

Pour paraphraser le groupe IAM, je vous propose un voyage vers la planète Mars...

Un voyage dans l'espace : plus de 300 millions de km à parcourir ;

Un voyage dans le temps : les plus optimistes parlent de 2018, les plus pessimistes de 2050...

L'idée de ce projet est venue en regardant les projets martiens publiés par les agences spatiales à l'heure actuelle : des espaces clos, confinés, claustrophobiques...

Je me suis alors posé la question sur les possibilités d'intervention d'un architecte sur ce genre de programme.

Un voyage vers Mars, c'est 6 mois à l'aller^[1] et au retour, et un an et demi sur place. Six personnes vont être « condamnés » à vivre ensemble dans un volume de 60 m³.

Pourquoi Mars par rapport aux autres lieux dans l'espace (la Lune, l'orbite terrestre) ?

- La notion de temps : deux ans et demi.
- L'éloignement : obligation d'autonomie
- La gravité (de l'ordre du tiers de celle de la Terre) : l'eau coule, lits, fauteuils, échelles, ...
- Une atmosphère : extraction d'oxygène, d'eau in situ.
- Cycle jour/nuit, saisons

Mars sera très agréable à vivre, hormis :

- Une température moyenne de -70°C
- Une atmosphère composée à 95% de CO_2
- Une pression atmosphérique moyenne de 7 mbars (1030 sur Terre)
- Un taux de radiations élevé

Cet environnement est mortel. Il impose donc un ensemble de systèmes particuliers pour permettre à des humains de vivre sur place.

C'est un premier point important qui doit être développé : Quelles sont les particularités d'un habitat martien ?

Mais au-delà de la simple survie physiologique, il s'agit d'assurer la santé psychologique de l'équipage qui vivra dans un espace protecteur, certes, mais réduit et coupé de la Terre. Ainsi, une mission de plusieurs milliards de dollars serait compromises parce que les hommes ne sont pas des machines, et s'ils vivent mal, leur travail s'en ressentirait. C'est le deuxième point du projet qui est de trouver des solutions architecturales pour le confort de vie.

N'ayant pas de connaissances particulières en astronautique, j'ai pris la *Reference Mission* comme base de travail, tout en apportant certaines modifications et suggestions.

De toute façon, la forme et les dimensions du Module sont imposées par la capacité d'emport des lanceurs spatiaux.

Ainsi, après un voyage de plusieurs semaines en microgravité, un équipage humain pose le pied sur Mars.

J'ai choisi le site de *Maja Vallis* pour l'installation de l'Avant-Poste, parce qu'il a été avancé pour missions futures pour des sondes automatiques par la NASA. Ce site a l'avantage d'être proche de l'équateur (19°N), et se trouve sur le rivage de l'ancien océan, avec des traces de chenaux qui augurent de présence d'eau ou d'anciennes traces de vie.

Les premiers jours seront consacrés aux vérifications et aux « retrouvailles » avec la gravité :

Il n'y a plus besoin de repère sol/plafond, mais les lits, par exemple redeviennent horizontaux, les passages d'un niveau à l'autre ne peut plus se faire en flottant, on ne plus utiliser les plafond comme en microgravité, ...

Il faut plus d'espace.

Je propose alors un Habitat, dont le volume intérieur peut être augmenté grâce à une STRUCTURE GONFLABLE intégrée dans la coque qui double le volume.

Les avantages sont d'avoir un volume augmenté sans rajouter de poids au lancement, et une solidité accrue. En effet, les habitats spatiaux sont en surpression par rapport à leur environnement, et lorsque un module métallique et rigide reçoit une micro-météorite, il peut exploser au niveau de l'impact. Une structure gonflable, par contre, peut grâce à son élasticité absorber une partie de l'énergie cinétique du projectile.

La coque est divisée en quatre panneaux qui se sépare par un systèmes de vérins hydrauliques, et peuvent se replier de même, et sont reliés ensemble par un membrane gonflable qui assure l'étanchéité de l'Habitat.

Aucune autre contrainte que celle de la surpression ne doit s'exercer sur cette membrane, et les pannes repliables qui servent à soutenir le plancher rajouté sont en porte-à-faux, et les cloisons s'accrochent à la coque.

Cette structure peut d'ailleurs être repliée dans sa position initiale au moment du départ, afin de protéger les membranes gonflables des agressions extérieures; les équipages suivant pourront à leur tour regonfler l'Habitat et réaménager l'intérieur.

Tout le projet se base sur des technologies existantes^[2] et la membrane gonflable employée dans le projet du *TransHab* a été testée grandeur nature avec succès.

Pendant les premiers, les astronautes vont s'atteler à la construction de l'Avant-Poste, at au déménagement à l'intérieur de la base. Le fait de réfléchir sur ses besoins et d'intervenir sur sa façon d'habiter est porteur de liberté et à la base du mécanisme d'appropriation.

Un des premiers points de l'architecture spatial, c'est la notion de **recyclage**, lié à l'économie de poids, donc de coût... Le matériel envoyé dans l'espace est compté (d'où l'utilité de nombreux rangements car rien n'est jeté, tout est récupéré)

Par exemple, les couchettes dans lesquelles l'équipage va subir la décélération du vaisseau lors de son aérocapture, pourront être réemployés pour le sommeil dans la base.

D'autre part, la structure qui sert à absorber les forces qui s'exercent sur l'Habitat (60 tonnes) alors de son atterrissage pourront resservir pour la structure de contreventement de la serre.

Cette notion est dû à la distance « astronomique » avec la Terre et aux problèmes de transport qui en découlent pour ravitailler la station.

L'équipage doit donc vivre en autonomie complète et faire avec ce qu'ils ont emporté ou avec ce qu'ils trouvent sur place.

- La serre hydroponique pour la nourriture végétalienne, peut-être peut on aussi faire de la pisciculture à petite échelle.
- Est-il possible de faire du ciment martien ? le régolithe martienne se comporte comme un super-oxydant à l'instar de la chaux vive. Est-il raisonnable d'en répandre sur le sol de la serre (un fois neutralisé par de l'eau) sachant que le régolithe est fait de micro-poussière si fine qu'elle peut pénétrer dans les pores de la peau et engendre des picotements désagréables, voire des embolies pulmonaires. D'autre part, est-il possible de fabriquer des briques par polymérisation grâce au soufre contenu dans ce régolithe.

En tout cas, la serre est une parfaite illustration de la notion de recyclage, car on y recycle une partie des eaux grises et du CO₂.

L'Habitat se présente comme une boîte étanche qui doit conserver l'air et la température nécessaires à la vie de l'équipage. C'est la raison pour laquelle les missions spatiales habitées sont plus chères, car cet équipement de survie qui doit être amené dans l'espace n'apporte rien aux expériences qui doivent y être menées. Cet équipement qui s'appelle l'**ECLSS** est particulier aux modules spatiaux habités, mais on le retrouve aussi à bord des sous-marins.

se compose du contrôle de l'air, du contrôle thermique, du système d'eau et de la gestion des déchets. Avec ces éléments, intervient la notion très importante pour la conception

spatiale de **redondance**. En effet, afin de pallier à tout problème technique, l'ECLSS est composé d'équipements en double.

Les éléments de L'ECLSS sont regroupés dans une zone technique bruyante (65 dB) éloignée des zones de vie, et surtout, ils sont situés dans un **refuge** pour être accessibles en cas d'accident grave.

Dans l'espace la **sécurité** est une obsession. Les dangers les plus graves sont le feu et la dépressurisation (*Mir* en 1997). Les équipements de sécurité doivent être à portée immédiate de chacun : bouteille anti-incendie, masques à oxygène ; mais aussi des portes étanches en ce qui concerne le refuge, des interphones, des alarmes, des veilleuses, et pas de cul-de-sac.

Le refuge, qui fait 3 mètres de diamètre, sert au départ d'articulation de l'Habitat avec des circulations verticales, et à l'atterrissage, il absorbe une partie des contraintes (les autres étant réparties dans les colonnes – dans lesquelles passent aussi les fluides, l'eau, la ventilation – et dans la grille externe démontable.

Aucune contrainte ne doit s'exercer sur la coque qui est en fait composé de quatre panneaux séparés.

Pour en revenir au puits central, l'épaisseur de sa structure peut en faire un abri efficace où l'équipage viendra se protéger des radiations en cas de tempête solaire. Sur une épaisseur de 20 cm, il y a deux parois en acier de 5 cm d'épaisseur avec entre elles un espace vide occupé par de l'eau. les parois en acier sont rigidifiées par des éléments structurels radiants.

Si le puits est une bonne articulation entre les différents niveaux en impesanteur, sur Mars, il faut qu'il y ait une échelle. Mais passer d'un niveau à l'autre plusieurs fois par jours au moyen d'une échelle devient vite invivable : pour cela, il faut prévoir des escaliers.

En plus du confort offert par l'escalier, il donne plus de profondeur à l'espace intérieur grâce aux jours entre les niveaux par lesquels passent le regard pour permettre de faire oublier l'exiguïté du module.

Pour "faire le grand dans le petit", les prises de vue diagonales étirent les dimensions, les plateaux décalés des murs laissent filer des plans verticaux, des jours latéraux sont découpés dans les interstices, ...

Si dans l'espace chaque cm² doit être rentabilisé, certains dispositifs architecturaux qui laissent des surfaces non définies en terme d'occupation précise peuvent aider à une meilleure qualité de vie.

Pour les astronautes, la journée commence vers 7h⁰⁰, heure du lever. Ils se réunissent

dans leur carré autour d'une table où ils prennent leur petit déjeuner en commun. L'un d'entre eux qui était de quart cette nuit ira se coucher peu après. Les autres prennent connaissance du programme de la journée préparé par les contrôleurs au sol.

A cause du différé de 8 à 22 minutes entre Mars et la Terre, il s'agira d'un message vidéo avec un listing d'instructions et de suggestion, auxquelles ils apporteront leurs remarques et leurs observations au moyen d'une autre vidéo : les communications seront de type épistolaire. Cela signifie aussi qu'en cas d'urgence, ils devront se débrouiller seuls.

Chacun vaque ensuite à ses occupations. Un ou deux iront faire de l'entraînement. En effet, en gravité réduite, on observe une perte de la masse osseuse et musculaire, entre autres effets négatifs sur l'organisme : chaque astronaute a alors l'obligation d'exercer deux heures d'entraînement quotidien avec le vélo ergomètre, le tapis roulant, ou les extenseurs – en même temps ils peuvent participer à leur suivi biomédical avec des appareils de mesure CheCS (Crew Health Care Survey). Un des membres de l'équipage sera obligatoirement médecin et psychologue.

Certains iront dans les laboratoires, soit pour effectuer des tâches précises assignées par les contrôleurs au sol, soit pour relever des mesures et des expériences...

Les expériences sont exécutées dans des casiers standards interchangeable, les racks, qui accueillent les différentes expériences : four à métaux, boîte étanche pour expériences biologiques, casier à température contrôlée, etc. La serre est elle aussi un espace d'expériences botaniques.

Un astronaute assurera la maintenance à l'intérieur de l'Habitat, de tous les équipements, des parois, ... Il effectuera aussi des tâches domestiques telles que le ménage.

D'autres effectueront une EVA. L'EVA est une procédure particulière et très contrôlée. Pour ne pas ressembler à des bibendums à l'extérieur de la base, les astronautes doivent abaisser la pression à l'intérieur de leur scaphandre; ils passent de 500 mb (5.000 m. d'altitude sur Terre) à 250 mb. Cette phase impose un temps de dénitrogénisation assez long – à l'instar des palliers de décompression des plongeurs. Pour cette raison, et par sécurité, les EVA se font toujours par deux dans le cas d'un malaise pour l'un des astronautes. Le passage environnement interne / environnement externe se fait par un **sas de dépressurisation**.

En EVA, les astronautes peuvent partir en exploration avec le rover, assurer la maintenance extérieure, faire des relevés météo, ...

Les EVA durent en général 6 à 8 heures. Elles sont très éprouvantes : les mouvements sont difficiles, l'astronaute transpire à l'intérieur de sa combinaison, ... au retour à l'intérieur de la station, il aspire à une bonne douche et au repos.

Si chacun prend son repas de la journée à l'heure qu'il lui convient, le repas du soir se fera en commun. Ce sera l'occasion de discussion, de bons repas, d'événements à célébrer... Les membres de l'équipage auront ensuite le loisir de se retirer dans leur cabine individuelle pour lire ou visionner une vidéo de leur famille (un contact toutes les deux semaines), ou ils pourront rester dans la zone commune pour regarder un film ou un

match de sport.

A propos du sport, le sport pratiqué en équipe permet de souder le groupe. Le peu d'espace permet tout au plus le badminton, le ping-pong, le squash ou le street-ball ! A l'extérieur, on peut envisager le golf (comme sur la Lune lors de la mission *Apollo 15*). Néanmoins, la gravité procure cet avantage de pouvoir pratiquer un sport dont il faut tirer avantage.

Les raisons qui m'ont amenées à ce projet tiennent dans ce que les stations spatiales actuelles sont mal conçues pour accueillir des passagers pendant un temps assez long. L'astronaute Shannon Lucid s'était plainte, lors de séjour à bord de *Mir*, que les repas se prenaient au même endroit que dans la zone d'entraînement : résultat, lorsqu'elle mangeait, il y avait des gouttes de sueur qui flottaient autour d'elle.

D'ailleurs, le premier à avoir proposé un hublot pour améliorer le bien-être dans l'espace est Raymond Loewy, quand il avait été chargé du design intérieur de *Skylab*. Ils s'était durement opposé aux ingénieurs d'alors, pour qui, et à juste titre, le hublot fragilisait la coque. Alors qu'aujourd'hui on sait que le loisir préféré des astronautes en orbite terrestre est de regarder à travers le hublot. Sur Mars, un hublot de 1 mètre de diamètre serait prévu, afin de surveiller les sorties du sas pour les EVA, et pour profiter aussi du paysage martien.

Bien que les contraintes qui existent dans l'espace soient les plus draconiennes du "monde technologique", je suis certain qu'en tant qu'architecte, je peux concevoir des solutions simples et peu coûteuses pour améliorer le cadre de vie, et qui ne font pas appel non plus à des technologies les plus à la "pointe". Il y a une anecdote à ce propos : pour concevoir un stylo encre qui fonctionne en impesanteur, les Américains ont dépensé des millions de dollars ; les Russes ont quant à eux donné à leurs cosmonautes des crayons mine.

Sur Mars, la notion de bien-être est reliée à la notion d'environnement terrestre, dont les astronautes se sentent coupés.

Des sons peuvent être diffusés dans les espaces : musique, chants d'oiseaux. la climatisation peut simuler le vent et diffuser des odeurs. La polychromie des espaces contribue à lutter contre l'hypostimulation. Limiter les cloisons empêche aussi de trop s'isoler.

Si la serre avec ses plantes et son odeur de terre peut simuler l'environnement terrestre, il faut savoir que c'est loin d'être totalement le cas : les serres ont une atmosphère saturée en humidité et chaude qui ne les rendent pas spécialement habitables. Néanmoins, un sauna y trouverait sa place.

En plus du stress, l'équipage subira le DAS (Désordre Affectif Saisonnier), très connu par les pays qui sont proches du cercle polaire. Il est dû à la baisse de l'apport de lumière solaire.

Des séances d'UV dans une pièce spéciale peuvent y remédier.

Plus haut, j'ai abordé brièvement la pisciculture, dans un but alimentaire. Toutefois, il est reconnu que la compagnie d'animaux domestiques permettait de diminuer le stress. Les astronautes pourraient avoir dans la zone commune un aquarium avec quelques poissons – en même temps, ils serviraient d'indicateurs à la qualité de l'eau. Le jardinage est aussi une activité apaisante.

Sans revenir sur la nécessité des cabines individuelles, on peut noter que les cloisons seront amovibles, afin de réunir deux chambres pour un couple. Les expériences d'isolement ont montré que la mixité des équipages participait grandement à la diminution des conflits.

La **flexibilité** des espaces intérieurs est d'ailleurs un point essentiel pour le cadre de vie. La base accueillera des équipages qui viendront par roulement. Certains modifieront l'agencement des laboratoires pour y installer le matériel récent. D'autres décideront peut-être de supprimer les cabines individuelles (cela s'est vu chez les Russes).

Si jamais des hommes posaient un jour le pied sur Mars, la réussite de leur travail, c'est à leur bien-être qu'il le devront.

Certes, l'homme n'est pas fait pour vivre dans l'espace, mais cela ne signifie pas qu'il ne doit pas y aller.

[1] D'ici 20 ans, la technologie pourrait réduire de temps de manière conséquente.

[2] Hormis la propulsion nucléaire du vaisseau et l'alimentation électrique de la base par une mini-centrale nucléaire qui ne sont pas à l'heure actuelle complètement maîtrisées, mais qui interviennent de façon secondaire dans le projet.