

Travail Personnel de Fin d'Etudes

**PROJET D'UNE BASE HABITEE
SUR LA PLANETE MARS**

**Pierre BRULHET
Juin 1999**

COMPOSITION DU JURY :

Régine LOISEL, Architecte DPLG, Directeur d'étude, enseignant à l'EAV

Jean-Pierre LEVASSEUR, Architecte DESA, Directeur d'étude, enseignant à l'EAN

Alse GONANO, Ingénieur CUST et ISBA, enseignant à l'EAN

Richard HEIDMANN, Directeur Evaluation Scientifique, Technique et Industrielle au SEP -
Division de SNECMA

REMERCIEMENTS :

Je remercie particulièrement Philippe BUFFET (Attaché aux relations extérieures de la SEP - Division de SNECMA - Direction Grosse Propulsion à Liquides) qui m'a fait rencontrer Richard HEIDMANN (Directeur Evaluation Scientifique, Technique et Industrielle au SEP - Division de SNECMA - Direction Grosse Propulsion à Liquides), Christian ROSSIQUET (Critique de satellites au CNES), Francis MILTAT (Architecte DPLG) pour ses conseils sur la « fabrication » de la base, Jacques BRULHET (Vétérinaire), Edouard LE BOCQ (Agronome) et Caroline COLNENNE (Professeur de physiologie végétale) pour leur apports dans le domaine de la culture sous serres, Allan TORIEL (Informaticien) et Alain BOUTILLER (Infographiste) sur les choix techniques et les possibilités des écrans virtuels.

Un remerciement tout aussi attentionné aux enseignants membres du Jury : Régine LOISEL, Jean-Pierre LEVASSEUR, Alse GONANO, Richard HEIDMANN.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
1. UNE DEMARCHE D'ARCHITECTE	9
1. Le rôle de l'Architecte	10
2. Démarche, outils	12
2. ETUDE DU DOMAINE	14
1. Mars, la planète rouge	15
1.1 Un peu d'histoire	15
1.2 Pourquoi Mars est-elle une planète morte ?	16
1.3 Histoire géologique	18
1.4 Relief et paysage	19
1.5 Volcanisme et tectonique	20
1.6 Canyon et vallées	22
1.7 Présence de l'eau	23
1.8 L'atmosphère	24
1.9 Climats et saisons	25
1.10 Vers une exploration humaine	27
1.11 Mars en quelques chiffres	28
2. Vivre en milieu hostile	31
2.1 Loewy et Rougerie : comment un designer et un architecte ont imaginé l'homme vivre dans deux milieux hostiles différents ?	31
2.1.1 Raymond Loewy	31
2.1.2 Jacques Rougerie	33

2.2 Lieux, vie et organisation dans un sous-marin nucléaire	34
2.3 Biosphère 2 : un microcosme de la Terre difficile à réaliser	35
2.4 Vivre dans la station MIR	37
2.5 Des bases en Antarctique et en Arctique pour préparer l'homme aux futures missions martiennes	40
2.5.1 La base Dumont-Urville	40
2.5.2 La future station Antarctique Concordia	40
2.5.3 Une base en Arctique pour 2000	41
2.6 Les projets de bases habitées sur Mars	41
2.6.1 Le point de vue de l'architecte	42
3. LE PROJET	44
1. Vers un concept	45
1.1 Pourquoi aller sur Mars ?	45
1.2 Hostilité du site	46
1.3 Eloignement de la Terre	47
1.4 Une base autosuffisante	47
1.5 Un projet adapté	48
1.6 Intégration au site et au paysage	48
1.7 Type d'architecture	49
1.8 La symbolique du projet	50
2. Mise au point du programme	51
3. Eléments de mise en forme	52
3.1 La toiture « tumulus »	52

3.2 Le mur-écran	53
3.3 L'entrée / sortie de la base	55
3.4 Les étapes du chantier	56
3.5 Plans et coupes perspectives	57
CONCLUSION	61
BIBLIOGRAPHIE	64
ANNEXES	70

INTRODUCTION

« Toute aventure humaine, quelque singulière qu'elle paraisse, engage l'humanité entière. »
Jean-Paul Sartre

INTRODUCTION

Le succès de la mission Pathfinder en juillet 1997 a relancé l'intérêt porté à Mars, planète qui a toujours eu un impact important dans l'imaginaire des hommes.

Au-delà des aspects de haute technologie liés à un projet de construction sur un site très éloigné, nous pensons que l'Architecte a un rôle à jouer dans la programmation et la conception d'une base habitée sur la planète Mars.

L'intérêt de l'homme pour la planète Mars ne date pas d'hier. De tous temps, elle a attiré les esprits car c'est la planète du système solaire dont les caractéristiques sont les plus proches de la Terre et donc qui semble plus accessible à une présence humaine future.

Depuis que les hommes imaginent de voyager dans l'espace, la planète Mars est un objectif qui a stimulé scientifiques et artistes, et pendant longtemps les extraterrestres étaient communément assimilés aux martiens. De très nombreux livres et films de science-fiction ont pris la planète rouge comme thème, mais le récent regain d'intérêt pour cette planète provient de l'extraordinaire succès de la mission Pathfinder et des images transmises par son robot « Rocky ».

Les médias et les politiques se sont emparés de ce projet et ce nouvel élan profite au développement de bases habitées sur d'autres planètes. Les projets de programmes de bases habitées gelés ou repoussés dans les années 80 et 90, sont remis au goût du jour. Le Président Clinton a annoncé que, avec la NASA et une collaboration internationale, le premier homme marcherait sur Mars dans les années 2011-2020, succédant aux missions robotisées qui auront préparé la venue de l'homme sur la planète rouge. Ce programme aura pour ambition de préparer la venue de l'homme sur Mars. Son objectif sera essentiellement scientifique : récupération d'échantillons, recherche fossile d'une vie embryonnaire passée, étude de l'atmosphère, du sol et ses richesses.

Ces expérimentations permettront de connaître le passé de Mars, mais aussi de mieux comprendre comment s'est formée la Terre et quel peut être son devenir.

La création d'une base sur Mars devra prendre en compte le caractère très hostile du site martien où viendront vivre les futurs scientifiques. Pour des raisons d'organisation et de coût, ils devront rester plusieurs années sur la planète rouge. Ils seront soumis à la rudesse du site (hiver glacial, pas d'atmosphère et donc pas d'oxygène, pas d'eau à l'état

Introduction

liquide, surface bombardée par les rayons ultraviolet et les micrométéorites...), mais aussi aux nouvelles conditions de pesanteur (environ trois fois plus léger sur Mars que sur la Terre), et de temps (une année martienne dure deux années terrestres). Ils souffriront sans aucun doute de l'éloignement de la Terre et ce que j'ai dit précédemment.

La conception d'une base sur un site aussi éloigné de la Terre et inhospitalier, va soulever de nombreux problèmes, tant au niveau technologique, philosophique que architectural. Sur un site vierge, sans contrainte d'espace, l'Architecte devra définir une stratégie de projet qui tiendra compte de ce nouvel environnement, de façon à organiser sa réflexion par rapport au site, à la technologie, à la vie des futurs astronautes...

Pour construire notre projet, nous travaillerons en différentes étapes de réflexions nécessaires à son élaboration et son mûrissement.

Nous nous intéresserons à l'histoire, la géologie, le climat, les saisons et l'atmosphère martienne, de façon à nous imprégner du site et de ses particularités.

Il s'en suivra une analyse pertinente pour notre projet de domaines aussi divers que l'aérospatiale, les nouvelles technologies, l'architecture sous-marine, le design..., et de l'apport de personnalités connues (architectes, designers, astronomes, écrivains...) qui ont abordé de près où de loin la problématique de bases habitées sur d'autres planètes.

Nous analyserons les expériences récentes de tentatives d'habitats dans des milieux extrêmes, conjuguant le confinement, la longueur des séjours, les conditions difficiles et l'habitat artificiel: bases en Antarctique, bases marines ou sous-marines (par l'Architecte Rougerie), bases souterraines, désert, station spatiale orbitale (Mir), expériences diverses (Biosphère II).

Cette approche permettra d'alimenter l'imaginaire du projet et la construction d'un concept opérant.

Parallèlement, nous mènerons une réflexion sur les missions et l'engagement de l'Architecte.

1. UNE DEMARCHE D'ARCHITECTE

« L'imagination est plus importante que le savoir. » **Albert Einstein**

Une démarche d'Architecte

1. Voir pages 31 à 33.
2. Voir pages 31 à 32.



La future base sur Mars vue par la NASA prévu pour 2011.

Sur le modèle de la nouvelle base Concordia en Antarctique (3 et 4), le dernier projet de base martienne de la NASA, prévoit la conception de deux modules cylindriques sur pilotis, reliés entre eux par un sas où vivront 5 hommes et 1 femme pendant 2 ans..

3. « Les bases de l'Antarctique servent de modèles aux missions martiennes », *Le Monde*, Paris, le 18/03/98, page 25.
4. « Les colons de Mars ou de la Lune seront « cultivateurs » et « végétariens », *Le Monde*, Paris, le 12/02/98, page 22.

UNE DEMARCHE D'ARCHITECTE

1. Le rôle de l'Architecte

Depuis le début de la conquête spatiale, il semble que l'architecte ait été un peu oublié dans la grande aventure du monde des étoiles. Il pouvait sembler au départ peu évident de l'utilité de sa présence : l'activité spatiale se résumant surtout à la conception de fusées, satellites, navettes spatiales et stations orbitales.

Des personnalités comme Loewy et l'Architecte Rougerie (1) ont prouvé le contraire en collaborant étroitement avec la NASA. Mais ces interventions furent plus sporadiques que conséquentes, même si l'influence de Loewy a été déterminant sur les programmes de vols habités par la NASA (2).

Pourtant, à l'heure où l'on envisage sérieusement de « construire » sur Mars, le recours d'un Architecte se justifie pleinement. Si son intervention est évidente pour concevoir un habitat sur Terre, il reste à justifier de son utilité pour construire sur Mars, un site difficile et dont les contraintes ne semblent pouvoir être surmontées que par des techniciens hautement qualifiés.

L'Architecte doit prouver le caractère indispensable de sa participation dans le projet délicat mais passionnant de concevoir un habitat pour une poignée de chercheurs vivants près de 2 années terrestres dans un milieu très hostile.

Le projet que prévoit la NASA pour l'horizon 2011-2020 (voir encadré à gauche), n'est que la première étape de la venue de l'homme sur la planète Mars. Elle servira de point de départ, à la construction d'une véritable base.

Dans le contexte, les ambitions de l'Architecte sont les suivantes :

- L'architecte, c'est le **médiateur**. Il est celui qui rassemble un ensemble de corps de métier. Son rôle n'est pas d'être spécialiste sur un domaine précis mais d'en avoir une connaissance suffisante pour réunir, coordonner et harmoniser un ensemble de compétences. C'est un chef d'orchestre. Ce n'est pas un hasard, si la station MIR ou le projet de base martienne par la NASA sont plus fonctionnels qu'esthétiques (même s'il n'y a pas contradiction): elles ont été d'abord conçues dans un but rationnel. L'Architecte se



Renault Espace : un modèle d'espace et de modularité intérieure

Conçu par Renault et Matra en 1984, l'Espace fut le premier monospace commercialisé : C'est le concept de la voiture fonctionnelle, bénéficiant d'un grand espace intérieur modulable (optimisé grâce à l'architecture monocorps du véhicule : moteur transversal à l'extrémité avant pour gagner de la place, pare-brise très incliné, hauteur de planché et plafond maximum, prééminence des baies vitrées, roues dégagées) et d'une multitude d'astuces de rangements pour le confort et le bien être des passagers. Après des débuts mitigés, l'Espace connaît un succès tel que toutes les marques automobiles mondiales l'ont aujourd'hui copié.

doit aussi d'être le défenseur de la « non-laideur ». Sa présence est ainsi essentielle dans la conception et l'organisation d'une base sur Mars.

- Le rôle de l'Architecte sera d'**anticiper** les besoins des futurs astronautes. Il doit avoir une démarche innovante. Il doit en quelque sorte rassembler et imaginer un maximum d'éléments qui n'existent pas encore, afin de voir le problème avant qu'il n'ait existé ! C'est une démarche qui se veut à l'écoute des besoins de l'Homme.

- La mission de l'Architecte, se doit de **prévoir** comment vont vivre les habitants de la station. Il doit reproduire un scénario possible, où tous les éléments qui constituent une journée d'un scientifique, soit pensés, anticipés. Comment réagira-t-il à la faible pesanteur ? Cela va-t-il influencer son comportement, l'architecture intérieure ? Vivre enterré, en l'absence ou avec peu de lumière naturelle, aura-t-il des effets sur son humeur, sa communication, ses relations sociales avec les autres scientifiques ? Toutes ces questions, l'Architecte devra se les poser.

- Si l'Architecte est sensé penser pratique et utile dans la construction de la base, il ne doit pas oublier une certaine idée de **confort**. Cette idée ne découle pas forcément du pratique et de l'utile. C'est aussi un subtile mélange de « beau » et de quelque chose qui se différencie des habitudes. Il devra condenser son savoir dans tout le passé architectural dont il est porteur et apporter quelque chose de personnel. De là doit naître un concept nouveau, à l'instar du « monospace » Renault Espace qui en 1984, bouleversa la vision de l'automobile contemporaine (voir encadré à gauche).

- L'Architecte est capable de **rapprocher des concepts opposés**. Les projets se nourrissent des mélanges de cultures. Sur un site étranger, dépourvu de toute histoire d'architecture et totalement vierge, le rôle de l'Architecte sera de trouver un dialogue entre l'histoire architecturale terrienne que nous importons et l'histoire martienne naissante.

- La démarche de l'Architecte ne doit jamais être gratuite. La conséquence architecturale de son concept doit au contraire avoir été mûrement réfléchi, étudiée, imaginée dans tous les sens possibles afin que l'aboutissement du projet soit la suite logique de l'idée initiatrice. Comme le résume une phrase célèbre de Le Corbusier, l'architecture c'est « se donner si passionnément à l'étude de la raison des choses, que l'architecture en devienne la conséquence ».

2. Démarche, outils

Les phases du processus créatif :

C'est le parcours logique qu'un Architecte doit se donner, afin de parvenir à la réalisation du projet le plus abouti possible. Bien sûr, cet acheminement n'est pas linéaire et tout l'intérêt consiste à pouvoir passer de l'un à l'autre de façon à avoir une vision globale et critique de notre démarche.

- Les références :

Le sujet même du projet (une base habitée sur la planète Mars) nous amène à opérer une recherche tout azimut : presses, livres, encyclopédies, internet, rencontres (questions, collaborations avec des personnes qualifiées), médias, télé, films et autres. Cette recherche peut aboutir à des rapprochements inattendus comme la musique et l'architecture (elle peut être un processus créatif), ou encore à analyser d'autres architectures de l'extrême (5). Puis on sélectionne ce qui nous intéresse, on classe, on revient ou on reviendra dessus, parfois sur des informations qui pouvaient sembler sans intérêt, on découvre d'autres références, etc.

- Le cahier de notes :

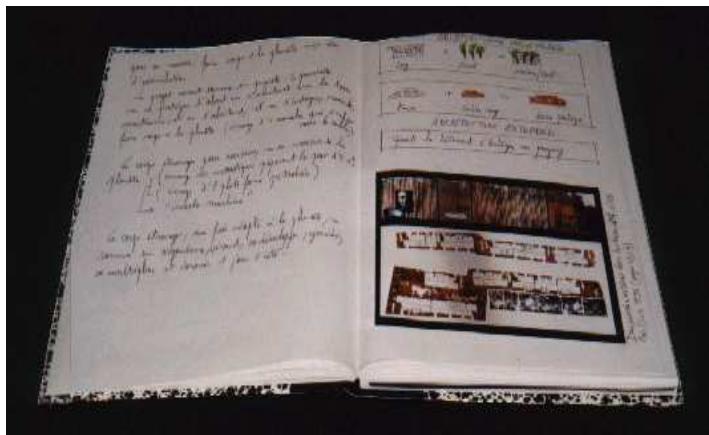
Le travail de lecture d'articles, livres, interview, s'accompagne toujours d'un cahier où l'on extrait les éléments qui nous intéressent : textes, citations, images, vont nourrir, enrichir, inspirer le projet.

- Le cahier créatif :

« Le cahier créatif » (6) constitue le support intellectualisant depuis la naissance à la mise en forme du projet. C'est le livre intime des idées de l'Architecte. Textes, dessins, photos, collages, croquis... tout est moyen d'aide à la créativité. C'est aussi un repère dans le temps dans l'évolution du projet. A tout moment, l'Architecte pourra faire marche arrière afin de revenir sur une idée ou au contraire, la rejeter définitivement. C'est une approche à la fois méthodique mais libre car le cahier est support à tous moyens d'expressions. Travail par effet « zoom » lors de la conception et la réflexion du projet (je dessine un détail, puis je le dessine à plus grande échelle). Le « cahier créatif » permet aussi de discuter du projet, de le soumettre à un œil extérieur. Un projet se nourrit de la critique.

5. Voir chapitre « Vivre en milieu hostile » (page 31 à 42)

6. Gosselin, Loisel, Greboval-Barry, *Les objets en conception*, Actes de 01 Design' 97, éditions Europa, 1998, page 33 à 43.



Le « cahier créatif ». Un support à la création.

Une démarche d'Architecte

- La mise en forme du projet :

A ce stade, c'est la matérialisation du projet dans sa forme la plus aboutie. Les outils de représentation choisis ont pour rôle d'explicitier au plus juste le concept du projet. Le support de dessins extraits du « cahier créatif », l'utilisation de plans, perspectives, élévations, réalisés en informatique, le recours à des maquettes, doivent aller dans cette démarche.

2. ETUDE DU DOMAINE

« Aujourd'hui c'est le monde; demain, c'est l'autre monde. » **Proverbe Yorouba**



Mars était un Dieu destructeur dans l'Antiquité. Pour les astrologues, il était synonyme de mort violente

7. Bradbury R. D, *Chroniques Martiennes*, Denoël dans la collection Présence du Futur, Paris, 1955, 265 pages.

1. MARS. LA PLANETE ROUGE

1.1 Un peu d'histoire

L'origine étymologique du mot « Mars » provient d'« Arès », qui était le dieu de la guerre chez les Grecs. C'était un dieu cruel, sans pitié, qualifié de « buveur de sang », « fléau des hommes » ou « destructeur des remparts ». Arès était représenté en géant cuirassé et casqué, armé d'un bouclier, d'une lance et d'une épée. Les Grecs donnèrent son nom à une planète qui brillait et apparaissait rouge dans le ciel. Arès deviendra la planète Mars et son nom ne changera plus jusqu'à aujourd'hui.

Depuis la plus haute Antiquité jusqu'à la seconde moitié du XX^{ème} siècle, la planète rouge sera associée à tous les qualificatifs extraordinaires et mystérieux que les produits de l'imagination des hommes ont pu engendrer. Elle a été une divinité de la guerre au temps des Grecs et des Romains, un dieu guerrier et guérisseur en Bretagne jusqu'au début de notre siècle, un dieu de la jeunesse et de la prospérité chez les Sabins. Mars a été aussi la planète des « petits hommes verts », extraterrestres hostiles et guerriers, désireux d'envahir la Terre. Encore aujourd'hui, Mars reste un sujet de prédilection pour les astrologues et « illuminés » en tout genre.

C'est à partir du XVII^{ème} siècle avec l'apparition des premiers télescopes, que l'existence d'autres mondes habités dans l'espace fut supposé par la majorité des astronomes. Mais il a fallu attendre la fin du XIX^{ème} siècle et la découverte de « canaux » par l'astronome italien Schiaparelli, relancé par l'ouvrage médiatique de l'américain Lowell, pour que Mars devienne la planète ayant la plus grande probabilité d'abriter la vie dans notre Système solaire. Même des philosophes comme Kant, des écrivains comme Ray Douglas Bradbury et ses célèbres *Chroniques martiennes* (7), ou des astronomes renommés comme Camille Flammarion, vont s'intéresser de près à la planète rouge et son éventuelle population civilisée, à la technologie très avancée. C'est de là que naîtra le mythe moderne, en 1947, des « flying saucers » et leurs occupants venus d'un autre monde. Ce mythe atteindra son apogée au milieu des années 50 à l'époque de la guerre froide où l'envahisseur pour les américains était assimilé à la menace du bloc soviétique. Le cinéaste Orson Welles fera trembler l'Amérique avec sa fameuse émission radiophonique, lorsqu'il annonça que des « soucoupes volantes envahissaient la Terre »!

Les premières photos des sondes Mariner et Viking au début des années 70 ont tempéré l'enthousiasme excessif porté à la planète rouge: il n'y avait de « petits hommes verts » et ni

Etude du domaine



Quand la planète rouge était le refuge de l'imaginaire débridé des auteurs de science-fiction.

8. MAC DONALD I, *Desolation Road*, Livre de poche, Paris, 1989, 480 pages.

9. ROBINSON Kim Stanley, *Mars la rouge*, Presses de la Cité pour l'édition française, Paris, 1994, 548 pages.

10. VERHOEVEN P, *Total Recall*, (film), Fox, Etats-Unis, 1990.

* Capture de matière extérieure par une étoile, ou une planète en formation, sous l'effet de la gravitation.



Le 5 juillet 1997, le robot « Rocky » atterrissait sur la planète rouge

de civilisation avancée à sa surface, mais un astre sans vie où il est impossible de vivre dans des conditions normales.

Après avoir été une divinité dans l'antiquité, puis une planète susceptible d'abriter des « martiens » avec la découverte des fameux canaux, le mythe de la planète rouge reste toujours d'actualité. Et la découverte par les sondes américaines au début des années 70 que Mars était un astre mort, n'a pas entamé l'imagination des écrivains et cinéastes. Des livres comme *Desolation Road* (8) ou la série *Mars la rouge*, *Mars la verte* et *Mars la bleue* (9), ou des films comme *Total Recall* (10) racontent non plus l'envahissement de la Terre par « les petits hommes rouges », mais la colonisation de Mars par l'homme et sa transformation progressive à l'image de la Terre. La très médiatique mission Pathfinder et son robot Rocky sur la planète rouge en juillet 1997, n'a fait que confirmer l'intérêt du monde entier pour cette planète qui conserve peut-être les fossiles d'une vie embryonnaire passée.

1.2 Pourquoi Mars est-elle aujourd'hui une planète morte ?

Au cours de la première phase de son histoire, la surface de Mars a subi le bombardement massif de météorites succédant à l'*accrétion** initiale.

C'est au cours de cette période de formation, que la radioactivité provoquée, a contribué à l'échauffement de Mars ainsi que les astres du Système solaire. L'activité tectonique intense et la formation de volcans qui suivirent, furent aussi des éléments de cet échauffement.

L'évolution profonde et spécifique de Mars est due en grande partie à sa taille. Pour une planète, le degré d'activité interne dépend de son « profil thermique » et de sa variation dans le temps. Plus une planète est grande et massive, plus l'apport énergétique provoqué par son activité interne (mouvement des plaques, activité volcanique, magma) l'emporte sur la dissipation d'énergie et donc plus élevée est la température du noyau. A l'inverse, d'une planète comme Mars, moins grande, rayonne plus dans l'espace l'énergie émise par la désintégration de leurs éléments radioactifs. Cette planète s'est donc refroidie avec le temps car l'énergie de l'activité de la surface disparaissant (l'absence de mouvement de plaques et l'épaisseur de la croûte aidant), la température interne de la planète a conséquemment diminué.

Etude du domaine



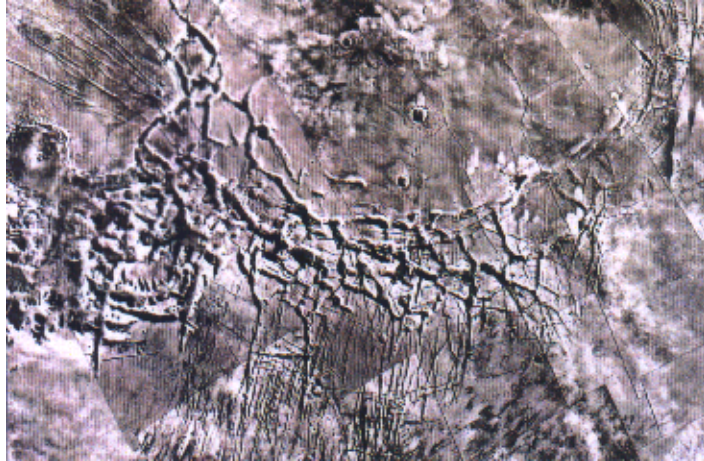
Trouvée en 1984 en Antarctique, cette météorite provenant de Mars, contiendrait des traces de bactéries

Si la planète rouge n'abrite probablement aucune forme de vie aujourd'hui, il n'est pas exclu de penser qu'elle soit apparue dans le passé. Si c'était le cas, il resterait des fossiles enfouis. En supposant que Mars ait connu dans son passé de l'eau à l'état liquide en surface et une atmosphère qui a joué le rôle à la fois de serre et de filtre aux rayons ultraviolets, alors la vie s'est peut-être développée comme sur la Terre. Une atmosphère peut-être le siège de réaction chimique susceptible de synthétiser des composés moléculaires de plus en plus importants et diversifiés. Avec une atmosphère similaire ou proche de celle de la Terre, des structures vivantes de plus en plus complexes ont pu naître. Mais les conditions atmosphériques sur Mars sont telles aujourd'hui (rayons ultraviolets peu filtrés, faible pression atmosphérique (7 millibars et 95% de CO₂)) que l'eau ne peut rester à l'état liquide, et les températures ne dépassent pas 0° Celsius à midi en été et aux très basses latitudes.

On ignore aujourd'hui presque tout sur l'évolution des conditions atmosphériques de Mars. Les scientifiques ont proposé plusieurs théories. La première consiste à dire que le refroidissement interne de la planète a transformé l'eau en glace, réduisant ainsi le recyclage atmosphérique au profit du « piégeage au sol ». Une deuxième hypothèse explique que la très faible teneur en azote de l'atmosphère martienne, provient d'un phénomène important qui aurait provoqué la perte de l'essentiel des constituants atmosphériques, qui se sont échappés vers l'espace. Ceci aurait affecté les autres composés et donc les composés carbonés en surface sous formes de roches, de molécules organiques ou de fossiles.

Rien n'exclut que Mars ait connu dans son passé une chimie complexe avec l'élaboration de composés vivants. Mars a eu les conditions requises pour abriter la vie. C'est d'abord une sphère « solide » qui a une atmosphère ténue certes, mais certainement comparable à la Terre il y a 2 ou 3 milliards d'années. Elle a donc connu un effet de serre avec une température et une pression atmosphérique propice à l'apparition de la vie.

Comme nous l'avons vu, il est peu probable aujourd'hui de trouver de l'eau à l'état liquide et des ressources énergétiques suffisantes au développement de la vie dans le sous sol de Mars. Mais on découvrira peut-être des fossiles d'organismes embryonnaires qui prouveront que la Terre n'est pas la seule planète à avoir abrité la vie. La comparaison avec les fossiles terrestres permettrait de déterminer le rôle de l'apport de molécules organiques d'origine extraterrestre (comètes), de préciser le rôle de l'eau et d'indiquer les conditions atmosphériques favorables au développement de molécules vivantes.



Noctis Labyrinthus : un enchevêtrement de profonds canyons. Le soulèvement du dôme de Tharsis est à l'origine de ces déchirures.

1.3 Histoire géologique

S'il existe encore beaucoup d'inconnues sur la géologie martienne, on peut cependant établir un scénario possible. Après la formation de la planète il y a 4,55 milliards d'années, elle s'est différenciée pour former un noyau (1300 à 2000 km de rayon), un manteau (1100 à 1800 km d'épaisseur) et une croûte (25 à 150 km d'épaisseur environ).

Au cours de son premier milliard d'année d'existence, Mars a connu un intense bombardement météoritique affectant les deux tiers de sa surface. C'est durant cette période que se sont formés les nombreux cratères dans l'hémisphère Sud. Les quelques grands bassins observés dans cet hémisphère seraient apparus dans les derniers temps de cette ère.

Il y a 3,5 milliards d'années, ce bombardement massif de météorites se termine. Une dissymétrie hémisphérique serait alors formée, suivie d'une fracturation générale centrée sur la région du futur dôme de Tharsis. Une première phase de volcanisme aurait suivi, provoquant de grands épanchements de type basaltique, qui auraient submergé une grande partie de l'hémisphère Nord. C'est à cette période qu'aurait commencé l'érosion « fluviale ».

L'origine des grandes quantités d'eau qui ont provoqué cette érosion, viendrait d'une atmosphère plus dense et plus chaude qu'aujourd'hui, entretenue par un important dégazage de la planète. Par la suite, la dissipation progressive de l'atmosphère et l'abaissement de la température, auraient entraîné la disparition de l'eau à la surface qui se serait enfouie dans le sous-sol sous forme de glace. La fonte brutale et localisée de cette glace, provoquée peut-être par l'activité volcanique, aurait engendré plus tard des inondations catastrophiques et la liquéfaction des terrains superficiels, surtout sur les bords des vallées et canyons.

L'activité volcanique dans les régions de Tharsis et d'Elysium continuant après cette période aurait entraîné la formation des deux édifices volcaniques. Le soulèvement continu du dôme de Tharsis aurait provoqué une nouvelle fracturation de la croûte avec l'ouverture des canyons de Valles Marineris, agrandis plus tard par l'érosion.

C'est il y a 1 ou 2 milliards d'années que se seraient formés les volcans géants que sont Olympus Mons et les monts Tharsis. Après leur formation, ces volcans auraient eu une activité limitée s'achevant il y a huit cent millions d'années.

Depuis la fin de cette activité volcanique, l'évolution géologique de Mars semble avoir pratiquement cessé. Seuls les vents et les variations climatiques continuent de modifier « superficiellement » sa surface. Ceci se traduit par le transport de matériaux les plus fins qui s'accumulent sous forme de dunes dans les régions proches du pôle Nord, et sous forme de dépôts stratifiés dans les calottes glaciaires.

Si géologiquement Mars serait aujourd'hui inactive, on ignore encore son degré d'activité sismique. Vu l'importance des structures tectoniques à la périphérie du dôme de Tharsis et les contraintes mécaniques vraisemblablement engendrées dans cette région par les surcharges volcaniques, il est possible que des mécanismes « de relaxation » produisent encore de nos jours des secousses.

1.4 Relief et paysage

Sur les deux hémisphères martiens, on trouve un paysage très diversifié composé de plaines avec des volcans dont les hauteurs approchent les 30 km, de multiples failles, des canyons profonds et de larges réseaux qui témoignent du probable écoulement passé de fleuves.

L'oxydation du fer en son état ferrique des roches en surface qui donne sa couleur à la « planète rouge », serait due à la présence d'eau à l'état liquide dans un passé lointain.

Les cratères, le volcanisme, la tectonique, l'érosion, prouvent que Mars a traversé de violents phénomènes géologiques qui ont modifié considérablement sa surface et son climat. Aujourd'hui, seuls l'érosion des vents et les variations climatiques agissent sur le relief de la planète rouge.

Les hémisphères Nord et Sud sont très différents l'un de l'autre. Alors qu'à proximité du pôle nord on trouve une surface relativement lisse, sans cratères, l'hémisphère Sud est marqué par de nombreux impacts de météorites.

Un grand cercle incliné de 35° environ sur l'équateur de la planète, sépare ces deux hémisphères. Cette limite est traversée par endroits d'un escarpement assez important, les plaines du Nord plongeant à 2 ou 3 km en contrebas des terrains cratérisés de l'hémisphère Sud. Ces derniers appartiendraient aux formations géologiques les plus anciennes de la surface actuelle de Mars. Elles correspondraient même à la croûte primitive de la planète. Cette croûte aurait subi un intense bombardement météoritique à la



Les escarpements adoucis et le fond plat montrent l'ancienneté des cratères dans le quart nord-est de Mars.

fin de la période d'accrétion des planètes, il y a 4,55 milliards d'années et qui aurait été continu durant sept millions d'années.

On trouve deux sortes de structures d'impacts dans l'hémisphère Sud: les cratères classiques et les bassins. Ces derniers sont de larges dépressions circulaires (plusieurs centaines de km de diamètre), à fond plat, avec un ou plusieurs anneaux de reliefs. Ces bassins résultent de l'impact de corps de grandes dimensions.

On compte trois bassins sur la surface de Mars. Le mieux centré, Argyre, a un diamètre de 600 km environ. D'autres dépressions de ce type ont pu exister dans le passé. L'érosion, l'impact de d'autres météorites ou les modifications géologiques, les auraient fait disparaître.

Du fait d'une faible cratérisation, les plaines de l'hémisphère Nord correspondraient à des terrains beaucoup plus jeunes. Mais l'origine de la dissymétrie nord-sud n'est toujours pas expliquée aujourd'hui. Cet effet serait dû à une érosion soit interne (sous-crustale), soit superficielle, provoquant un affaissement général de la surface dans l'hémisphère Nord.

Pour expliquer cette érosion de surface, plusieurs théories ont été avancées: elle aurait été provoqué par la concentration de plusieurs bassins d'impacts géants ou par la présence d'une vaste dépression de type océanique. Rien aujourd'hui ne permet d'affirmer l'une ou l'autre hypothèse et surtout, rien n'explique pourquoi ce phénomène s'est réalisé uniquement dans l'hémisphère boréal. Peut-être que la surface primitive aurait été recouverte par la suite et en partie seulement, par des formations plus récentes de type volcanique.

1.5 Volcanisme et tectonique

Le rôle du volcanisme sur Mars a sans doute été un facteur important d'évolution géologique et donc de modification du paysage. La majorité des édifices volcaniques se concentrent sur deux régions principales: le dôme de Tharsis à l'ouest et l'Elysium Planitia à l'est. Ce sont des volcans de grande taille et de forme conique très aplatie. Les volcans comme Olympus Mons ou les monts Tharsis ont des dimensions gigantesques: 24 à 27 km de haut et 300 à 350 km de diamètre environ. A leur sommet, on trouve de vastes *caldeiras** dont la profondeur peut atteindre 3 à 6 km et le diamètre 110 à 220 km. Ils se sont vraisemblablement formés par l'accumulation de coulées fluides (peut-être d'origine

* Vaste dépression, de forme grossièrement circulaire, formée par l'effondrement de la partie centrale d'un cône volcanique.



Olympus Mons: le plus haut volcan du Système Solaire (27 km de haut et 550 km de diamètre à sa base).

* Couche externe du globe Terrestre (ou Martien), rigide, constituée par la croûte (continentale ou océanique) et le manteau supérieur, et limitée vers l'intérieur par l'asthénosphère.

basaltique) émises par leurs caldeiras à leurs sommets. L'édification des volcans faite, les émissions volcaniques ont peut-être eu une origine « fissurale ».

Mars contient aussi des volcans plus petits (60 à 180 km de diamètre environ), aux pentes plus escarpées. Leurs flancs sont parfois creusés de chenaux de plusieurs centaines de mètres de large. Ils proviendraient de processus de nuées ardentes avec projection de roches et de cendres comparables à l'activité sur Terre, ou d'éruptions phréatiques provoquées par la rencontre du magma et de l'eau (ou de la glace) contenus dans la croûte.

Des études ont montré que l'activité volcanique sur Mars a été longue. Les plus anciennes formations volcaniques dateraient de 3,9 milliards d'années et se situeraient dans l'hémisphère Sud. Les plaines volcaniques près du dôme de Tharsis seraient plus jeunes et dateraient de 2,5 ou 3,5 milliards d'années. Dans la région d'Elysium Planitia, les volcans seraient apparus il y a 2,5 milliards d'années juste avant la formation des volcans géants de la région de Tharsis et Olympus Mons. Ces volcans auraient progressivement réduit leurs manifestations au cours du dernier milliard d'année pour définitivement cesser toute activité il y a huit cent millions d'années.

On attribue cette extinction progressive du volcanisme martien au déclin de la dynamique interne de la planète.

La concentration des volcans dans les régions du dôme de Tharsis et d'Elysium Planitia, expliquerait la présence de deux « points chauds » et stables.

Le dôme de Tharsis est entouré de vastes failles qui forment un cercle par rapport à son centre. Certaines peuvent atteindre 4000 km de long, traversant presque entièrement un hémisphère. Ces failles seraient dues au mouvement excessif de la croûte lié soit au soulèvement du dôme de Tharsis, soit à une déformation de la *lithosphère** surchargée par l'accumulation des formations volcaniques.

En plus de ces failles, la surface de Mars contient de nombreuses rides. Leurs origines sont variées: mouvement compressif régional, déformations locales ou effets secondaires dus à l'impact de météorites. Si un tel mouvement compressif a eu lieu, on ne peut le comparer en aucun cas au mouvement compressif terrestre provoqué par la tectonique des plaques. La surface martienne ne montre pas la présence de zone d'ouverture ou de

collision qui résulterait d'une tectonique des plaques. L'épaisseur de la croûte y est sans doute pour beaucoup et aurait fait de Mars une planète « à une plaque ».

L'hypothèse d'une tectonique des plaques étant écartée, l'apparition du dôme de Tharsis aurait été provoquée par une anomalie thermique, chimique ou dynamique de la croûte ou encore par la présence d'une « cellule convective » dans le manteau. Son soulèvement aurait provoqué des fractures de la croûte et donc l'ouverture de failles. Une importante activité volcanique aurait alors suivi. C'est durant cette phase que se seraient formés les volcans géants.

1.6 Canyon et vallées

Le système de canyons (Valles Marineris) situé à l'équateur de la planète est la conséquence la plus visible de cette tectonique extensive liée au dôme de Tharsis. Trois grands ensembles constituent ce système: la région de Noctis Labyrinthus à l'ouest, Valles Marineris au centre et une vaste dépression encombrée par une accumulation de matériaux provenant de l'érosion du canyon au centre.

La région de Noctis Labyrinthus située pratiquement au sommet du dôme de Tharsis, est constituée d'un réseau de vallées très encaissées découpant la région en une multitude de plateaux polygonaux, qui semblent s'aligner sur un réseau de faille. Les effondrements ou le sapement des versants, sous l'effet de la liquéfaction des terrains ou de processus de décapages de la croûte, ont agrandi ces vallées.

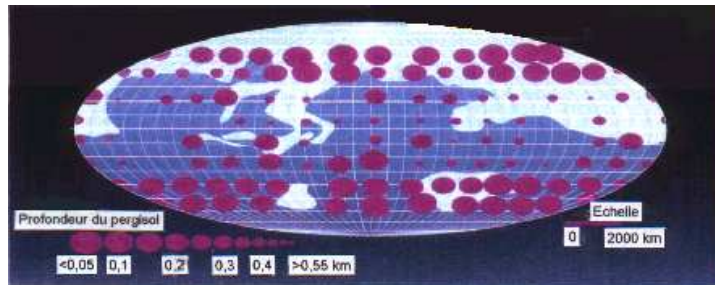
Le canyon est constitué de plusieurs vallées orientées parallèlement les unes aux autres, d'est en ouest généralement. Ces vallées s'étirent sur 300 à 1000 km de long et 50 à 100 km de large, pour une profondeur moyenne de 6 km. Leurs versants en bordure sont assez escarpés et la partie supérieure permet d'apercevoir en coupe, les couches volcaniques qui constituent le plateau entaillé par le canyon. On trouve d'importantes accumulations de matériaux au pied de ces versants. Ces matériaux ont glissé vers le fond sous l'effet de la gravité ou de la liquéfaction des terrains.

Le fond plat des vallées est aussi marqué de failles ouvertes, est-ouest qui se seraient formées après le creusement du canyon. L'aspect des versants viendrait de plusieurs processus d'érosion (effondrement, glissement de terrain) eux-mêmes provoqués par différents facteurs géologiques (variation de nature des terrains, teneur variable en eau ou



Coprates Chasma est un des plus longs (plus de 4000 km) et des plus larges canyons de Valles Marineris

Etude du domaine



L'étude des cratères d'impacts à éjecta lobés, permet de localiser et de donner la profondeur en sous-sol du pergélisol (ou permafrost) martien.

* Masse de neige carbonique et de glace qui recouvre les régions polaires.

** Dans les régions froides, partie profonde du sol gelée en permanence.



Les îles-larmes semblent avoir été façonnées par le courant. L'eau a divergé en rencontrant un obstacle (un cratère par exemple.)

en glace dans le sous-sol) et climatiques (différences d'exposition au soleil, variation des températures). Le ruissellement a aussi peut-être joué un rôle dans l'érosion des versants, dans le déblaiement des matériaux tombés au fond des canyons et dans leur accumulation dans l'exutoire situé à l'est. Si il y a eu ruissellement, de l'eau a alors coulé à la surface de Mars.

1.7 Présence de l'eau

De nombreux indices, tant géologiques que morphologiques, prouveraient que Mars a bien eu de l'eau et que sa présence aurait grandement façonné le paysage. Elle expliquerait l'érosion des versants des canyons et serait à l'origine des importants réseaux de chenaux longs de centaines de km, et qui sont comparables à ceux de la Terre. Mais aujourd'hui, l'eau liquide est absente de la surface martienne. Des questions restent sans réponse, notamment sur les causes de sa disparition et de sa localisation. Se cache-t-elle dans l'atmosphère, dans le sous-sol ou dans les *calottes glaciaires** ? Une partie s'est sans doute dissipée dans l'atmosphère, mais la majorité de l'eau doit être encore sur Mars, concentrée dans le sous-sol dans les roches ou sous forme gelée (le *pergélisol* ou *permafrost***).

Des études tendent à prouver la présence de glace dans le sous-sol de Mars. Certains cratères d'impacts ont sur leurs périphéries, des couronnes de matériaux dit « éjectas fluidisés » qui semblent s'être écoulés de façon visqueuse. Ces cratères se sont formés dans des régions dont le sous-sol contenait de l'eau à l'état liquide ou gelé. Vu leur état de conservation, ces cratères sont apparus assez tardivement dans l'histoire de la planète, ce qui témoignerait de la présence d'eau ou de glace dans le sous-sol.

D'autres indices semblent confirmer que Mars a un sous-sol gelé. Les cratères à éjectas fluidisés sont surtout concentrés dans l'hémisphère Nord. En se fondant sur leur taille et sur répartition géographique, on peut estimer que le pergélisol se trouverait entre 60 et 150 mètres sous la surface, à proximité de la calotte polaire Nord. Il serait enfoui plus profondément (entre 150 et 300 m) au voisinage de l'équateur. Les futures missions d'exploration auront en partie pour but, de confirmer la présence de ce pergélisol. Quand à la disparition de l'eau de la surface de Mars, elle reste en grande partie inexpliquée.

Etude du domaine

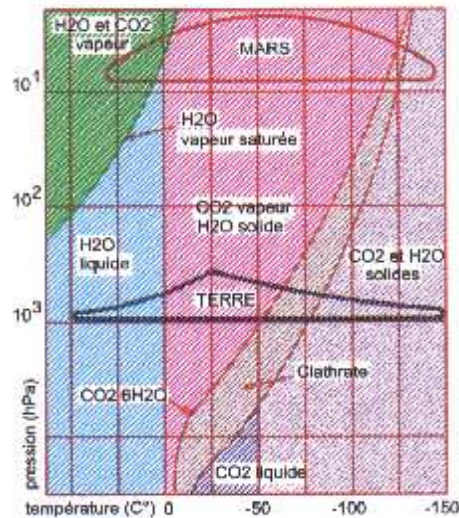


Tableau de comparaison de la pression et température martienne et de la Terre. On observe que sur Mars, l'eau passe directement de l'état liquide à l'état solide

1.8 L'atmosphère

L'atmosphère de Mars est constituée de 95,3% de gaz carbonique (CO₂) avec seulement 2,7% d'azote moléculaire (N₂). Les 2 % restants sont essentiellement des composés d'argon. Mais cette enveloppe gazeuse est si peu dense que la pression à la surface représente 7 millibars (1013 millibars pour la Terre).

L'effet de serre provoqué par le rayonnement infrarouge de l'atmosphère reste faible et empêche un bon réchauffement (3 degrés seulement). Il fait très froid sur Mars (-56°C en moyenne). Mais sa surface connaît des variations de température spectaculaires entre le jour et la nuit. Elles sont de l'ordre de 50°C. Pour que l'eau ait pu exister à l'état liquide dans le passé, il a fallu que la température dépasse les 0°C et pour cela, la pression du CO₂ a dû atteindre deux fois la pression atmosphérique terrestre il y a 4 milliards d'années, avec une atmosphère trois cents fois plus dense qu'aujourd'hui.

Les scientifiques ont pu observer, grâce aux premières analyses du spectre infrarouge martien, et en le comparant avec celui de la Lune (dépourvu d'enveloppe gazeuse), que l'atmosphère de Mars devait contenir du CO₂. Mais cette mesure tenait compte de la pression régnant dans l'atmosphère. D'autres expériences ont permis de confirmer cette découverte, en estimant séparément la quantité de CO₂ et la pression à la surface de Mars. On constata avec étonnement, que les deux valeurs concordaient seulement si l'atmosphère était constituée essentiellement de CO₂.

Les futures sondes scientifiques permettront d'affiner la composition chimique de l'atmosphère de la planète. On détecta du monoxyde de carbone (CO) dans l'infrarouge et aux longueurs d'onde millimétriques depuis la Terre. Sa relative abondance est d'environ une molécule pour mille, tout comme celle de l'oxygène moléculaire (O₂). L'ozone (O₃) est aussi présent dans la composition de l'atmosphère mais son trop infime quantité ne joue pas le rôle de bouclier, comme sur la Terre.

Contrairement à l'atmosphère terrestre, celle de Mars, peu dense, est transparente au rayonnement ultraviolet solaire. Lorsque ce rayonnement atteint les couches profondes de l'atmosphère, elle brise les molécules de CO₂, produisant du CO et O₂. Le monoxyde de carbone qui réagit très lentement avec les atomes d'oxygène pour reformer de CO₂, c'est la vapeur d'eau qui, en fournissant l'agent réactif OH essentiel à l'oxydation du CO, est la cause de l'incroyable stabilité de l'atmosphère en CO₂.

* Relatif à l'orographie. Description du relief terrestre.

Les sondes scientifiques ont permis de cartographier cette vapeur d'eau. On découvre alors que la hauteur précipitale de l'eau sur Mars est de quelques microns, c'est à dire mille fois inférieure à celle mesurée sur la Terre. L'atmosphère de Mars est donc sèche.

Les différents systèmes de nuages ont aussi attiré l'attention des scientifiques. On observe sur Mars des nuages d'ondes provoqués par l'action du vent sur le relief, des nuages *orographiques** en fines couches brumeuses provoqués par l'ascension de masses d'air humide contre les flancs des grands volcans, des brumes polaires dont l'apparition est liée aux cycles saisonniers du refroidissement de l'atmosphère.

Des expériences ont permis de connaître la répartition verticale et la taille des cristaux de glace formés par la condensation de la vapeur d'eau ainsi que celles des particules minérales en suspension dans l'atmosphère. Si on compare leur rayon de l'ordre du micron à celui des gouttes de pluies terrestres, ces particules peuvent sembler petites mais elles ont joué cependant un rôle essentiel dans les grands systèmes d'échange de matière et de chaleur régissant la dynamique atmosphérique à grande échelle de la planète.

Comme sur la Terre, la planète rouge est transparente à la lumière solaire. Celle-ci est dans la majeure partie absorbée par le sol qui, en rayonnant dans l'infrarouge, chauffe l'atmosphère. L'équateur de par son orientation, capte d'avantage l'énergie solaire que les pôles, ce qui provoque une circulation des masses d'air entre les régions chaudes de l'équateur et les régions froides polaires. La manifestation de vents alizés en régions intertropicales et les cyclones et anticyclones aux latitudes moyennes comme sur la Terre, sont courants sur Mars. Cette comparaison s'arrête là car le phénomène des trois grands cycles atmosphériques dominant la météorologie de Mars, n'est pas le même sur la Terre.

1.9 Climats et saisons

Malgré les nombreuses inconnues qui persistent dans la connaissance du climat martien, on peut distinguer trois grands cycles atmosphériques qui influencent les climats :

- Le premier est celui du gaz carbonique dont la manifestation la plus importante est la condensation et la sublimation saisonnières du quart de la masse atmosphérique sur les calottes polaires au cours de l'hiver. Ceci entraîne une fluctuation annuelle de pression estimée à plus de 2 millibars sur les sites mesurés. Par l'ellipticité de l'orbite martienne, le

Etude du domaine



Pendant l'été, c'est dans la zone de la calotte polaire que l'on enregistre les plus forts écarts de température.

* Inclinaison d'une ligne, d'une surface sur une autre.

** Eloignement par rapport à un centre. Excentricité de l'ellipse décrite autour de l'astre attirant.

flux d'énergie solaire reçu par la planète varie de 50% environ au cours d'une année. L'hiver sur Mars est par conséquent plus long et rigoureux dans l'hémisphère Sud où la calotte polaire peut atteindre le 50ème parallèle.

- Le second grand cycle martien arrive lorsque l'hiver se termine. Le gaz carbonique s'évapore et le long de la calotte australe en récession, un important contraste de température entre la glace de CO₂ refroidie à -123°C et le sol chauffé par le soleil printanier. Des vents violents (plus de 200 km/h) et des tempêtes capables de soulever d'énormes quantités de poussières dans l'atmosphère, vont naître de ce phénomène. Les poussières soulevées chauffent l'air ambiant et accentuent les contrastes thermiques, et les tempêtes nées localement vont rapidement se propager sur l'ensemble de la planète.

- Le troisième grand cycle est celui de l'eau. Elle possède son propre cycle qui à chaque phase de condensation saisonnière, interagit avec les deux cycles précédents. On pense qu'une grande partie de l'eau est emprisonnée de façon gelée, sous l'épaisse couche de glace de CO₂ de la calotte polaire Sud. L'observation de la cartographie de la vapeur d'eau montre qu'au début du printemps dans l'hémisphère boréal, on a une augmentation de l'humidité vers 20 à 30° de latitude. Ce phénomène ne se passe avant la phase d'évaporation intense qui a lieu au-dessus de la calotte polaire Nord à la fin du printemps et pendant l'été. Ceci prouverait la présence de nappes d'eau gelée prisonnières dans le sous-sol de Mars, à quelques mètres ou dizaines de mètres sous la surface.

Les scientifiques ont démontré que l'*obliquité** des planètes est à l'origine des saisons. On estime que cette inclinaison a varié dans le passé pour Mars. Il y a 80 millions d'années, l'obliquité martienne allait de 11 à 49° et il y a seulement 4 millions d'années, de 35 à 25°. Aujourd'hui, elle est de 25,2°. Ces variations de l'obliquité et de l'*excentricité*** de l'orbite auraient modifié le régime des tempêtes martiennes et modulé les dépôts des poussières sur les calottes de glacière et de gaz carbonique. Ceci expliquerait les « rayures » que l'on peut observer dans les régions polaires.

Mars ne possédant pas d'océans, ils ne peuvent jouer le rôle de « volant thermique » ni jouer le rôle d'un système de transport de chaleur essentiel dans les variations climatiques.

Dépourvu « d'amortisseurs », le climat martien réagit rapidement aux fluctuations de l'énergie radiative que son sol reçoit du Soleil. La température peut varier de 17°C à midi à l'équateur et -128°C en hiver aux pôles.

Les cycles saisonniers martiens sont donc très contrastés. Si les calottes polaires descendent assez bas (jusqu'à 40° de latitude), leur masse est moins importante que dans le passé et leur taille varie selon les saisons. On pense qu'un quart environ du CO₂ de l'atmosphère passe de la sublimation à la solidification et inversement. Dans les régions des calottes polaires en hiver, le CO₂ atmosphérique peut givrer et se déposer sur le sol.

On sait aujourd'hui qu'il n'y a plus de calottes polaires permanentes. La grande majorité du CO₂ se trouve donc sous forme gazeuse. L'atmosphère est ainsi beaucoup plus épaisse et d'avantage chargée en poussière à cause des tempêtes.

On peut dire que l'état de densité de l'atmosphère subit l'influence de l'évolution des calottes polaires provoquée par les saisons.

1.10 Vers une exploration humaine

Mars est donc sur bien des points, une planète qui ressemble à la Terre, du moins comme le laisserait présager son passé où d'abondants fleuves et océans ont coulé à sa surface. Ses volcans maintenant éteints, ses failles, son relief en général, montrent que Mars a été un astre « vivant ».

Aujourd'hui encore, malgré un environnement hostile (pas d'oxygène, froid, atmosphère très ténu, rayons ultraviolets) Mars est la planète du Système solaire qui a le plus de similitude avec sa voisine la Terre. Elle possède des saisons avec un hiver et un été, sa surface est parfois secouée de tempêtes de poussière (qui peuvent ici durer plusieurs mois et recouvrir la planète entière!), et ses journées sont aussi longues que sur notre planète.

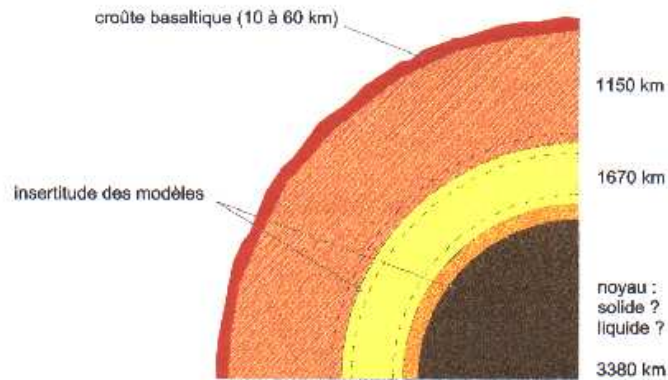
La variété et la beauté de son paysage, la couleur rouge-orangé de sa surface due à l'oxydation de son sol riche en composé ferreux, son ciel « rose-ocre » à cause des poussières ferrugineuses soulevées par les vents dans l'atmosphère, provoquent, au-delà de l'intérêt scientifique, des sentiments très particuliers chez les observateurs qui confèrent souvent à la planète, un caractère poétique.

Les futures missions de base habitée sur Mars devront tenir compte de l'extrême hostilité de la planète, de sa pesanteur trois fois inférieure à celle de la Terre, du choix du site, mais aussi de la vie au quotidien des astronautes dans un espace confiné (repos, repas, travail, loisir...).



La couleur rose-ocre de l'atmosphère martienne est due aux particules de poussières ferrugineuses soulevées par les vents

Etude du domaine



Coupe de Mars (modèle approximatif)

1.11 Mars en quelques chiffres

	MARS	TERRE
Masse	6,41.10 ¹¹ milliards de T	59,75.10 ¹¹ milliards de T
Densité	3,94 gr/cm ³	5,52 gr/cm ³
Pesanteur	3,72 m/s ²	9,81 m/s ²
Diamètre équatorial	6794 km	12756 km
Distance moyenne du Soleil	227,9 millions de km	
Distance à l'aphélie	249,13 millions de km	149,6 millions de km
Distance au périhélie	206,7 millions de km	-
Période de rotation	24h, 37 min, 23 s	23h, 56 min, 4s
Période de révolution	687 jours	365 jours
Inclinaison sur l'écliptique	1,85°	23,26°
Excentricité	0,0934	0,0167
Température moyenne	-23 celcius	+22 celcius
Température maximum	+17 celcius (été à midi à l'équateur)	
Température minimum	-128 celcius (hiver aux pôles)	
Atmosphère	Gaz carbonique (95,3%) Azote (2,7%) Argon (1,6%) Oxygène (0,3%) autres (0,1%)	Azote (78%) Oxygène (21%) Argon (0,9%) autres (0,1%)
Satellites	Deimos (10 x 12 x 16) Phobos (20 km x 23 x 28)	Lune (3476 km de diam)

Composition du sol martien		
Silice		(15 à 20%)
Fer		(14%)
Calcium	}	
Aluminium	}	
Souffre	}	quelques traces
Titanium	}	
Magnésium	}	
Caesium	}	
Potassium	}	

Etude du domaine

Structure interne

- Un noyau central (2500 km de diamètre) constitué essentiellement de sulfure de fer.
- Un manteau.
- Une croûte superficielle (l'écorce) beaucoup plus épaisse que celle de la Terre (de 10 à 60 km en moyenne).

11. LOEWY Raymond, un pionnier du design américain. Monographie, Centre Georges Pompidou, Paris, 1990, 200 pages.



Loewy, salle à manger de Skylab, NASA, dessin, 1968.

2. VIVRE EN MILIEU HOSTILE

2.1 LOEWY et ROUGERIE: comment un designer et un architecte ont imaginé l'homme habiter dans deux milieux hostiles différents

Dans ce présent chapitre, nous allons voir comment deux personnalités connus, Raymond Loewy et Jacques Rougerie, de métiers différents, ont imaginé et conçu, chacun à leur manière, l'habitat tourné vers son intérieur, pour se protéger d'un environnement extérieur hostile à l'homme (dans l'espace ou dans les océans). Ces approches, bien que n'ayant aucun lien direct avec un quelconque projet de base martienne, sont des points de vues intéressants pour comprendre et anticiper sur les futurs programmes de bases habitées sur Mars ou d'autres planètes.

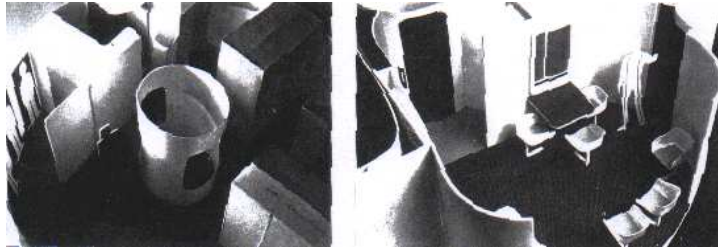
2.1.1 Raymond LOEWY.

- Les travaux de Raymond LOEWY sur Skylab

Un des premiers « industriels » du design à avoir réfléchi sur l'aménagement de l'espace intérieur des stations spatiales habitées, fut sans conteste le français Raymond Loewy. Avant que celui-ci ne soit contacté par la NASA en 1967 pour le projet Skylab, le design industriel ne tenait aucune place dans les programmes de vols spatiaux comme Gemini ou Apollo. La première maquette à l'échelle 1 de Skylab par la NASA, avait été critiquée par les scientifiques qui furent choqués par la « nudité de l'intérieur » de la station. Cet aspect pouvait avoir des répercussions sur la psychologie des astronautes. Il fut donc commandé à l'équipe de Raymond Loewy, de proposer pour le programme Skylab (une station habitée en orbite terrestre), l'aménagement de la future station spatiale. Raymond Loewy enthousiaste au projet, n'avait que deux mois pour répondre aux cahiers des charges de la NASA: « le plan, le choix des couleurs, l'éclairage, le niveau sonore et tous les autres facteurs relatifs au confort de l'homme dans un espace confiné » (11).

Raymond Loewy répondit au début de l'année 1968 à la NASA, après avoir violemment critiqué leur première maquette qu'il comparait à une cage, ayant un mauvais éclairage, avec des reflets agressifs. Il critiqua aussi la monotonie des couleurs, le bruit de la ventilation intérieur trop important. Il critiqua surtout l'absence de hublot par lequel les cosmonautes pourraient voir la Terre. Malgré les réserves émises, cette idée fit sensation à la NASA et elle fut adoptée pour Skylab, ainsi que pour les capsules spatiales habitées

Etude du domaine



Loewy, étude en maquette de volume intérieur pour une station spatiale.

Gemini et Apollo.

- Les autres propositions de Raymond LOEWY pour la NASA

Raymond Loewy proposa d'autres idées, souvent éloignées du programme initial de la NASA. Il voulait développer le confort dans un milieu hostile, où la gravité est nulle, ainsi que la sécurité de la station exposée aux micrométéorites et aux dangers dus à de fréquents EVA (Extra Vehicular Activity) dans l'espace. Il voulait organiser l'intérieur de la station, dans un espace confiné, mi-obscur, où l'homme serait soumis en même temps à la claustrophobie et aux formes peu connues du mal de l'espace, et ainsi qu'aux troubles psychiques occasionnels provoqués par un trop long séjour en apesanteur, isolé, dans un milieu clos.

Sa réflexion ne s'arrêta pas là. Il proposa des idées sur les aliments, les possibilités de détente pour les astronautes de Skylab. Chacun devait avoir un espace intime, muni d'une couchette et de rangements, où il pourrait dormir, lire, écouter de la musique sans gêner et sans la présence des autres membres d'équipage. Cette intimité devait se retrouver dans l'évacuation des déchets. L'aspect social ne devait pas être oublié. Le repas servirait de lieu et de temps pour rassembler les cosmonautes. Ils seraient assis la tête en bas pour des conditions de gravitation. Chacun devait adopter une disposition triangulaire autour de la table, pour ne pas placer l'un d'eux en position de supériorité. Raymond Loewy imagina aussi des vêtements confortables et fonctionnels, adaptés aux activités des cosmonautes. Il voulait aussi des couleurs neutres, mais chauds dans l'habitacle, avec des nuances pastels pour éviter les reflets de tons verdâtres qui pourraient donner à la peau un aspect livide.

La NASA passa par la suite d'autres commandes à Raymond Loewy. Elles concernaient l'intérieur du Space Shuttle (navette spatiale) et du Shuttle Orbiter que la navette devait mettre en orbite terrestre et la ramener sur terre. Raymond Loewy s'y consacra moins, mais proposa cependant un large éventail d'idées (voir dessins et photos maquettes). Les idées allaient plus dans la continuité de celles proposées pour Skylab, que de réelles nouveautés (aménagement des chambres, notion de groupe dans les repas, uniformité de l'habillement, hublot...).



Rougerie, village sous-marin, 1973, Caraïbes, îles Vierges (Projet étudié pour la NOAA, et la NASA).

Raymond Loewy n'a jamais été architecte, mais son approche pédagogique, pratique et son sens de l'esthétique pour résoudre les contraintes données, ont été les mêmes. Son intervention minimum mais toujours juste avec le souci constant du confort des cosmonautes fait encore aujourd'hui référence.

2.1.2 Jacques ROUGERIE.

Jacques Rougerie, architecte français, passionné par la mer, crée le CAM (Centre d'Architecture Marine) avec une petite équipe et depuis 1967, il est créateur et concepteur de projets marins. Tous ses projets et réalisations (des habitats subaquatiques aux centres de la mer), s'inspirent du plancton, des crustacés, des coquillages, des raies mantas... Pour concrétiser de tels projets, il fera appel à des technologies nouvelles, aussi performantes que celles utilisées pour les vols spatiaux.

Jacques Rougerie veut créer un lieu de vie sur la mer ou sous la mer, pour et adapté à l'homme avec tout le confort nécessaire, à l'abri des tempêtes, du caractère hostile que représente vivre dans l'océan.

Pour concevoir une architecture marine, l'architecte mêlera océanographie, architecture, biologie, plongée, navigation et poésie. C'est dans cet esprit que sera pensée l'université de la mer pour l'UNESCO ou « Galathée », un habitat sous-marin positionné entre deux eaux, ou bien des fermes sous-marines ou encore un village sous-marin aux îles Vierges destiné à l'entraînement des astronautes. On voit ici, à l'instar du designer Raymond Loewy, qu'il a collaboré avec le milieu scientifique spatial américain (NASA). La réalisation de vaisseaux sous-marins comme « l'Aquaspace », permettant d'approcher les cétacés, démontre ici, une fois de plus, la similitude qu'il fait de l'océan avec l'espace.

Il est le premier à vivre dans ses maisons sous-marines, et rêve de devenir astronaute. Ce n'est pas un hasard s'il dessine le projet d'un parc d'attraction consacré à Jules Verne (de « Vingt mille lieues sous les mers » à « De la terre à la lune ») et qui résume l'ambition cachée de Jacques Rougerie: comment de la mer, rejoindre le ciel.

Finalement, l'architecture de Jacques Rougerie se rapproche plus de la bulle, du cocon protecteur, mais jamais replié sur lui-même, comme en témoigne les fenêtres de ses maisons sous-marines qui s'ouvrent généreusement sur l'océan. Son geste témoigne de sa volonté d'intégrer harmonieusement son architecture au paysage marin. Une manière personnelle de réconcilier l'homme avec l'océan.

2.2 Lieux, vie et organisation de l'équipage à l'intérieur d'un sous-marin nucléaire

Le sous-marin nucléaire est une véritable unité autonome, pouvant évoluer sous les océans pendant plusieurs mois sans remonter à la surface. Son autonomie est assurée par un réacteur nucléaire qui assure la propulsion de l'engin, ainsi que la production d'électricité consommée à bord. Les réserves d'oxygène et de nourriture permettent les longues missions. Les déchets non recyclés sont conservés à bord.

Un sous-marin nucléaire compte environ 130 à 150 personnes. Pour vivre en silence au fond des océans dans des conditions acceptables, et dans un espace étroit (moins de 10 m de large), chaque membre d'équipage obéit à des règles très strictes avec le système des quarts: pendant que certains dorment, d'autres travaillent ou se détendent. Le sous-marin fonctionne ainsi sans interruption.

L'équipage d'un sous-marin en plongée évolue dans un milieu sans jour ni nuit. Pour éviter le risque de perdre la perception de l'écoulement du temps et en être désorienté (il n'y a pas non plus de hublot), on utilise la lumière rouge pendant qu'il fait nuit à la surface. Ainsi, si le sous-marin doit émerger durant la nuit, les yeux des hommes d'équipage, seraient déjà adaptés à la faible lumière.

Le kiosque, partie surélevée du sous-marin, abrite le poste de commandement du capitaine et des officiers. Sous le kiosque et vers l'avant, se trouvent les logements de l'équipage, le carré des officiers, les cuisines, réfectoire et cambuse, et le poste central des opérations et communications du sous-marin. Une équipe assure jour et nuit le bon fonctionnement des machines à l'arrière, et surveille le réacteur nucléaire ainsi que la salle des missiles.



L'intérieur du sous-marin nucléaire français « Le Redoutable ».

Durant les longues plongées, l'équipage doit supporter le manque d'intimité, le confinement et la promiscuité. Les membres d'équipage ont la possibilité de se délasser en visionnant un film ou lire le journal imprimé à bord, et leurs quartiers de sont rendus aussi confortables que le permet l'espace limité. La cafétéria remplit entièrement ce rôle. C'est à la fois une combinaison de self-service, salle de classe, cinéma, salle de jeux, lieu de rencontre de tout l'équipage. Cet espace, un des moins exigü du sous-marin, permet de recevoir près de la moitié des hommes à bord. Pour palier à l'éloignement des familles, chaque homme a droit à une certaine quantité de messages personnels par radio.

Les repas sont des moments essentiels dans la vie d'un équipage. L'investissement du cuisinier pour bien nourrir l'équipage, contribue à maintenir un bon moral des hommes. La

cuisine se trouve à proximité de la cafétéria. C'est dans un espace pas plus grand qu'une cuisine d'appartement que sont préparés 4 repas par jour pour plus de 130 personnes. Des armoires frigorifiques conservent des produits congelés à sec. Et avant un départ, chaque recoin est bourré d'approvisionnement.

Dans le dortoir de l'équipage, les couchettes sont superposées 3 à 3. Chaque couchette aux dimensions mesurées, est correctement équipée: un matelas mousse, drap et couverture, rangements, lampe de lecture, bouche d'aération et un rideau pour préserver un minimum d'intimité. 3 hommes doivent se partager 2 couchettes et les périodes de repos de 6 heures (et non 3 x 8 heures) doivent être strictement respectées. Les officiers bénéficient d'un espace de repos indépendant et un peu plus confortable, à proximité du carré où ils peuvent prendre leur repas, travailler, lieu qui peut devenir aussi un espace de conférence.

A cause de son espace limité et de son autonomie mesurée, le sous-marin nucléaire rend impossible toute vie prolongée sous les océans. Sa fonction est plus de répondre de façon discrète et rapide sur un temps donné, à telle ou telle mission.

2.3 Biosphère 2 : un microcosme de la Terre difficile à reproduire

Biosphère 2 a été conçue pour être une réplique miniature de la Terre. C'est une gigantesque structure de verre et d'acier de 1,5 hectares de surface couverte, en forme de pyramide, construite dans un milieu chaud et désertique, en plein coeur de l'Arizona, au pied des monts de Santa Catalina. Il s'agit d'une cloche de verre entièrement hermétique, isolée du reste du monde. C'est en 1991 qu'une équipe de 8 personnes (4 femmes et 4 hommes : scientifiques, techniciens, ingénieurs) ont relevé le défi de vivre en total autarcie pendant 2 ans parmi 3800 espèces animales et végétales sélectionnées, vivant dans 7 systèmes climatiques différents (forêt tropicale, désert, marais, océan, savane... avec un mini océan) pour simuler les futures colonisations de l'espace et des planètes.

Ce microcosme devait leur assurer la nourriture, l'eau, l'oxygène, le recyclage du CO₂ rejeté grâce au phénomène de photosynthèse des végétaux exposés à la lumière du soleil, la fertilisation du sol par les lombrics, et des fleurs par les abeilles ou les colibris, la dégradation des déchets... Les « bionautes » avaient pour tâche de planter, récolter, faire le pain, traire les animaux, réparer le matériel défectueux..., bref, reproduire les gestes élémentaires et ancestraux de la vie dans le but de mieux comprendre pour les scientifiques les mécanismes écologiques régissant la vie sur Terre, tester des techniques

nouvelles comme le recyclage de l'eau ou de l'air par exemple, ou comment vivre en autosuffisance dans un écosystème recréé, adapté à l'homme, pour se protéger d'un milieu extérieur hostile.

Le confort des « bionautes » était assuré par des appartements individuels et confortables, où chacun pouvait communiquer avec l'extérieur par courrier, téléphone et télévision.

La journée était organisée de façon très précise: lever à 6 h, premier travail sur le terrain à 7 h, petit déjeuner collectif et organisation de la journée à 8 h, deuxième travail dans le potager entre autre et à tour de rôle à 8h 30, pause thé-cacahouètes à 10h 45, déjeuner puis sieste à 12h 30, réparer les machines, arracher les mauvaises herbes de la savane qui ont envahi le désert, etc... à 14h 30, dîner à 19h 30, puis enfin quartier libre. Le dimanche était jour de repos.

Malgré l'envergure et la passion autour de ce projet, Biosphère 2 a suscité beaucoup de critiques de la part du milieu scientifique et a rencontré de nombreux problèmes liés à la difficulté et la nouveauté d'un projet de cette échelle. D'abord par l'initiateur de ce projet: John Allen, soupçonné d'être une sorte de gourou, voyant là plus un moyen de réaliser ses fantasmes et son désir de faire de Biosphère 2 un parc touristique lucratif, plus qu'un vrai programme scientifique.

Les problèmes se sont accumulés:

- Manque d'ensoleillement des végétaux, empêchant d'absorber une partie du CO₂ accumulé et obligeant une intervention extérieure, par l'apport massif d'oxygène dans la serre.
- Effet de « masse océanique », à l'échelle trop réduite dans Biosphère 2 (un mini océan artificiel) qui n'a pas permis de reléguer les végétaux dans leur rôle de recyclage de l'air.
- Etanchéité douteuse de la serre.
- Production insuffisante de nourriture. L'équipe disposait d'une réserve de 90 jours, non produite par les végétaux et animaux de Biosphère 2. Seulement 80% de la nourriture en fait a été produit par les « bionautes ».

Etude du domaine



En plein désert de l'Arizona, l'immense structure de verre et de métal de Biosphère 2.

- L'autarcie n'a pas été respecté lorsqu'un membre de l'équipe est sortie de Biosphère 2 pour se faire soigner un doigt blessé.

- Qualification peu élevée des « bionautes » pour ce type de programme. L'amaigrissement des 8 « bionautes » (15 à 20% de leur poids initial), après 2 ans d'enfermement dû à une alimentation pas assez abondante, n'a pas arrangé les choses.

- Disparition de certaines espèces animales comme les colibris a empêché une bonne pollinisation des fleurs.

- Une partie des plantations a été dévorée par un doryphore. Le problème fut remédié par l'introduction depuis l'extérieur de la serre, d'un insecte carnivore.

Après 2 ans d'autarcie (plus ou moins respecté), les 8 « bionautes » sortirent de Biosphère 2, pâles et amaigris. Comme vu précédemment, l'expérience fut en partie un échec, plus à cause de la réelle nouveauté du projet, de la qualification insuffisante des initiateurs et des cobayes et de son aspect trop « commercial », que par le dénigrement des scientifiques. D'ailleurs dès la fin de l'expérience en septembre 1993, une seconde équipe pris la relève de la première, mieux préparée avec un vrai programme, plus raisonnable, suivie par d'éminents spécialistes. Les 7 nouveaux « bionautes » restèrent aussi moins longtemps dans Biosphère 3. De nouveaux tests ont été essayés, complétant ou affinant le premier programme.

Mais le véritable succès de Biosphère pourrait se révéler dans le long terme au fil des expériences successives, mises bout à bout, comparées. Biosphère 2, 3, 4... nous permettra de mieux comprendre le fonctionnement de la Terre (effet de serre, photosynthèse, biomasse, climat...) et les conditions pour recréer une vie artificielle sur une autre planète.

2.4 Vivre dans la station MIR

Lancée en février 1986, Mir (qui veut dire paix en russe) est une station orbitale soviétique dit de la troisième génération. Mir est une station polyvalente et évolutive. Elle possède un système de 6 dispositifs de jonctions où peuvent se raccorder d'autres éléments (vaisseaux Soyouz, cargos spatiaux, modules pour expériences scientifiques, navette spatiale américaine, etc.)

Etude du domaine

Contrairement à la deuxième génération de station russe, Mir peut voir séjourner des cosmonautes pendant plus d'un an (contre 8 mois pour Saliout). De plus, Mir a été conçue pour offrir un plus grand confort à ses occupants. Ainsi la pièce principale appelée compartiment de travail, dont les cosmonautes se servaient comme laboratoire scientifique et quartier d'habitation, fait office aujourd'hui de logements.

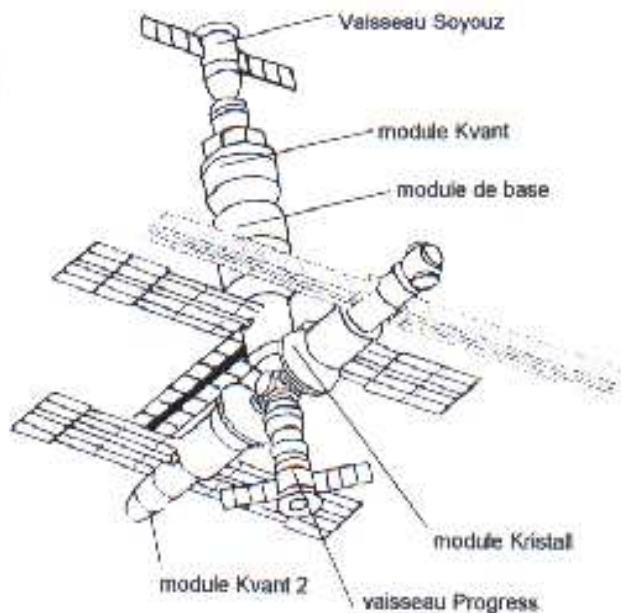
Mir est divisée en 3 compartiments: la salle de séjour au centre, le sas de transfert à l'avant et la salle des moteurs à l'arrière.

La salle de séjour est la plus grande pièce de la station (7,7 m de long x 2 m de large et 2,5 m de haut). C'est là que les cosmonautes passent la majeure partie de leur temps. La salle de séjour est divisée en 2 parties. Le sol de la partie arrière est vert gazon et les murs sont vert clair. Celui de la partie avant est brun et les murs sont jaunes. La partie avant est la moins spacieuse car elle a un plafond plus bas qui est séparé en deux. Il est blanc et éclairé par des lampes fluorescentes. La décoration intérieure, les couleurs ont été pensées par des psychologues et agencées de façon à faciliter l'orientation et donner l'impression visuelle aux occupants d'être sur terre, mais aussi pour leur procurer une ambiance agréable pour supporter de longs séjours dans un espace exigu. De plus, les amas de fils électriques entremêlés ont été cachés derrière des panneaux amovibles et de nombreux hublots (deux douzaines) diminuent la sensation d'enfermement.

Le rôle des psychologues ne s'arrête pas là. Lorsqu'ils remarquent que l'atmosphère est tendue entre les cosmonautes, ils peuvent leur proposer une sortie dans l'espace de quelques heures. Le changement de milieu a un effet très positif sur le moral de l'équipage. Quand une dispute éclate, le psychologue a pour rôle de retourner la dispute sur lui. Les cosmonautes déversent leur stress sur un interlocuteur « lointain » et tout rentre dans l'ordre. Le lien psychologique avec la terre est donc très important pour les cosmonautes.

Dans la partie avant, on trouve au centre de la pièce une table où 6 personnes peuvent s'asseoir pour manger ou travailler. Réfrigérateur, lave-linge, garde-manger sont à proximité.

A l'arrière, on a les installations sanitaires, le tapis roulant pour le jogging quotidien (2 h par jour) et les chambres à coucher. De la dimension d'une cabine téléphonique, les chambres individuelles assurent un minimum d'intimité aux cosmonautes. Un petit sac sur le côté leur permet de ranger leurs affaires personnelles. Une petite table et une lampe pliable leur permet de lire ou écrire. Pour se rappeler la Terre, ils peuvent écouter avant de dormir des



La station orbitale MIR.

chants d'oiseaux, le bruit des vagues ou du vent. Chaque chambre à coucher est équipée d'un hublot permettant de regarder la Terre ou les étoiles.

L'arrière de la station se termine par un passage étroit qui conduit au module scientifique Kvant et au Soyouz qui y est arrimé.

A l'avant de Mir, de l'autre côté de la table, on trouve une bicyclette d'exercice. Comme les cosmonautes se plaignaient de la monotonie des longues heures d'exercices quotidiens, on a installé un écran où ils peuvent visualiser des films, écouter de la musique en pédalant.

Au centre de la salle de séjour, dans la partie où le plafond s'abaisse, on trouve la pharmacie, l'atelier et les commandes de climatisations. Les murs, plafond, sol de la station renferment documentations et une partie de l'équipement scientifique. Tout a été conçu à bord pour avoir un minimum d'entretien.

Tous les pôles d'activité sont entièrement surveillés depuis le poste de pilotage grâce à des caméras et écrans de télévision.

Le compartiment ou sas de transfert à l'avant, est une sphère de 2,5 m de diamètre qui permet d'arrimer simultanément 5 vaisseaux. Il sert également aux cosmonautes pour des sorties dans l'espace. On y trouve 2 scaphandres spatiaux.

Un sixième port d'amarrage, à l'extrémité arrière de Mir, accueille le module soviétique Kvant auquel est accroché le Soyouz.

Comme on a pu le voir, la station Mir correspond à l'échelle embryonnaire, aux futures stations orbitales et bases habitées sur d'autres planètes. Bientôt remplacée pour la future grande station spatiale (américaine, russe et européenne), Mir fut un excellent exercice d'adaptation pour les cosmonautes (durée record de séjour dans l'espace, cohabitation, alimentation, repos, expériences scientifiques, exercices, etc.). Les récents problèmes rencontrés au cours de l'été 1997 (collision d'un vaisseau russe avec la station, destruction partielle des panneaux solaires, perte du contrôle de l'ordinateur central...) ne firent que renforcer l'intérêt de cet exercice: les cosmonautes ont appris à réparer leur matériel défectueux. Ainsi, les ennuis techniques des futures missions habitées seront mieux appréhendés par l'homme.

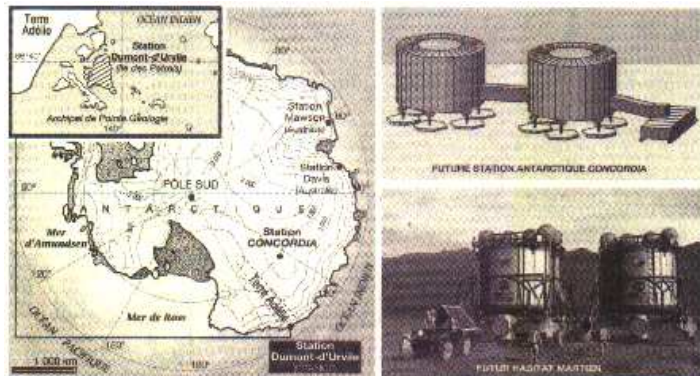
2.5 Des bases en Antarctique et en Arctique pour préparer l'homme aux futures missions martiennes

2.5.1 La base Dumont-d'Urville :

La Terre Adélie en Antarctique où se situe la base Dumont-d'Urville, connaît des neiges éternelles, des glaciers sans fin, des températures les plus basses du globe terrestre et un vent continu pouvant souffler jusqu'à 300 km/h. Elle est peuplée de quelques phoques, manchots et oiseaux marins. C'est un monde résolument hostile qui s'offre aux scientifiques de la base.

Depuis déjà une vingtaine d'années, la base Dumont-d'Urville est le centre d'investigations importantes dans le domaine de la recherche. Son but est d'étudier l'influence du milieu polaire sur l'organisme humain et le stress dû aux effets de l'isolement. La baisse des défenses immunitaires provoquée par les températures très basses, le niveau d'éclairement, la perturbation des rythmes hormonaux, la mauvaise adaptation psychosociale qui serait à l'origine du stress chronique, sont autant d'éléments d'études qui intéressent les scientifiques. La prise de sang régulière, participe à cette mesure.

Depuis décembre 1997, la base est occupée par 27 personnes. Ils sont représentatifs d'une microsociété qui devra vivre jusqu'à fin 1998 en quasi-autarcie. On compte parmi ces volontaires (sélectionnés pour leurs aptitudes professionnel, physique et psychologique) des biologistes, glacionautes, météorologues, géophysiciens, zoologues, une équipe technique, ainsi qu'un cuisinier et un boulanger-pâtissier.



La station Antarctique Concordia ressemblera à la future base martienne.

2.5.2 La future station Antarctique Concordia :

La futur base franco-italienne *Concordia* sera opérationnelle en 2002-2003 et devrait se rapprocher du modèle de la première base martienne du prochain millénaire (base composée de deux cylindres sur pilotis). *Concordia* se situera à 3500 mètres d'altitude et à plus de 1000 km à l'intérieur de l'Antarctique, là où la température peut descendre jusqu'à - 70°C en hiver.

Ces bases constituent donc des modèles de ce que pourraient être les futurs bases lunaires ou martiennes. Leur but est de préparer l'homme à la colonisation de l'espace.



Une base en Arctique qui se veut proche du modèle que prévoit la NASA pour la planète Mars.

2.5.3 Une base en Arctique pour 2000

C'est au cours de l'été 2000, qu'une base de recherche martienne de la Mars Society fera ses débuts en Arctique. Cette base se veut une copie presque conforme du modèle que prévoit la NASA. Le but de cette expérience sera de tester en condition de simulation intégrale, les équipements et les technologies (recyclage de l'air et de l'eau, l'énergie, les véhicules, etc.) dont auront besoin les futurs astronautes sur Mars.

Le choix du site se veut le plus proche du modèle martien. Le « Cratère Haughton » de l'île Devon a été choisi pour son intérêt géologique.

La base sera constituée d'un module d'habitation pour 6 personnes de 8,40 mètres de diamètre, sur 3 niveaux habitables. Il y aura des aires de séjour, des dortoirs, des espaces de travail, des laboratoires aseptisés, une aire d'exercices, une cuisine et une infirmerie. Le pont inférieur servira de sas de sortie et de lieu de stockage. Le passage d'un niveau à l'autre se fera par des échelles. Une serre gonflable et un atelier/garage seront reliés au module par des tunnels pressurisés. Des panneaux solaires assureront l'apport d'énergie.

2.6 Les projets de bases habitées sur Mars

Dès le lendemain du premier pas sur la lune par les américains le 20 juillet 1969, et par les succès des missions Apollo suivantes, un vaste programme de colonisation martienne se mis en route. Il était prévu qu'avant la fin du millénaire, la NASA envoie des hommes sur la planète rouge. Mais la crise pétrolière qui sévit au début et à la fin des années 70, le désintéressement progressif du public pour les missions spatiales, gelèrent tous les espoirs de voir rapidement un homme marcher sur Mars. Il fallut attendre le succès de la mission Pathfinder et son petit robot « Rocky » en juillet 1997, pour déclencher un engouement sans précédent du public pour une future mission de base habitée martienne.

L'objectif fixé par la NASA serait, dans le meilleur des cas, qu'en 2011, cinq hommes et une femme foulent le sol martien. Ces astronautes ou plutôt ces « martionauts », après un voyage d'environ 6 mois, atterriront sur un site donné, préalablement aménagé deux ans plus tôt par des mini usines automatiques qui auront préparé leur venue (réacteur nucléaire, usines d'extraction des ressources naturelles, Jeep martienne...). En raison de la distance les séparant de la Terre, ils devront rester soit deux semaines ou attendre deux ans avant de repartir dans les conditions les plus favorables. La NASA pencherait pour une mission longue, c'est à dire sur deux années terrestres.

* Voir page 40.

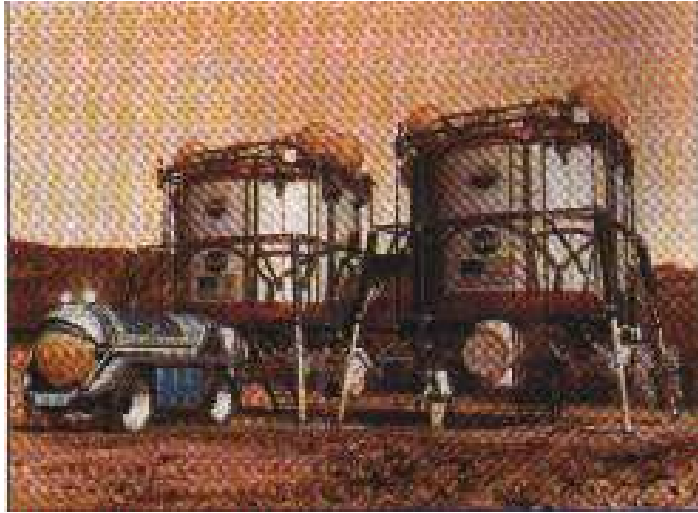


Photo 1. Les modules cylindriques s'assembleront pour abriter les colons.

** Voir page 31 à 32.

Cette base autonome sera constituée de deux cylindres sur pilotis (inspiré du projet *Concordia* en Antarctique*), reliés entre eux par un module de liaison. 5 hommes et 1 femme devront cohabiter pendant deux ans dans deux cylindres de 8 mètres de diamètre séparés en deux étages.

Les astronautes devront apprendre à cohabiter dans un espace étroit en sachant qu'en cas de problème, ils ne pourront retourner sur Terre dans l'immédiat. Ils devront faire face à un milieu extérieur très hostile et devront lutter à chaque instant contre le stress occasionné par l'absence d'intimité, l'éloignement de la Terre et de leur famille, l'impossibilité de dialogue « en direct » avec la Terre, les conditions climatiques et atmosphérique extérieur...

Ce projet le plus récent et le plus réaliste de la NASA, apparaît donc comme un avant goût de ce que seront les futures missions habitées sur Mars. Ce n'est donc pas une base permanente sur Mars. Sa taille réduite, son architecture peu adaptée, le nombre limité de ses colons, ne peuvent en faire une base permanente sur la planète rouge.

2.6.1 Le point de vue de l'Architecte

Malgré la faisabilité du projet le plus avancé de base habitée sur Mars par les américains, plusieurs éléments importants ont été négligés ou oubliés par les scientifiques, pour le bien-être des astronautes. Seul la vision d'un architecte est à même de comprendre, étudier et résoudre par son sens de l'esthétique et de qualité de l'espace, indispensable pour un groupe de colons condamnés à rester la majeure partie de son temps, à l'intérieur de la base. La contribution de Raymond Loewy** dans les années 60, 70 pour NASA, est un excellent exemple de travail de collaboration entre un industriel doué d'une sensibilité esthétique et des scientifiques qualifiés pour mener à bien un projet hautement technologique.

Le dernier projet de la NASA (*photo 1*), ne semble pas se soucier du danger que représente les rayons ultraviolets non filtrés par l'atmosphère, pour l'homme. Le recouvrement complet ou partiel avec de la terre martienne sur les cylindres, peut protéger les colons. L'aspect architectural extérieur est aussi un exemple d'antithèse complète avec le paysage harmonieux martien. La base s'apparente plus à une usine qu'à un abri confortable pour les colons.

Etude du domaine

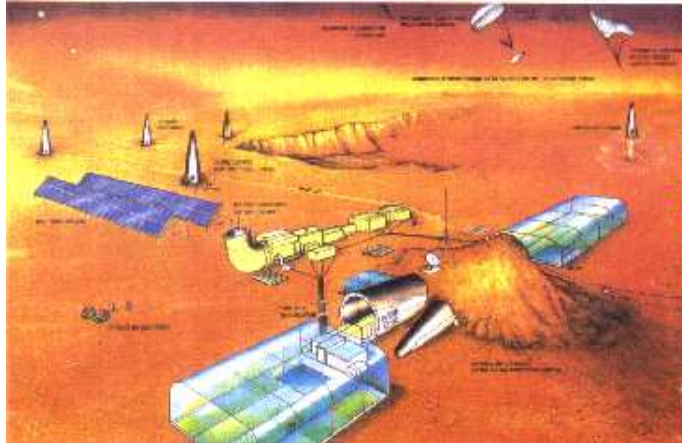


Photo 2. Un des premiers projet envisagé de base habitée sur Mars.



Photo 3. Une vision futuriste peu crédible d'une base martienne.

La base de la *photo 2* est recouverte de terre martienne. Mais son recouvrement a été pensé sans aucun souci architectural. Le recours aux panneaux solaires comme source d'énergie, apparaît peu réaliste en raison de la faible luminosité solaire (43 % à celui de la Terre) et des tempêtes de poussières très fréquentes sur Mars.

Le projet le plus ambitieux de la NASA (*photo 3*), appelle aussi à la critique. La présence de dômes gigantesques en verre apparaît aussi hasardeux que difficilement réalisable. La géométrie polaire de la base entraîne un gaspillage d'espace dans la distribution et la circulation. Cette disposition augmente aussi les coûts de réalisation à l'inverse d'un projet plus compact.

Il apparaît donc indispensable d'avoir le recours d'un architecte pour un projet de cet envergure. Sa capacité à visualiser l'espace, son approche méthodique, son travail théorique, créatif et historique pour donner sens à un projet, sont des aspects que les scientifiques qui construiront la base, ne devront pas négliger.

3. LE PROJET

« Tout ce que l'homme est capable d'imaginer, d'autres hommes sont capables de le réaliser. » **Jules Verne**

LE PROJET

1. Vers un concept

1.1 Pourquoi aller sur Mars ?

Depuis l'aube de l'histoire humaine, l'Homme a toujours voulu voir ce qu'il y avait au-delà de sa caverne, de son village... Sa nature le pousse toujours à dépasser les limites de son territoire, à franchir des obstacles qui paraissent insurmontables. Il y a seulement un peu plus d'un siècle, on prenait pour de doux rêveurs ceux qui disaient qu'on volerait un jour, qu'on irait sur la Lune. Jules Verne, précurseur de la science-fiction, génial visionnaire, avait vu juste avant tout le monde. On a marché sur la Lune depuis et pas plus tard qu'au début de l'année 1999, l'homme réussissait pour la première fois, à faire le tour du monde en ballon sans escale !

La curiosité de l'Homme le porte aujourd'hui à vouloir franchir un autre grand inconnu, aller où nul ne soit jamais encore été : Mars, planète du Dieu de la guerre, des « petits hommes verts », planète bénie des scientifiques qui caressent l'espoir d'y trouver des fossiles d'une vie embryonnaire passée.

Si Mars est maintenant une planète morte, elle intéresse les scientifiques, historiens, géologues à un tel point qu'il devient nécessaire d'envoyer sur place, des astronautes dans un avenir proche. On peut définir plusieurs pôles d'intérêt d'aller sur la planète rouge :

- Mieux comprendre l'histoire et le devenir de la Terre, en étudiant le passé de Mars.
- Recherche de fossiles de la vie martienne. Possibilité de découvrir des bactéries vivantes dans le sous-sol martien (dans d'éventuelles nappes phréatiques) qui seraient la preuve définitive que la vie n'est pas un cas isolé sur Terre.
- Etude des richesses et des potentialités du sous-sol martien (permafrost, oxygène emprisonné dans la roche, fer, aluminium, possibilité de fabrication de briques à partir de la terre martienne).

En second plan et dans un futur lointain, aller sur Mars constituerait la première étape de la venue massive de l'homme sur d'autres planètes. Elle serait le lieu d'expérimentation

de fabrication d'habitats dans un milieu hostile, à partir d'un maximum de matériaux prélevés sur place.

1.2 Hostilité du site

Pour une présence permanente à sa surface, l'homme devra faire face au caractère hostile de la planète. Cette hostilité peut se décomposer en plusieurs parties:

- Absence d'oxygène dans l'atmosphère :
Respiration et vie impossible.
- Absence d'eau en surface :
Nécessité de la prélever en sous-sol.
- Violentes tempêtes de poussière :
Visibilité difficile, sorties compromises.
- Froid (entre 20°C en été et -140°C en hiver) :
Lors des grands froids, sorties difficiles.
- Rayons Ultraviolets :
Se révèlent dangereux lors d'une trop longue exposition sans protection.
Provoquent des cancers de la peau.
- Faible pesanteur :
Environ 3 fois inférieure à celle de la Terre. Problème d'adaptation. Possible décalcification des os, fonte d'une partie de la masse musculaire.
- Micrométéorites :
L'atmosphère très ténue de la planète empêche de désintégrer tous les petits corps célestes arrivant. Il y a un risque (minime) de collision avec la base.
- Inconnus ?

12. GOULET Patrice, *Jean Nouvel*, Electa Moniteur, Paris, 1989, page 105 à 114.

* Dans les régions froides, partie profonde du sol gelée en permanence

1.3 Eloignement de la Terre

Si il semble difficile d'atteindre Mars tant elle est loin de nous, c'est plus pour un problème de distance que de temps pour y aller. Il y a 500 ans, Christophe Colomb mettait 6 mois pour rejoindre les Amériques depuis les côtes espagnoles. C'est exactement le même temps qu'il faudrait aujourd'hui, avec les moyens de propulsion actuels et dans la phase elliptique la plus favorable des deux planètes, pour rejoindre Mars depuis la Terre !

La distance qui sépare Mars de la Terre est de 80 millions de km. en moyenne. Ce que nous venons de voir précédemment, proscrit tout retour sur Terre rapide en cas de problème.

Il est donc impératif de tout prévoir (matériel de rechange, alimentation, appareils médicaux, personnel adapté...) et de prélever sur place, un maximum d'éléments utiles pour la base et les scientifiques (dioxyde de carbone, eau, énergie, matériaux de construction).

1.4 Une base autosuffisante

En raison du caractère hostile du site et de l'impossibilité de repartir sur Terre rapidement en raison des distances, la future base devra être autosuffisante, une sorte de « micro-monde » (12) adapté à tous les membres de la colonie.

Ce nouvel environnement recréé, chaque colon pourra vivre et travailler dans des conditions proches de la Terre. Ceci ne se fera pas sans prélever les ressources naturelles de la planète, nécessaire à la survie (l'eau nécessaire aux colons et pour irriguer les serres, sera prélevée à partir du *permafrost** en sous-sol; l'oxygène sera reconstitué par électrolyse de l'eau; le carburant essentiel au fonctionnement des véhicules proviendra du dioxyde de carbone en surabondance dans l'atmosphère et de l'hydrogène reconstitué à partir de l'eau) et en « fabriquant » à titre expérimental, une partie de leur alimentation par des moyens appropriés (cultures) suppléant à une nourriture lyophilisée importée qui constituera l'essentiel du repas des colons.

Pour assurer une parfaite autonomie du projet et pour des raisons de confort et d'économie, la base devra être située dans une région où il fait le plus chaud (la plus

13. Voir page 58 à 60.



Village sous-marin, 1973, Caraïbes, îles Vierges (Projet étudié pour la NOA et la NASA) par Rougerie.

14. Rougerie Jacques et Verlhomme Hugo, *Les enfants du capitaine Nemo*, Arthaud, 1986, 255 pages.

proche de l'équateur) et où la présence d'un permafrost en sous-sol se trouvera à faible profondeur.

Cette autosuffisance pour une colonie permanente, nécessite une réflexion sur la taille minimum de cette première colonie, en dessous de laquelle cette autonomie pour 6 personnes est impossible. De même, le recyclage des déchets sera obligatoire pour assurer l'autonomie de la base.

1.5 Un projet adapté

Les contraintes et la particularité du site obligeront à faire un choix sur des matériaux spécifiques, jouant un rôle déterminant dans l'aspect architectural de la base (fabrication de « briques martiennes », recouvrement de la base avec de la terre prélevée sur place afin de l'immuniser des radiations, façades intérieures remplacées par des murs-écrans(13)).

La fonction de la base et son caractère scientifique, ses besoins d'autosuffisance, amèneront à penser à des lieux, des espaces adaptés aux conditions de vie particulières des habitants (faible pesanteur, pas de lumière naturelle, monde extérieur hostile). De même que son caractère évolutif, extensible en fonction des besoins des scientifiques, s'opposera à une architecture figée.

Pour des contraintes de coût et d'encombrement, un maximum d'éléments seront fabriqués (briques) et prélevés sur place (eau). Pour des raisons pratiques, une mini centrale nucléaire sera importée afin de satisfaire les besoins en énergie. Certains éléments structuraux viendront de la Terre, ainsi que les outils et instruments technologiques (robots, ordinateurs, murs-écrans). Pour se protéger de l'hostilité du site (rayons cosmiques, nombreuses tempêtes de poussière), l'utilisation de la terre martienne apparaît comme un matériau obligatoire et fondateur du projet.

1.6 Intégration au site et au paysage

Le danger d'une architecture « importée » c'est de vite tomber dans une architecture « facile », sans réelle émotion. On le voit bien avec la station MIR, qui n'est constituée que d'éléments mis bout à bout, objets technologiquement adaptés mais dénués de toute poésie. A l'inverse les bâtiments submersibles comme le projet du village sous-marin aux îles Vierges (14), pourtant étudié pour être conçu « clé en main » sur Terre, ont un souci

Le projet

15. GOULET Patrice, *Jean Nouvel*, Electa Moniteur, Paris, 1989, page 86.

16. GOULET Patrice, *Jean Nouvel*, Electa Moniteur, Paris, 1989, page 115 à 122.

17. Lucas G. *Star Wars* (Film), Fox, 1977.

18. François E. et Lewis D. « Des journées entières dans les haies », *d'Architecture*, mai / juin 1996, page 28 à 29.



Les logements pris dans une gaine végétale pour s'intégrer au site, par François et Lewis.

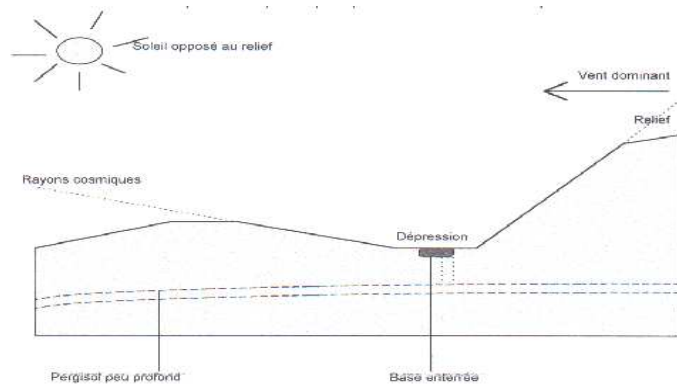


Schéma de principe

19. GOULET Patrice, *Jean Nouvel*, Electa Moniteur, Paris, 1989, page 57.

architectural réel, malgré les contraintes du lieu (courant, pression...) et s'intègrent avec harmonie aux profondeurs sous-marine. Cette constatation est d'autant plus évidente que Rougerie est architecte de profession. Sur un site dépourvu de passé architectural, il a su inventer une nouvelle architecture.

Le projet aura pour vocation de s'assimiler à la planète et non de se différencier à l'instar de la salle de rock à Bagnolet (15), « une sorte de soucoupe volante » ou l'opéra de Tokyo (16) et son architecture empruntée à l'univers de Star Wars (17). Les logements dans la Sarthe d'Edward François et Duncan Lewis et leur *architecture végétalisée* (18) est un exemple d'intégration au site.

Ce choix de l'intégration est plus lié à un choix pratique qu'esthétique. En effet, afin de minimiser les effets hostiles de la planète sur la base et ses occupants, 4 grands critères d'implantation devront être pris en compte (voir schéma à gauche):

- Proximité de l'eau. Le permafrost devra être le moins profond possible, pour faciliter son pompage.
- Rayonnement solaire maximum afin de faire fondre le pergisol en sous-sol par effet de serre et pour réchauffer partiellement la base.
- Limitation des rayons cosmiques dangereux pour l'homme. Effets diminués en construisant une base enterrée ou semi-enterrée, si possible dans une dépression (un cratère par exemple, qui a en plus un intérêt géologique) et sur un sol facilement creusable et excavable. La proximité d'un relief atténuerait encore les effets des rayons.
- Protection des vents dominants. La proximité d'un relief ferait obstacle au vent et limiterait les soulèvements de poussière provoqués par les nombreuses tempêtes.

1.7 Type d'architecture :

« L'architecture est un acte culturel » (19). Tout projet architectural n'échappe pas aux tendances de son siècle. D'une façon ou d'une autre, elle doit représenter son époque. Si on le conçoit aisément sur notre planète, il en est tout autrement sur un site dépourvu d'histoire humaine et très éloigné de la Terre.

Le projet

20. Goodman N, *Langages de l'art*, Editions Jacqueline Chambon, Nîmes, 1992, 320 pages.

21. Blish J, *Les semailles humaines*, J'ai Lu, Paris, 1995.



Vision au microscope d'un mélange de bactéries (bacilles Gram positif en violet et Gram négatif en rose). Un chaos organisé.

Lorsqu'il n'existe pas de passé urbanistique ou rural comme sur la planète Mars, il semble indispensable, comme l'a fait Rougerie, de recréer un langage architectural spécifique (20) adapté à l'hostilité du site et jouant le rôle de « précurseur architectural martienne » avec toute la réflexion et l'engagement de l'architecte que cela implique. Quand on observe le type d'architecture dans les différentes régions du globe terrestre, on constate qu'elles ont chacune leur spécificité.

Le concept d'une base habitée sur Mars, naîtra en quelque sorte, d'une entente subtile entre le site de la planète Mars et le bagage culturelle des hommes qui viendront la coloniser, de la fusion entre une planète morte et une race « extramartienne » bien vivante.

1.8 La symbolique du projet

Pour que le lien site/projet puisse prendre forme, une démarche progressive et sensée doit être élaborée, une démarche adaptée, d'Architecte, qui aboutira à un concept opérant.

Le livre de James Blish *les semailles humaines* (21) raconte l'histoire de la colonisation des planètes. Le titre du roman et son contenu renvoient tout de suite à l'idée « d'ensemencer les étoiles », à la manière du paysan qui sème aux quatre vents, dans l'espoir de fertiliser des terres inconnues. Cette vision de l'auteur, indéniablement poétique, est le déclic, le prétexte pour partir à la découverte de d'autres planètes, et donc de proposer une base sur Mars.

A cela, vient se greffer une idée. On sait maintenant que la vie sur Terre s'est peut-être déclenchée avec l'intrusion et l'impact de météorites contenant les molécules essentielles à la formation d'organismes vivants (bactéries). La vie pourrait donc avoir une origine extraterrestre.

En associant ces deux idées originelles du concept, on peut s'avancer et dire que le projet d'une base sur Mars serait donc comme un corps étranger, portant les germes de la vie, dans le but de créer une planète vivante.

Le projet serait comme des bactéries qui atterrieraient sur un site vierge. Ces bactéries vont d'abord se protéger d'un milieu hostile (température, rayons U.V., vents...) en se recouvrant de terre martienne. En s'abritant du vent solaire, elles vont s'intégrer, s'assimiler à la planète.

Le projet

Comme un organisme, cette base va devoir ensuite pour survivre, se nourrir des ressources naturelles qu'offre la planète (sol riche en oxygène, permafrost, abondance du dioxyde de carbone dans l'atmosphère), et pouvoir se développer, grandir, se multiplier comme un organisme vivant.

Il y a ici l'idée d'une architecture hybride, mi organique (vivant) / mi machine (technologie), dans le but de créer une symbiose parfaite nature (assimilation à la terre martienne) / machine (application des réalités virtuelles).

2. Mise au point du programme

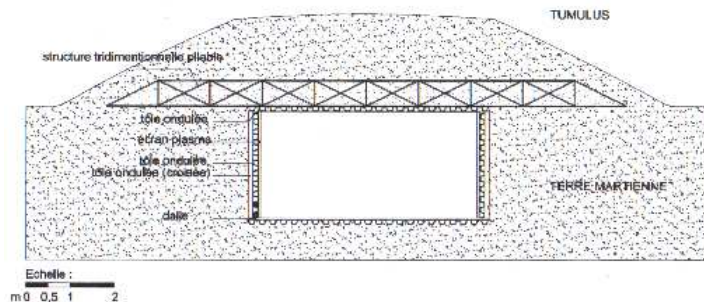
Le projet s'articulera autour de 6 modules ayant chacun leur spécificité, desservi par un grand axe de distribution. Un dortoir avec ses douches / wc, les serres avec un espace laboratoire / travail et exercices physiques, le hangar et une centrale nucléaire/recyclage eau et oxygène. Les deux modules de la NASA seront intégrés à l'ensemble et reconvertis en espace repas / réserves et en observatoire.

On peut récapituler et chiffrer ce programme dans un tableau :

Module		Surface (m²)	Quantité	Surface totale
Serre/	Serre	125	x1	125
Travail/	Labo/Stock	45	x1	45
Exercices	Esp. Travail	105	x1	105
	Exercices Phy.	12,5	x1	12,5
Hangar	Soute	145	x1	145
	Sas dépres.	62,5	x1	62,5
	Rgt.	18	x1	18
Observatoire	Obs.	55,5	x1	55,5
Réserves	Réserves	55,5	x1	55,5

Le projet

Logements	Dgt. com.	23	x1	23
	Douche/Wc	16	x1	16
	Chambre	6,03	x6	36,18
	Laverie	1	x1	1
Cuisine/	Salon/Repas/Cui.	55,5	x1	55,5
Repas/				
Centrale	Cen. Nucléaire	65	x1	65
Nucléaire/	Salle de com.	20	x1	20
Rés./Recyc/	Rés./recyc/E/O	95	x1	95
Eau/Oxygène				
Circulation	Couloir Principal.	83,3	x1	83,3
Total des Surfaces :				1018,98 m2



Coupe transversale d'un module de la base.

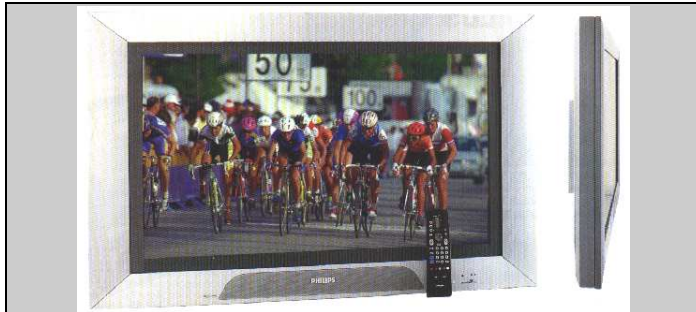
3. Eléments de mise en forme

3.1 La toiture « tumulus »

Les astronautes vivront sous terre, sans lumière naturelle. Elle est ici inutile, car la lumière zénithale serait insuffisante, la luminosité correspondant à 43% à celle de la Terre, sans compter les nombreuses tempêtes de poussière qui obscurcissent le ciel et recouvriraient les ouvertures. Une raison essentielle et vitale oblige à enterrer la base :

Le rayonnement solaire dangereux (l'atmosphère trop ténue, ne protège pas des rayons cosmiques) contraint à s'enterrer et à recouvrir la base d'au moins 2 mètres de terre martienne pour protéger les scientifiques. De plus, il n'existe aucun vitrage connu qui résiste aux rayons cosmiques. Les serres aussi seront recouvertes. Pour remplacer l'éclairage naturel nécessaire à la photosynthèse des plantes, on utilisera des néons spécifiques (22).

Le projet



En 1998, Philips commercialise le 1^{er} écran à plasma. (modèle 16/9 de 107 cm de diagonale)

Les murs-écrans seront des écrans plasma (voir annexes) ou utilisant la technologie micro-pointe (une technologie française) encore au stade laboratoire, plus léger et plus économique en énergie, permettant la conception d'écran de l'ordre de quelques millimètres d'épaisseur. Ces 2 types de technologie permettent la réalisation d'écrans géants. A cela s'ajoute les écrans plastique qui auront l'avantage d'être très léger et de pouvoir s'enrouler.

La base ne « souffrira » pas de l'humidité. Il n'y a pas d'humidité dans le sous-sol martien. Elle n'existe qu'en très faible quantité dans l'atmosphère et le permafrost ne se trouve qu'à plusieurs dizaines, voir à plusieurs centaines de mètres sous terre. L'humidité dégagée par les astronautes sera évacuée par un système de ventilation.

La base n'aura pas de problème pour chauffer ses habitants. Si le sous-sol est très froid (autant que dans l'atmosphère), la terre est un excellent isolant thermique. La base chauffera rapidement de l'intérieur (chauffage électrique produit par une mini centrale nucléaire) et sera maintenue à une température constante pour le confort des astronautes. C'est le principe de l'igloo.

3.2 Le mur-écran

Afin de lutter contre l'ennui, la nostalgie de la Terre qui pourra s'emparer d'eux (voir exemple russe dans la station Mir dans le chapitre « Vivre en milieu hostile ») on recréera un univers virtuel à l'intérieur de la base.

Pour cela, certaines façades intérieures de la base seront substituées par des écrans (voir encadré à gauche). L'architecture ici, n'est plus que images. Le mur devient écran / l'écran devient mur. Les lieux de vie comme l'espace travail, repas, exercice qui regroupent ou isolent dans leur intimité (espace repos), seront les endroits idéaux pour l'application de cette technologie. On distinguera 3 types de murs-écrans :

- Le mur-écran passif : Sa fonction est limitée à une seule application. Changer selon l'humeur des astronautes la couleur des murs-écrans. Il compose la plupart des façades intérieures de la base (écran de couleur de type statique ou animé de points blancs et noirs pour donner une couleur grise par exemple).
- Le mur-écran actif : Il regroupe toutes les fonctions nécessaires au travail, au loisir des scientifiques.
- La fenêtre virtuelle : C'est une fenêtre sur la monde extérieur. Elle donne une image animée en temps réel de l'extérieur de la planète Mars ou de la Terre (avec un décalage de quelques minutes en raisons de la distance). On retrouve ce type d'écran dans l'espace repas et repos (voir page 60).

23. Jolival B, *La réalité virtuelle*, Presses Universitaires de France, dans la collection Que sais-je ?, Paris, 1995, page 3.

L'interactivité homme / écran sera facilitée grâce à l'emploi du « cyberjoystick » sorte de télécommande intelligente qu'aura chaque scientifique afin d'interagir avec le menus des écrans.

Cet immense réseau d'écrans sera une sorte d'intranet où pourront communiquer entre eux les scientifiques, échanger des informations avec la Terre. Ils s'en serviront pour travailler, se détendre, faire leur jogging quotidien (voir page 58 - la pesanteur étant 3 fois inférieure à celle de la Terre, les astronautes devront entretenir leur musculature afin de réduire la fonte de leur muscle et les problèmes lorsqu'ils reviendront sur Terre 2 ans après). Tous les moyens seront possibles pour combler l'ennui, la monotonie, le stress ou la nostalgie de la Terre engendré par une vie enterrée dans des espaces clos au milieu d'un site hostile, très éloigné de la Terre.

Les applications de la réalité virtuelle ou « environnement virtuel » (23) sont infinies :

- Restitution du paysage extérieur (de la Terre ou de Mars), sur des murs-écrans de la base (voir page 58), permettant par exemple d'assister à un coucher de soleil sur la Terre (proximité avec la Terre, rassure, comme une fenêtre sur le monde extérieur, une fenêtre sur la Terre).
- La façade peut devenir lumière, tableau, tapisserie aux couleurs changeant au gré des humeurs des scientifiques.
- Moyen de communications, possibilité d'organiser des réunions, débats virtuels, entre les « martionauts » et la Terre (avec un décalage de quelques minutes en raison de la distance), dans le but de rapprocher les familles éloignées et apporter un confort et un soutien psychologique aux habitants de la base. C'est aussi un moyen d'éviter des déplacements inutiles, les scientifiques pouvant communiquer au sein de la base d'un écran à l'autre.
- Possibilité de tricher avec l'espace, de donner l'illusion d'espaces plus grands ou plus petits. L'image ici devient architecture.
- Permet d'envoyer et de diriger des robots sur la surface de Mars, depuis l'intérieur de la base par mauvais temps (tempêtes de poussière).

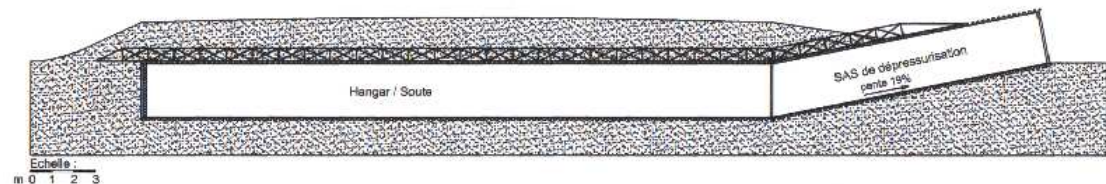
- Possibilité de se détendre, grâce aux méthodes relaxantes de logiciels adaptés (par l'image et le son), ou de se distraire avec des jeux de réflexions ou des films.
- Applications médicales et chirurgicales sur un astronaute malade par exemple (réduit considérablement les séquelles physiques d'une intervention).
- Réduit le mobilier et outils de travail (gain d'espace). Interface homme / machine optimisée : va dans le sens d'une architecture pratique, au service de l'Homme.
- Le mur-écran : c'est une peau intérieure, sensible qui peut réagir à l'environnement, jouant le rôle d'avertisseur. Des capteurs de température, de luminosité, vent, pression atmosphérique, peuvent donner l'état de la planète à tout moment.

3.3 L'entrée / sortie de la base

C'est une porte qui émerge du sol, pour s'ouvrir vers le monde extérieur. Elle permettra le passage des hommes et des véhicules d'un monde souterrain protégé à un monde extérieur hostile (et vice-versa).

Lorsqu'il n'y aura pas de tempêtes de poussière, les astronautes pourront sortir de la base, soit pour mener des expériences scientifiques extérieures, soit pour « décompresser » après un trop long séjour enfermé dans la base.

Un sas de dépressurisation et de dépoussiérisation sera prévu pour les entrées et sorties afin de dépressuriser les astronautes et d'éliminer la poussière corrosive qui aura pu s'incruster dans les vêtements et véhicules.



Coupe longitudinale. Le hangar : lieu des entrées et sorties des véhicules et des astronautes.

Le projet

Schéma de principe des étapes du chantier.

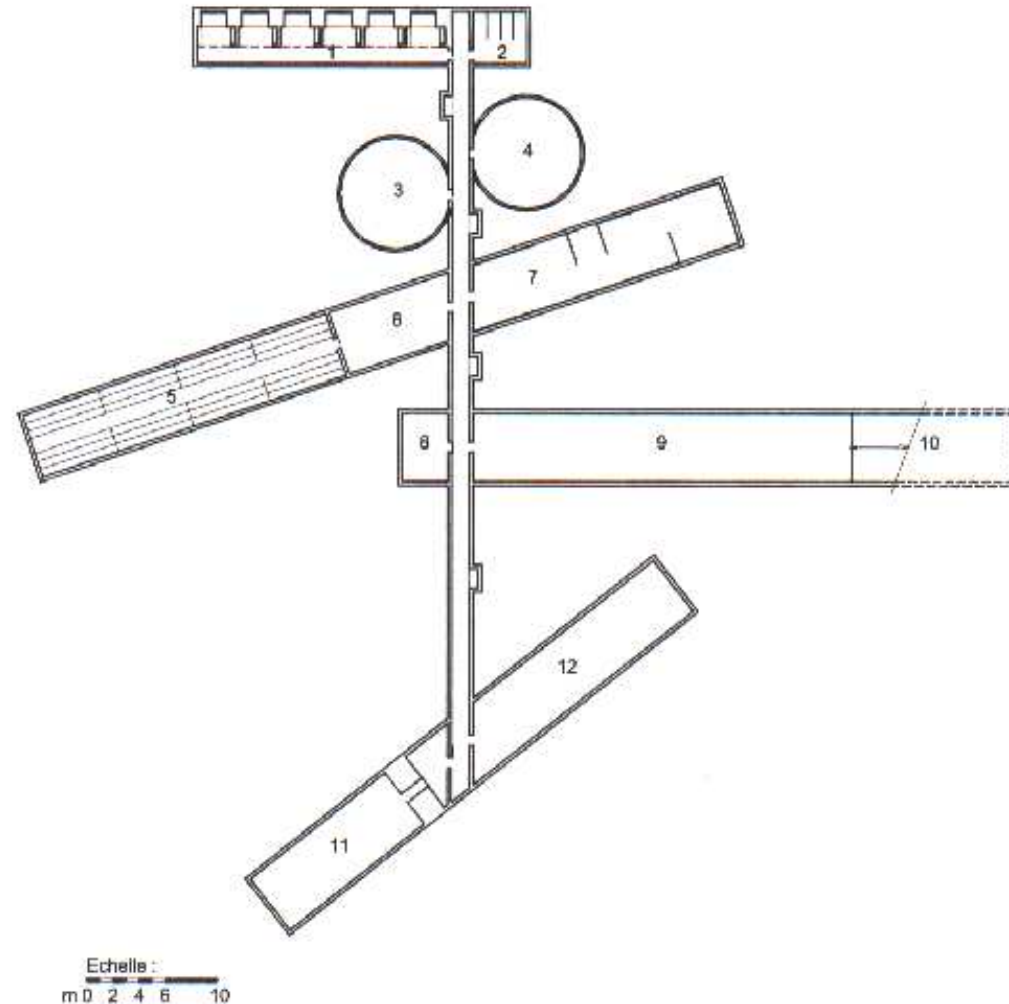
3.4 Les étapes du chantier

Pour des raisons d'efficacité et par souci de réalisme quand à la construction des habitats martiens, on optera pour une proposition à la fois simple, économique et rapide à monter (voir schémas à gauche).

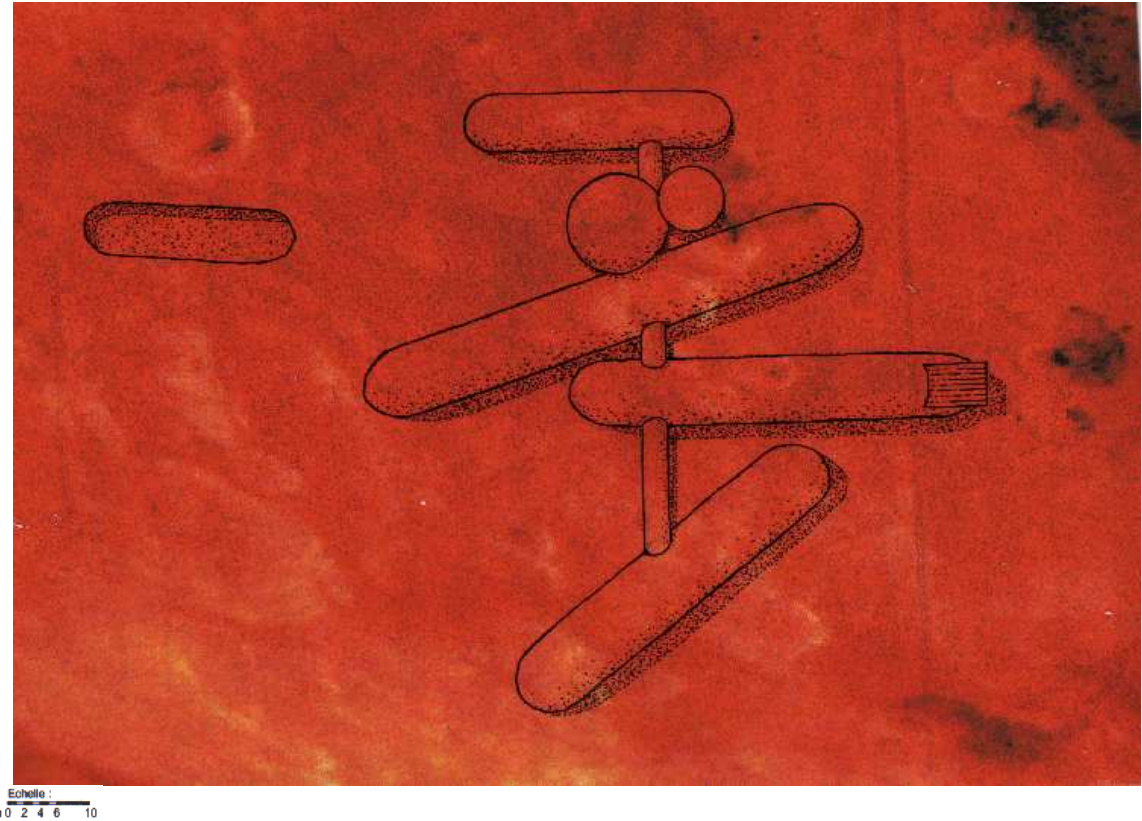
- a) A l'aide d'un bulldozer adapté, on creuse un trou de 2m50 de profondeur. Puis, on pose le plancher en tôle ondulée qui servira de dalle.
- b) On élève les panneaux qui serviront de façade et structureront la base (1 tôle ondulée + 1 tôle ondulée croisée pour rigidifier la structure dans les 3 dimensions).
- c) Un plancher en tôle ondulée servira de toiture. Il est soudé à l'ensemble afin de rendre étanche et rigidifier la base.
- d) On pose une structure tridimensionnelle sur la toiture. Afin de rigidifier au maximum la toiture et supporter la terre qui recouvrira la base, on boulonne le plancher à la structure tridimensionnelle.
- e) Le bulldozer comble les trous.
- f) Afin d'immuniser la base du vent solaire, on la recouvre de 2 mètres de terre martienne. Le climat (vents, tempêtes de poussière) et le temps s'occuperont de « sculpter » la toiture de terre.

Légende :

- 1. chambres
- 2. WC / douches
- 3. repas / réserves
- 4. observatoire
- 5. serres
- 6. laboratoire
- 7. travail / exercices
- 8. rangement
- 9. hangar / soute
- 10. sas de dépressurisation / sortie
- 11. centrale nucléaire
- 12. réserves / recyclage eau / oxygène

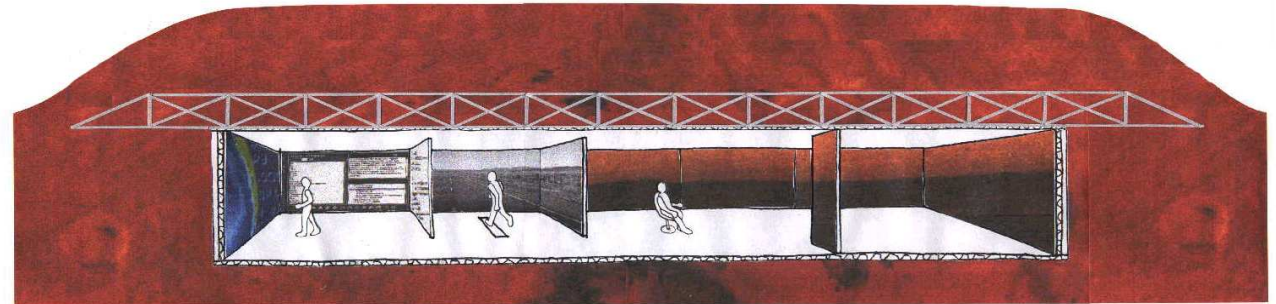


Plan de la base enterrée.



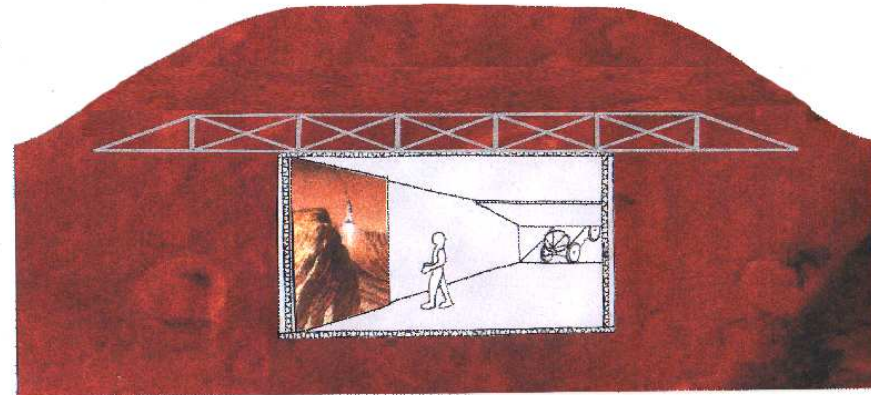
Plan masse.

Le lieu de travail / exercices étant un espace virtuel modulable par ses murs-écrans, les astronautes pourront y travailler, faire des exercices physiques (les écrans s'animent au fur et à mesure que l'astronaute se déplace sur le tapis roulant), ou se distraire en observant Mars à travers les écrans virtuels par exemple.



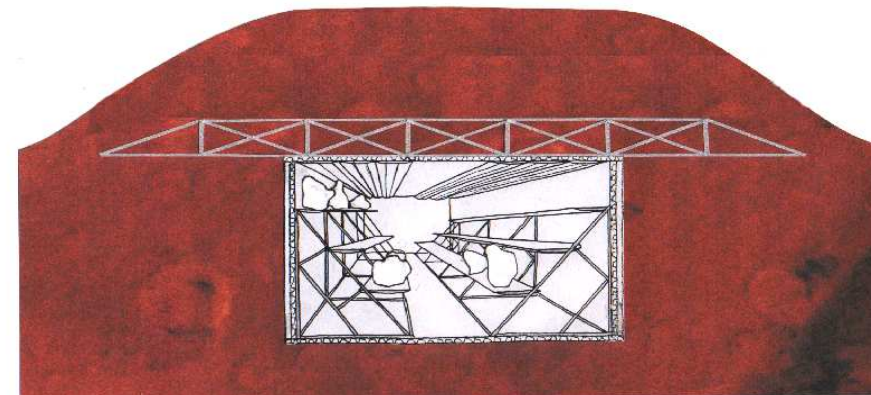
Coupe perspective du module travail / exercices.

Les murs-écrans permettent de surveiller les entrées et sorties des véhicules et des astronautes, ainsi que l'atterrissage et le décollage des engins spatiaux.



Coupe perspective du hangar.

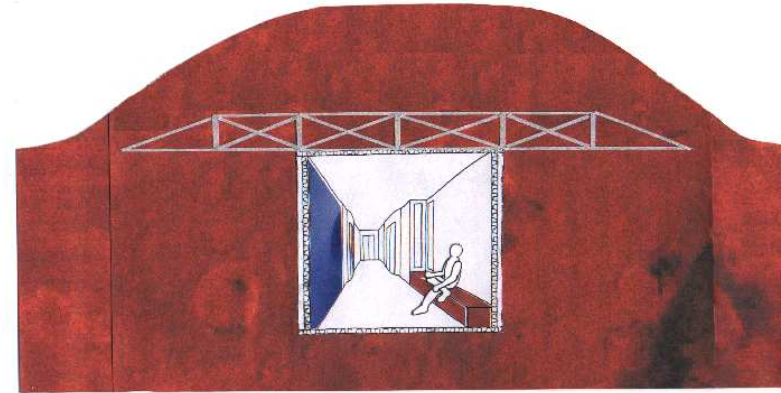
La lumière naturelle étant insuffisante, les végétaux sont éclairés par des néons spécifiques. Ils sont cultivés hors-sol et nourris par brouillard nutritif (voir Annexes 73 à 74)



Coupe perspective des serres.

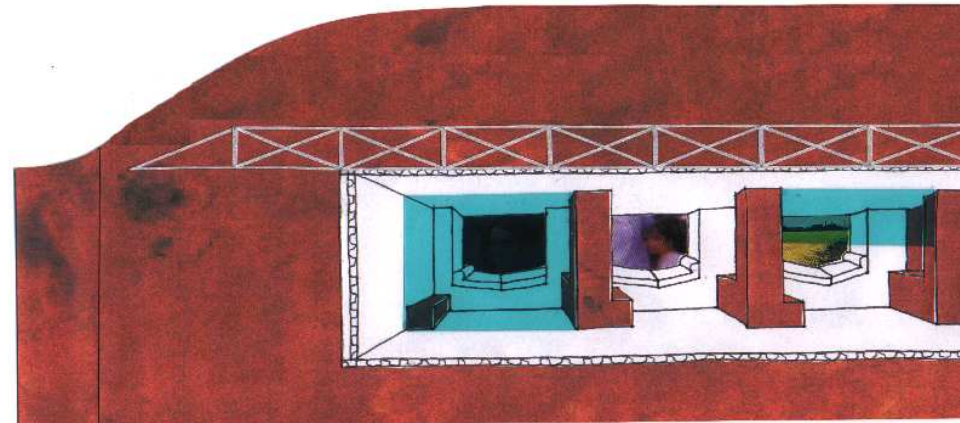
Le projet

Le couloir de distribution est traité comme une rue, avec ses espaces de repos (bancs en briques martiennes), ses plantations (éclairées par des néons-spécifiques) et son animation spécifique recrée virtuellement par des murs-écrans installés tout le long de la rue (ambiance paisible des campagnes terriennes ou ambiance frénétique des grandes villes avec ses véhicules qui circulent dans tous les sens). C'est un lieu convivial où peuvent se croiser à tout moment les astronautes.



Coupe perspective du couloir de distribution.

Afin de conserver une certaine intimité, chaque astronaute possède une chambre, où il peut s'isoler grâce à des écrans opaques qui s'enroulent et se déroulent. Des écrans virtuels sur le côté jouent le rôle de « fenêtres virtuelles » sur le monde extérieur.



Coupe perspective des chambres.

CONCLUSION

« Demain ne sera pas comme hier. Il sera nouveau et dépendra de nous. Il est moins à découvrir qu'à inventer. » **Gaston Berger**

Conclusion

CONCLUSION

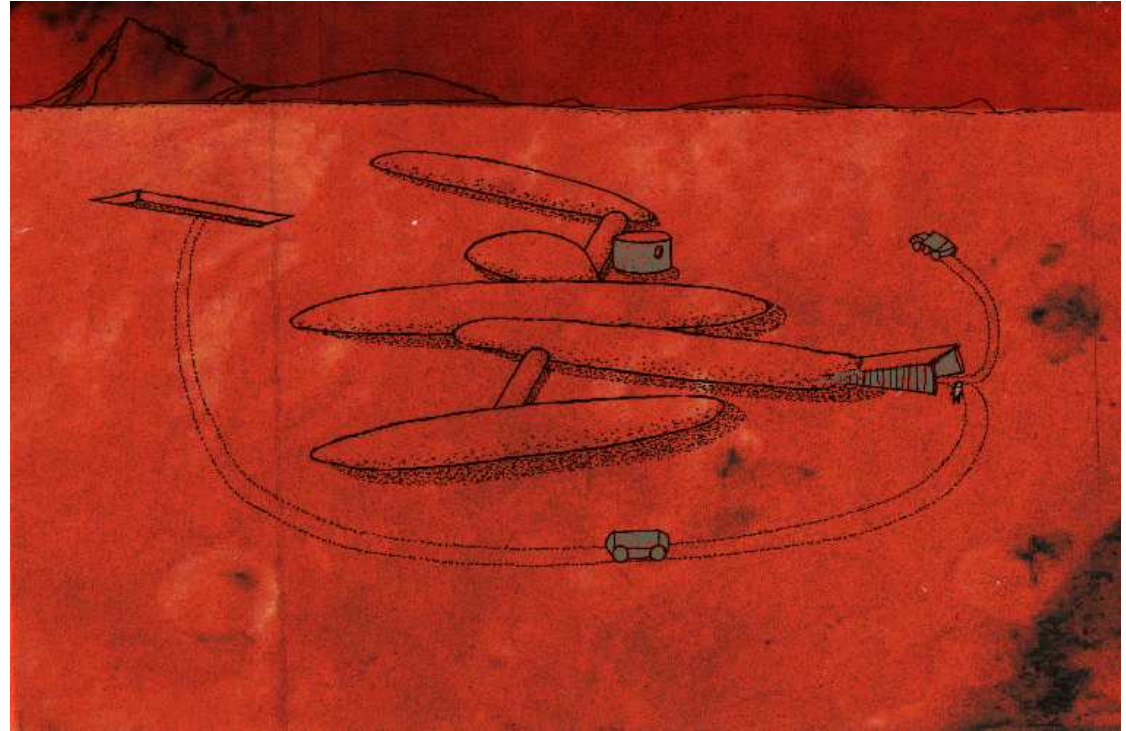
Tout au long de ce mémoire, nous avons voulu montrer le rôle essentiel de l'Architecte pour ce type projet. Construire une base sur Mars intègre un grand nombre de spécialités qui vont travailler ensemble, l'Architecte étant le médiateur, la source inspiratrice qui va donner corps et sens au projet en unifiant les corps de métier. A chaque instant, il aura un souci tant architectural qu'humain dans l'intégration du projet au paysage martien.

On peut résumer le projet en quelques phrases :

- Mars est un milieu très hostile où il est impossible pour l'homme de vivre en surface (rayons cosmiques dangereux, froid extrême, nombreuses tempêtes de poussière).
- On décide donc pour se protéger, d'enterrer la base et de la recouvrir de terre martienne (excellent isolant thermique, bouclier contre les rayons cosmiques).
- Dans ce monde clos, sans lumière naturelle, à l'abri de l'hostilité extérieure, je recrée un univers virtuel (écrans géants), une sorte de matrice, de « micromonde », afin de combattre l'ennui, la nostalgie qui pourra s'emparer des scientifiques loin de la Terre et de leur famille.
- Le lien entre le monde extérieur « réel » et le monde intérieur « virtuel » sera un passage, seul élément architectural visible de la base avec le module d'observation, qui émergera du sous-sol comme un pont entre ces deux mondes.

On a voulu donner une architecture plus humaine dans un monde très austère, dur, par la présence de tumulus que le vent va sculpter et leur donner une forme naturelle. Ces formes laissent supposer que quelque chose se passe sous terre, que quelque chose prend vie, se développe, une vie qui émerge parfois avec la présence d'une borne (entrée et sortie de la base) comme pour manifester une volonté de survivre, de recréer la vie sur un site impossible.

Conclusion



Vue extérieure de la base, avec l'entrée du hangar et le module semi-enterré de la NASA reconverti en observatoire, afin de surveiller les entrées et sorties des véhicules et des astronautes.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ASIMOV Isaac, *Mars, notre mystérieuse voisine*, Flammarion, Paris, 1989, 290 pages.
- Astronomie. Encyclopédie Atlas du ciel. Atlas (Tome 1)*, Paris, 1983, 248 pages.
- Astronomie*, Larousse, Paris, 1989, 542 pages.
- Atlas de géographie de l'espace*, Sides-Reclus, Paris, 1992, 290 pages.
- « Biosphère II », *Dossiers de presse édité par la Cité des Science, La Vilette*, Paris, Octobre 1991 / Septembre 1994.
- BLISH James, *Les semilles humaines*. J'ai Lu, Paris, 1977, p.
- BRADBURY Ray Douglas, *Chroniques Martiennes*, Denoël dans la collection Présence du Futur, Paris, 1955, 266 pages.
- CLANCY Tom, *Sous-marin*, Albin Michel, Paris, 1995, 348 pages.
- « Destination Mars », *Sciences et Avenir*, Novembre 1996, N°597, page 34 à 44.
- Des architectures de terre*, Centre Georges Pompidou, Centre de Création Industrielle, Paris, 1981, 192 pages.
- DUPIN H., ABRAHAM J., GIACHETTI I., *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, Editions Tec & Doc Lavoisier, dans la collection CNRS-CNERMA, Paris, 2^{ème} édition, Octobre 1992.
- DUCROCQ Albert, « Escarpolette spatiale », *Air et Cosmos/Aviation Magazine International*, Paris, Vendredi 20 Février 1999, page 44.
- « En Antarctique pour préparer la colonisation spatiale », *France-Soir*, Paris, mercredi 25 Février 1998, page 7.
- FRANCOIS E et LEWIS D, « Des journées entières dans les haies », *d'Architecture*, Mai / Juin 1996, page 28 à 29.
- GATLAND Kenneth, *Encyclopédie visuelle de l'exploration de l'espace*, Bordas,

- GATLAND Kenneth, *Encyclopédie visuelle de l'exploration de l'espace*, Bordas, Turnhout, 1981, 290 pages.
- GATLAND Kenneth, *The illustrated encyclopedia of Space technology*, Salamander Books Ltd. II édition, 1989, 303 pages.
- GIGER, *HR GIGER ARh+*, Taschen, Allemagne, 1991, 96 pages.
- GOODMAN N, *Langages de l'art*, Editions Jacqueline Chambon, Nîmes, 1992, 320 pages.
- GOSSELIN, LOISEL, GREBOVAL-BARRY, *Les objets en conception*, Actes de 01 Design' 97, éditions Europa, 1998, page 33 à 43.
- Grand atlas universalis de l'espace*, Encyclopaedia Universalis, Paris, 1989, 398 pages.
- Grand Larousse*, Larousse (Tome 1, 2, 3, 4, 5), Paris, 1987, 1952 pages.
- GOULET Patrice, *Jean Nouvel*, Electa Moniteur, Paris, 1989, 174 pages.
- JOLIVALT Bernard, *La réalité virtuelle*, Presses Universitaires de France, dans la collection Que sais-je ?, Paris, 1995, 128 pages.
- « Judith Barry. Projets et projections d'espaces », *art press*, Paris, n°192, 1994, page 22 à 29.
- KOHLER Pierre, *Le ciel. Atlas guide de l'univers*, Hachette, II édition, Paris, 1982, 287 pages.
- LAFLEUR Claude, *Vivre en apesanteur*. Trécarré, Bibliothèque Nationale du Canada, 1989, 142 pages.
- LE CORBUSIER, *Les constructions « Murondins »*, Edtienne Chiron éditeur, Paris-Clermont-Fd, 1942.
- LE CORBUSIER, *Le voyage d'Orient*, Parenthèse, Paris, 1987, 174 pages.
- « L'eau sur Mars », *Science et Vie*, Paris, Septembre 1996, N°196 hors série, page 74 à 88. « Les bases de l'Antarctique servent de modèles aux missions

- « L'eau sur Mars », *Science et Vie*, Paris, Septembre 1996, N°196 hors série, page 74 à 88. « Les bases de l'Antarctique servent de modèles aux missions martiennes », *Le Monde*, Paris, mercredi 18 Mars 1998, page 25.
- « Les bases de l'Antarctique servent de modèles aux missions martiennes », *Le Monde*, Paris, mercredi 18 Mars 1998, page 25.
- « Les colons de Mars ou de la Lune seront « cultivateurs » et végétariens », *Le Monde*, Paris, jeudi 12 Février 1998, page 22.
- « Le dossier complet des nouvelles planètes », *Science & Vie* (Hors série), Paris, Sept. 1994, n°196, page 74 à 88.
- Les écrans plats : dossier documentaire* (2 volumes), Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris, 1998, (non paginé).
- « Les vols spatiaux habités », *Performances Humaines et Techniques*, Toulouse, Nov. 1993 / Fév. 1994, n°67 / 68, 64 pages.
- LOEWY Raymond, un pionnier du design américain. Monographie*, Centre Georges Pompidou, Paris, 1990, 200 pages.
- LOEWY Raymond, *Industrial design*, Faber and Faber, London-Boston, 1979, 250 pages.
- LOWEL Percival, *Mars*, 1896.
- LUCAS George. *Star Wars* (Film), Fox, 1977.
- MAC DONALD Ian, *Desolation Road*, Livre de poche, Paris, 1989, 480 pages.
- « Mars, la planète rouge », *Documentaire télévisé (Arte)*, 1997.
- « Mars », *National Géographic*, Janvier 1977, Vol. 151, N°1, page 2 à 31.
- « Mars, les derniers mystères », *Ciel et Espace*, Paris, Juin / juillet 1994, N°7 hors série, 102 pages.

- Mars : Past, Present, and Future*, Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1992, volume 145, page 245 à 250.
- « Mars. Rocky, envoyé spatial », *Libération, Collection Sciences*, Paris, jeudi 24 juillet 1997, 8 pages.
- « Planète Mars, c'est reparti ! », *Journal Du Dimanche*, Paris, dimanche 4 janvier 1999, page 7.
- MOREUX Th. (l'Abbé) *La vie sur Mars*, Chez Gaston Doin, Editeur, Paris, 1924, 96 pages.
- Mémento de l'agronome*, Ministère de la Coopération / Collection « Techniques rurales en Afrique », Saverdun, 1980, 1600 pages.
- « Richard Long. A line made by walking, England 1967 », *art press*, Paris, n°138, 1989, page 104.
- Robert Smithson. Le paysage entropique*, Editions Musées de Marseilles / Réunion des musées nationaux, Avignon, 1994, 334 pages.
- ROBINSON Kim Stanley, *Mars la rouge*, Presses de la Cité pour l'édition française, Paris, 1994, 548 pages.
- ROBINSON Kim Stanley, *Mars la verte*, Presses de la Cité pour l'édition française, Paris, 1995, 657 pages.
- ROBINSON Kim Stanley, *Mars la bleue*, Presses de la Cité pour l'édition française, Paris, 1997, 758 pages.
- ROUGERIE Jacques et VERLOMME Hugo, *Les enfants du capitaine Nemo*, Arthaud, Paris, 1986, 255 pages.
- ROUGERIE Jacques. et VIGNES Edith, *Habiter la mer*, Maritimes et d'Outre-Mer, Paris 1978, 193 pages.
- ROSSITER Mike et CARLIER François, *Sous-marin nucléaire*, Gamma / Editions

Bibliographie

ROSSITER Mike et CARLIER François, *Sous-marin nucléaire*, Gamma / Editions du Trécarré, Tournai, 1984, 37 pages.

SPIEGEL S, *Lawrence d'Arabie* (Film). Horizon Pictures GB, 1962.

Strategies for Mars : a guide to human exploration, American Astronautical Society Publication, California, 1996, volume 86, page 404 à 510.

The case of Mars IV : The International Exploration of Mars. Considerations for sending humans, American Astronautical Society Publication, California, 1997, volume 90, page 109 à 280.

VERHOEVEN Paul, *Total Recall* (film), Fox, Etats-Unis, 1990.

VERNE Jules, *De la terre à la lune*.

« 2011. Rendez-vous sur Mars », *Paris Match*, Paris, septembre 1997, page 79 à 87.

ZUBRIN Robert, *The case for Mars*, The free press, 1997, page 171 à 217.

Sites internet :

<http://www.cnes.fr>

<http://www.marsociety.org>

<http://www.bio2>

ANNEXES

* Se dit de la culture des plantes avec des solutions nutritives renouvelés, sans le support au sol.



Expérimentation de cultures hors-sol par la NASA.

ANNEXES

1. Culture en serres et autosuffisance alimentaire

Pour des raisons de sécurité, l'essentiel de la nourriture des astronautes sera importée, essentiellement lyophilisée. Une partie cependant de l'alimentation pourra provenir des serres. Mais elles seront plus expérimentales que productives.

1.1 Une culture hors-sol

Pour un meilleur contrôle des pousses et de rendement, les plantes « terrestres » seront cultivées hors-sol. La culture *hydroponique** s'effectuera grâce à 2 techniques conjointes :

- Le brouillard nutritif.
- La laine de roche.

Ces 2 techniques fournissent à la plante, eau, engrais et minéraux nécessaires à sa croissance et son bon développement.

Les dernières techniques agronomiques seront utilisées : reproduction artificielle, culture d'hybrides, compost fabriqué avec les déchets de la station, entretien et déplacement automatisé des bacs à végétaux depuis les serres, jusqu'à la zone de récupération.

La plus grande partie de l'expérimentation végétale, se fera avec des légumineuses comestibles :

- Lentilles, haricots vert, pois (apportent de l'azote au sol, essentiel au développement des plantes).
- Courgettes, aubergines, oignons, tomates, bananes.

D'autres plantes seront testées.

1.2 L'ensoleillement

Il est indispensable au développement des plantes chlorophylliennes. Mais le rayonnement solaire sur Mars ne représente qu'un 1/3 du rayonnement terrestre.

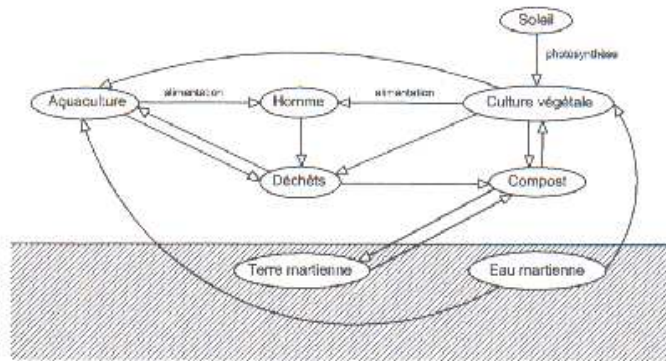


Schéma de principe du cycle de la matière.

De plus, la planète connaît de nombreuses et longues tempêtes de poussière qui obscurcissent le ciel. La construction d'une serre ouverte sur l'extérieur s'avère donc inutile (résout le problème du choc thermique serre/froid extrême de Mars). On remplacera ici la lumière naturelle par une lumière artificielle (apport de néons spécifiques).

1.3 L'atmosphère

La pression atmosphérique étant très faible sur Mars (7 millibars contre 1013 millibars sur Terre), celle de la serre devra être au moins d'1/2 atmosphère terrienne afin de rendre supportable l'intervention ponctuelle des colons.

1.4 La température des serres

Les serres devront être climatisées, afin de maintenir une température constante ne descendant pas en dessous de 10 à 15°C pour un bon développement des plantes.

1.5 Les animaux

Pour des raisons d'hygiène, de place et d'alimentation, l'élevage d'animaux ne sera pas envisagé dans cette phase. Cependant l'aquaculture de poissons (espace contrôlé, alimentation peu contraignante) pourra être testé.

1.6 Le cycle de la matière

(Voir schéma de principe à gauche)

1.7 Le recyclage des déchets

Afin d'optimiser le rendement de la base, un maximum de déchets seront recyclés (produits organiques). Les éléments non recyclables seront enterrés à une centaine de mètres de la base.

2. Utilisation des ressources naturelles de la planète

- Soleil : L'ensoleillement martien correspondant à 43 % à celui de la Terre, est insuffisant pour permettre une photosynthèse végétale



Les colons martiens imiteront les esquimaux de l'Antarctique qui utilisent le matériau local (glace), abondant et pratique, qu'ils découpent sur place en blocs de glaces et les assemblent pour en faire des abris efficaces (igloos) contre les intempéries du continent (vent, froid, tempêtes de neige).

complète. L'utilisation de panneaux solaires pour alimenter la base en courant n'est pas recommandée en raison de la fragilité du mécanisme et des nombreuses tempêtes de poussières qui obscurcissent le ciel et qui peuvent jouer un effet corrosif (poussières ferrugineuses) sur les panneaux.

- Vent : La planète étant extrêmement ventée (tempêtes de poussière pouvant atteindre plus de 200 km/h.), le recourt à des éoliennes pour emmagasiner de l'énergie, s'avérerait dangereux et les poussières ferrugineuses soulevées par les tempêtes pourraient avoir un effet corrosif et obstruante sur les hélices.
- Eau : Prélèvement à partir du permafrost en sous-sol par géothermie. Elle peut-être aussi recyclée. Nécessaire pour l'irrigation des récoltes et l'hydratation des animaux dans les serres ainsi que l'hydratation et l'hygiène des colons.
- Oxygène : Reconstitué par électrolyse de l'eau.
$$2\text{H}_2\text{O} (\text{eau}) + \text{électrolyse} = \text{O}_2 (\text{oxygène}) + 2\text{H} (\text{hydrogène})$$
- Carburant : Créé en appliquant « la formule de Sabatier » : A partir de l'oxyde de carbone en surabondance dans l'atmosphère martienne et de l'hydrogène créé par électrolyse de l'eau.
$$\text{CO}_2 (\text{oxyde de carbone}) + 4\text{H}_2 (\text{hydrogène}) = \text{CH}_4 (\text{méthane}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{eau})$$

Le méthane permet de fabriquer du plastique.
La combinaison méthane et oxygène fournira le carburant nécessaire aux véhicules martiens et aux vaisseaux spatiaux pour le retour sur Terre.

3. Les matériaux de constructions possibles prélevés sur place

- Silice : Abondant. Permet la fabrication du verre.
- Terre martienne : La terre martienne permet de réaliser des briques, de recouvrir

la base, de réaliser des poteries.

- Aluminium : En faible quantité. Menuiserie, ossature.
- Fer : Abondant. Structure, poutrelles.

4. Une mini centrale nucléaire importée

Une mini centrale nucléaire est prévue afin d'apporter l'énergie électrique nécessaire au chauffage de la base, la lumière artificielle, le fonctionnement des appareils électriques, la congélation...

5. Les écrans plasma

Le fonctionnement d'un écran plasma (« gaz ionisé électriquement neutre, dans un tube à décharge ») diffère peu de celui d'un tube fluorescent ou d'un néon. La mécanique en est juste un peu plus compliquée (voir schéma de principe à gauche).

Un écran plasma utilise deux dalles de verre recouvertes d'électrodes, plaquées l'une contre l'autre. La dalle arrière est divisée en centaines de milliers de petites cellules (pixels) tapissées d'un matériau phosphorescent (luminophores) et remplies d'un mélange gazeux néon-xéon. Quand une tension électrique est appliquée aux électrodes, la décharge électrique génère un rayonnement ultraviolet. Sous l'excitation de ces rayons, la couche phosphorescente des cellules s'illumine, émettant une lumière visible au travers du panneau de verre avant. Comme un tube téléviseur classique (cathodique), la couleur s'obtient par l'utilisation de trois séries de luminophores, rouge, vert et bleu.

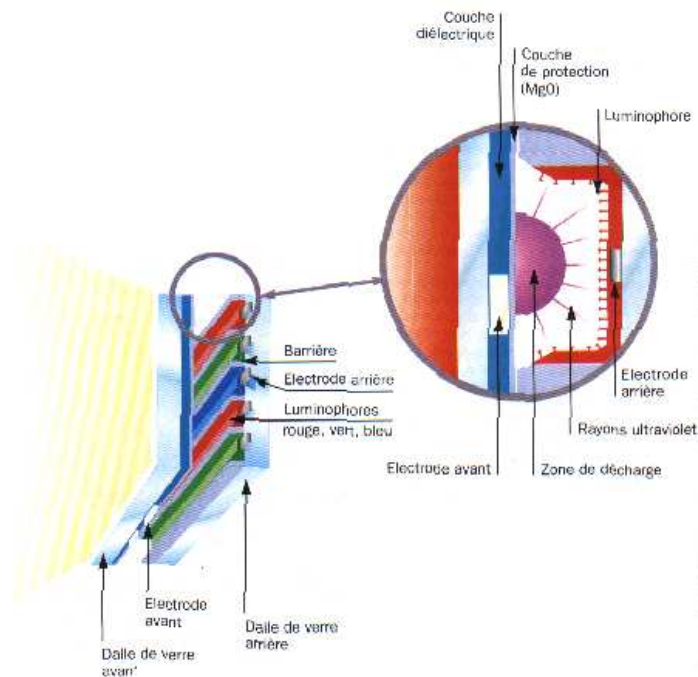


Schéma de principe du fonctionnement d'un écran plasma.

6. Tableau récapitulatif des missions d'exploration sur Mars

Date de lancement	Nom	Pays	Résultat
10 octobre 1960	Korabl 4 (Mars 1960A)	URSS	Echec (incapacité à atteindre l'orbite terrestre).
14 octobre 1960	Korabl 5 (Mars 1960B)	URSS	Echec (incapacité à atteindre l'orbite terrestre).
24 octobre 1962	Korabl 11 (Sputnik 29)	URSS	Echec (incapacité à quitter l'orbite terrestre après l'explosion du dernier étage du lanceur).
1er novembre 1962	Mars 1	URSS	Echec (perte de la communication le 21 mars 1963 à 106 millions de km de la Terre). Le 19 juin 1963, Mars 1 passe muette à 193 000 km de Mars.
4 novembre 1962	Korabl 13(Sputnik 31)	URSS	Echec (incapacité à quitter l'orbite terrestre).
5 novembre 1964	Mariner 3	USA	Echec. Après le lancement par une fusée Atlas Agena, la coiffe de protection ne se détache pas et alourdit considérablement la sonde. Les panneaux solaires ne peuvent pas se déployer. Les émissions cessent le 6 novembre 1964.
28 novembre 1964	Mariner 4	USA	Succès , la sonde survole Mars à 9846 km de distance le 14 juillet 1965. Premières photographies en noir et blanc (22) des hauts plateaux cratérisés de l'hémisphère sud. Les images montreront une surface semblable à celle de la Lune. Premières déterminations de la pression (5-10 mbar) et de la composition atmosphérique (CO ₂). Détection d'un faible champ magnétique.

76	Projet d'une base habitée sur la planète Mars	30 novembre 1964	Zond 2	URSS	Echec. Perte de la communication avec la sonde pendant le mois d'avril 1965. Devenue muette, elle passa à 1500 km de la surface de Mars le 6 août 1965.
	Annexes				
		24 février 1969	Mariner 6	USA	Succès , survol de Mars le 31 juillet à 3437 km de la région équatoriale. Mesures de la température et de la pression atmosphérique, de la température et de la composition de la surface, ainsi que de la densité et de la masse de Mars. 75 photographies noir et blanc (avec une résolution de 500m/pixel).
		27 mars 1969	Mariner 7	USA	Succès , survol le 4 août à 3551 km de la région polaire sud. Mesures de la température et de la pression atmosphérique, de la température et de la composition de la surface, ainsi que de la densité et de la masse de Mars. 126 photographies noir et blanc de l'hémisphère sud (avec une résolution de 500m/pixel).
		8 mai 1971	Mariner 8	USA	Echec (incapacité à atteindre l'orbite terrestre). Lors du lancement par une fusée Atlas Centaur, le second étage ne fonctionne pas à la suite d'une défaillance du pilote automatique. La sonde retombe dans l'Atlantique à 260 km de Porto Rico. Elle devait photographier une grande partie de la planète Mars.
		10 mai 1971	Kosmos 419	URSS	Echec (incapacité à quitter l'orbite terrestre, rentrée atmosphérique le 10 mai).
		19 mai 1971	Mars 2	URSS	Succès (mise en orbite martienne le 27 novembre 1971). Cependant l'atterrissage du lander est un échec et l'engin s'écrase dans Hellespontus (44°S, 313°W) à cause d'une panne des rétrofusées. Le

Annexes

28 mai 1971	Mars 3	URSS	<p>premier artefact humain est sur Mars ! L'orbiter continuera à retourner des données jusqu'en 1972.</p> <p>Demi succès (mise en orbite martienne le 1er décembre 1971). L'atterrissage, qui a lieu le 2 décembre 1971, est un succès et c'est la première fois qu'un engin atterri sain et sauf à la surface de Mars. Le module s'est posé dans Sirenum Terra, à côté des cratères Electris et Paethontis (45° S, 158° W). Mais cet heureux événement est bien vite gâché par la perte des communication avec le lander, 20 secondes après son arrivée sur mars. Aucune image ne sera transmise. L'orbiter fonctionnera jusqu'en 1972 de surface et de la composition atmosphérique.</p>
30 mai 1971	Mariner 9	USA	<p>Succès (mise en orbite le 14 novembre 1971). C'est la première mise en orbite autour d'une autre planète pour les américains ! Pendant deux mois, la sonde étudiera les satellites Phobos et Deimos en attendant qu'une tempête de poussière s'apaise. Elle réalisera ensuite une carte topographique et effectuera des mesures de température. Elle récoltera 7232 images, la plupart en couleurs (résolution de 1 à 2 km/pixel, 2 % des images avec une résolution de 100 à 300 mètres/pixel). Premières vues d'Olympus Mons, de Valles Marineris, des vallées fluviales, des lunes de Mars.</p>
21 juillet 1973	Mars 4	URSS	<p>Echec. La mise en orbite martienne échoue le 10 février 1974 et la sonde passe à 2200 km de Mars. Elle retourne quand même quelques années et une douzaine d'images.</p>

78	Projet d'une base habitée sur la planète Mars	25 juillet 1973	Mars 5	URSS	Succès (mise en orbite le 12 février 1974). Acquisitions de données pour les missions Mars 6 et Mars 7 (110 images). La sonde fonctionne pendant 20 orbites et transmet des informations pendant 10 jours.
	Annexes				
		5 août 1973	Mars 6	URSS	Echec. L'orbiter arrive sur Mars le 12 mars 1974 et libère le lander. Celui-ci retourne des données atmosphériques pendant sa descente, puis c'est la perte de communication juste avant l'atterrissage (celui-ci devait avoir lieu dans Margaritifer Terra, à 24° S, 25° W). L'orbiter passe à 1600 km de la planète rouge et se place sur orbite solaire. Fausse estimation (15 à 30 %) de la teneur en Argon de l'atmosphère martienne (en fait, 1,6 %).
		9 août 1973	Mars 7	URSS	Echec. Le module de descente rate Mars le 9 mars 1974. L'orbiter passe à 1300 km de Mars et se place sur orbite solaire.
		20 août 1975	Viking 1	USA	Succès (mise en orbite le 19 juin 1976, atterrissage le 20 juillet 1976 sur Chryse Planitia). Carte des températures, mesure de la quantité d'eau dans l'atmosphère, mesure des propriétés de la surface de Mars. Plus de 30 000 images, la plupart en couleurs. Résolution de 300 mètres/pixel, 25 mètres/pixel pour certaines images. Recherche d'une éventuelle vie martienne et mesures météorologiques.
	9 septembre 1975	Viking 2	USA	Succès (mise en orbite le 7 août 1976, atterrissage le 3 septembre 1976 sur Utopia Planitia). Plus de 20 000 images. Résolution de 300 mètres/pixel, 25 mètres/pixel pour certaines images. Recherche d'une éventuelle vie martienne et mesures	

Annexes

7 juillet 1988 m	Phobos 1	URSS	météorologiques pour le lander. Echec (perte de contact le 31 août 1988 après une erreur humaine).
12 juillet 1988	Phobos 2	URSS	Demi Echec (mise en orbite le 29 janvier 1989, perte de contact le 27 mars 1989 à 800 km de Phobos).
25 septembre 1992	Mars Observer	USA	Echec (perte de contact le 21 août 1993, juste avant l'insertion en orbite).
7 novembre 1996	Mars Global Surveyor	USA	Mission en cours (mise en orbite le 12 septembre 1997, un problème lors du freinage atmosphérique a cependant retardé la phase de cartographie d'un an).
16 novembre 1996	Mars 96	Russie	Echec en orbite terrestre, rentrée dans l'atmosphère terrestre le 18 novembre 1996.
2 décembre 1996	Mars Pathfinder	USA	Succès (atterrissage le 4 juillet 1997 dans Ares Vallis). Validations technologiques, photographies de la surface martienne, mesure de la composition élémentaire des roches et du sol, mesures météorologiques. Fin de la mission le 27 septembre 1997, après 83 jours de fonctionnement.
4 juillet 1998	Nozomi(Planet B)	Japon	Mission en cours.
11 décembre 1998	Mars Climate Orbiter (Mars Surveyor 98)	USA	Mission en cours.
3 janvier 1999	Mars PolarLander (Mars Surveyor 98)	USA	Mission en cours.