des chambres lors de la première arrivée d'un équipage.

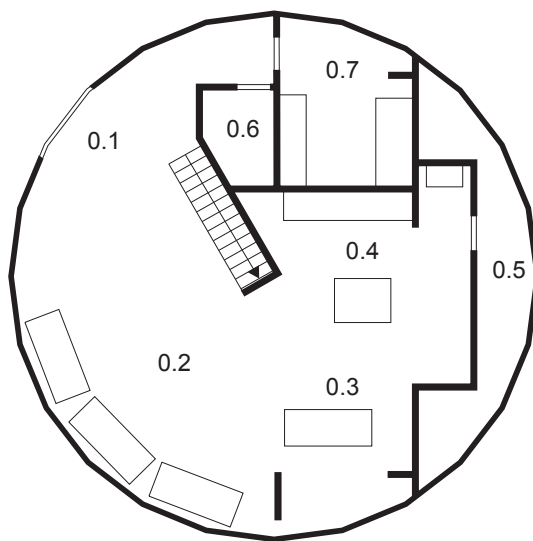
Fig.23 (à droite) Vue de l'ensemble du complexe sur la volcan Manau Lao.

Fig.24 (page de droite) Plan de l'habitat Hi-seas. Basé sur des documents de l'université de Hawaï.

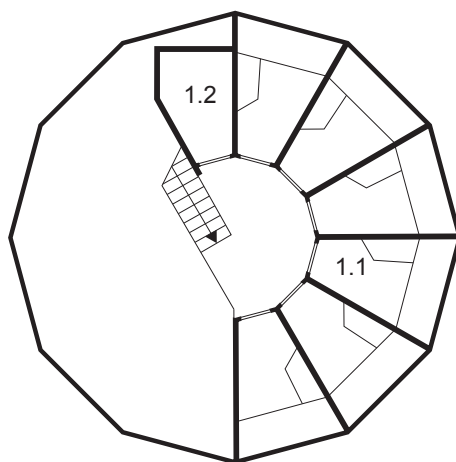
Hi-seas complète l'étude de Mars 500, l'équipe n'est pas enfermée dans un espace dédié au voyage. L'idée est de réellement simuler une vie sur Mars. Cependant beaucoup de points importants ne sont pas résolus. L'architecture du bâtiment de type caravane n'est encore une fois pas une solution viable. L'autonomie en oxygène, en eau et en nourriture n'est absolument pas envisagée et les durées de missions sont trop courtes pour réellement simuler un voyage, ou même une vie sur la planète rouge.



⁽²²⁾ Dr. Kim Binsted et Dr. Bryan Caldwell. *Hawaii Space Exploration Analog and Simulation. Media kit.* University of Hawai'i. pp. 1-9



Rez-de-chaussée
 0.1 Entrée
 0.2 Espace de
 travail commun
 0.3 Salle à manger
 0.4 Cuisine
 0.5 Stockage
 0.6 Salle de bain
 0.7 Laboratoire



Premier étage
 1.1 Chambre
 1.2 Toilettes

Echelle
 1:150

SITES

Afin de recréer du mieux possible le milieu martien, il faut choisir un site en fonction de toutes les caractéristiques énoncées. Trois différents milieux semblent ressortir comme adéquats.

Le premier milieu pourrait être un désert froid, voir arctique/antarctique. Un site intéressant pourrait se trouver en Islande. Les températures froides de l'île rejoignent celles de mars à certains moments de l'année. Le pays possède de grandes étendues de basalte, non sans rappeler la géologie même de mars. Esthétiquement, les terrains escarpés peuvent sans doute rappeler ceux de la planète rouge. De plus, la multitude d'îles isolées à proximité du pays peut reproduire l'isolement tellement important dans l'étude de la colonisation martienne.

Un autre milieu qui peut se prêter au jeu de la simulation, est un désert aride.

En Jordanie, le Wadi Rum est un désert de grès, esthétiquement ressemblant à des étendues martiennes. Le désert fut le lieu de tournage de nombreux films parlant de Mars. En effet, la couleur de son sable rouge, est due à l'oxydation de son fer, comme sur Mars. L'isolement permet de répondre aux questions de ressources, que ce soit pour la construction, la nourriture ou même l'eau.

Le deuxième milieu intéressant n'est autre que le désert d'Acatama au Chili. C'est l'un des déserts les plus arides au monde. Il ne reçoit presque aucune précipitation, ce qui rend le désert intéressant pour la survie extrême que nos futurs colons peuvent rencontrer. De plus le sol est riche en basalte, et en roches magmatiques, des minéraux similaires présents sur notre planète voisine.

Enfin le dernier milieu qui présente des caractéristique intéressantes est Hawaï. Cette île formée à partir de plusieurs volcans, tel que le Mauna Loa, possède plusieurs caractéristiques qui peuvent

se prêter à la simulation d'un voyage extra-terrestre.

Le volcan est déjà l'objet de l'expérience de simulation HI-SEAS. La Nasa a choisi Hawaï pour la composition de sa terre, qui peut être assimilée à celle de mars. Elle est essentiellement basaltique; le volcan est d'ailleurs toujours actif. Les conditions de vies sont également très rudes. On peut encore une fois jouer la carte de l'autonomie et de l'isolement complet.

CONCLUSION

Mars est la prochaine conquête spatiale envisagée par les agences spatiales du monde entier. Les caractéristiques physiques de Mars, qu'elles soient atmosphériques, climatiques, géologiques, ou encore les problèmes pour s'approprier les ressources nécessaires à une vie sur Mars sont extrêmes. Le milieu martien, est le milieu le plus extrême où l'homme promet de s'établir.

L'homme a séjourné et marché sur la Lune, il vit aujourd'hui dans l'espace et réfléchit à s'installer sur Mars. Les précurseurs du monde spatial ont ouvert les portes des possibilités quant à la construction d'une colonie martienne. Les objets spatiaux sont construits afin de fournir un espace disponible maximum pour les astronautes, malgré les petits volumes auxquels ils ont droit. Les repas, les salles de sports, les couchettes, les salles communes, les ateliers scientifiques deviennent des programmes à part entière. Que ce soit pour le bien être des hôtes, ou pour le bon déroulement des missions périlleuses prochainement entreprises.

Les systèmes écologiques fermés censés reproduire l'écosystème terrestre sont autant d'études nécessaires à la vie sur une autre planète que sur la nôtre. Les simulations déjà entreprises par des associations ou par des agences spatiales sont des expériences indispensables quant à la compréhension de la prochaine ère spatiale. Toutefois ces expériences ne sont pas complètes, il manque des données importantes, notamment l'étude architecturale des modules qui ne semble pas adaptée à une telle mission.

L'homme n'est aujourd'hui pas prêt à relever ce défi encore trop lointain technologiquement. Des études sont nécessaires, afin de mieux déterminer les besoins de nos prochains colons. L'architecture d'une base, aussi importante soit-elle, doit contenir tous les défis physiques, sociologiques et constructifs qu'impose Mars. L'intervention, et la construction d'un modèle de vie martienne sur terre, est la réponse aux questionnements découlant de la colonisation de Mars.

L'architecture a une place prépondérante, elle influe sur le choix des chercheurs, et sur la mission. En essayant de reproduire un milieu que nous commençons à mieux connaître, nous pouvons tester de nouvelles pensées architecturales. C'est dans ce sens que doivent aller les recherches structurelles et spatiale d'une base martienne. Simulons la construction, l'établissement d'une colonie martienne, l'objectif étant d'un jour envoyé des explorateurs d'un nouveau genre sur une planète encore inconnue de l'homme.

Bibliographie

- Grego, Peter. *Mars and How to observe it*. Springer, New York, Ny. 2012.
- Saha, Kshudiram. *The Earth's Atmosphere*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008.
- Jet Propulsion Laboratory. *Viking Mission to Mars*. 1988.
- British Antarctic Survey. *Final Comprehensive Environmental Evaluation*. 2007.
- Paul Guichonnet. *Le climat de l'Afghanistan*. Revue de Géographie Alpine. 1950.
- Philippe Masson. *Géologie et morphologie de la Planète Mars (Geology and morphology of planet Mars)*. Bulletin de l'Association de Géographes Français. 1984.
- Jet Propulsion Laboratory. *Mars Pathfinder*. 1998.
- NASA. *Mars in a Minute: Is Mars Really Red?* 2011.
- Hetu Sheth. *A Photographic Atlas of Flood Basalt Volcanism*. Springer International Publishing AG. 2018.
- NASA. Space Technology. *The Fission System Gateway to Abundant Power for Exploration*. 2018.
- NASA. *Life Support Baseline Values and Assumptions Document*. 2015.
- NASA. *Nasa Facts: Cosmic Cuisine*. 2016.
- Häuplik-Neusburger, Sandra. *Architecture for Astronauts*. Springer, New York, Ny. 2011.
- Frank Salisbury, Josef Gitelson et Genry Lisovsky. *Bios-3: Siberian Experiments in Bioregenerative Life Support*. 1997.
- Josef Gitelson and Genry Lisovsky. Creation of Closed Ecological Life Support Systems: Results, Critical Problems and Potentials. Journal of Siberian Federal University, 2008.
- John Allen and Mark Nelson. *Ecological Engineering*. Overview and Design
- Biospherics and Biosphere 2, mission one (1991–1993). Elsevier, 1999.
- Bret Drake. *Human Exploration of Mars Design Reference Architecture 5.0*. 2009.
- Mars Society. *Mars Analog Research Station Project*. Mars society, 2006.

Iconographie

Fig.1 Time | **MARS** | Fig.2 Nasa | Fig.3 Nasa | Fig.4 Nasa | Fig.5 Nasa | Fig.6 Nasa | Fig.7 Cnrs | Fig.8 Nasa | Fig.9 Nasa | Fig.10 Nasa | Fig.11 Nasa | Fig.12 Nasa | Fig.13 Nasa | Fig.14 Cnrs | Fig.15 HikinginJordan | Fig.16 Philippe Crochet | Fig.17 John C. Derrick | Fig.18 Loïc Vanderkluisen | Fig.19 Hetu Sheth | Fig.20 Dominique Weis | Fig.21 Space research groupe Budapest, Hongrie | Fig.22 Nasa | Fig.23 Nasa | Fig.24 Jacobs School of Engineering/UC San Diego | Fig.25 University of Alaska | Fig.26 Nasa/ JPL-Caltech/University of Arizona/ Texas A&M University | Fig.27 Nasa/ JPL-Caltech | Fig.28 The Martian. 2015 | Fig.29 Nasa | Fig.30 Nasa | Fig.31 Auteur | **MARS-TERRE** | Fig.1 Nasa | Fig.2 Nasa | Fig.3 Nasa | Fig.4 Nasa | Fig.5 Wikipédia | Fig.6 Auteur | Fig.7 Nasa | Fig.8 Nasa | Fig.9 Auteur | Fig.10 Nasa | Fig.11 Nasa | Fig.12 Auteur | Fig.13 Nasa | Fig.14 Nasa | Fig.15 Nasa | Fig.16 Auteur | Fig.17 Nasa | Fig.18 *STS-132 Crew, Expedition 23 Crew, Nasa* | Fig.19 Auteur | Fig.20 Bryann Versteeg / Mars One | Fig.21 Foster + Partner | Fig.22 Foster + Partner | Fig.23 Nasa | Fig.24 Clouds Architecture | Fig.25 Clouds Architecture | **TERRE-MARS-TERRE** | Fig.1 Closed Worlds | Fig.2 Closed Worlds | Fig.3 Closed Worlds | Fig.4 Auteur | Fig.5 Closed Worlds | Fig.6 Closed Worlds | Fig.7 Auteur | Fig.8 ESA | Fig.9 Auteur | Fig.10 Auteur | Fig.11 The Mars Society | Fig.12 The Mars Society | Fig.13 Jim Urquhart | Fig.14 Auteur | Fig.15 ESA | Fig.16 ESA | Fig.17 ESA | Fig.18 ESA | Fig.19 Auteur | Fig.20 ESA | Fig.21 Sian | Fig.22 Sian | Fig.23 University of Hawaiï | Fig.24 Auteur

Remerciements

A l'ensemble de mon groupe de suivi; Corentin Fivet, Nicola Braghieri et Peter Zurbrugg; pour leurs nombreux conseils, leurs critiques et leurs retours toujours constructifs.

Aux agences; L'Agence Spatiale Européenne et le Swiss Space Center; pour leurs implications et leur partage de cette même passion.

Je remercie également mes parents qui m'ont soutenus tout au long de mon semestre, et sans qui ce travail n'aurait pu voir le jour.

Enfin, je tiens à remercier Cristiano Simon et Touya Quentin pour leur aide et leurs conseils avisés.

