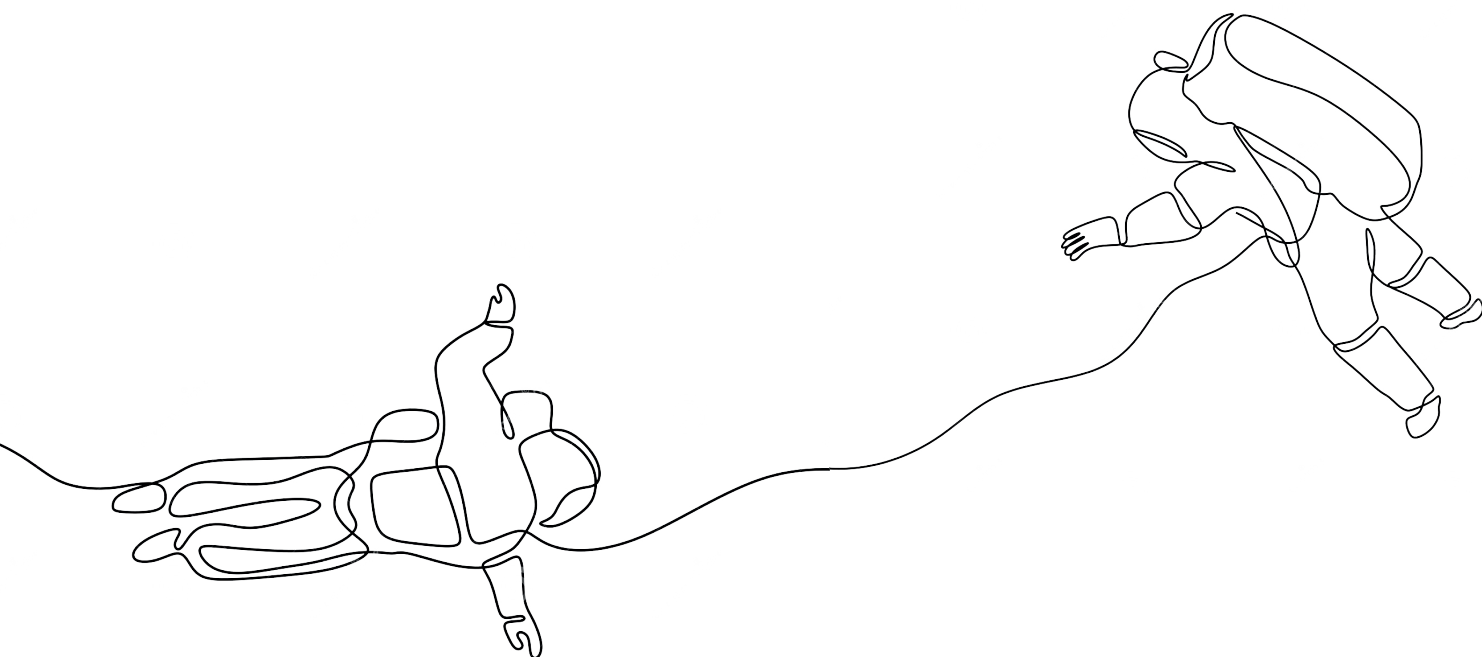


CONQUÊTE SPATIALE ET ARCHITECTURE : LE CORPS LE GRAND OUBLIÉ





Strasbourg,
école d'architecture

CONQUÊTE SPATIALE ET ARCHITECTURE : LE CORPS LE GRAND OUBLIÉ

Mémoire de master en architecture

RÉALISÉ PAR : Elise BOLLE

ATELIER : De l'architecture comme système de relation
Pascale MARION - Danielle MARTIN

DIRECTRICE DE MÉMOIRE : Danielle MARTIN

ANNÉE : 2021

ETABLISSEMENT : École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg

Qui sommes-nous ? Où vivons-nous ? Où allons-nous ? De nos jours, nous nous posons une multitude de questions afin de comprendre l'univers dans lequel nous vivons, en voyageant sur le plus beau des vaisseaux : la Terre. Afin de répondre à ces questions et combler les désirs de conquête de l'Homme, la recherche spatiale est depuis les années 1950 un domaine en éclosion. La conquête spatiale n'en est qu'à son balbutiement tant les possibilités sont multiples et les mystères de l'Univers infinis. Vivre dans l'Espace est une expérience déroutante et éprouvante que peu de personne¹ ont eu l'opportunité d'expérimenter, selon l'astronaute Jessica Meir : « c'est assez surréaliste de voir ce qu'il se passe sur la planète en dessous de nous² ».

De nombreuses expériences simulant une vie sur une autre planète se développent depuis une vingtaine d'années, alimentées par des envies de colonisations spatiales. Ces expériences en milieu extrême ont pour objectif d'assouvir le doux rêve de coloniser dans les prochaines décennies, la Lune et notre plus proche voisine : la planète Mars. Comme le déclare Constantin Tsiolkovski, « la Terre est le berceau de l'humanité, mais l'homme ne peut vivre éternellement dans un berceau »³.

Grâce à mon parcours en architecture, domaine qui n'a de cesse d'allier créativité, rêve et technicité, j'ai pu enrichir ma vision du monde dans lequel nous vivons. L'architecture étant un domaine généraliste puisant ses ressources et son imaginaire dans des disciplines aussi bien voisines que complémentaires, le choix de ce thème d'étude autour des architectures en milieu extrême était pour moi une évidence. Etant intéressée depuis toujours par la recherche spatiale, ce mémoire a été un moyen pour moi de réunir deux centres d'intérêts, à savoir l'architecture et l'Espace.

¹ Actuellement on recense un peu plus de 500 personnes dont 50 femmes qui ont bénéficié de cette opportunité

² Interview de l'astronaute américaine Jessica Meir, publié le 10 avril 2020 par le Figaro avec AFP

³ Villain (Jacques), *Irons-nous vraiment un jour sur Mars ?*, Vuibert, 2011, p.91
Déclaration de Constantin Edouardovitch Tsiolkovski en 1911

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier ma directrice de mémoire, Danielle Martin et Pascale Marion, toutes deux enseignantes à l'ENSA Strasbourg pour leurs conseils bienveillants et instructifs, leur disponibilité mais aussi pour leur soutien tout au long de ce mémoire.

Ce mémoire a également été nourri par la précieuse aide fournie par les intervenants du réseau scientifique *ARCHES* et en particulier Emmanuel Dufrasnes, enseignant chercheur responsable du réseau.

J'aimerais aussi remercier Michal Krzysztofowicz, Paul Sokoloff et Eva Wu, trois professionnels ayant expérimenté la vie dans des conditions extrêmes qui ont accepté de répondre à mes interrogations, leur aide s'est avérée être une source d'information inestimable pour ce mémoire.

Je souhaiterais également gratifier de manière plus générale le soutien, l'écoute et la bienveillance de mes proches durant l'élaboration de ce mémoire.

Sommaire

INTRODUCTION	9
1. Des grandes découvertes à la conquête spatiale	15
1.1 Visionnaires, aventuriers et précurseurs : aux prémices de l'aventure spatiale	17
1.1.1 L'exploration et expédition : un besoin humain	17
1.1.2 Les grandes découvertes et les hommes visionnaires	18
1.2. L'Homme dans l'Espace : une épopée inédite pour la pensée architecturale	20
1.2.1 Guerre Froide : la course à la conquête spatiale	20
1.2.2 L'aventure du XX ^e siècle : 21 juillet 1969, la mission Apollo 11	22
1.2.3 Bien-être et confort : une prise de conscience	24
1.3. La conquête spatiale : une nouvelle ère pour les concepteurs et architectes	26
1.3.1 Galina Balashova, première architecte spatiale pour le programme soviétique	26
1.3.2 Raymond Loewy, designer de la station Skylab	30
1.4 Frise chronologique : l'évolution de la conquête spatiale	33
2. Le corps contraint, vivre en confinement et en isolement	37
2.1. Corps contraint, confinement, isolement : des notions à appréhender sur Terre et dans l'Espace	39
2.1.1 Définition : corps contraint	39
2.1.2 Définition : confinement et isolement	40
2.1.3 Vie privée - en communauté, confort - technologie : quel équilibre ?	41
2.2 Les conséquences du corps contraint sur Terre et dans l'Espace	42
2.2.1 2020 : l'expérience mondiale du confinement	42

2.2.2 Les besoins humains, principaux obstacles à la conquête spatiale ?	44
2.2.3 Rythme de vie et rythme circadien : comparaison Terre - Espace	47
2.3. Corps contraints : les impacts physiologiques et psychologiques d'une longue période dans l'Espace	52
2.3.1 Les travaux de la NASA	52
2.3.2 Les travaux scientifiques : un début de réponse ?	54
2.3.3 Le « second corps » : le scaphandre	55
2.3.4 L'architecture : à l'écoute des besoins humains	57
3. Architecture en milieux extrêmes : études de cas	59
3.1.Découvrir la Terre depuis l'Espace : les stations spatiales	61
3.1.1 Les stations Soyouz	62
3.1.2 Programme Saliout	66
3.1.3 Station Skylab	70
3.1.4 Station Mir	74
3.1.5 Station Spatiale Internationale (ISS)	78
3.1.5 Architecture spatiale : la référence du corps	83
3.2 Habiter sur une autre planète grâce aux simulations : les stations terrestres	84
3.2.1 Station Concordia	86
3.2.2 Station Halley VI	90
3.2.3 Flashline Mars Arctic Research Station (FMARS)	96
3.2.4 Mars Desert Research Station (MDRS)	98
3.2.5 Hawaï Space Exploration Analog and Simulation (HI-SEAS)	100
3.2.6 Comparaison graphique des stations terrestres	102
3.3. De l'œuf au cercle, de l'Homme fœtal à l'Homme debout	104
3.3.1 Le plan circulaire: une forme géométrique aux multiples avantages	104
3.3.2 FMARS, MDRS, HI-SEAS : des stations terrestres aux formes circulaires	105

4. Le bien-être spatial, un nouvel enjeu architectural	109
4.1. Méthodes	111
4.2. Entretiens	112
4.2.1 Les facteurs qui influencent le confort : témoignages de trois scientifiques	112
4.2.2 Tableau de comparaison des entretiens	114
4.3. Observations	115
4.3.1 Stations terrestres et spatiales : en quête de bien-être ?	115
4.3.2 Stations terrestres entre expérience et bien-être	116
4.3.2 Stations spatiales entre technique et bien-être	117
4.4. Un regard sur l'avenir	118
CONCLUSION	121
ANNEXES	126
BIBLIOGRAPHIE	144
TABLE DES ILLUSTRATIONS	153
MOTS CLÉS	159

INTRODUCTION

Afin de mieux comprendre les évolutions et les enjeux du métier d'architecte dans les années à venir, il est important d'élargir ses horizons en appréhendant d'autres domaines en cours d'évolution. L'architecture, en tant que pratique, est une discipline qui traverse les temps et les cultures, elle est à la fois novatrice et prospective. Il s'agit également d'une discipline transdisciplinaire qui puise dans de multiples domaines pour s'enrichir et y trouver imaginaires et connaissances. Depuis les années 1950, la recherche spatiale est un domaine en plein essor. Les agences spatiales consacrent un effort important à envoyer des Hommes dans l'Espace en vue de poursuivre notre quête de savoir. Cependant, dans cette frénésie collective de conquêtes et de concurrences internationales, une donnée fondamentale a été oubliée : le corps, et plus particulièrement la notion de « corps contraint » dans ces milieux confinés et isolés que constituent les stations en milieu extrême.

Il est vrai que si nous regardons la discipline spatiale d'un point de vue uniquement technique, la place de l'architecte s'en verra réduite. Or, les engins spatiaux proposent généralement des espaces seulement pensés au niveau technique, le confort y est secondaire. Les hommes et femmes qui doivent y vivre ont donc leur corps contraints tant physiquement que psychologiquement. Ainsi, l'architecte est un protagoniste essentiel et fondamental dans le domaine du spatial afin de proposer des espaces de vie adaptés aux astronautes. Presque soixante-dix ans après le début des premiers exploits spatiaux, les nouveaux programmes sollicitent les architectes afin de penser les manières d'habiter et d'appréhender l'espace. De plus, ces nouvelles réflexions inspirent les architectes qui développent de nouvelles ambitions pour l'architecture terrestre. Les désirs de conquête de l'Homme poussent l'humanité à développer des nouvelles perspectives, comme le dit Ruth Slavid : « que l'on soit séduit ou irrité par l'idée de coloniser l'espace, on ne peut nier que cette perspective offre aux architectes une occasion inédite de créer des environnements d'une importance capitale pour leurs habitants »⁴.

Au vu de l'étendue de ces questionnements et des besoins de repenser l'habitat mais aussi le bien-être et le confort dans ces milieux extrêmes, la problématique suivante vient à émerger :

⁴ Slavid (Ruth), *Architecture des limites : construire en milieu hostile, du dessert au vide interplanétaire*, chapitre 5 : Espace, Seuil, 2009, p. 183

En quoi l'étude de l'habiter dans des architectures extrêmes sur Terre et dans l'Espace permet-elle de mieux envisager la conquête spatiale ? Quels facteurs doivent être pris en compte pour configurer des espaces de vie dédiés au bien-être de l'Homme sur Terre et dans l'Espace et surmonter les difficultés liées au confinement et à l'isolement ?

Dans un premier temps, il est primordial de définir quelques mots-clés essentiels à la compréhension de la thématique abordée. Nous traiterons comme extrêmes les environnements présentant des conditions éprouvantes et dangereuses où le climat est hostile avec des températures très élevées ou très basses. L'être humain ne peut donc pas survivre dans de telles conditions sans un habitat adéquat. Au travers de ma formation en architecture, l'importance de la notion « d'habiter » est capitale. Dans cet univers si technique et contrôlé, la seule place de « l'habiter » devient finalement ce corps contraint, « l'habiter » prend alors une toute autre échelle : celle du corps. Thierry Paquot dans son livre, *Habiter, le propre de l'humain*, questionne cette notion : « habiter n'est pas simple. Il n'existe pas de recette pour « bien » habiter »⁵, « ces informations diverses et fragmentaires montrent à quel point le verbe « habiter » est riche, que son sens ne peut se limiter à l'action d'être logé, mais déborde de tous les côtés et l'« habitation » et l'« être », au point où l'on ne puisse penser l'un sans l'autre... »⁶. Dans cet univers si technique des stations en milieu extrême, où le corps devient presque technologique à son tour, quelle est la place du bien-être ? Pouvons-nous pleinement parler de bien-être alors que les astronautes sont contraints dans leurs mouvements, loin de leur proche, dans un environnement très technologique ? Dans le cadre du mémoire, nous utiliserons la notion de bien-être au sens des besoins. Le bien-être dans les stations n'est-il pas tout simplement, respirer, manger, avoir des lieux d'intimité et pouvoir vivre dans un environnement le plus agréable possible en conciliant technologie et architecture ?

Ce mémoire propose d'étudier, en accord avec une démarche prospective, la qualité architecturale des stations choisies en milieu extrême, au travers de la notion de confort et de bien-être mais également auprès de questionnement autour du corps contraint et des conséquences d'un tel isolement sur le corps humain. Il a donc pour finalité de servir d'aperçu pour les architectes sur le sujet des architectures en milieu extrême mais aussi de comprendre les défis et contraintes à poursuivre dans les prochaines décennies.

⁵ Paquot (Thierry), *Habiter, le propre de l'humain : Villes, territoires et philosophie*, 2007, Introduction, p.15

⁶ Paquot (Thierry), *Habiter, le propre de l'humain : Villes, territoires et philosophie*, 2007, Introduction, p.11

Dans ce contexte, nous nous intéresserons en premier temps aux prémices de la conquête spatiale et aux raisons qui poussent l'humanité à ce besoin de savoirs et d'explorations. Nous irons à la découverte d'architectes précurseurs dans ce domaine afin de mieux envisager en quoi leurs démarches ont été le point de départ d'une nouvelle discipline : l'architecture spatiale. En deuxième lieu, nous allons nous intéresser aux notions de confinement et d'isolement sur Terre et dans l'Espace afin de comprendre les impacts psychologiques et physiologiques d'une telle expérience sur le corps humain. L'ensemble de ces données en plus de la compréhension des rythmes de vie et des besoins humains nous permettra d'étoffer notre analyse et de mieux comprendre comment envisager la conquête spatiale. Puis dans le dessein d'illustrer ces recherches, le mémoire s'intéressera à des exemples concrets d'habitats érigés en milieu extrême. Nous commencerons notre panorama par les stations spatiales en orbite autour de la Terre, puis nous poursuivrons par les habitats dans des milieux analogues aux conditions trouvées sur d'autres planètes voisines telle que Mars. Enfin, la dernière partie sera consacrée à la comparaison, à l'observation et à l'analyse du corpus afin de déterminer les facteurs significatifs nécessaire au bien-être de l'Homme dans les stations spatiales et terrestres de demain. Pour cela nous partirons à la rencontre de trois professionnels ayant vécu dans des stations en milieu extrême.



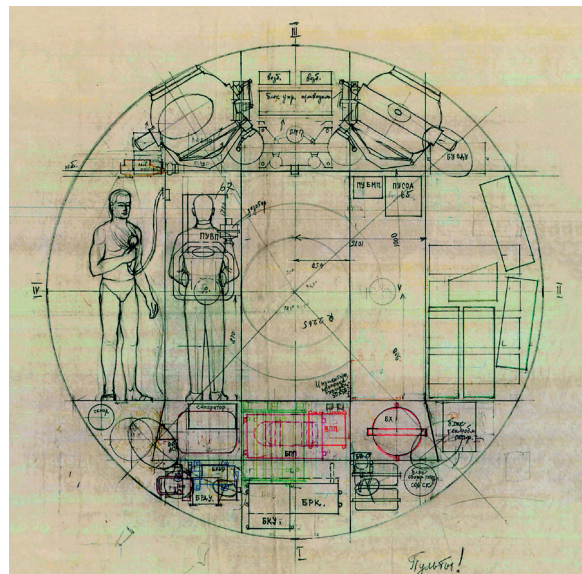
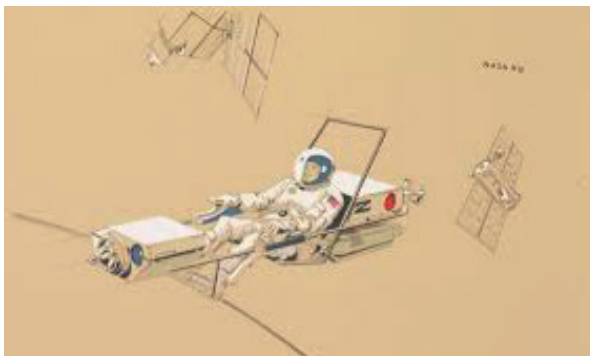
1. La Terre depuis l'Espace

Le mot « espace » entretient plusieurs significations, ainsi afin d'éviter toute confusion dans ce mémoire, nous nous substituerons exceptionnellement à la grammaire française en écrivant « espace » avec un E majuscule lorsque ce dernier signifie un « milieu situé au-delà de l'atmosphère terrestre et dans lequel évoluent les corps célestes »⁷.

⁷ Dictionnaire Larousse, définition espace, [consulté le 1 novembre 2020], disponible en ligne : www.larousse.fr/dictionnaires/francais/espace/31013

Cette page est laissée blanche intentionnellement

01



DES GRANDES DÉCOUVERTES À LA CONQUÊTE SPATIALE

1.1 VISIONNAIRES, AVENTURIERS ET PRÉCURSEURS : AUX PRÉMICES DE L'AVENTURE SPATIALE

1.1.1 L'exploration et expédition : un besoin humain

On peut imaginer que dès son origine, l'humanité a eu le besoin d'aventures et d'explorations, sans doute pour répondre aux multiples questions qui se bousculent alors dans son esprit. Ainsi, l'Homme préhistorique se demandait certainement ce qu'il se cachait derrière les montagnes, forêts et océans qui entouraient son lieu de vie. Des précurseurs et aventuriers ont entrepris de répondre à ces questions, laissant derrière eux leurs repères pour aller vivre dans des endroits reculés et poursuivre leurs goûts d'aventure et de nouveauté. Au fil des siècles, grâce à ces pionniers et aux nouvelles connaissances apportées, les femmes et les hommes ont pu en partie répondre à leur questionnement tout en améliorant leur savoir et mode de vie.

Durant la période des grandes découvertes⁸, les Européens amorcent des grandes campagnes d'explorations des terres et des mers non seulement pour établir des cartographies de la planète mais aussi pour assouvir leur besoin de conquête. Des contacts s'établissent également avec d'autres peuples et continents tels que : l'Afrique, l'Amérique, l'Asie et l'Océanie. À l'origine, les grandes découvertes avaient un intérêt économique et colonialiste, il s'agissait de dévoiler de nouvelles routes commerciales (route des épices, de la soie...). Cependant, la volonté de découvrir le monde était aussi stimulée par la curiosité scientifique et par tous les enjeux et craintes que pouvaient susciter ces nouveaux mondes. Lors de chaque nouvelle découverte, l'Homme n'a eu de cesse de s'adapter à ce nouveau milieu. Les colonisateurs ont dû repenser leur façon d'habiter ce lieu pour s'adapter aux conditions particulières de ce dernier et assurer leur survie. L'Homme s'est servi de son environnement comme protection en cherchant des abris isolés et en se regroupant pour assurer sa sécurité. Au fil du temps et de la sédentarisation, la qualité de vie augmentait, l'Homme cherchait à perfectionner son mode de vie et son habitat. Ce dernier a eu le souhait de vivre dans les conditions de vie les plus optimales possibles, en les améliorant de génération en génération. Cette priorité donnée au confort des habitats met en lumière un changement de priorité. Les durées d'installation dans ces milieux alors considérées comme extrêmes deviennent de plus en plus longues, c'est pourquoi les occupants offraient une attention particulière à leur confort.

⁸ Période historique qui s'étend du début du XV^e siècle jusqu'au début du XVII^e siècle

1.1.2 Les grandes découvertes et les hommes visionnaires

Les apports théoriques des philosophes grecs et les nombreuses découvertes scientifiques de la Renaissance bouleversent les normes historiques notamment la théorie de l'héliocentrisme⁹. Cette théorie physique présentée par Nicolas Copernic en 1543 bouleverse l'idée de la Terre au centre du monde : « la Terre tombe de son piédestal, devient une planète banale, perd sa centralité, (et) affranchit l'homme de sa tutelle divine »¹⁰. Encore une fois, l'esprit humain modifie sa manière de penser l'espace et la distance, comme le dit Maria Villela-Petit : « C'est alors que la Terre s'est vue destituée de son statut de *singulare tantum*¹¹ pour n'être plus qu'une planète parmi d'autres »¹².

Fin XVII^e et début XVIII^e siècle, Isaac Newton considéré comme l'un des scientifiques les plus influents, théorise les lois du mouvement et de la gravitation universelle. Au milieu du XIX^e siècle, les astronomes grâce aux découvertes des protagonistes clés de la révolution scientifique parviennent à une bonne compréhension du mouvement des planètes et du système solaire. En effet, les lois de Newton théorisées un siècle plus tôt interpellent les scientifiques sur la possibilité de propulser des objets à une grande vitesse afin d'échapper à la gravité terrestre. Ces connaissances capitales ont servi de fondations aux futures explorations spatiales.

Au fur et à mesure de l'accroissement des connaissances, les écrivains ont également commencé à rêver de voyage au delà du monde terrestre, « de tout temps, et partout, en effet, on s'est transporté en imagination ou en pensée en un ailleurs, c'est-à-dire ailleurs que sur la Terre »¹³. Jules Verne né à Amiens en 1828, est sans doute l'un de ces grands visionnaires. Selon la légende l'écrivain aurait affirmé : « Tout ce qu'un homme est capable d'imaginer, d'autres hommes sont capables de le réaliser ». Ces visions les plus folles pour l'époque comme aller sur la Lune, faire le tour du monde en quelques heures ou bien visiter les fonds marins se sont réalisées quelques centaines d'années plus tard. Dans le

⁹ Système astronomique d'après lequel on considère le Soleil comme le centre de l'Univers (astronomie ancienne) ou comme l'astre autour duquel s'effectue la rotation des planètes, [consulté le 7 avril 2020], disponible en ligne : www.larousse.fr/dictionnaires/francais/h%C3%A9liocentrisme/39362,

¹⁰ ROCHER (Yann), *Globes, Architecture et science explorent le monde*, Catalogue d'exposition, Cité de l'Architecture et du Patrimoine, Paris, 2017, p.10

¹¹ *singulare tantum* vient du latin qui signifie un nom qui n'existe qu'au singulier

¹² Extrait du livre, Paquot (Thierry), *Habiter, le propre de l'humain*, Villes, territoires et philosophie, 2007, Chapitre 1_Habiter la Terre, Maria Villela-Petit, p.23

¹³ Extrait du livre, Paquot (Thierry), *Habiter, le propre de l'humain*, Villes, territoires et philosophie, 2007, Chapitre 1_Habiter la Terre, Maria Villela-Petit, p.22

roman *Autour de la Lune* publié en 1869, Jules Verne dépeint ce que va réaliser la mission Apollo VIII, 98 ans plus tard, à savoir un survol de la face cachée de notre satellite. L'œuvre de Jules Verne a connu, et connaît toujours, un succès peu commun sans doute dû à la modernité étonnante de ces récits. Nombreux des grands pionniers de la recherche spatiale au XX^e siècle ont été fascinés par les romans de Jules Verne, Jean-Pierre Haigneré¹⁴ avait par exemple emporté avec lui *De la Terre à la Lune*, à bord de la station Mir en 1999. Konstantin Tsiolkovsky s'est également très largement inspiré des œuvres de Jules Verne. En effet, ce précurseur est considéré comme l'un des pères fondateurs de la fusée moderne. Il contribue grandement au succès du programme spatiale russe au début du XX^e siècle, apportant inspiration par la suite aux principaux ingénieurs des fusées soviétiques tels que Sergei Korolev et Valentin Glushko.

¹⁴ Spationaute français de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), né en 1948

1.2. L'HOMME DANS L'ESPACE : UNE ÉPOPÉE INÉDITE POUR LA PENSÉE ARCHITECTURALE

1.2.1 Guerre Froide : la course à la conquête spatiale

Dans la seconde moitié du XX^e siècle et dans le contexte de l'entre deux guerres, des fusées puissantes pouvant surmonter la force de gravité terrestre ont été conçues. Lors de la seconde guerre mondiale, l'Allemagne nazie a utilisé les nouvelles technologies telles que les fusées de longue portée et les missiles V-2 développés par l'ingénieur Wernher von Braun contre des villes « Alliées » telle que Londres. Convaincu par les fantasmes d'exploration de Robert Goddard¹⁵, une équipe allemande d'ingénieur et de scientifique se lance vers la fin des années 1940 dans l'exploration des frontières Terre-Espace. Après la seconde guerre mondiale, lors de son arrivée aux États-Unis, Wernher von Braun perçoit l'envie et la nécessité de sensibiliser davantage le public à l'exploration spatiale.

Dans un contexte de Guerre froide, de 1957 à 1965, l'Union Soviétique devance les États-Unis en réussissant bon nombre de premières spatiales, parmi elles, on retrouve, Spoutnik 1, le premier satellite artificiel, lancé en octobre 1957 ou bien le premier être vivant (la chienne Laïka) dans l'Espace à bord de Spoutnik 2 en 1957. Les États-Unis mettent en orbite leur premier satellite nommé Explorer 1 en 1958. Le 12 avril 1961, une autre étape est franchie, l'Homme prend physiquement place dans l'Espace grâce à la révolution autour de la Terre effectuée par l'astronaute soviétique Youri Alexeïevitch Gagarine à bord de la fusée Sémiorok surmontée du vaisseau Vostok 1.

¹⁵ Robert Hutchings Goddard était un ingénieur créateur de la première fusée à propulsion liquide au monde en 1926



2. Youri Gagarine en couverture du magazine Time (1961)

1.2.2 L'aventure du XX^e siècle : 21 juillet 1969, la mission Apollo 11

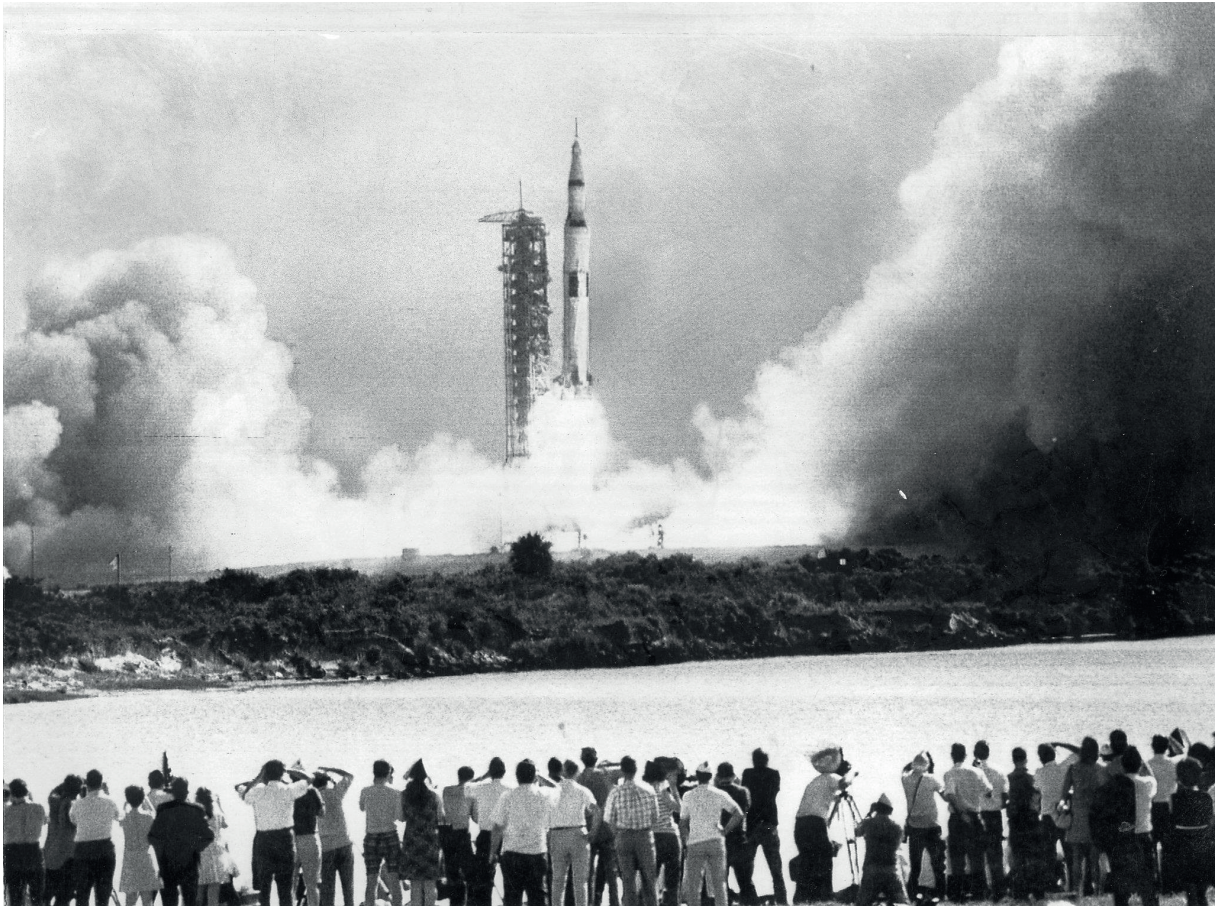
Dans les années 1960, l'objectif des vols habités est d'apprendre à vivre dans l'Espace en augmentant la durée des vols, de réaliser des sorties dans l'Espace et de mettre au point des nouvelles technologies au service de la conquête spatiale. Suite à l'exploit des soviétiques, le président John Fitzgerald Kennedy lance la compétition de l'Homme sur la Lune. Le 21 juillet 1969, dans le cadre de la mission américaine Apollo 11, Neil Armstrong et Buzz Aldrin marchent sur la Lune pour la première fois dans l'histoire de l'humanité. Lorsque Neil Armstrong prononce cette phrase désormais célèbre : « That's one small step for man, one giant leap for mankind »¹⁶ le monde entier est ébloui et réalise que la prouesse et l'imagination humaine est sans limite.

Après les missions Apollo, les vols habités vont se restreindre à l'orbite terrestre. Dès 1971, l'URSS met en place la première station spatiale, Saliout 1. Ces objectifs sont de faire vivre de façon permanente des Hommes dans l'Espace, de mener des expériences de biologie, de médecine, d'astrophysique et d'observation de la Terre. Du début des années 1970 à 2001 se succéderont notamment les stations Saliout 1 à 7 et la station Mir. Durant ces 30 années elles auront accueilli 84 astronautes de douze nationalités. Dès 1998, en collaboration avec les agences spatiales russe, européenne, canadienne et japonaise, la NASA débute la construction de la Station Spatiale Internationale (ISS)¹⁷ actuellement en orbite terrestre. L'ISS a pour objectif d'accroître les connaissances des scientifiques dans le domaine des longs séjours en orbite tout en menant des expériences scientifiques capitales dans la connaissance et la poursuite des missions spatiales habitées.

Au regard de l'évolution de la conquête spatiale, les problématiques psychologiques engendrées par les vols spatiaux et la nécessité du confort de l'équipage lors des missions ne peuvent plus être ignorées. En effet, en 1961, Youri Gagarine a seulement eu besoin d'une petite capsule pour réaliser son exploit. Or, avec le développement des vols habités, les stations spatiales doivent être aménagées afin de permettre aux astronautes de vivre et travailler dans des bonnes conditions durant une longue période. Ainsi, la création des modules d'habitats adaptés, confortables et fonctionnels a été pensée. Les agences spatiales débutent alors une réflexion avec des designers et architectes en vue d'améliorer la conception des intérieurs des stations et des navettes spatiales.

¹⁶ En français, « c'est un petit pas pour [un] homme, [mais] un bond de géant pour l'humanité »

¹⁷ D'après l'anglais International Space Station



3. Décollage de la fusée Apollo 11 (1969)

« La fusée reste pendant longtemps le véhicule qui cristallise toutes les représentations mentales et figuratives concernant l'Espace. Dans les années 1920, elle se meut en allégorie de la modernité et du monde futur, elle est le symbole des colonisations à venir et de la puissance du progrès qui se déploie, déterminé et inflexible, vers ses nouvelles conquêtes »¹⁸

¹⁸ De Smet (Elsa), *Voir l'espace astronomie et science populaire illustrée (1840-1969)*, Presses universitaires de Strasbourg, 2018, p.162

1.2.3 Bien-être et confort : une prise de conscience

Dans les années 1950 au début de la conquête spatiale, la question du bien-être des hommes dans les stations spatiales n'était pas une interrogation. En effet la priorité était donnée à la technique et aux avancées scientifiques. Parallèlement, dans le domaine de la santé, le souhait du bien-être des personnes s'accroît. Cette notion spécifiée par l'Organisation Mondiale de la Santé émerge en 1946 et est définie comme telle : « la santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité »¹⁹. Miller dans l'ouvrage *L'injonction au bien-être dans les programmes de prévention du vieillissement* nous explique que « l'idée de bien-être s'est développée principalement aux États-Unis à partir de la seconde moitié du XX^e siècle, alors que la transformation des modes de vie impliquait une vision moins hygiéniste de la santé »²⁰. Être dans un état de bien-être peut se référer à différents facteurs tels que, la santé, le plaisir, la joie, la reconnaissance mais aussi l'harmonie avec soi-même et avec les autres. Le bien-être résulte du fait de se sentir bien à la fois physiquement et psychologiquement. Il s'agit d'une notion subjective puisque chaque individu en a sa propre perception, comme le dit l'architecte Yona Friedman « l'homme [...] essaye de vivre agréablement suivant l'idée qu'il se fait de son bien-être (matériel ou spirituel) »²¹. Tout comme le bien-être, le confort reste attaché à la subjectivité des individus. Il comprend l'absence de gênes, il faut cependant distinguer le confort sensoriel, existentiel et le confort psychique. Le premier se rapporte aux sens, la lumière, l'air, la vue ... tandis que le second est lié aux qualités environnementales du cadre de vie. Le confort désigne des situations où le corps n'est pas contraint, les gestes et les positions sont alors ressentis comme agréables ce qui provoque un état de bien-être. Dans nos sociétés occidentales, le confort est associé à la qualité de vie, il signifie par extension la sécurité matérielle et implique des besoins humains.

En 1943, le psychologue Abraham Maslow définit la pyramide des besoins, aussi connu sous le nom de pyramide de Maslow, cette représentation pyramidale établit la hiérarchie des besoins humains bien que cette théorie est parfois contestée par certaines communautés scientifiques. On retrouve, les besoins physiologiques

¹⁹ Collinet (Cécile), Delalandre (Matthieu), *L'injonction au bien-être dans les programmes de prévention du vieillissement*, Presses Universitaires de France, 2014, page 447

²⁰ Collinet (Cécile), Delalandre (Matthieu), *L'injonction au bien-être dans les programmes de prévention du vieillissement*, Presses Universitaires de France, 2014, page 447

²¹ Friedman (Yona), *Comment habiter la terre*, L'éclat poche, 1976, page 6

(respiration, faim, sommeil ...), de sécurité (environnement stable), d'appartenance et d'amour, d'estime et d'accomplissement de soi.

Dans le contexte du mémoire et de la vie dans les stations extrêmes, pouvons-nous alors réellement parler de bien-être et de confort ? Alors que les astronautes et scientifiques sont contraints dans leur mouvement, loin de leurs proches et dans un environnement « sur-technologique » ? Dans le cas des stations, cette notion émerge dans les années 1970 grâce au travail de l'architecte russe Galina Balashova et du designer français Raymond Loewy. En effet, les missions spatiales étant en développement croissant il était alors urgent de penser des architectures spatiales alliant technicité et confort. Dans le cadre du mémoire, nous utiliserons la notion de bien-être au sens des besoins. Le bien-être dans les stations n'est-il pas tout simplement, respirer, manger, avoir des lieux d'intimités et vivre dans un environnement le plus agréable possible tout en conciliant technologie et architecture ?

En architecture, la compréhension du concept de bien-être est essentiel pour penser des habitats au service de l'humain. S'intéresser au confort et au bien-être permet non seulement d'améliorer la vie des astronautes et scientifiques dans les stations spatiales ou terrestres mais aussi d'accroître leur productivité. En effet, un environnement adapté et agréable fera l'objet d'un retour positif sur la qualité de travail.

1.3. LA CONQUÊTE SPATIALE : UNE NOUVELLE ÈRE POUR LES CONCEPTEURS ET ARCHITECTES

En dépit de la réputation technique du domaine spatial, des architectes et designers ont su s'imposer dès le début du XX^e siècle, en révolutionnant la manière d'aborder les espaces intérieurs et les problématiques psychologiques et sociales engendrées par les longs séjours dans les stations spatiales. La notion de confort dans les milieux extrêmes soulève alors de plus en plus de questionnement. Les architectes garant du confort semblent alors être les mieux placés pour concevoir des espaces dédiés au bien-être de l'Homme dans les milieux extrêmes. Nous allons revenir sur deux protagonistes majeurs et précurseurs qui ont placé le « corps contraint » au centre de leur réflexion : Galina Balashova et Raymond Loewy.

1.3.1 Galina Balashova, première architecte spatiale pour le programme soviétique

Galina Balashova est une architecte spatiale et artiste russe qui a eu une grande influence dans la conception des espaces intérieurs des stations spatiales. Née à Kolomna en 1931 dans le contexte de l'entre-deux-guerres, Galina Balashova entre au service du programme spatial soviétique (Experimental Design Bureau OKB-1) sous la présidence de l'ingénieur Sergueï Korolev en 1963. Au début des années 1960, en plein contexte de Guerre froide, la course entre l'URSS²² et les États-Unis a commencé pour atteindre la suprématie dans la conquête de l'Espace. En effet, les voyages spatiaux sont l'occasion pour ces nations de prouver leur hégémonie aux yeux du monde : ils étaient considérés comme une performance sociale et un symbole de pouvoir. Grâce au lancement du premier satellite spatial artificiel Sputnik en 1957 et le premier vol spatial habité entrepris par Youri Gagarin quatre ans plus tard, l'enthousiasme autour de la conquête spatiale est grandissant : le rêve de l'humanité est de surmonter les limites spatiales et de conquérir l'Espace. Dans ce contexte, Galina Balashova va contribuer à l'aménagement intérieur et au design de nombreux programmes spatiaux dont, les vaisseaux Soyouz (Soyouz T, TM, 19), les stations spatiales Saliout 6 et 7 ou bien encore la station spatiale Mir.

²² L'Union des républiques socialistes soviétiques



4. Galina Balashova dans le prototype de la station Soyouz 19



5. Design intérieur de la capsule d'atterrissage, Soyouz T (1970)

Étant responsable de la décoration intérieure de presque tous les vaisseaux spatiaux soviétiques, Galina Balashova alliait dans ces œuvres compétences artistiques et architecturales, « en plus de la décoration intérieure, le champ d'action de Galina Balashova s'étend également à l'ameublement. Ainsi, elle a conçu une gamme de meubles pour les espaces de vie du cosmonaute, dont un meuble de rangement avec des étagères, un divan et une table pliante »²³ nous dévoilait Philipp Meuser auteur du livre *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*. Ainsi, l'architecte est devenue entre 1963 et 1991 la conceptrice du programme spatial soviétique. Dans une époque où l'intérieur des engins spatiaux n'avait pas pour priorité d'être esthétique et confortable. Galina Balashova souhaitait concevoir des espaces humanisants, productifs et agréables. Philipp Meuser nous confie dans son livre, « tout au long de sa carrière d'architecte spatial, Balashova a eu pour priorité principale son rôle d'artiste spatial. Balashova était responsable des problèmes concernant les proportions spatiales, à l'effet psychologique des couleurs »²⁴. Pour cela, l'architecte russe a ajouté des aquarelles qui permettaient aux astronautes de se rappeler la Terre. En effet, Galina Balashova a produit de nombreux dessins avec pour thématique l'expérience des cosmonautes, leurs besoins, la composition des espaces ou bien encore l'ergonomie. Galina Balashova a pensé l'espace pour la non-gravité en pensant l'humain et non pas à l'espace en lui-même. En effet, dans l'Espace la notion d'orientation n'existe plus, cependant en tant qu'humain, la présence d'un « haut », d'un « bas » est important. Pour résoudre ce problème, l'architecte russe a mis en place un code couleur (sol : vert, plafond : bleu-gris, mur : jaune clair) permettant aux astronautes de mieux se repérer dans l'espace et de remplacer la gravité sur Terre. Galina Balashova a révolutionné le monde du design spatial. De nos jours un module de la Station Spatiale Internationale (ISS) comprend toujours ce codage de couleur. La couleur est devenue très importante et centrale dans ces créations, en particulier dans ces premières créations pour les vaisseaux Soyouz où une palette principalement pastel a été choisie.

Ainsi, Galina Balashova a révolutionné la manière de penser l'espace intérieur des vaisseaux spatiaux en conciliant la technique et l'architecture, considérées avant son arrivée comme deux entités distinctes. Son travail est si influent qu'il demeure une référence et est encore utilisé par les architectes du XXI^e siècle.

²³ Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 14, traduction personnelle

Texte original : « Besides interior design, Galina Balashova's scope of work also covered furnishing. Thus, she designed a range of furniture for the cosmonaut's living areas, including a cabinet with a bookshelf, a divan, and a folding table »

²⁴ Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 14, traduction personnelle

Texte original : « throughout Balashova's entire career as a space architect, her main priority was her role as a space artist. Balashova was responsible for those issues relating to spatial proportions, the psychological effect of colors »



6. Portrait de l'architecte Galina Balashova (2012)

1.3.2 Raymond Loewy, designer de la station Skylab

Raymond Loewy est un designer industriel et graphiste français du XX^e siècle qui a joué un rôle important dans la conception des premières stations spatiales et notamment lors des missions Skylab.

Dès 1967, la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) fait appel aux services de Raymond Loewy à titre de conseiller en matière d'habitabilité. L'entreprise est alors confrontée à de nouveaux défis en ce qui concerne le cadre de vie à l'intérieur des stations spatiales. L'objectif de la venue du designer était d'aider à assurer la psychophysiologie²⁵, la sécurité et le confort des astronautes. L'idée de la NASA est d'améliorer les conditions de vie et le bien-être des astronautes dans ces espaces confinés des stations spatiales. À cet égard, Raymond Loewy et son équipe sont chargés de penser des espaces pratiques et confortables pour les astronautes, ils produisent pour cela près de 3000 esquisses.

Lors de ses années à la NASA, de 1967 à 1973, Raymond Loewy travaille principalement sur les missions Skylab et invente des moyens pour promouvoir la sociabilité et la vie privée des astronautes. En effet, il milite pour intégrer un hublot dans les vaisseaux spatiaux afin de leurs offrir une vision permanente de la Terre. De plus, il propose des moyens pour gérer la nutrition et l'hygiène de l'équipage en apesanteur.

Conscient des aspects psychologiques des missions dans l'Espace et afin d'éviter les éventuels conflits, l'équipe de Loewy développe une table triangulaire, de façon qu'aucun des membres de l'équipage composé de trois hommes ne domine les autres. Cette table des officiers de Skylab révèle les préoccupations du designer pour l'habitabilité et la psychologie. En outre, selon lui chaque astronaute doit pouvoir jouir de 8h de solitude par jour. Cette idée a donné naissance aux premières cellules privées dans un vaisseau spatial.

Durant toutes ces années, sa réflexion permet d'intégrer de nouvelles préoccupations dans la conception des vols habités de la NASA notamment l'aspect psychologique, l'architecture du lieu et le design intérieur qui influencent les facteurs humains. Il intègre dans ces dessins une vision innovante de l'ergonomie des espaces et des mobiliers.

²⁵ Science qui étudie les rapports entre l'activité psychique et l'activité physiologique (en particulier celle du système nerveux) (définition CNRTL : www.cnrtl.fr)

Ainsi, le travail de Raymond Loewy au programme spatial américain inspire la conception de la Station Spatiale Internationale en vue de proposer un plus grand confort de vie et de travail dans l'Espace. Ces notions étaient considérées à l'époque comme des révolutions dans la manière de concevoir les habitats isolés.



7. Un équipage à la table conçue par Raymond Loewy en 1973



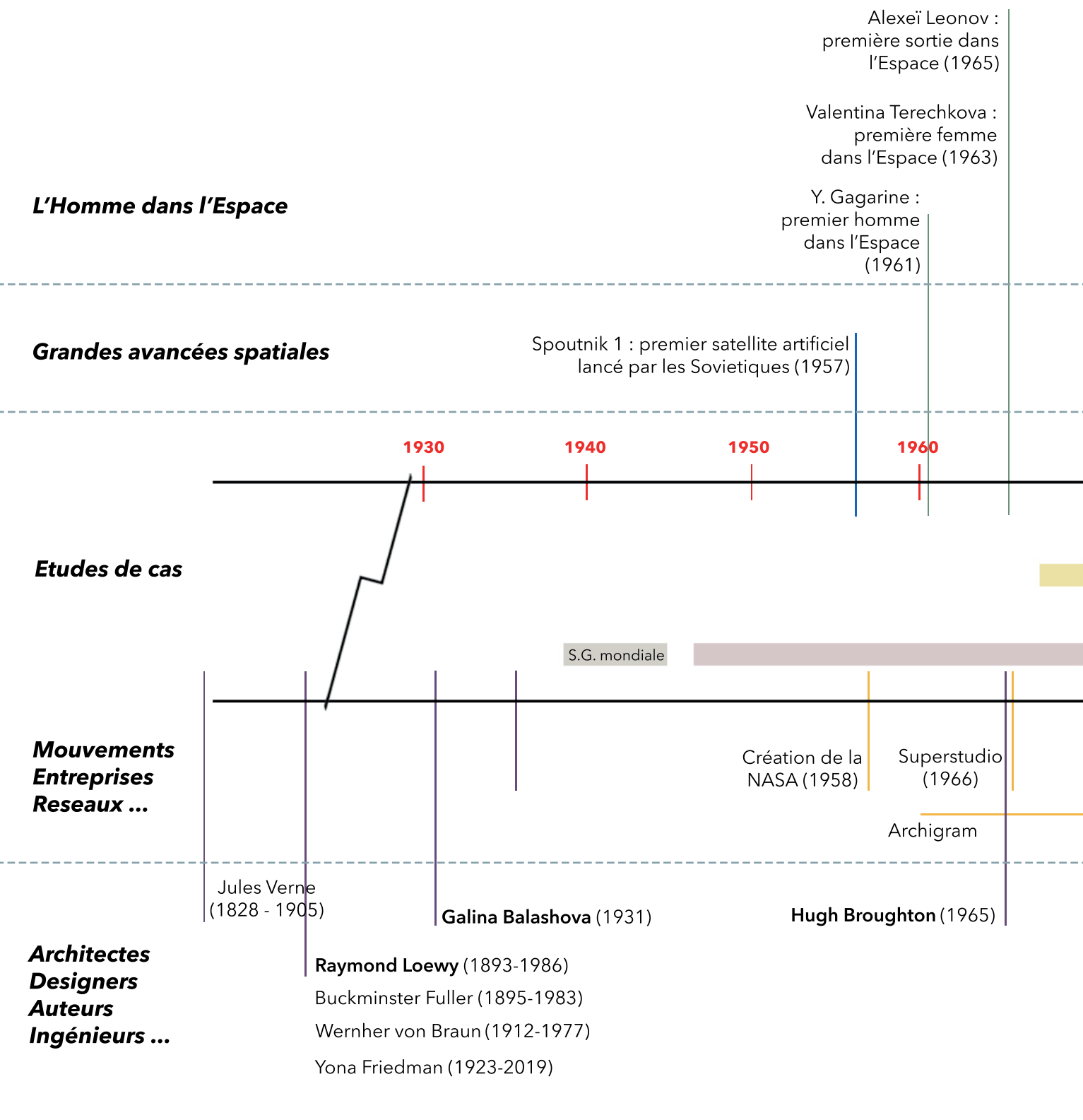
8. Jack R. Lousma prenant une douche dans la station Skylab



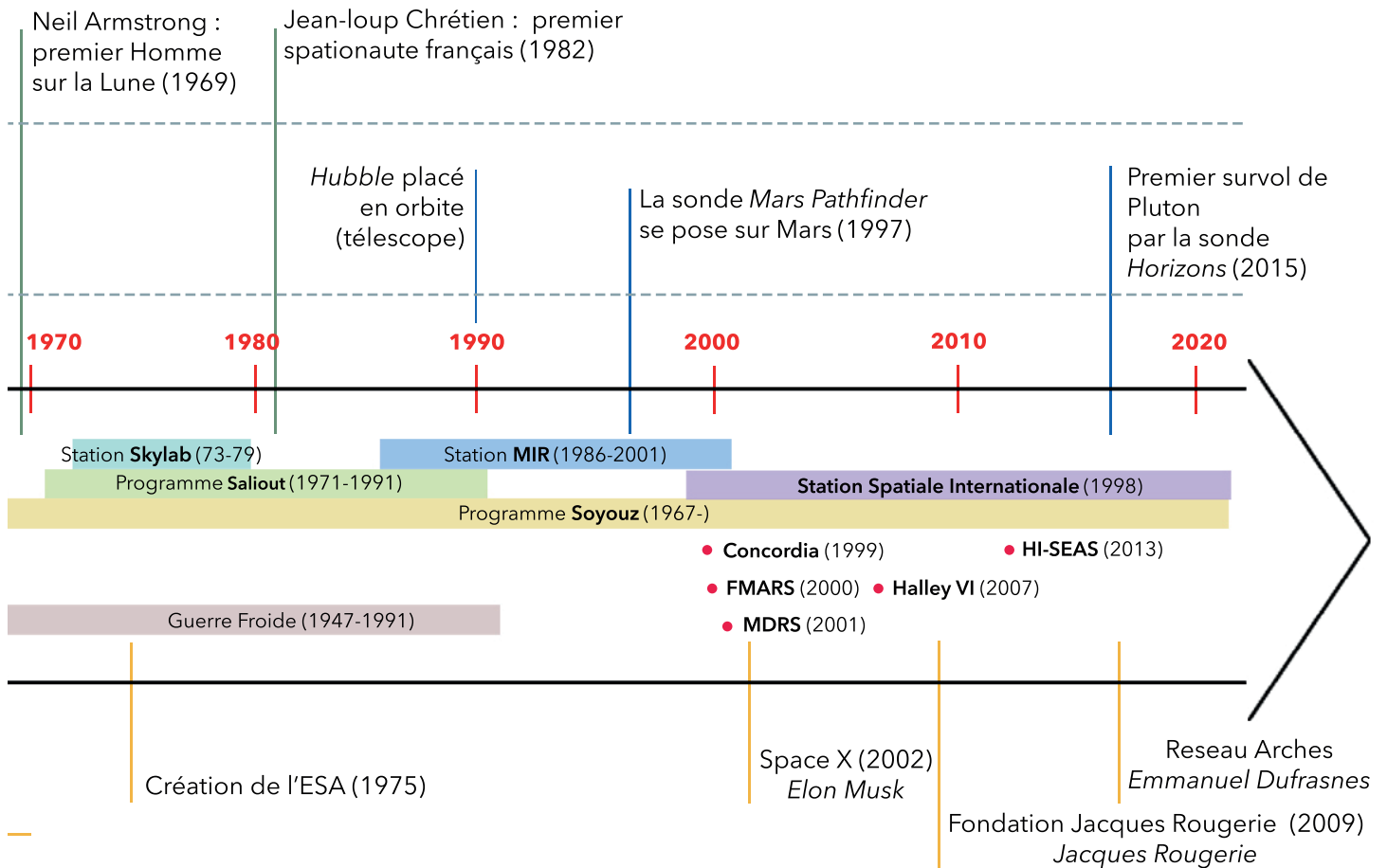
9. Vue de la Terre depuis la Cupola de l'ISS

1.4 FRISE CHRONOLOGIQUE : L'ÉVOLUTION DE LA CONQUÊTE SPATIALE

L'Homme est un fervent aventurier sans cesse en quête de découverte et curieux de nouveauté. Cette faculté a permis au fil des siècles d'accroître notre savoir dans bon nombre de domaines. Au XX^e siècle la conquête spatiale s'accélère, le besoin d'aventure de l'Homme est alors à son apogée, il veut voir grand et conquérir l'Espace. Dans ce contexte, des entreprises spatiales émergent et des grands programmes spatiaux sont lancés. Au travers de cette frise chronologique non exhaustive nous allons mettre en lumière non seulement les grandes évolutions et programmes spatiaux depuis les années 1950 mais aussi les mouvements et protagonistes précurseurs qui ont permis de mieux envisager la conquête spatiale. Cette dernière nous permettra aussi de situer dans le temps nos cas d'études terrestres et spatiaux.



FRISE CHRONOLOGIQUE



02

LE CORPS CONTRAINT, VIVRE EN CONFINEMENT ET EN ISOLEMENT



2.1. CORPS CONTRAINT, CONFINEMENT, ISOLEMENT : DES NOTIONS À APPRÉHENDER SUR TERRE ET DANS L'ESPACE

2.1.1 Définition : corps contraint

Le rapport au corps des astronautes et scientifiques dans les stations extrêmes et plus particulièrement la notion du corps contraint dans ces milieux confinés et isolés n'a été jusqu'à présent que peu abordé, ce mémoire se propose donc d'étudier ce paramètre. Tout d'abord nous allons nous intéresser à la signification d'un corps contraint dans un milieu extrême. Un corps contraint peut se définir de deux manières à la fois physiquement et psychologiquement.

Lorsque le corps est contraint physiquement, ce dernier est privé de ses mouvements naturels à savoir bouger dans l'ensemble des directions et se mouvoir librement. Dans le cas des vaisseaux Soyouz, les astronautes sont parfois recroquevillés pendant des heures et contraints par les dimensions et l'agencement intérieur des stations. L'astronaute américain Donald Pettit nous confie son ressenti, « du point de vue des ingénieurs, plus c'est petit et mieux c'est, car c'est moins cher à lancer », « quand je suis sur mon siège, mes talons touchent presque mes fesses. Je suis attaché en huit points pour épouser la forme du siège, ce qui m'empêche de bouger quoi que ce soit d'autre que les bras. Je peux juste pivoter la tête et bouger mes orteils »²⁶. Dans l'environnement spatial, le corps devient finalement un élément parmi d'autres, parmi la technique. Le corps est alors contraint dans un espace contraint.

Le corps peut également être contraint par une absence de liberté psychologique. Il est vrai que les journées des astronautes sont codifiées et millimétrées (cf. diagramme rythme de vie partie 2.2.3). Le corps des scientifiques est contraint au travers de cette pression psychologique constante et des complications liées à l'absence de leurs proches. Cet élément est lié aux difficultés de confinement et d'isolement vécu dans les stations en milieu extrême.

²⁶ Gévaudan (Camille), *Comment se passe le voyage dans un vaisseau Soyouz ?*, publié le 19 novembre 2016 [consulté le 15 novembre 2020], disponible en ligne : www.liberation.fr/futurs/2016/11/19/comment-se-passe-le-voyage-dans-un-vaisseau-soyouz_1529421#:~:text=Mais%20globalement%2C%20d'apr%C3%A8s%20ce,%2C%20fa%C3%A7on%20boulet%20de%20canon.%C2%BB

2.1.2 Définition : confinement et isolement

Tout d'abord, il est important de comprendre la distinction entre confinement et isolement. Le confinement se limite à un espace géographique par exemple celui du foyer ou de la capsule spatiale tandis que l'isolement introduit également l'aspect psychologique et l'incapacité technique de communiquer avec d'autres Hommes. L'Homme peut être confiné mais non isolé si ce dernier peut communiquer physiquement ou virtuellement avec d'autres personnes. À titre d'exemple, les astronautes et les scientifiques dans les stations spatiales et dans les stations terrestres sont la plupart du temps confinés mais non isolés tandis que les sous-mariniers sont contraints à l'isolement et au confinement lors de leurs missions. Néanmoins, lors de certaines missions dans des milieux extrêmes tels que l'Antarctique, les distances avec la civilisation sont telles que les scientifiques sont isolés de toute possible aide extérieure. Cela est également le cas pour les missions spatiales, les communications avec la Terre sont le plus souvent possible mais les astronautes doivent être autonomes et subvenir à leurs besoins.

Au sujet du confinement, le spationaute, Jean-François Clervoy nous confie : « L'humanité est confinée à la planète Terre »²⁷ ainsi où que l'Homme se trouve, celui-ci est confiné, soit chez lui, à la Terre ou bien au vaisseau spatial. Jean-François Clervoy dans cette même interview explique que les astronautes avant d'appréhender ces mois de confinement dans l'Espace sont préparés et entraînés. Ils font face à une sélection accrue et à des tests de préparation physique et psychologique, de plus tout le monde n'a pas les mêmes capacités à surmonter le confinement. Les entraînements mis en place par les agences spatiales révèlent les capacités de l'être humain à s'adapter.

²⁷ Interview sur France Inter, Astronaute, skipper, sous-marinier : les "pros" du confinement partagent leur expérience, diffusé le samedi 21 mars 2020, Daniel Fievet

2.1.3 Vie privée - en communauté, confort - technologie : quel équilibre ?

La vie dans un habitat confiné sans interaction avec son environnement extérieur comme dans une station spatiale ou bien dans des bases scientifiques isolées engendre des conséquences sur le déroulement normal de la vie et du quotidien, tout en imposant une pression supplémentaire sur les groupes et les personnes. Le corps se retrouve contraint dans cet habitat isolé. Dans la vie quotidienne nous essayons de trouver le parfait équilibre entre vie privée et en communauté. Dans notre logement, nous avons un sentiment de maîtrise, nous sommes protégés du monde extérieur, nous pouvons également contrôler nos influences sociales (visiteurs, amis ...). Or lors d'une mission en milieu extrême la distinction entre vie privée et vie en communauté n'existe plus. Les protagonistes ne peuvent pas s'échapper du quotidien et sont contraints d'interagir et de maintenir une cohésion commune avec les autres membres du groupe. Dans ce contexte de mission si particulière la limite entre vie privée et vie en communauté est alors très faible, voir inexistante.

En tant que concepteur d'espaces, les architectes doivent prendre en compte ce paramètre tout comme la fonctionnalité, les ouvertures, la couleur, les matières ... dans la conception des habitats extrêmes. Ces paramètres sont vus comme des éléments d'une importance capitale dans la perception du bien-être. L'objectif de l'aménagement des architectes est de repenser en milieu extrême, les éléments qui ont un rôle sur notre perception comme la lumière par la fenêtre, le seuil grâce à la porte ... Ces éléments interagissent avec l'extérieur dans un bâtiment classique. Or, dans les architectures extrêmes, l'usager ne peut plus contrôler le flux de lumière ou d'air, l'importance des autres aménagements architecturaux est donc primordial. Néanmoins, la plupart des conceptions actuelles d'habitats en milieux extrêmes sont contraintes par des questions techniques (masse, diamètre des engins spatiaux, volume ...) et budgétaires. Cette manière de procéder, pousse généralement à négliger la notion architecturale et sociologique de l'habitat. Il est probable que si la place accordée au sujet architectural était prise en compte en amont de la conception technique, les coûts seraient réduits et la conception finale améliorée. Alliant de ce fait, la technicité essentielle dans les architectures extrêmes et les questions architecturales et psychologiques capitales pour assurer le succès des missions.

2.2 LES CONSÉQUENCES DU CORPS CONTRAINT SUR TERRE ET DANS L'ESPACE

2.2.1 2020 : l'expérience mondiale du confinement

Nous ne pouvons pas aborder les conséquences du corps confiné et les réponses que peuvent apporter les architectes, sans évoquer l'expérience du confinement vécu par des milliards de personnes dans le monde²⁸ en 2020 en raison de la pandémie mondiale de la COVID-19.

Le confinement a été sans nul doute une période compliquée et anxiogène pour bon nombre de personnes. Privé du jour au lendemain de nos habitudes quotidiennes, notre univers doit alors se recentrer sur notre logement. Selon le sociologue Guy Tapi, « sans toutes les activités d'animation autour du logement, la définition de confort change »²⁹. Le confinement va alors redéfinir notre rapport au logement et à l'espace. Tandis que certaines personnes ont pu profiter de leur espace extérieur, d'autres ont dû réinventer leurs lieux de vie pour concilier de multiples activités, le salon devient par exemple le bureau en journée, salle de sport en fin d'après-midi et salle de cinéma en soirée. En étant confinés, nous avons pu nous questionner sur les éléments qui influencent notre confort, Léna interviewé dans le cadre d'une enquête socio-anthropologique par le magazine Tema.archi³⁰ nous confie : « L'appartement se modifie plutôt au rythme de la course du soleil. On se retrouve très vite à occuper des plus petits espaces plus ensoleillés comme la cuisine » tandis qu'une autre personne interrogée évoque : « les espaces très ouverts sans aucune cloison ne sont pas toujours si bénéfiques au quotidien. Que l'on a besoin de pièces fermées pour pouvoir nous tenir à l'écart des autres, du bruit, du mouvement ».

L'expérience du confinement est intéressante car elle va nous permettre dans le cadre de ce mémoire d'émettre des hypothèses quant aux éléments qui peuvent influencer le confort et le bien-être. Il est vrai que cette période, nous a permis de comprendre dans une moindre mesure le confinement voir l'isolement vécu par ces hommes et femmes dans les milieux extrêmes.

²⁸ On estime que 2,63 milliards de personnes étaient strictement confinées dans le monde au 30 mars, soit plus d'une personne sur trois, selon CheckNews

²⁹ Tema.archi, Marie Crabié, *Quand le confinement redéfinit notre rapport au logement*, publié le 3 avril 2020, [consulté le 5 octobre 2020], disponible en ligne : tema.archi/articles/rapport-au-logement-confinement-temoignages-habiter-architecture-sociologie-habitants-0

³⁰ Tema.archi, Marie Crabié, *Comment nos logements s'adaptent au confinement : vos témoignages en plans*, publié le 13 avril 2020, [consulté le 5 octobre 2020], disponible en ligne : tema.archi/articles/plan-releve-habite-exercice-etudiant-architecture-confinement

Ainsi d'après les retours de témoignages mais aussi de par mon expérience personnelle, la lumière, la fonctionnalité mais aussi les dimensions du lieu d'habitation semblent jouer un rôle dans le confort des occupants. Cependant, l'expérience du confinement que nous avons vécu n'est pas en tous points similaire au confinement vécu par les scientifiques dans des milieux extrêmes. C'est pourquoi, grâce aux témoignages de trois d'entre eux, nous découvrirons dans la suite du mémoire si ces hypothèses sont confirmées ou infirmées.

« Le 16 mars 2020, le président de la République Emmanuel Macron a assigné 65 millions de Français à résidence. Un peuple entier, comme ses voisins, mis à l'épreuve d'une expérience inédite : se cloîtrer chez soi pour freiner la propagation d'un virus redoutable »³¹

³¹ Les Others Magazine, Volume n°11, Delirium, 2020, page 29

2.2.2 Les besoins humains, principaux obstacles à la conquête spatiale ?

En France, durant l'année 2020, nous avons pu expérimenter pendant plusieurs mois le confinement, infime partie de celui vécu par les astronautes lors de leur préparation ou leur mission dans l'Espace. Pour les astronautes et scientifiques, le confinement et l'isolement font partie intégrante de leur préparation, ils ont été contraints à cet exercice long et strict pendant plusieurs semaines en vue de leur départ en mission. En effet, leur confinement est voulu, contrairement aux milliards d'individus contraints de s'enfermer chez eux à cause du coronavirus. Pour eux, il s'agit même de l'accomplissement d'une vie et le fruit d'années d'entraînement. Les astronautes sont des experts en matière d'espace contraint, ils passent en général six mois ou plus confinés dans la station. Selon l'astronaute Andrew Morgan l'importance de suivre un planning et un programme strict est capital pour s'assurer un bon équilibre de vie : « Nous avons un programme et nous le suivons à la lettre », « l'exercice physique, l'hygiène personnelle, le sommeil, tout est prévu. C'est très important de respecter l'emploi du temps »³².

Cependant la préparation, l'isolement n'est pas une tâche facile, le scientifique français Cyprien Verseux développe ce paramètre dans son récit : « L'un d'eux remarqua - d'un ton neutre - que nous étions comme détenus en prison »³³, « la période qui suit le milieu d'une mission en environnement isolé et confiné, qu'elle soit dans l'espace, aux pôles ou ailleurs, à la réputation d'être la plus difficile - un phénomène indépendant de la durée totale »³⁴. De la même manière, en avril 2020, après 7 mois à tourner autour de la Terre à bord de l'ISS, Jessica Meir s'apprête à retrouver une Terre bouleversée par une pandémie mondiale et contrainte au confinement généralisé : « J'ai peur de me sentir plus isolée sur Terre qu'ici [...] Ici nous avons une routine, nous sommes très occupés à faire plein de choses incroyables, et nous avons ce point de vue incroyable sur la Terre en dessous » déclare l'astronaute de 42 ans lors d'une interview³⁵.

³² Le Parisien, *Une astronaute va revenir sur Terre en plein confinement : «C'est surréaliste»*, publié le 10 avril 2020, [consulté le 22 septembre 2020], disponible en ligne : www.leparisien.fr/societe/une-astronaute-va-revenir-sur-terre-en-plein-confinement-c-est-surrealiste-10-04-2020-8297895.php

³³ Verseux (Cyprien), *Mars la blanche, un hiver Antarctique*, Hugo Image, 2019, page 163

³⁴ Verseux (Cyprien), *Mars la blanche, un hiver Antarctique*, Hugo Image, 2019, page 164

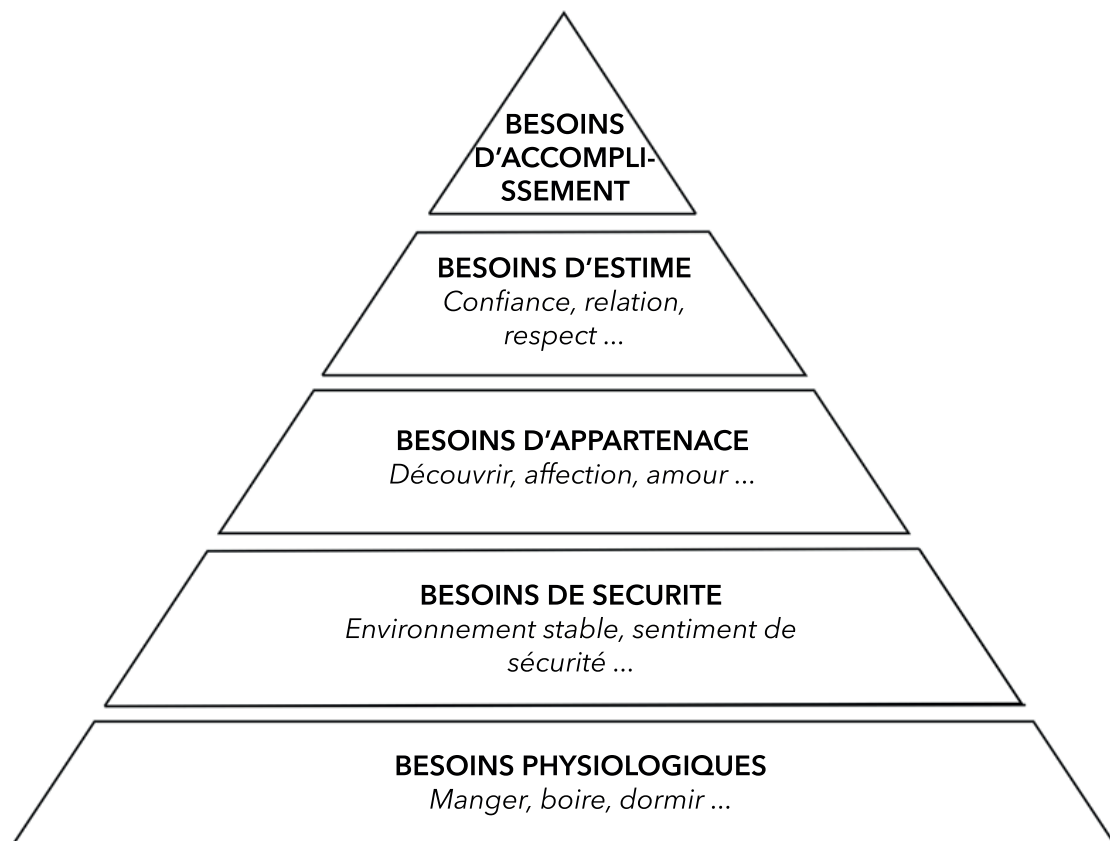
³⁵ Le Parisien, *Une astronaute va revenir sur Terre en plein confinement : «C'est surréaliste»*, publié le 10 avril 2020, [consulté le 22 septembre 2020], disponible en ligne : www.leparisien.fr/societe/une-astronaute-va-revenir-sur-terre-en-plein-confinement-c-est-surrealiste-10-04-2020-8297895.php

L'entraînement des futurs scientifiques est un point très important, malgré leur préparation intensive nous ne pouvons pas fondamentalement changer la nature humaine. L'Homme en dépit de l'entraînement psychologique et physique a besoin d'interactions sociales et ce besoin d'appartenance théorisé par Abraham Maslow. Ce dernier n'est pas fait pour évoluer dans un environnement contraint. Dans ce cas, quels sont les autres champs d'action possibles pour permettre de surmonter les difficultés liées à un tel environnement ?

Les seuls autres angles d'approche pour permettre de vivre mieux le confinement et l'isolement en milieu extrême sont d'agir sur l'espace intérieur des stations et sur les nouvelles technologies. L'architecte et l'ingénieur sont donc des acteurs essentiels pour permettre de créer des espaces de vie confortables et ingénieux afin de rendre la vie des astronautes et scientifiques plus agréable.

« Pour explorer le monde, étancher sa soif d'aventure ou réaliser des expériences loufoques, l'humain n'a pourtant jamais hésité à se confiner. Marins, gardiens de phare, de refuge, astronautes, plongeurs en eaux profondes, scientifiques ... Les plus grands amoureux de l'extérieur sont peut-être ceux qui passent le plus de temps à l'intérieur »³⁶

³⁶ Les Others Magazine, Volume n°11, Delirium, 2020, page 30



Pyramide de Maslow

Elise Bolle© d'après la pyramide de Maslow

2.2.3 Rythme de vie et rythme circadien : comparaison Terre - Espace

Nous ne pouvons pas évoquer la notion de corps contraint sans aborder les différences de rythme de vie et de rythme circadien³⁷ entre la Terre et l'Espace. Dans l'Espace et dans les pôles terrestres, le rythme circadien des scientifiques est mis à rude épreuve. Ce dernier correspond à un cycle biologique de 24 heures, cette cadence donne le rythme biologique d'une majorité d'êtres vivants (animaux, invertébrés, végétaux ...) dont les humains. Ce rythme est d'autant plus visible sur les plantes qui déploient et ouvrent leurs feuilles plus ou moins en fonction de l'heure de la journée. Le rythme circadien régule notre horloge biologique interne, cette dernière fonctionne en l'absence de sollicitation extérieure. Cependant, l'importance d'une alternance jour-nuit et d'une phase éveillée et de sommeil est nécessaire au bon équilibre de l'Homme. Dans les stations terrestres, le rythme circadien est identique à celui que nous connaissons, à l'exception des stations situées en Arctique ou en Antarctique qui subissent des périodes de nuit et de jour prolongées pendant plusieurs semaines. En revanche, dans la Station Spatiale Internationale, le rythme circadien des occupants est très perturbé de par leur trajectoire autour de la Terre, ils perçoivent le coucher et le lever du soleil 16 fois en 24 heures. Cela peut paraître à première vue anodin mais notre organisme est très lié au coucher et au lever du soleil. Cette variation du rythme circadien constitue un des éléments perturbateurs pour l'organisme des scientifiques.

Parallèlement, les connaissances sur les rythmes de vie sont des données essentielles pour les architectes afin de concevoir des espaces répondant aux besoins des occupants des stations. C'est pourquoi, nous allons comparer les rythmes de vie Terre-Espace en analysant une journée type dans la Station Spatiale Internationale et dans la station terrestre HI-SEAS. Il s'agit du déroulé d'une journée type non exhaustive déduite grâce aux récits étudiés dans le cadre de ce mémoire.

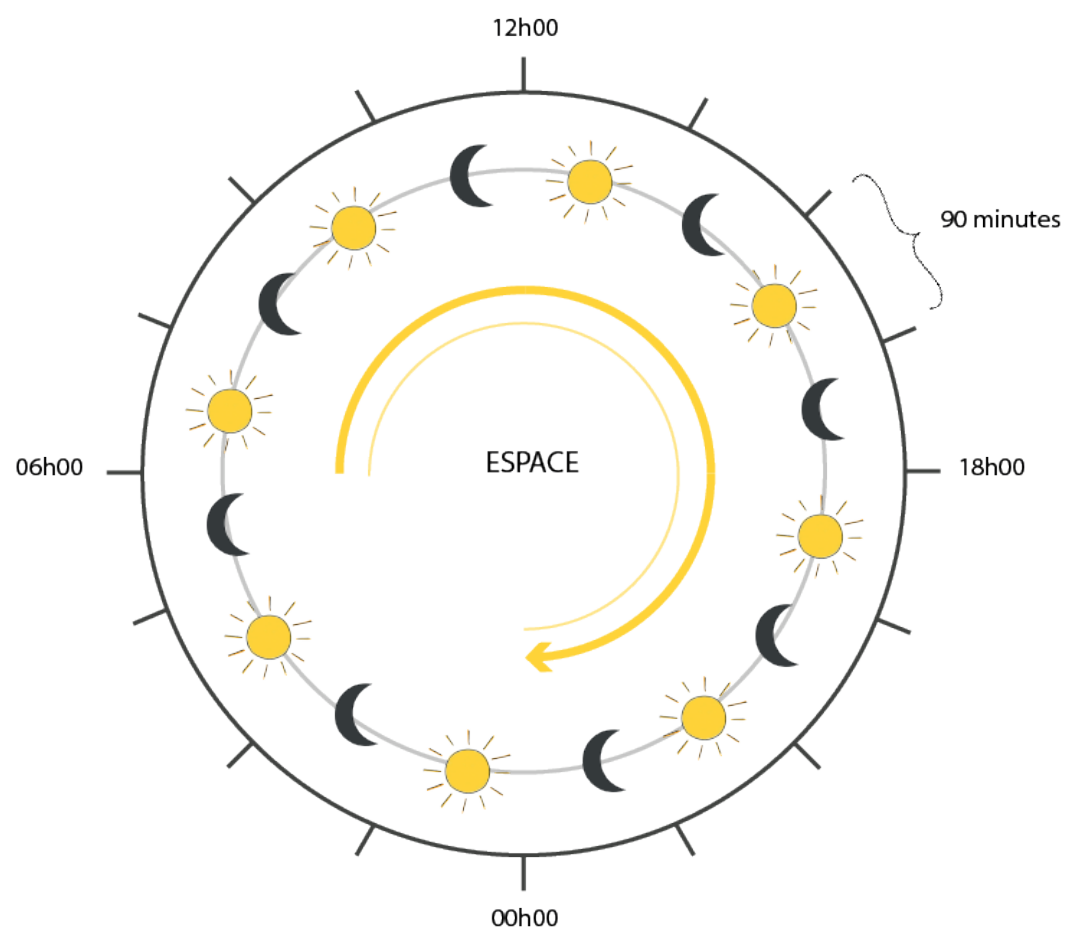
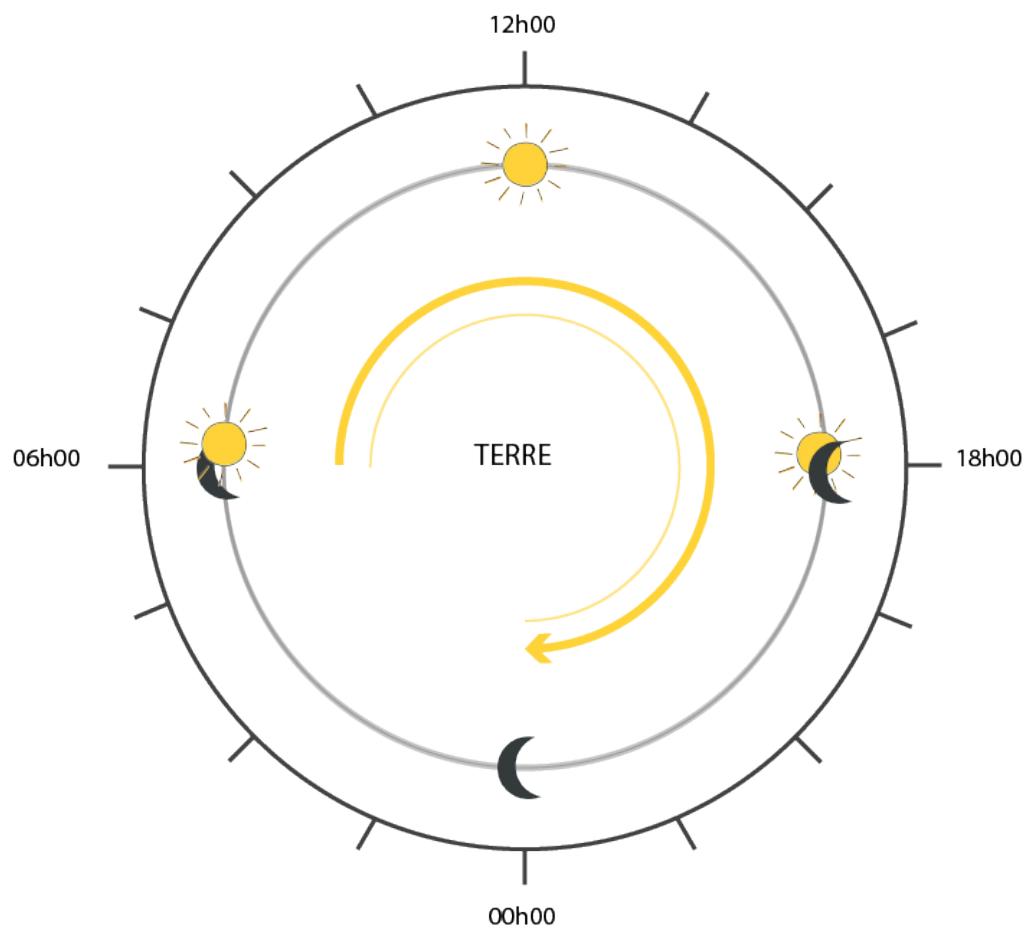
Tout d'abord, nous pouvons constater que le rythme de vie des occupants est dirigé et millimétré par le centre de contrôle. En effet des réunions viennent ponctuer la journée des occupants. Le centre de contrôle donne alors aux scientifiques les étapes à suivre.

³⁷ Le terme « circadien » est inventé par Franz Halberg, il signifie *circa*, « autour », et *dies*, « jour » ce qui indique en latin cycle qui dure « environ un jour » (source : circasensoriel.com)

L'impact de cette vie contrainte est également très suivi par la mission support comme le confiait Cyprien Verseux dans son livre : « des questionnaires [...] portent principalement sur mes dernières interactions avec mes coéquipiers, mon état mental, ma santé et mes activités de la journée »³⁸. De plus, la journée est également ponctuée par les repas en commun ou solitaire et par une activité physique intense pour gérer son stress et palier au manque de sollicitation musculaire. Des plages horaires plus libres sont également prévues en fin de journée afin de permettre aux scientifiques de s'isoler si nécessaire.

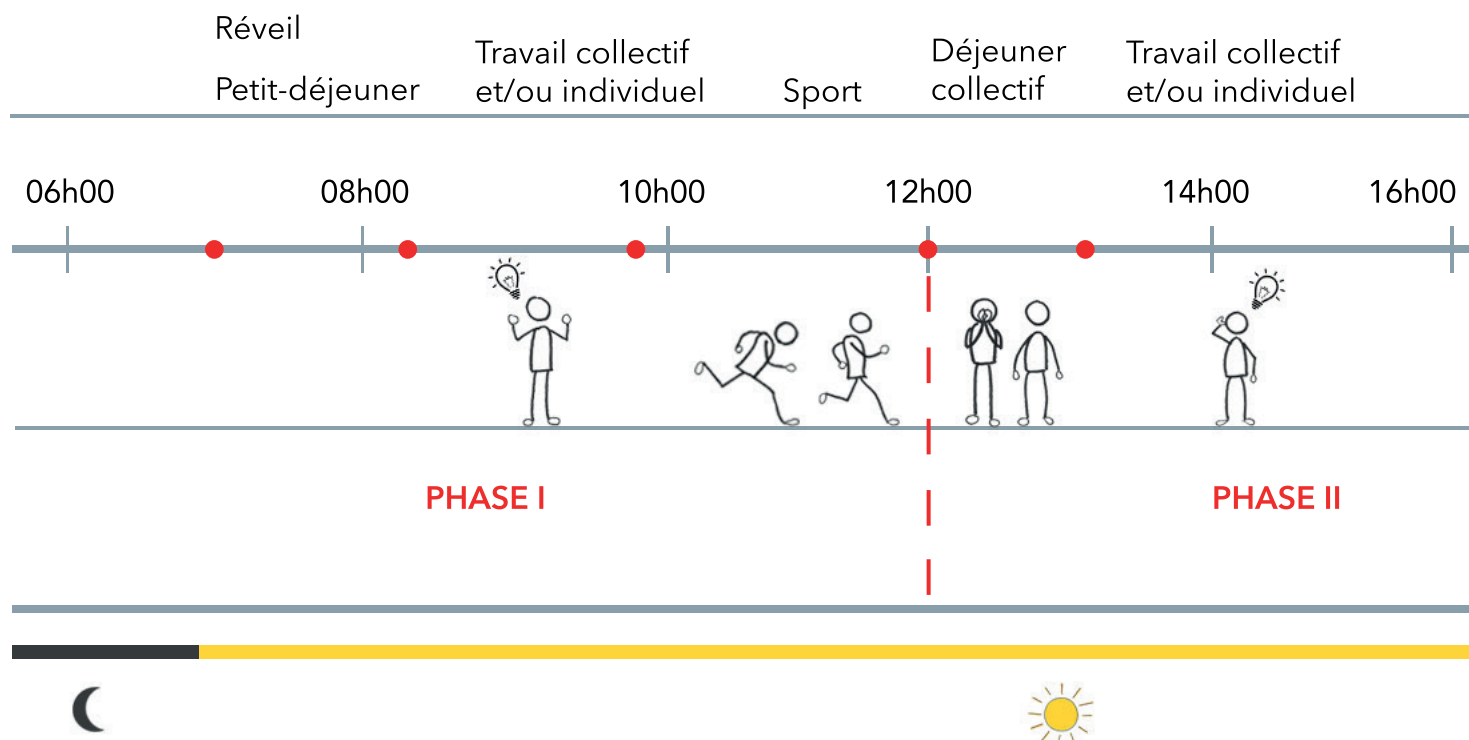
L'ensemble de ces connaissances scientifiques est nécessaire pour les architectes afin de concevoir des espaces de vie dédiés au bien-être. Au vu des connaissances autour des impacts du rythme de vie et circadien sur les occupants de ces stations, nous pouvons établir un certain nombre d'hypothèses sur les facteurs qui influencent le confort : la lumière, les espaces dédiés au confort tels qu'un espace pour la pratique physique, un espace privé afin de pouvoir s'isoler.

³⁸ Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017, page 107

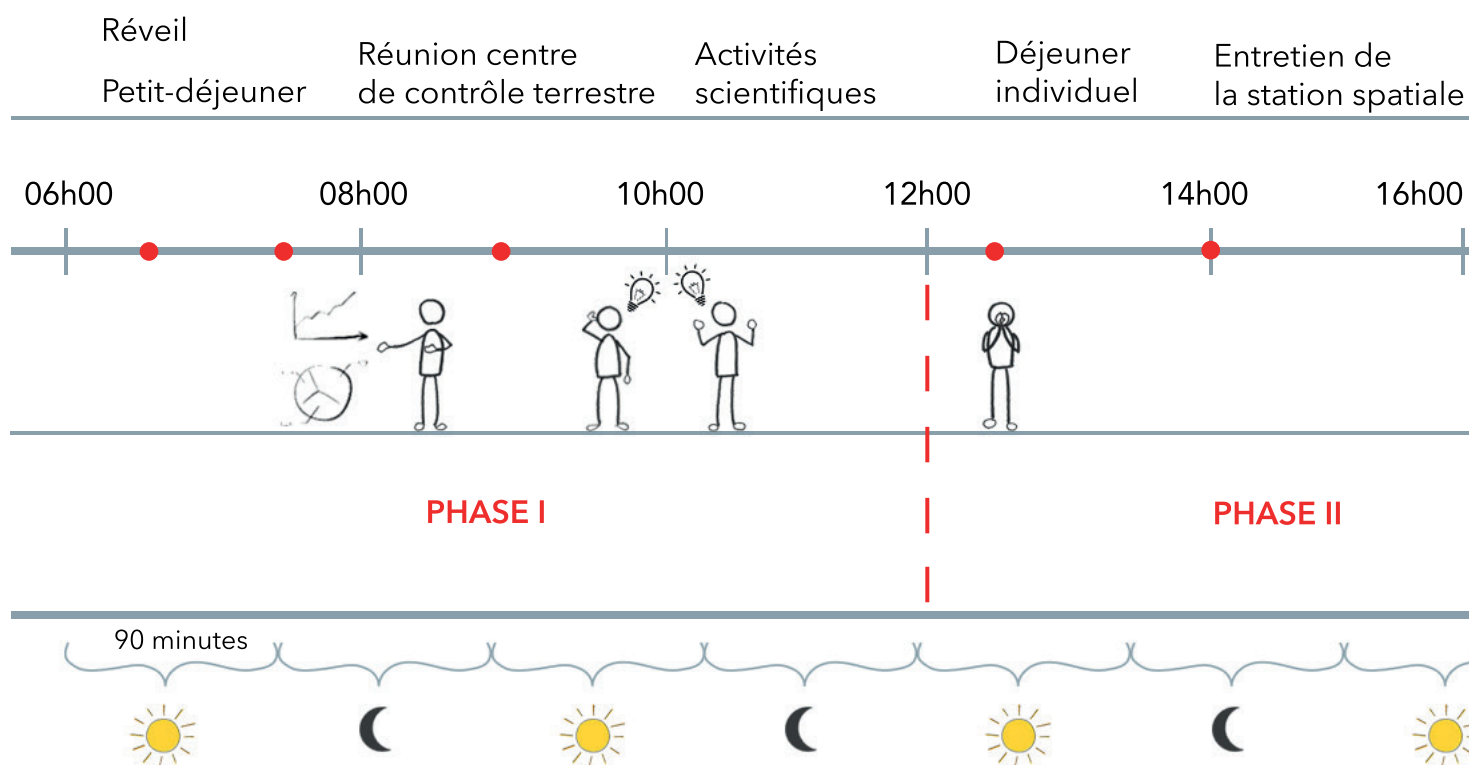


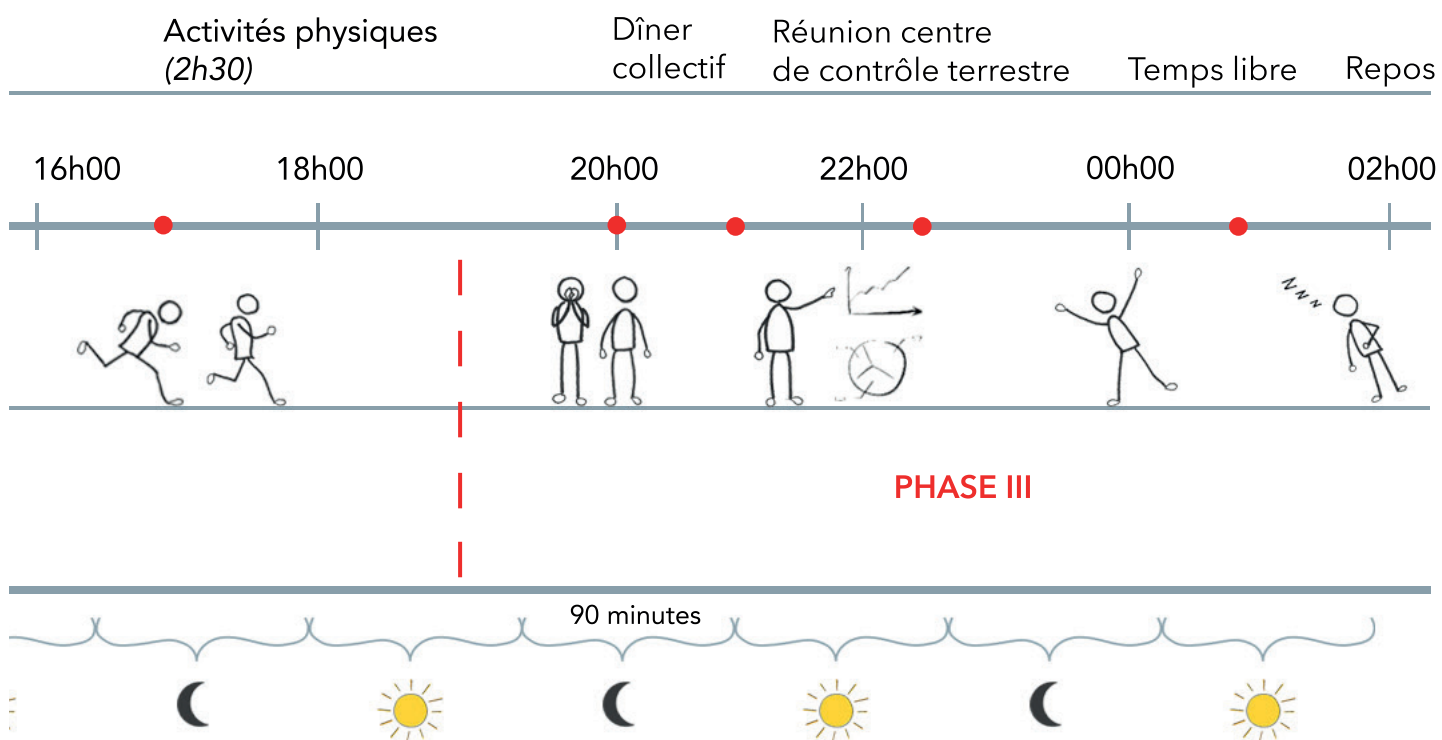
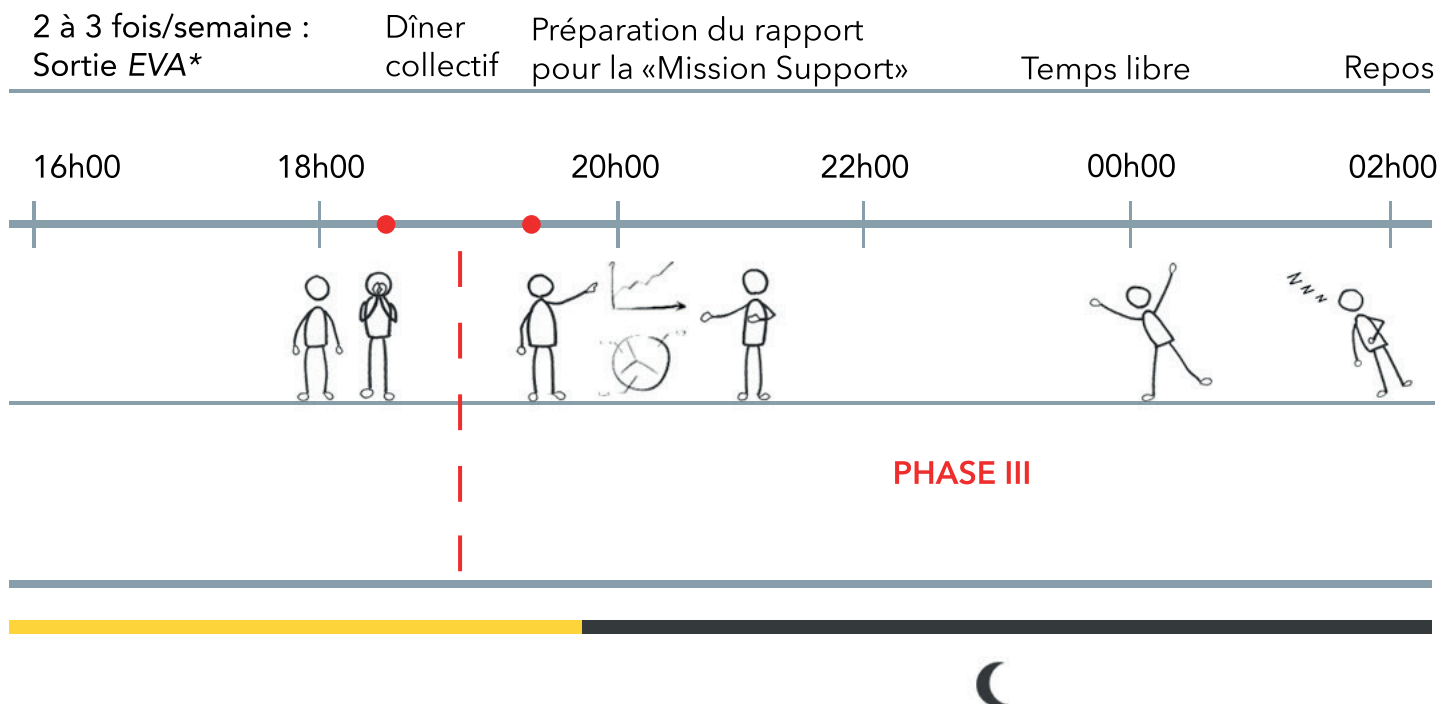
Rythme circadien sur Terre et dans l'Espace

TERRE



ESPACE





*EVA : Extravehicular activity

2.3. CORPS CONTRAINTS : LES IMPACTS PHYSIOLOGIQUES ET PSYCHOLOGIQUES D'UNE LONGUE PÉRIODE DANS L'ESPACE

Nous avons découvert précédemment, les impacts du confinement, de l'isolement et du rythme circadien sur l'Homme. Dans cette partie, nous allons aborder les recherches scientifiques effectuées afin d'accroître nos connaissances sur le facteur humain et sur les technologies destinées à réduire les conséquences de l'isolement.

2.3.1 Les travaux de la NASA

Pour mieux comprendre les conséquences d'un confinement sur le corps et le mental des astronautes, la NASA a développé un programme de recherche nommé : *Human Research Program*³⁹ (HRP). Ce programme de recherche créé en 2005 a pour objectif de mettre en place des méthodes et technologies pour mieux appréhender un voyage vers la planète Mars. Parmi les axes d'étude de la NASA nous pouvons citer : l'information sur la santé humaine, les performances et les normes d'habitabilité, les technologies avancées d'habitabilité et de soutien médical.

Les conséquences de l'Espace sur le corps sont nombreuses, parmi elles, les effets physiologiques. En effet, vivre dans l'Espace n'est pas aussi agréable que sur Terre, les astronautes doivent subir entre autres les répercussions du rayonnement spatial et de la gravité. Les conséquences d'un vol dans l'Espace ont également des impacts psychologiques qui augmentent avec la durée de vol et du confinement. On retrouve une plus grande irritabilité, une hypersensibilité, de l'anxiété ou bien encore des troubles du sommeil dus à la perturbation du rythme circadien. Selon le psychologue de la NASA, Tom Williams⁴⁰, le corps et le mental des astronautes doivent s'adapter car l'éloignement avec la planète Terre peut causer un stress important. Des études psychologiques engagées par la NASA ont permis de mettre en lumière l'importance des interactions entre les membres de l'équipage mais aussi entre ces derniers et les équipes techniques. En effet, bien que l'architecture intérieure des stations est capitale, la composition de l'équipage est un facteur des plus essentiels. La sélection des astronautes se doit d'être optimale afin de constituer des groupes d'astronautes capables de vivre ensemble dans un milieu confiné et isolé. Dans les milieux extrêmes l'entente du groupe est

³⁹ En français, le programme de recherche humaine

⁴⁰ Interview with Tom Williams, *Human Factors and Behavioral Performance*, NASA video, publié le 21 mai 2019

primordiale puisque les sujets de conflits peuvent être multiples et amplifiés par la situation exceptionnelle d'isolement. Pour limiter au maximum les conséquences sur le mental des vols spatiaux, une sélection rigoureuse est mise en place par les agences spatiales internationales. Lors des missions, en plus d'une surveillance importante des niveaux de stress, des plannings précis des charges de travail sont établis et des stratégies d'ajustement sont mises en place. Afin d'en apprendre davantage sur le fonctionnement des individus en communauté, de nombreuses études sont en cours dans des milieux analogues sur Terre afin de constituer à l'avenir des équipages où la cohésion et la bienveillance seront les maîtres mots.

Au vu des problématiques que pose l'Espace, il est important de considérer le temps de trajet lors de futures explorations spatiales notamment vers Mars afin d'éviter d'affecter physiquement et psychologiquement les astronautes. Pour exemple, un voyage vers Mars est estimé entre 12 et 18 mois, or le vol spatial le plus long actuellement enregistré est celui du cosmonaute Vladimirovich Polyakov⁴¹ dans la station Mir.



10. Logo du programme de recherche de la NASA

⁴¹ Vol réalisé du 8 janvier 1994 au 22 mars 1995 - 437 jours, 17 heures, 58 minutes à bord de Mir, en tant que membre de la mission Mir LD-4.

2.3.2 Les travaux scientifiques : un début de réponse ?

Grâce aux recherches scientifiques menées par la NASA ou par d'autres entreprises spatiales, les connaissances autour des facteurs importants pour configurer des espaces dédiés au bien-être augmentent. Une partie des recherches tentent de rationaliser les surfaces et de mieux appréhender les dimensions idéales d'un espace. D'ailleurs historiquement, dès le XX^e siècle, des architectes ont expérimenté avec les dimensions du corps, tel est le cas du Modulor théorisé par Le Corbusier en 1945. Il s'agit d'un système de mesure établi sur l'échelle humaine représentant une silhouette standardisée (taille de l'homme debout et le bras levé, respectivement : 1,83 m et 2,26 m) permettant de concevoir des espaces procurant à l'habitant un sentiment de bien-être et de confort.

De plus, comme nous l'avons découvert précédemment avec l'expérience du confinement, la lumière et la fonctionnalité semblent jouer un rôle important dans la perception de l'espace et par conséquent conduit à produire un lieu plus agréable. Au regard des expérimentations faites par l'architecte Galina Balashova, les couleurs prennent aussi une place importante dans la notion de confort. En effet, cette dernière développe pour les vaisseaux spatiaux des palettes de couleurs reconnues pour leurs bienfaits. Elle développe également une série d'aquarelles ayant pour vertu de rappeler la Terre aux astronautes. Effectivement, la stimulation visuelle est primordiale dans un environnement très technologique et parfois dépourvu de repère terrestre. L'apport suffisant de lumière est également une thématique importante pour améliorer le bien-être des astronautes et scientifiques. Dans la base Halley VI, de la même manière que dans les projets de Galina Balashova des jeux de couleurs ont été placés dans la station. Des apports de lumière artificielle ont aussi été ajoutés dans le but de recréer le rythme circadien des occupants puisque la station située en Antarctique ne peut bénéficier d'un cycle solaire régulier.

Bien que l'architecture spatiale peut être pensée de la même manière que sur Terre, nous ne pouvons exclure les contraintes supplémentaires que les architectes doivent appréhender dans la conception des stations spatiales. La bonne maîtrise des connaissances scientifiques est capitale pour concevoir des espaces dédiés au bien-être.

2.3.3 Le « second corps » : le scaphandre

Bien que le scaphandre ne soit pas un espace construit en tant que tel, ce dernier tient une place importante lorsqu'il s'agit du corps contraint. Nous pouvons même le considérer comme une architecture à part entière : un « second corps » protecteur pour l'astronaute. Dans les années 1960, lors du début des explorations spatiales, le milieu dans lequel les Hommes allaient être exposés était complètement nouveau, dangereux et inhospitalier. En effet, la vie sur Terre est différente de celle de l'Espace et beaucoup plus douce pour le corps. L'atmosphère terrestre nous fournit l'air que nous respirons, nous protège des rayonnements solaires nocifs, dilue le gaz carbonique, régule la température et offre une pression adaptée à notre métabolisme. Pour affronter le froid, la chaleur, le vide et l'apesanteur la combinaison spatiale est vitale et essentielle. Elle constitue alors une seconde enveloppe protectrice contre l'environnement hostile de l'Espace. Le corps absent de son berceau terrestre d'origine ne peut plus se protéger seul. Le scaphandre a alors le rôle du « second corps » et de seconde enveloppe dans laquelle l'astronaute doit être le plus confortablement installé. La combinaison spatiale doit assurer un rôle similaire à celui de l'atmosphère terrestre comme si celle-ci était une micro Terre autour du corps de l'astronaute. La combinaison spatiale devient une architecture protectrice, « un petit vaisseau spatial » comme le révèle Thomas Pesquet dans une interview en octobre 2015, « le scaphandre n'est pas fait d'un bloc. Il est composé de pieds, jambes, torsos, bras que l'on assemble et qui existent chacun en plusieurs tailles. Seuls nos gants sont faits sur mesure. C'est un vrai petit vaisseau spatial dont nous prenons grand soin ».

Pensée par de nombreuses professions allant du physicien à la couturière, la combinaison spatiale n'a de cesse d'évoluer pour proposer aux astronautes une expérience agréable et les protéger contre les environnements les plus hostiles. Les sorties extravéhiculaires sont délicates et limitées en durée et en nombre. Dans l'Espace, les astronautes se déplacent dans un environnement vide d'air, les combinaisons doivent être suffisamment résistantes et être capables d'adapter la température.



11. Thomas Pesquet lors d'une sortie dans l'Espace

« [les sorties extravéhiculaires] c'est l'expérience de vol ultime, on devient son propre vaisseau spatial » Thomas Pesquet

Envoyé spécial, France 2, Interview intégrale de Thomas Pesquet, diffusé le 8 juin 2017, [consulté le 23 novembre 2020]



12. Astronaute lors d'une sortie dans l'Espace

« C'est un peu surnaturel de savoir que vous êtes dans votre propre petit vaisseau spatial et qu'à quelques centimètres de vous se trouve une mort instantanée »

Scott Kelly

Daily Geek Show, 16 témoignages insolites qui vous immergent dans la vie d'un astronaute en mission dans l'espace, astronaute Scott Kelly, [consulté le 13 décembre 2020], disponible en ligne : dailygeekshow.com/quotidien-astronautes-espace/5/

2.3.4 L'architecture : à l'écoute des besoins humains

L'architecture a donc un rôle central à jouer dans ces problématiques. Elle se doit de comprendre les besoins de l'équipage mais aussi de connaître les spécificités de la vie dans les milieux extrêmes pour concevoir des espaces de vie dédiés au bien-être. Le parallèle avec le confinement généralisé d'une partie de l'année 2020 ainsi que la découverte des rythmes de vie et circadien Terre-Espace nous ont permis d'établir dans cette seconde partie des hypothèses quant aux éléments qui influencent le confort. Ainsi nous pouvons supposer que la lumière, les espaces dédiés au confort, les espaces privés, les dimensions et la fonctionnalité sont des éléments privilégiés d'influence du confort.

Parallèlement, les travaux scientifiques des dernières années nous permettent d'en apprendre davantage sur le facteur humain mais aussi de comprendre comment limiter le stress ou l'anxiété de ces aventuriers de l'extrême. Ces avancées techniques et scientifiques vont continuer de progresser dans les prochaines décennies permettant aux architectes d'enrichir leurs conceptions.

« Pour satisfaire les besoins physiques des astronautes et surtout pour leur assurer un minimum de bien-être moral dans un environnement extraterrestre hostile, l'intervention des architectes sera indispensable »⁴²

⁴² Slavid (Ruth), *Architecture des limites : construire en milieu hostile, du dessert au vide interplanétaire*, chapitre 5 : Espace, Seuil, 2009, page 183



03

ARCHITECTURE EN MILIEUX EXTRÊMES : ÉTUDES DE CAS

Cette page est laissée blanche intentionnellement

3.1.DÉCOUVRIR LA TERRE DEPUIS L'ESPACE : LES STATIONS SPATIALES

Le rêve de colonies extra-planétaires ou orbitales de l'Homme appartient encore au domaine de l'imaginaire cependant les stations spatiales qui gravitent au-dessus de nos têtes depuis les années 1960 sont bien réelles. Nous allons découvrir ces dernières, à travers la présentation des premières stations et celles qui survolent encore notre planète de nos jours. Les premiers engins spatiaux constituaient les premiers habitats isolés mais aussi les premiers laboratoires d'expérimentations du confort dans les milieux extrêmes. L'objectif de cette étude sera non seulement de découvrir ces stations spatiales mais aussi de voir quels ont été les éléments développés pour le bien-être des astronautes. Il s'agira aussi de comprendre l'évolution du confort dans ces stations depuis le premier programme Soyuz à nos jours avec l'ISS. Ces cinq stations spatiales sont d'une telle complexité technique que nous les analyserons d'un point de vue conceptuel en réalisant pour certaines d'entre-elles des schémas et diagrammes synthétiques.

3.1.1 Les stations Soyouz

Les stations Soyouz désignent une famille de vaisseaux spatiaux développée dès 1963 par les soviétiques. Ces stations avaient à l'origine comme objectif d'envoyer des cosmonautes sur la Lune. Cependant depuis les années 1970, le vaisseau Soyouz permet d'assurer la relève de l'équipage des stations spatiales en accueillant jusqu'à trois astronautes. Malgré des réflexions sur le remplacement de la station Soyouz dans les années 2000, il reste à ce jour le seul vaisseau utilisé pour emmener des Hommes vers la Station Spatiale Internationale depuis l'arrêt de la navette spatiale américaine Atlantis en juillet 2011. Des projets américains sont cependant en développement notamment par les groupes SpaceX et Boeing.

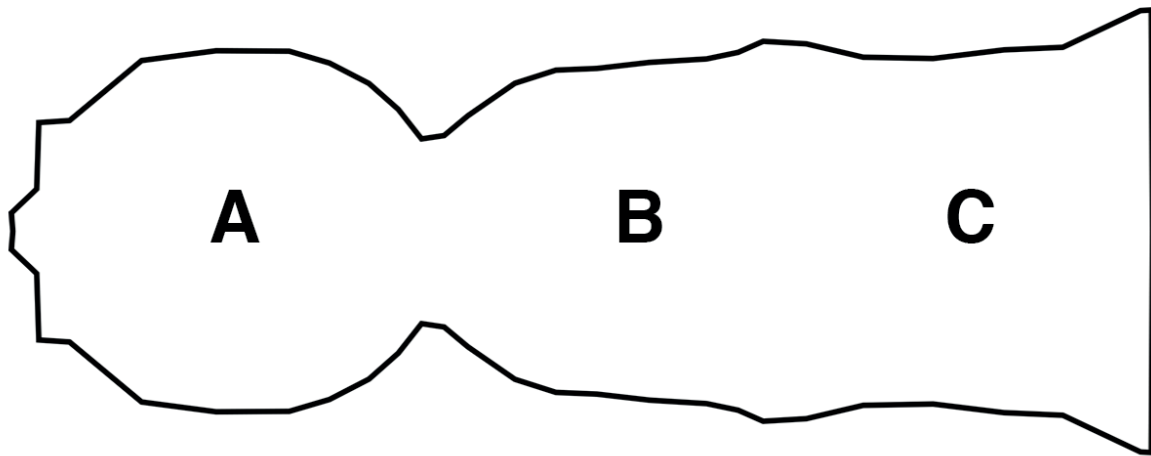
Le vaisseau spatial Soyouz est pensé par l'ingénieur Sergueï Korolev dans le but de remplacer le vaisseau Voskhod : son premier vol est alors effectué, le 21 avril 1967. Néanmoins, la mise au point de Soyouz est compliquée, les tragiques accidents de Soyouz 1 en 1967 et de Soyouz 11 en 1971 entraînant le décès de leurs équipages ternissent l'image de ces stations. Malgré cela, plusieurs versions du vaisseau Soyouz se sont succédé prouvant leurs améliorations techniques et leur robustesse. En fonction des versions de Soyouz, ce dernier peut effectuer des vols en autonomie compris entre trois et quinze jours, ou bien rester amarré à la Station Spatiale Internationale jusqu'à 200 jours. En dépit des neuf versions⁴³ de Soyouz, le vaisseau n'a pas connu de modification majeure dans sa composition. Soyouz comprend trois entités, la première correspond à un module de service, la seconde permet d'accueillir l'équipage lors du lancement de la station, il s'agit du seul module à revenir sur Terre. La dernière entité est occupée par les astronautes durant leur séjour en orbite. Entre 1963 et 1975, l'architecte Galina Balashova a consacré une partie de son travail aux dessins de l'agencement intérieur du module orbital des stations Soyouz T, TM et 19.

Ce vaisseau Soyouz est pour les astronautes la première expérience d'architecture en milieu extrême avant de rejoindre 48 heures plus tard leur station de séjour à plus longue durée à savoir l'ISS. L'astronaute Peggy Whitson évoque cette expérience « deux jours dans le Soyouz, c'est d'un ennui à mourir ! Entre la phase de lancement et la phase d'approche de l'ISS, il n'y a pas grand-chose à faire »⁴⁴.

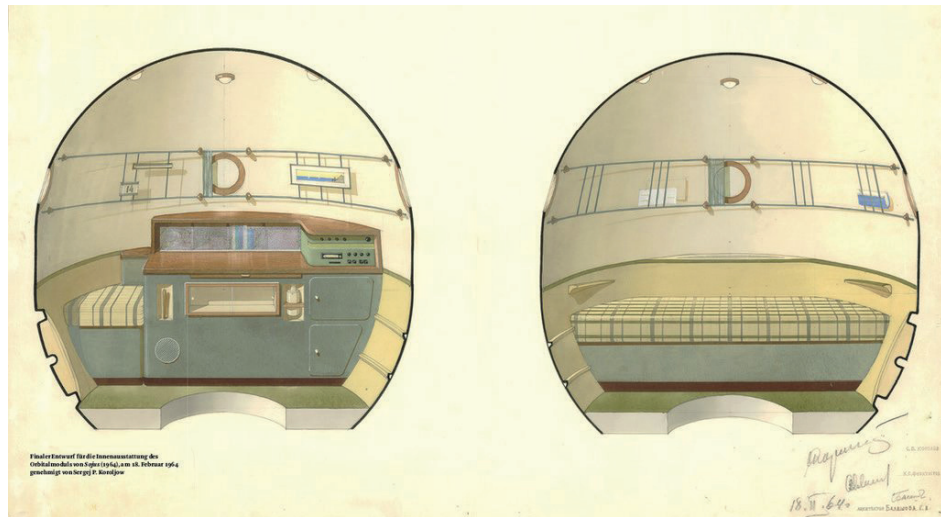
⁴³ Soyouz T à partir de 1976, Soyouz TM en 1986, et Soyouz TMA à compter de 2002

⁴⁴ Gévaudan (Camille), *Comment se passe le voyage dans un vaisseau Soyouz ?*, publié le 19 novembre 2016 [consulté le 15 novembre 2020], disponible en ligne : www.liberation.fr/futurs/2016/11/19/comment-se-passe-le-voyage-dans-un-vaisseau-soyouz_1529421#:~:text=Mais%20globalement%2C%20d'apr%C3%A8s%20ce,%2C%20fa%C3%A7on%20boulet%20de%20canon.%C2%BB

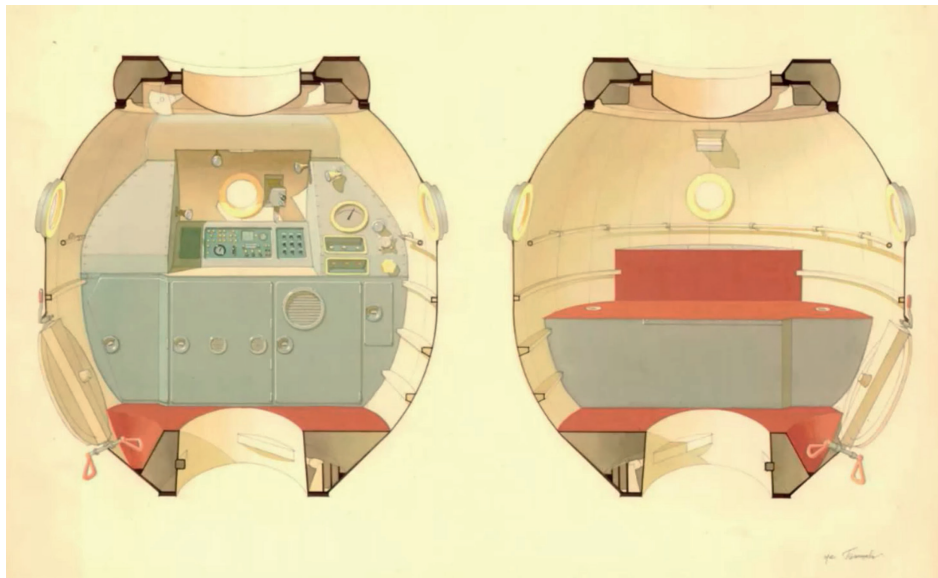
Le vaisseau est également utilisé pour le retour sur Terre, ce dernier est plus court, 3 heures 30 minutes, mais constitue la partie la plus technique. Le vaisseau Soyouz correspond à l'expérience de corps contraint la plus compliquée. Cela est sans doute dû à ces dimensions et à son usage de vaisseau de transport ISS-Terre ou vice versa.



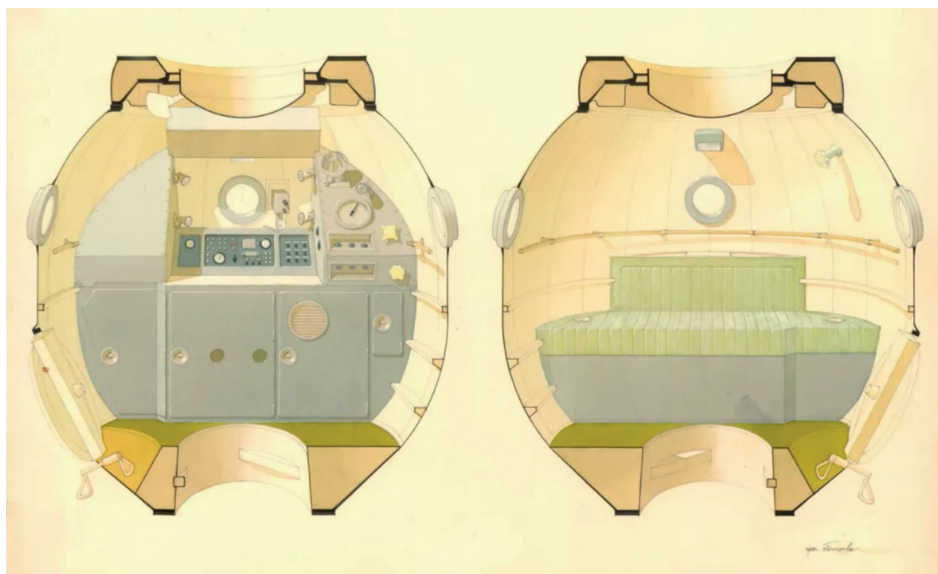
A: Module orbital (2,65 x 2,25m soit 6 mètre cube)
B: Module de descente ou de commande (2,2m x 2,15m)
C: Module de service (2,3 x 2,2m)



13. Design final, Module Orbital Soyouz, Galina Balashova (1964)



14. Module Orbital Soyouz T, Galina Balashova (1970)

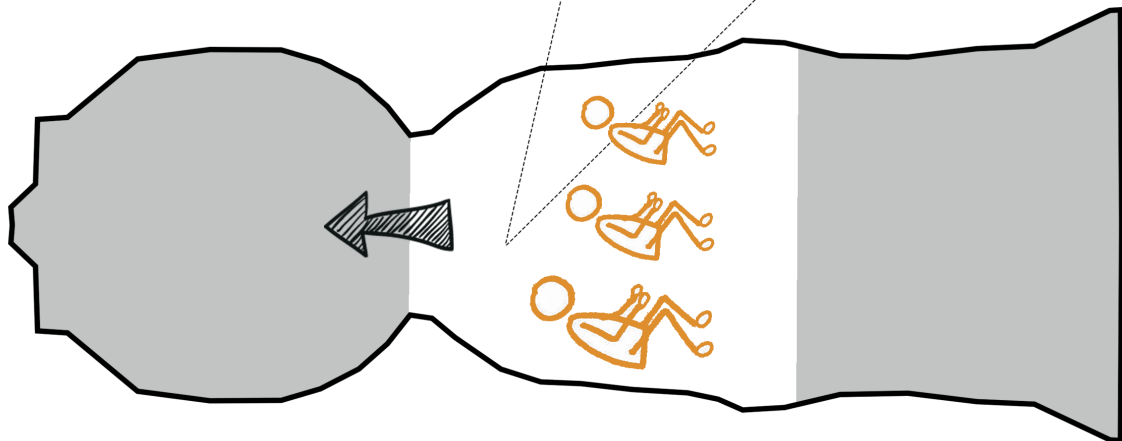


15. Design final, Module Orbital Soyouz T, Galina Balashova (1971)

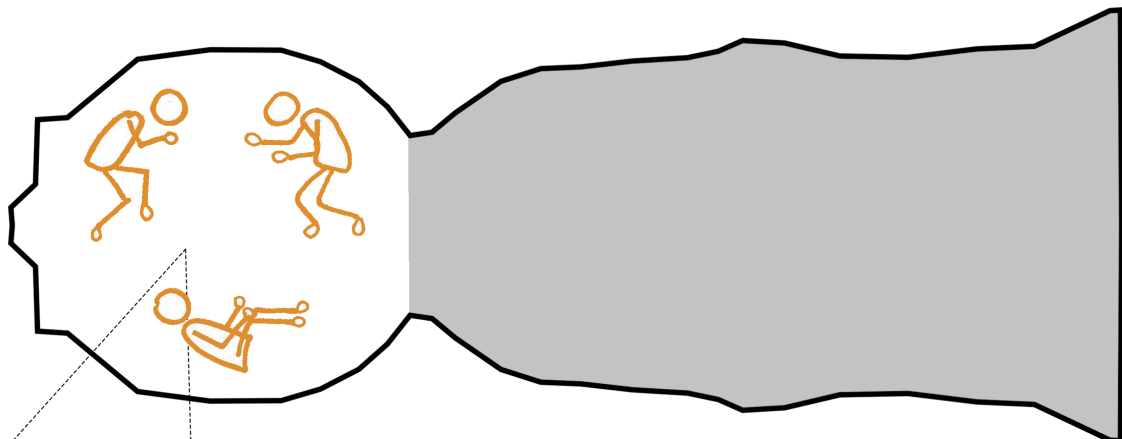


Thomas Pesquet
dans le
simulateur de
Soyouz à
Moscou, en 2014

Source :
Photo S. Corvaja. ESA



PHASE I / Module de descente



PHASE II / Module Orbital



Chris Hadfield dans le Module Orbital Soyouz

Source : space.com



3.1.2 Programme Saliout

Dans un contexte de Guerre Froide entre 1971 et 1991, l'Union soviétique entreprend le programme Saliout. Durant ces vingt années, sept modèles vont se succéder. Cependant entre les premières versions, la configuration intérieure n'a pas beaucoup évolué. Ce n'est qu'à partir de Saliout 6 que l'aspect change et que la station s'agrandit. Grâce à ces stations, l'objectif de l'URSS était de réaliser une base de présence permanente de l'Homme dans l'Espace. À l'origine le programme Saliout était un projet militaire sous la direction de l'ingénieur et physicien Vladimir Chelomei engagé en octobre 1964 sous le nom de Almaz⁴⁵. Suite au retard du programme et à la collaboration avec d'autres équipes soviétiques⁴⁶, le projet est rebaptisé Saliout et est basé sur des modules et technologies des stations Soyouz. La cible militaire n'est pas pour autant mise de côté, c'est pourquoi certaines stations Saliout seront également des stations Almaz à objectif militaire.

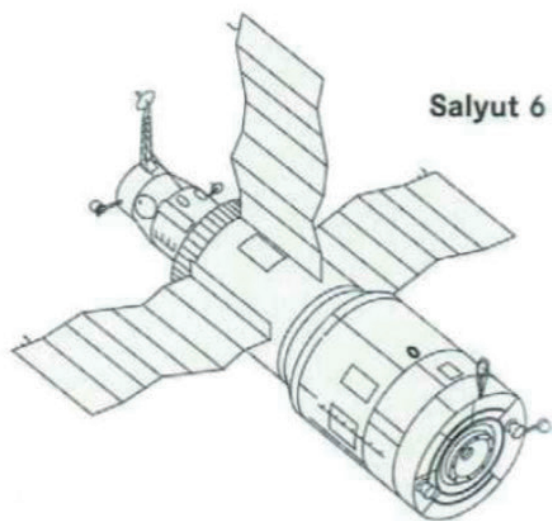
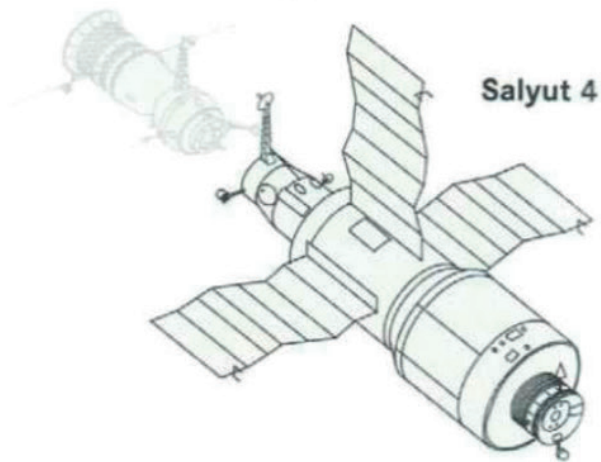
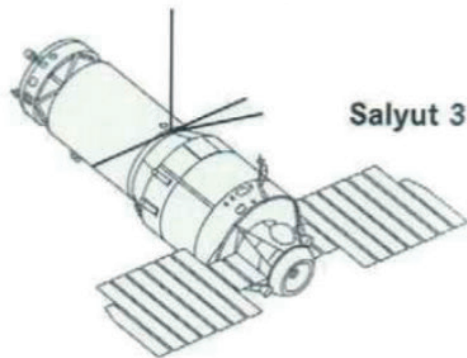
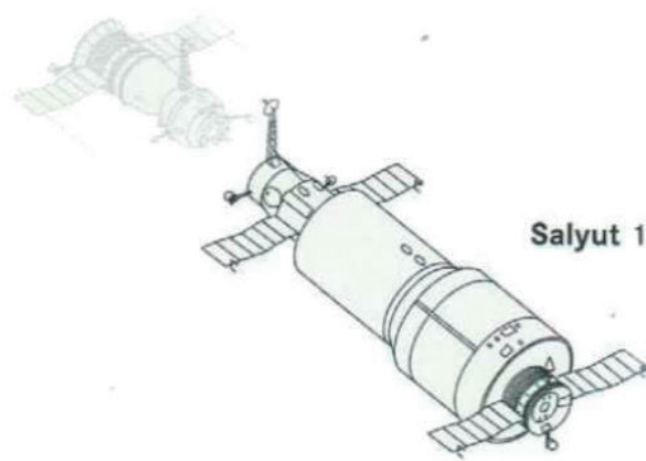
La première station Saliout est lancée en orbite le 19 avril 1971 pour une durée de six mois. Il s'agissait à la fois d'une prouesse pour l'Union soviétique mais également mondiale. Cependant avant Saliout 3, le programme soviétique ne rencontre pas un grand succès. Il faudra attendre le lancement de la station américaine Skylab pour que cette troisième version de Saliout lancée en juin 1974 bénéficie elle aussi de la réussite. Après ces exploits, la coexistence des stations américaines et russes débute dans l'Espace. À partir de Saliout 6 et 7, les équipes développent des stations plus conséquentes⁴⁷ et équipées. Ces dernières étaient dites de seconde génération, elles comptaient plus de 600 jours d'occupation et pouvait accueillir 4 à 6 membres. Elles faisaient alors parties des premières expérimentations de vols longue durée dans l'Espace. Les nouvelles versions Saliout proposent également un sas de sortie extravéhiculaire et une douche.

Contrairement aux futures générations de stations, les Saliouts regroupent toutes les fonctions dans le module de vie. Ainsi, la station était composée d'un cylindre au diamètre irrégulier : le maximum de ce dernier était atteint à l'arrière de l'espace de travail soit 4,15 mètres. Dans ce même espace, on pouvait retrouver les sacs de couchage des cosmonautes accrochés à la structure de la station et une douche. Du premier vol soviétique Vostok jusqu'à la station Mir, le travail sur l'agencement

⁴⁵ Le programme Almaz avait pour enjeux de mettre en place une plate-forme de reconnaissance en orbite terrestre basse.

⁴⁶ Collaboration avec l'équipe de Korolev, dirigée par Vasile Mishin. Cette équipe était responsable du programme soviétique pour amener des hommes sur la Lune

⁴⁷ Les nouvelles stations Saliout font environ : 30 m de long pour 36 tonnes



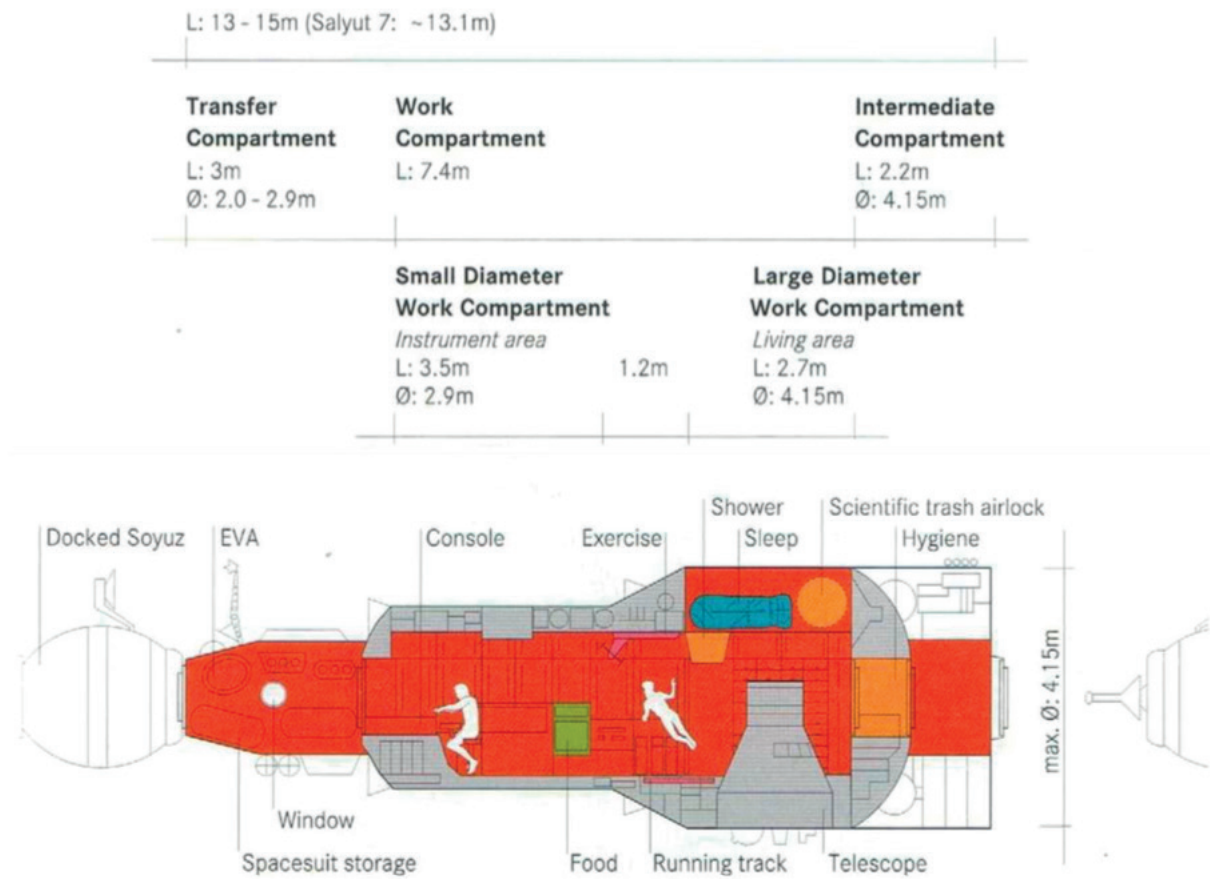
intérieur des vaisseaux avait été confié à l'architecte Galina Balashova. Elle avait pour objectif de rendre le séjour des cosmonautes plus agréable en travaillant le design et l'agencement intérieur des stations. Entre 1976 et 1978, Galina Balashova a consacré son temps au design intérieur des stations Saliout 6 et 7. Elle avait pensé à recréer une direction en donnant l'impression d'un sol et d'un plafond en opposant des couleurs foncées (sol) et des couleurs claires (plafond). Comme nous l'apprend Philipp Meuser dans son ouvrage, une majeure partie du travail de l'architecte avait également été fait sur les revêtements intérieurs où des couleurs lumineuses, claires et brillantes avaient été choisies pour pallier le manque d'éclairage, « puisque l'électricité devait être utilisée avec modération dans le vaisseau spatial, une palette de couleurs vives a aidé à compenser ce faible niveau d'éclairage »⁴⁸. Galina Balashova a aussi travaillé sur la fonctionnalité et sur le positionnement des installations techniques de la station. Elle a également intégré un fauteuil et des espaces de confort, de rangement, toujours avec l'objectif de répondre au mieux aux besoins des occupants, « un divan a été incorporé comme espace de couchage [...]. La position des équipements et du système de contrôle, les bibliothèques, l'espace de stockage pour la nourriture et la vaisselle et les boissons, tout était adapté aux besoins des personnes »⁴⁹.

⁴⁸ Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 31, traduction personnelle

Texte original : « Since electricity had to be used sparingly in the spacecraft, a bright color scheme helped to compensate for this low level of illumination »

⁴⁹ Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 31, traduction personnelle

Texte original : « A divan was incorporated as sleeping accommodation [...]. The position of the fittings and the control system, the bookshelves, the storage space for food and the crockery and drinks everything was adapted to people's needs »



17. Coupe dans la station Saliout avec répartition des activités



18. Ingénieurs à l'intérieur de la station Saliout (1971)

3.1.3 Station Skylab

La station Skylab⁵⁰, pensée dans le cadre du *Programme des Applications Apollo*⁵¹, est la première station spatiale américaine lancée par la NASA. Dans un contexte de crise économique et sociale aux États-Unis, les dépenses spatiales étaient revues à la baisse, c'est pourquoi une grande partie des composants de la station Skylab était issue de la réutilisation de composants existants. L'agence spatiale américaine a réutilisé les matériaux restants des missions Apollo. De cette manière, la station Skylab est construite sur les bases des vaisseaux Apollo et de la fusée Saturn V⁵². Malgré ce contexte, la station Skylab est mise en orbite le 14 mai 1973. L'objectif de cette station était de tester la capacité de l'Homme à effectuer de longs voyages dans l'Espace dans un environnement de vie et de travail restreint. Par ailleurs, la station devait être autosuffisante en ne nécessitant pas de fréquents ravitaillements. Les astronautes de la station ont également pour objectif de mener à bien de nombreuses observations scientifiques telle que l'observation du Soleil. Entre 1973 et 1974, la station hébergera trois missions de respectivement 28, 59 et 84 jours, ce dernier séjour établira alors un nouveau record. Le 11 juillet 1979, suite à la mission Skylab 4 et à quelques années de mise en sommeil dans le but d'une réutilisation ultérieure, la station Skylab finit par se dégrader en pénétrant dans l'atmosphère terrestre.

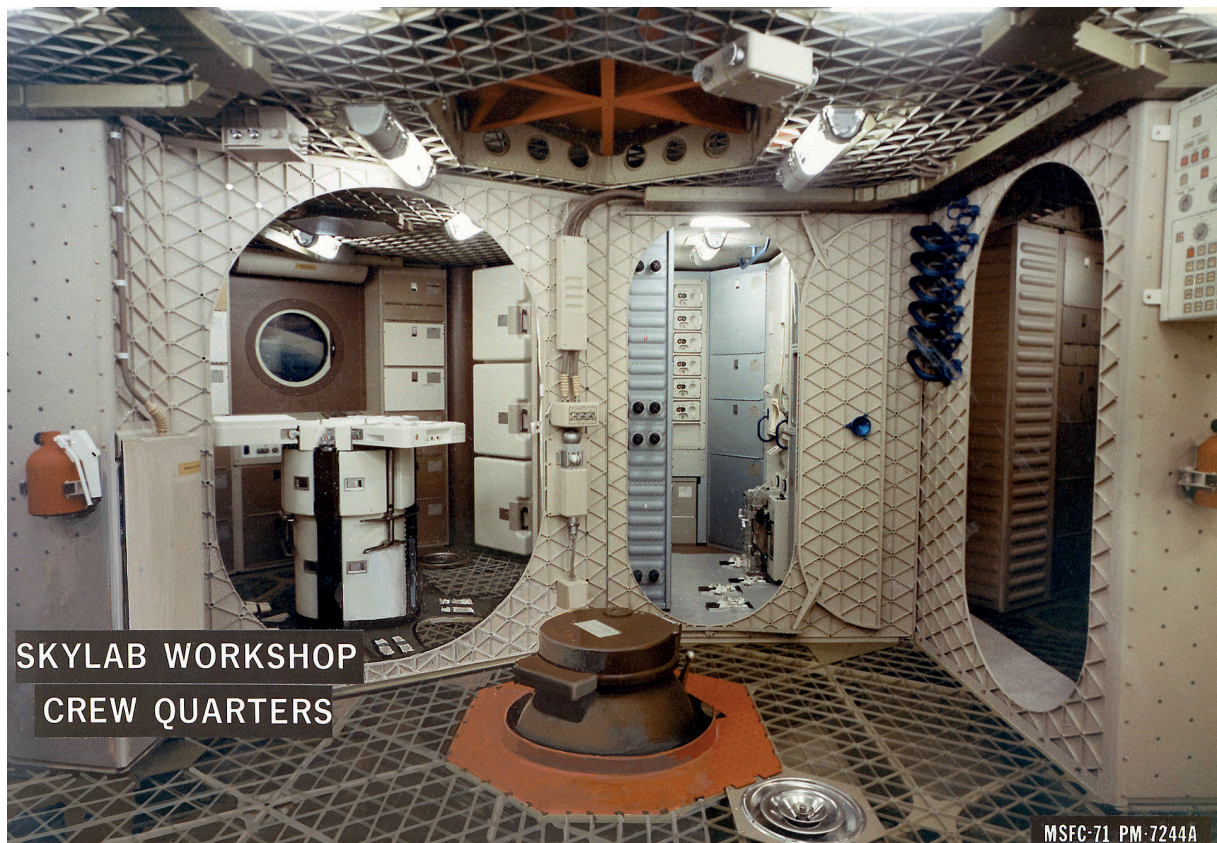
En 1967, lors des prémices de la conception de Skylab, George Mueller, chef du bureau des vols spatiaux habités de la NASA découvre la maquette du projet représentant l'intérieur de Skylab sombre et mécanique. George Mueller⁵³ ne pouvait concevoir une présence humaine prolongée dans un tel environnement. Il décida alors de consulter des concepteurs industriels et des architectes afin d'améliorer les conditions de vie des astronautes. Dans ces circonstances, le design et la conception intérieure de la station avaient été confiés au designer industriel français Raymond Loewy et son équipe. Pour lui, le design a une influence positive sur la vie de l'équipage et sur leur sentiment de bien-être. Parmi les avancées les plus notables et reconnues, nous pouvons nommer la table des officiers, composé de trois places, ce mobilier permet une disposition des astronautes sans hiérarchie autour de la table. Raymond Loewy a également contribué à la naissance des premières cellules privées dans un vaisseau spatial.

⁵⁰ Sky Laboratory, « Laboratoire du ciel » en français

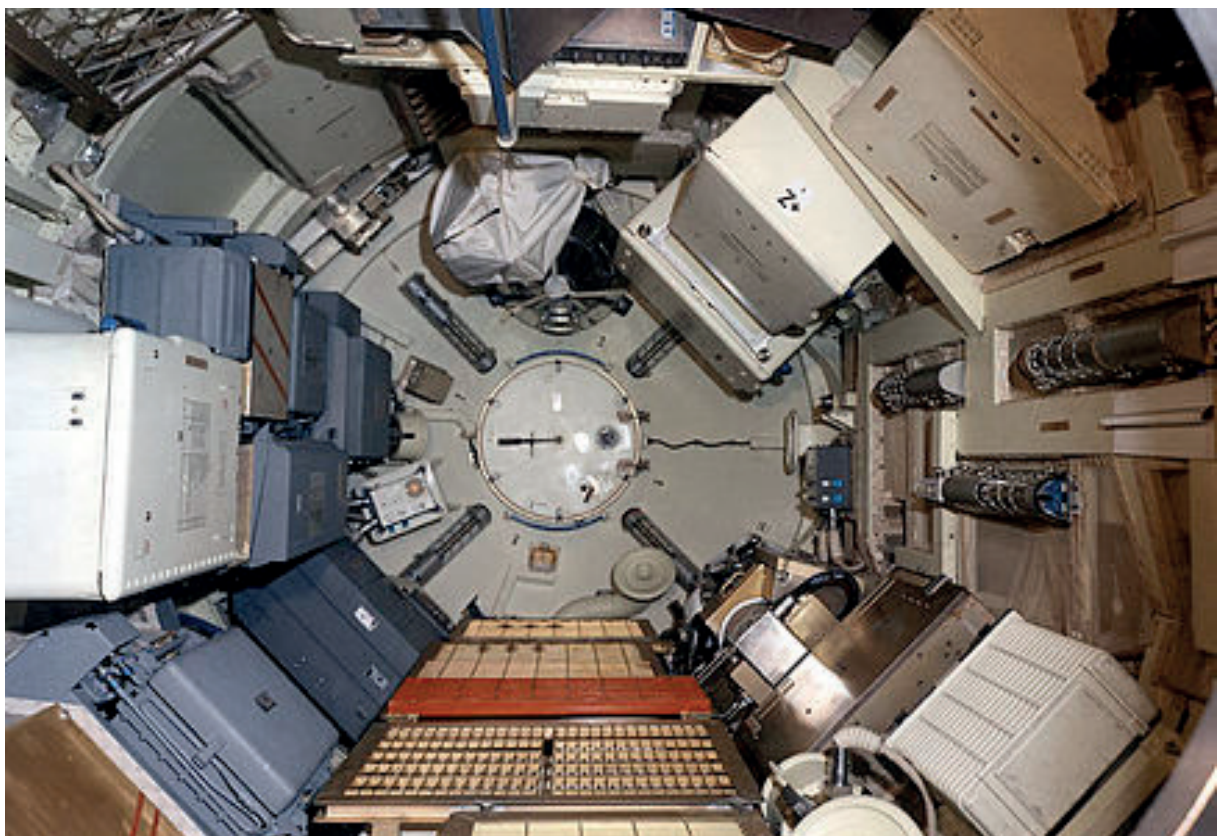
⁵¹ Il s'agit d'un programme spatial débuté en 1968 ayant pour objectif de constituer la suite du programme Apollo

⁵² Le module principal de la station Skylab est réalisé à partir du troisième étage de la fusée Saturn V

⁵³ George Mueller (1918-2015) était un ingénieur électricien qui a entre autre participé à la conception de la station Skylab



19. Espace dédié à l'équipage du Skylab



20. Intérieur de la station Skylab

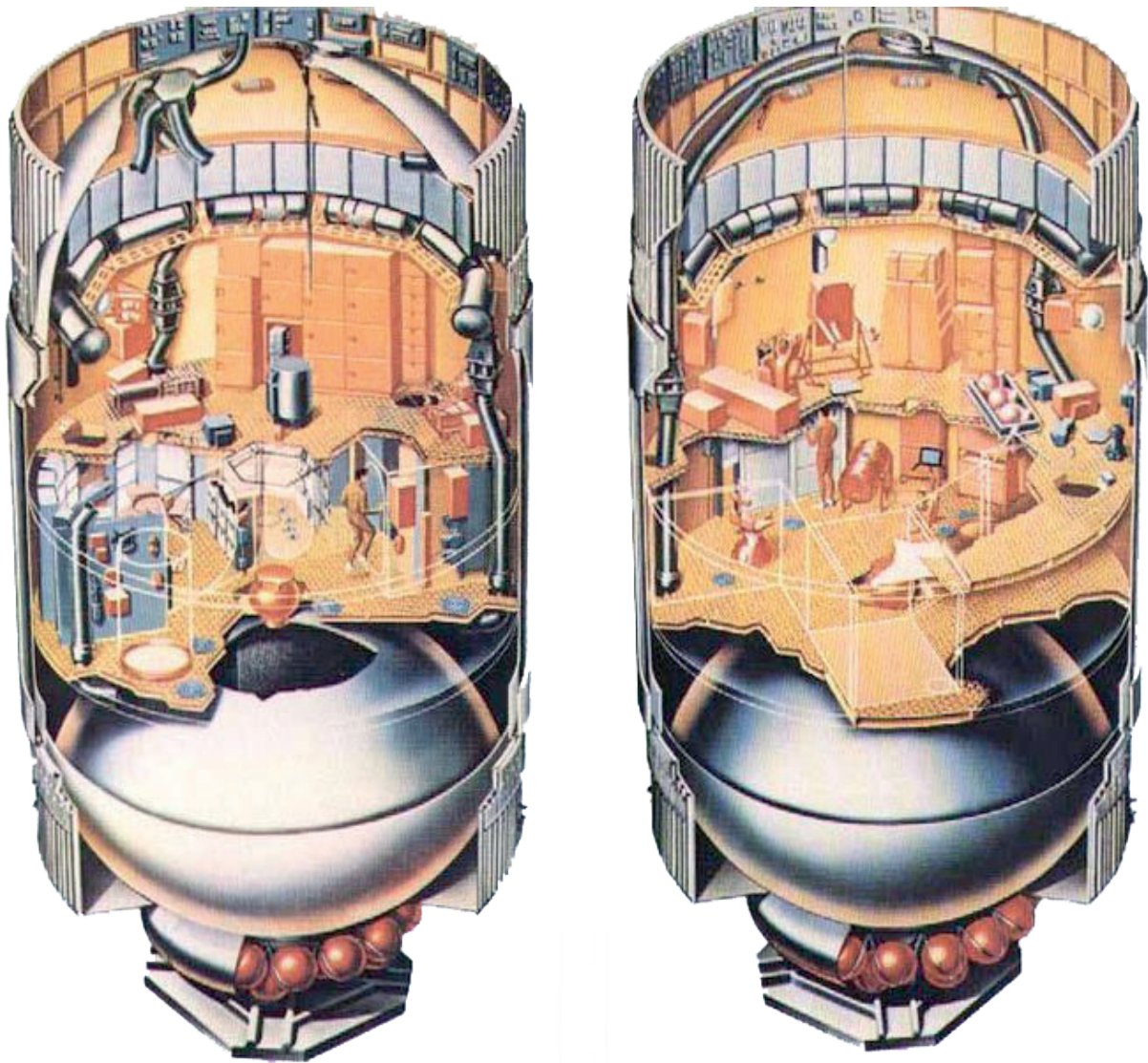
La station Skylab était composée de quatre éléments principaux :

L'atelier orbital, qui constitue le module d'espace de vie et de travail de la station, était un réservoir d'hydrogène retransformé et provenant du troisième étage de la fusée Saturn V. Ainsi, les dimensions de cet espace étaient très importantes et ne seront d'ailleurs plus atteintes par la suite. En effet, allant de 14 mètres de long et 6,6 mètres de diamètre, l'atelier orbital proposait des grandeurs impressionnantes. Ce dernier contenait entre autres, une cuisine, des espaces dédiés aux expériences scientifiques et des équipements pour permettre aux occupants de faire de l'exercice. Contrairement aux stations antérieures telle que Saliout, la station Skylab disposait d'un espace séparé et dédié à l'hygiène. Skylab était la première station à avoir des dortoirs séparés de l'espace de travail, ce compartiment pouvait accueillir trois personnes. Néanmoins l'équipage avait déploré le manque de rangement et d'une bonne isolation acoustique et lumineuse dans cet espace.

Le module sas quant à lui permettait aux astronautes d'effectuer des sorties extravéhiculaires dans l'Espace.

La station Skylab accueillait également un port d'amarrage pouvant contenir par exemple les vaisseaux de ravitaillement et de secours.

Le dernier élément est constitué par le support du télescope Apollo, ce télescope est principalement dédié aux observations solaires.



21. Module orbital de la station Skylab



22. Module de la station Skylab

3.1.4 Station Mir

La station spatiale Mir⁵⁴ a été développée par l'URSS dans le cadre du conflit de la Guerre Froide pour maintenir un avant-poste de recherche à long terme dans l'Espace. De ce fait, l'équipage de la station était principalement russe, or après l'effondrement de l'Union soviétique en 1991 et grâce à des nouvelles collaborations américaines et internationales, la station Mir a été rendue accessible à d'autres nations. Elle devient alors première station spatiale internationale. Tout comme le programme Soyouz et Saliout, le design intérieur de la station Mir est confié à l'architecte soviétique Galina Balashova de 1976 à 1986.

Le premier module est lancé en février 1986 mais l'assemblage de la station se déroule jusqu'en 1996. À la fin de sa construction, la station se composait de sept⁵⁵ modules et de panneaux photovoltaïques pour assurer son énergie. Il s'agissait de la première station dont l'architecture reposait sur l'assemblage de plusieurs modules habitables. Elle avait alors une masse et une taille supérieure à celle des précédents satellites artificiels. À partir de février 1987, la station Mir a été occupée durant trois phases, l'équipage de Soyouz T-15 a été le premier à y séjourner. Au cours de son exploitation, la station avait accueilli 104 astronautes issus de 20 pays différents. Parmi eux, on retrouve le cosmonaute russe Valery Polyakov⁵⁶ qui détient le record du plus long séjour. En 2001, après quinze ans en orbite terrestre⁵⁷, la station spatiale Mir est volontairement détruite remplacée par la nouvelle station spatiale internationale : l'ISS. En effet, la Russie étant alors engagée dans la construction de l'ISS, le pays n'était plus en capacité de financer l'exploitation de la station Mir. Durant son utilisation, la station a servi de laboratoire de recherche en micropesanteur, des expériences ont principalement été menées en biologie, astronomie mais aussi des expériences autour des technologies nécessaires à l'occupation permanente de l'Espace. Mir constitue la première station spatiale conçue pour une présence permanente de l'Homme dans l'Espace, elle a permis d'expérimenter les vols habités à long terme, étant donné que l'équipage effectuait des séjours de plusieurs mois.

⁵⁴ Du russe : Мир signifiant « Paix » et « Monde »

⁵⁵ La station Mir comprenait : un module central hérité de la station Saliout 7, cinq autres modules scientifiques et un module supplémentaire pour l'amarrage de la navette spatiale américaine

⁵⁶ Vol réalisé du 8 janvier 1994 au 22 mars 1995 - 437 jours, 17 heures, 58 minutes à bord de Mir, en tant que membre de la mission Mir LD-4

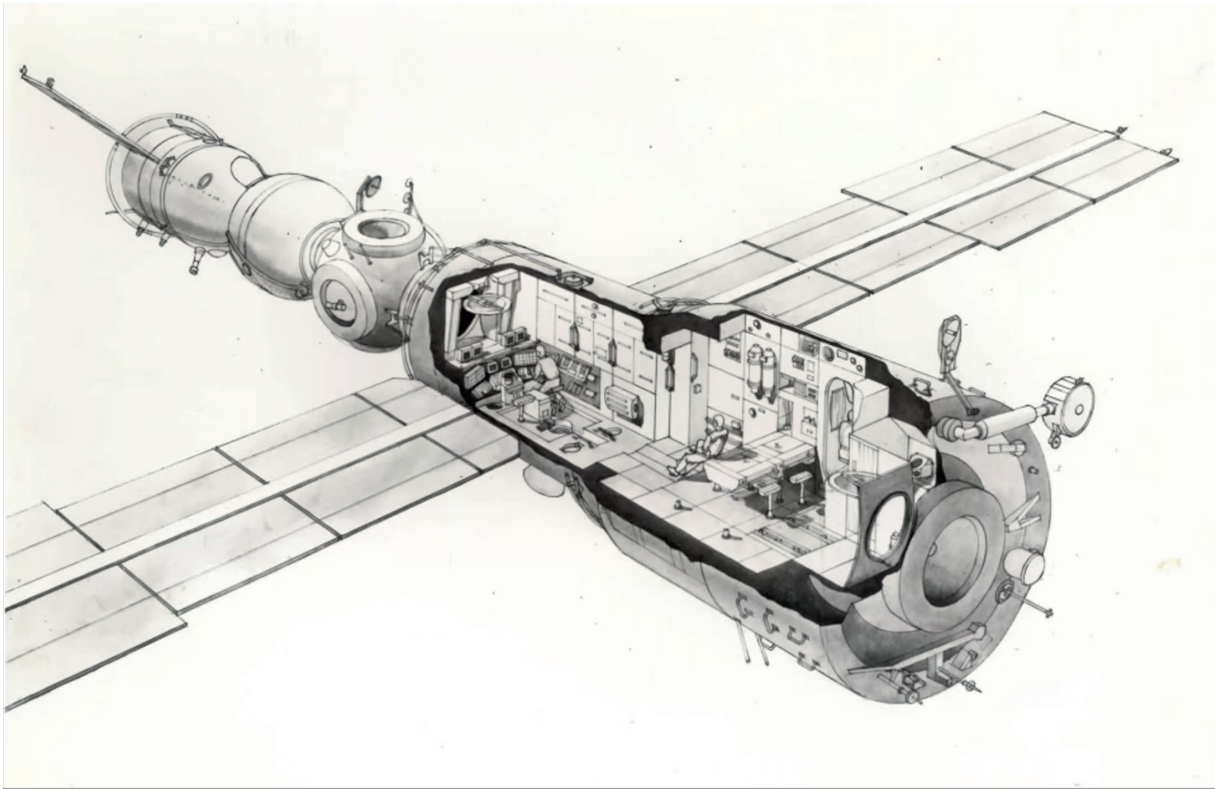
⁵⁷ Soit trois fois la durée de service prévu à l'origine

Pour l'époque, la capacité d'accueil de la station était correcte et relativement confortable. À l'origine conçue pour accueillir deux personnes, la station Mir finit par servir un équipage de trois astronautes de façon continue et par moment lors de l'amarrage des navettes américaines jusqu'à treize personnes. La station initialement prévue pour deux personnes comprenait logiquement deux cabines individuelles⁵⁸, insuffisantes pour accueillir les autres passagers devant se trouver une place où ils le pouvaient au sein de la station. Ces cabines privées ou *kayutkas* étaient équipées avec des sacs de couchage, des rangements pour les effets personnels et un espace de travail. De plus, pour permettre aux astronautes de les personnaliser, ils avaient la possibilité de la décorer. Afin d'assurer le bien-être des occupants, une aire d'hygiène était à leur disposition, elle comprenait un sanitaire et un lavabo. À l'origine la station Mir ne possédait pas de « douche »⁵⁹, rajoutée avec un nouveau compartiment en 1989.

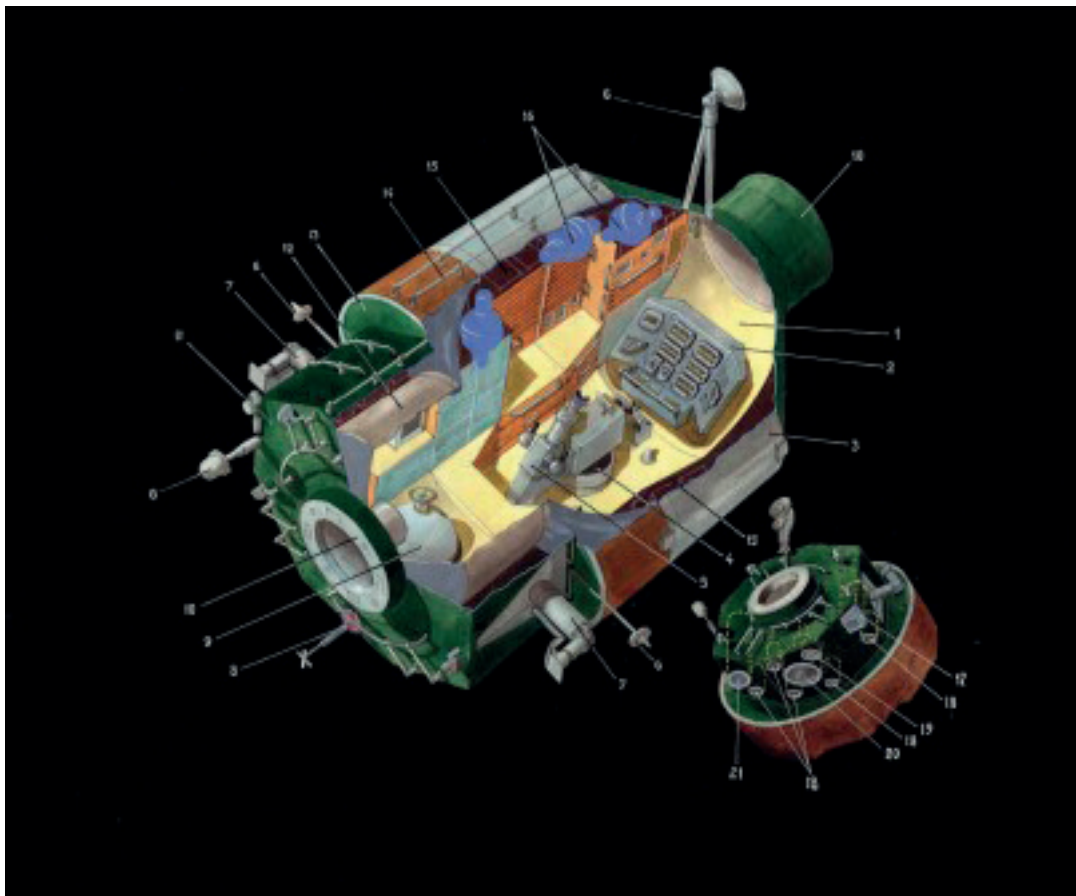
Le compartiment de travail était constitué de deux cylindres. Ce dernier fournissait des zones d'opérations, comprenait des activités de surveillance, de commandement et de recherche scientifique. L'espace de vie fournissait les besoins pour des missions de longue durée, on y retrouvait une cuisine, des éléments de cuisson, du rangement, un appareil d'exercice, un tapis roulant ... Ainsi, un espace privilégié était destiné aux repas collectifs. Le compartiment de transfert, composé d'une structure sphérique ne disposait pas d'indicateur de direction simulé de haut et de bas. Par la suite, les astronautes ont témoigné ressentir une sensation de désorientation dans ce module. Ce constat, démontre la nécessité des repères de couleur dans l'Espace pour renseigner les directions imaginé par l'architecte Galina Balashova.

⁵⁸ Nommée en russe des *kayutkas*

⁵⁹ La station Mir possédait néanmoins d'une unité pour se laver avec un savon sans rinçage



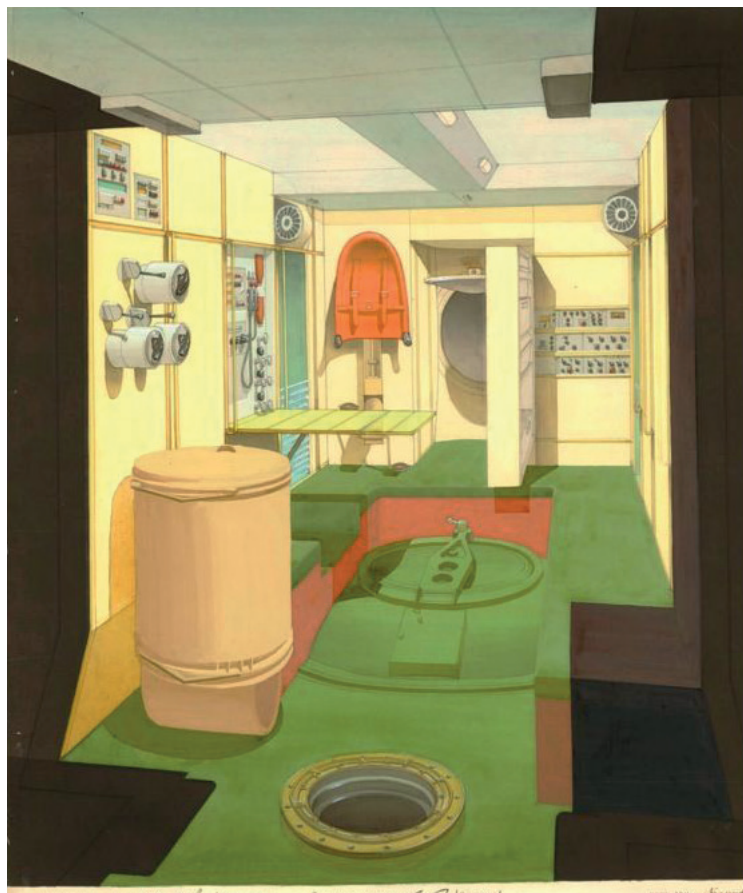
23. Station Mir, dessin de l'architecte Galina Balashova (1981)



24. Dessin du module Kvant de la station Mir, dessin de Galina Balashova (1980)



25. Dessin de l'espace de travail de la station Mir, architecte G. Balashova (1980)



26. Dessin de l'espace de détente de la station Mir, architecte G. Balashova (1980)

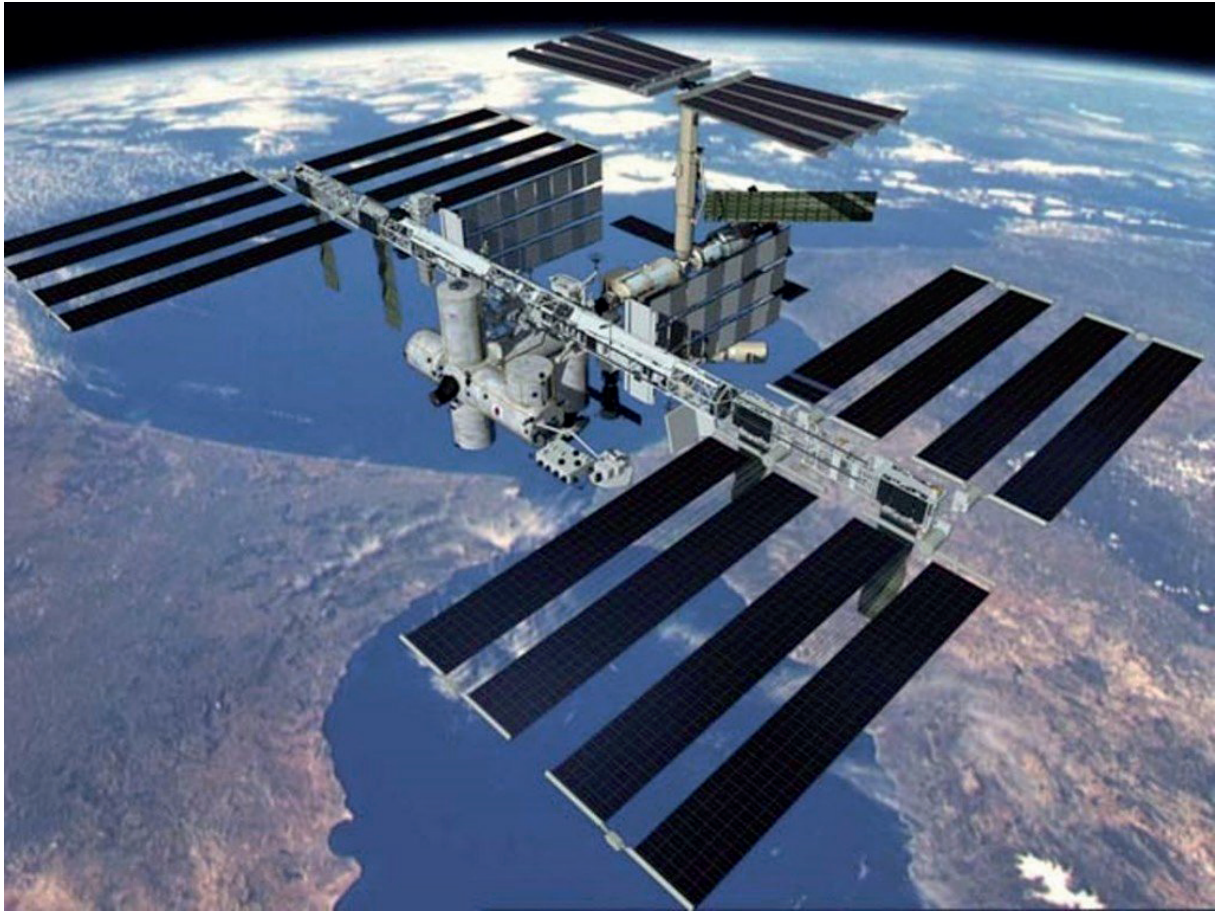
3.1.5 Station Spatiale Internationale (ISS)

La Station Spatiale Internationale (ISS)⁶⁰ est un projet multinational, en collaboration avec quinze pays, lancé et piloté par la NASA et développé en partenariat avec l'agence spatiale fédérale russe (Roscosmos), les agences spatiales européenne (ESA), japonaise (JAXA) et canadienne (CSA). La Station Spatiale Internationale a émergé grâce à l'union de trois projets plus anciens : la station spatiale américaine Freedom⁶¹, la station soviétique Mir et le laboratoire européen Columbus. Malgré des études menées par la NASA dès les années 1960 pour la mise en place de l'ISS, l'assemblage en orbite débute seulement en novembre 1998. Les travaux d'assemblage se sont terminés en 2011 bien que la Station Spatiale Internationale soit en perpétuelle évolution. Actuellement composée d'une quinzaine de modules pressurisés, dont quatre consacrés aux expériences scientifiques, l'ISS est la plus grande structure artificielle jamais placée en orbite autour de la Terre. Elle est quatre fois plus grande que la station Mir et cinq fois plus grande que la station Skylab.

L'ISS est localisée en orbite terrestre basse et est occupée par un équipage international sans interruption depuis le 2 novembre 2000, d'abord par trois astronautes, puis par six. Ils partagent leurs temps entre travail, opérations de maintenance et les tâches scientifiques. Les objectifs technologiques et scientifiques de l'ISS sont nombreux, par exemple dans le cas de la médecine spatiale, l'objectif principal est d'étudier les effets de séjours prolongés en apesanteur sur le corps humain. Ces études sont essentielles à la poursuite des missions spatiales et notamment pour envisager les longues missions habitées vers Mars ou au-delà. Pour pouvoir effectuer de nombreuses interventions techniques, l'équipage devait disposer d'une vue sur l'extérieur. Autour de ce débat, deux visions s'opposaient : les opposants qui soutenaient la présence d'une vue virtuelle uniquement, reconstituée sur les écrans des postes de travail à partir d'images obtenues des caméras. Tandis que les défenseurs, soutenaient qu'au nom de la sécurité, chacun des modules devait disposer de hublots permettant d'avoir une vue directe sur les composants de la station. À l'issue de ces discussions, la création d'une coupole d'observation donnant une vision à 180° a été décidée. Actuellement, la Cupola est très appréciée par les astronautes pour observer la Terre.

⁶⁰ ISS, d'après l'anglais International Space Station

⁶¹ La station spatiale Freedom était un projet de station spatiale permanente en orbite terrestre engagée par la NASA et soutenu par le président Ronald Reagan en 1984



27. Vue de l'ISS depuis l'Espace



28. Intérieur de l'ISS

L'architecture de la Station Spatiale Internationale est hétérogène composée d'un secteur russe reprenant les choix architecturaux de l'architecte Galina Balashova pour la station Mir et un segment orbital américain plus conséquent suivant les projets de la NASA. En ce qui concerne l'aménagement intérieur de l'ISS, il s'agissait à la fois de favoriser la productivité de l'équipage en optimisant l'espace et permettre la maintenance et l'entretien de la station. Pour parvenir à ce résultat les équipements intérieurs devaient être modulaires, la taille de chaque équipement était standardisée et restreint pour pouvoir passer par les écoutilles. Les concepteurs ont imaginé que l'intérieur de l'ISS devrait être organisé : cependant au fil des missions, l'intérieur a été adapté par l'équipage pour être fonctionnel et répondre à leurs besoins. En effet, les missions spatiales prolongées exigent un environnement flexible. Les équipements devaient être reconfigurés pour le nettoyage et l'entretien afin de s'adapter à l'évolution de la composition, des préférences et des activités de l'équipage. L'espace de vie de l'ISS est localisé dans le module Zvezda, on y partage principalement les repas. Il s'agit de la première station spatiale possédant un module entièrement consacré aux tâches non scientifiques. Parallèlement, les locaux consacrés à l'hygiène sont localisés dans les modules Zvezda et Destiny. La Station Spatiale Internationale contrairement aux stations précédentes, n'est pas équipée d'une douche, les membres de l'équipage utilisent du savon et du shampoing sans rinçage. Afin d'assurer l'intimité des astronautes, la Station Spatiale Internationale est équipée de cabine pour l'équipage autrement dit de compartiment privé. Le segment russe comprend ainsi, deux cabines nommée *kayutkas*⁶² et un autre module vient accueillir quatre autres locaux pour l'intimité de l'équipage. Ainsi, l'ISS propose des hébergements privés pour six résidents permanents. Chacune des cabines fournissent 2,1m³ de volume intérieur et un hublot de 20 cm de diamètre. À l'intérieur de chaque compartiment, une paroi latérale est désignée comme surface de couchage et de repos, où est accroché le couchage de l'astronaute pour lui assurer une certaine stabilité lors du sommeil. L'objectif de cette cabine privée est d'offrir aux personnes un endroit pour se retirer du bruit et des activités scientifiques des parties communes.



























⁶² En russe, *kayutkas* ou logements de l'équipage



29. Intérieur d'un des modules de l'ISS



30. Intérieur d'une cabine privée ou *kayutkas*

Stations spatiales	Années	Equipages	Missions sur 365 jours	Architectes/ Designers
Vostok	1961 -1963			
Mercury	1958 -1963			
Voskhod	1964 -1966			
Germini	1965 - 1966			
Soyouz	1967 -			Galina Balashova 63-64 : Soyouz 69-71 : Soyouz T et TM 71-75 : Soyouz 19
Apollo	1961 -1972			
Saliout	1971 - 1986	 + équipages temporaires		Galina Balashova 1976-1978 : Saliout 6 et 7
Skylab	1973 - 1979			Raymond Leowy
Shuttle	1981 - 2011			
Mir	1986 - 2001	 + équipages temporaires	 	Galina Balashova 1976-1986 : Mir, design intérieur
ISS	1998 -	 + équipages temporaires	 	
Shenzhou	1999 - 2016			

3.1.5 Architecture spatiale : la référence du corps

Dans cet espace si grand de la station spatiale, se référer aux dimensions du corps semble être la seule mesure palpable. Depuis les premières stations Soyouz dans les années 1970, les dimensions des stations n'ont cessé d'augmenter en accueillant plus d'équipements techniques et scientifiques. Cependant ces volumes cylindriques plus généreux n'offraient pas toujours des espaces de vie plus grands et confortables pour l'équipage.

Pour remédier à cela, Galina Balashova et Raymond Loewy respectivement architecte et designer ont consacré leur carrière à développer des espaces de vie plus agréables pour les occupants des stations, répondants aux contraintes du corps contraint psychologiquement et physiquement, en conciliant architecture du bien-être et progrès scientifique.

« La conquête de l'espace est l'une des rares activités humaines qui se vivent à la fois dans le rêve et dans la réalité. Au point qu'à certains moments, on ne sait plus très bien faire la part du rêve et celle de la réalité »⁶³

⁶³ Villain (Jacques), *Irons-nous vraiment un jour sur Mars ?*, Vuibert, 2011, page 91

3.2 HABITER SUR UNE AUTRE PLANÈTE GRÂCE AUX SIMULATIONS : LES STATIONS TERRESTRES

Afin de se préparer aux futures expéditions spatiales et à l'éventuelle présence de l'Homme sur la Lune ou sur Mars dans quelques décennies, les stations d'expérimentation sur Terre constituent une source d'information précieuse pour les chercheurs et architectes. Notre planète dispose de climats et d'environnements d'une grande diversité et offre des milieux analogues aux conditions que pourraient offrir d'autres planètes.

Depuis quelques dizaines d'années, ces milieux extrêmes accueillent des architectures innovantes. Ces dernières abritent des scientifiques, explorateurs, architectes ... afin de mener à bien des expériences scientifiques mais aussi de mieux comprendre les effets possible d'un isolement prolongé sur l'Homme. L'ensemble de ces expérimentations en milieu extrême permettent également de mettre en place des architectures soucieuses du bien-être de ses habitants. Les architectures extrêmes de l'Espace et sur Terre sont donc intimement liées dans leur manière d'appréhender les problématiques des espaces de vie dédiés au bien-être. Nous découvrirons dans cette partie cinq projets de station en milieu extrême qui ont servi de terrain d'étude comportementale, architecturale mais aussi scientifique.



31. Planisphère montrant la localisation des stations terrestres

3.2.1 Station Concordia

La station franco-italienne de recherche Concordia localisée en Antarctique a été fondée sous l'influence de l'Institut polaire français, Paul Émile Victor (IPEV) et italien, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA). Cette station a été construite entre 1999 et 2004 sous la direction de l'architecte Jean Dubourg en partenariat avec une entreprise d'ingénieur structure. La station a été construite à 3233m au dessus du niveau de la mer. Dans ce milieu extrême, les températures peuvent atteindre -80°C , avec une température annuelle moyenne autour des -55°C . Située à 600km de toute présence humaine, Concordia est la base de recherche scientifique la plus isolée au monde. En effet, pendant les 9 mois d'hiver, aucune aide extérieure ne peut être acheminée : ni par voie terrestre, ni aérienne. De ce fait, l'équipage constitué d'une dizaine de personnes comprenant des médecins, scientifiques, cuisiniers et techniciens est en complète autarcie et doit résoudre seul les éventuelles complications. Il s'agit d'une des stations en milieu extrême les plus importantes, pouvant accueillir en haute saison environ cinquante personnes. La station Concordia est constituée de deux cylindres droits principaux côte à côte (diamètre : 18,5m, hauteur : 12m), montés sur des supports rétractables pour laisser l'intérieur à niveau avec la neige. Ils comprennent 18 côtés et sont composés d'une structure en acier et habillés de panneaux constitués de plusieurs couches de polyuréthane expansé couvert par de la fibre de verre. Ces deux volumes accueillent, des lieux de vie, de soin et de travail tandis qu'un troisième bâtiment adjacent comprend les locaux techniques dont la centrale électrique, essentielle à la bonne marche de la station polaire. Les deux cylindres principaux se distinguent, le premier nommé « tour bruyante » comprend les ateliers, les locaux techniques, la salle de sport, la salle à manger et la cuisine. La seconde tour, appelée « tour calme » accueille les laboratoires, les dortoirs et les salles de soins.

L'objectif de cette base d'expérimentation scientifique est d'étudier entre autres, la climatologie, la biologie, la glaciologie et les conséquences d'un tel isolement sur l'être humain. Le scientifique français Cyprien Verseux⁶⁴ explique ce phénomène : « les recherches menées à Concordia, dans ce qui est probablement le plus proche que l'on puisse trouver d'une future base extraterrestre, aide donc à évaluer comment les missions sur Mars et les longs séjours sur la Lune affecteront

⁶⁴ Cyprien Verseux, scientifique français, chef de station Concordia en 2018 lors de la mission DC14, 14e hivernage

les astronautes »⁶⁵. Lors des missions, les scientifiques sont soumis à des pressions psychologiques et physiologiques comparables à celles des astronautes. Il est vrai que les conditions de vie : froid glacial, longue nuit, sortie en combinaison spécifique s'apparentent grandement aux conditions des futures missions sur Mars ou sur la Lune : « d'autres aspects de notre vie ici, du profil des équipiers à nos activités professionnelles en passant par l'absence de faune et de flore, s'apparentent à ceux attendus dans une future base sur un autre monde »⁶⁶. « À long terme, quels en seraient les effets sur les astronautes ? Nous étudier ici aide à y répondre »⁶⁷.



32. Station Concordia

⁶⁵ Verseux (Cyprien), *Mars la blanche, un hiver Antarctique*, Hugo Image, 2019, p.119

⁶⁶ Verseux (Cyprien), *Mars la blanche, un hiver Antarctique*, Hugo Image, 2019, p.118

⁶⁷ Verseux (Cyprien), *Mars la blanche, un hiver Antarctique*, Hugo Image, 2019, p.119



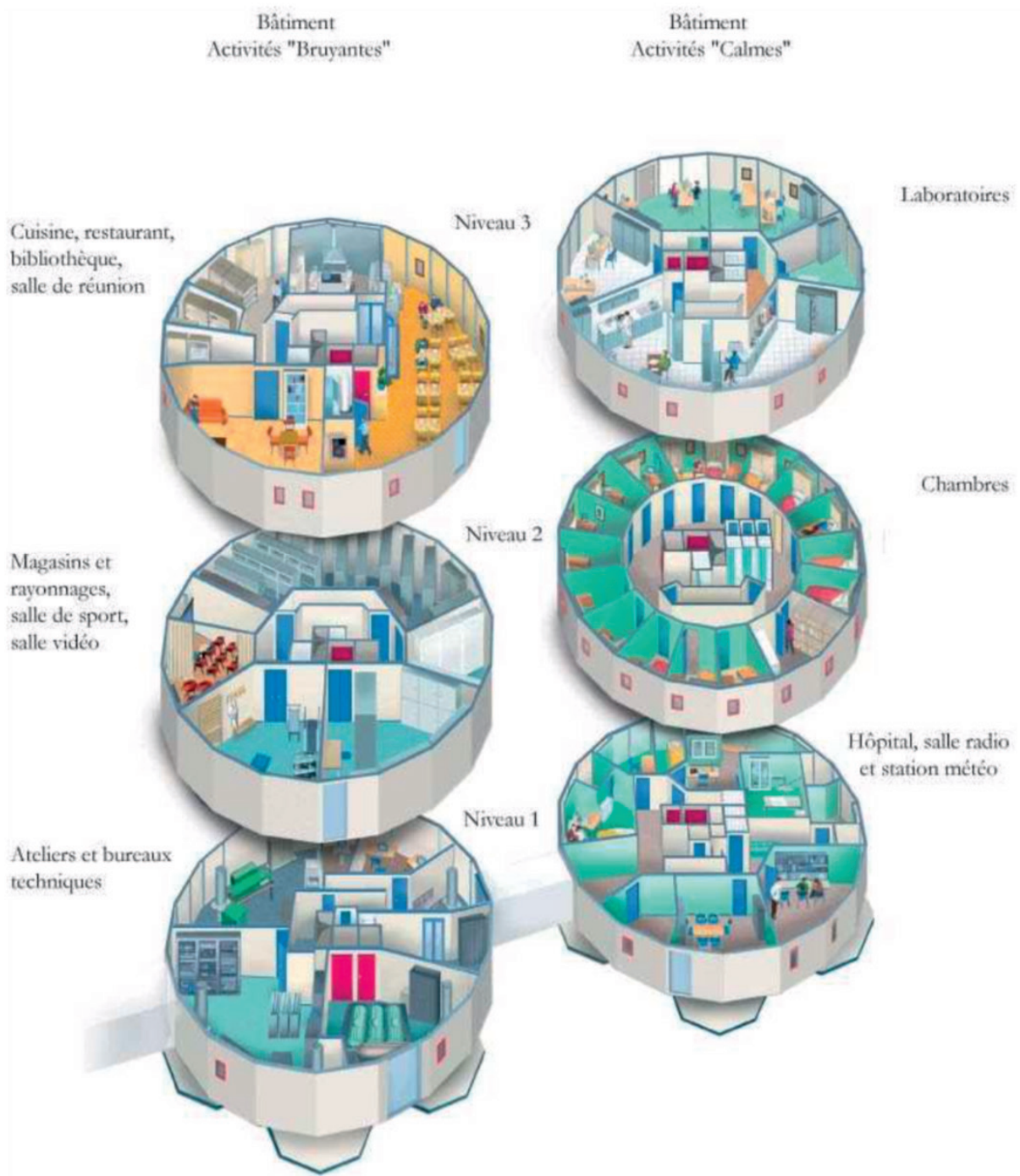
33. Cyprien Verseux à Concordia



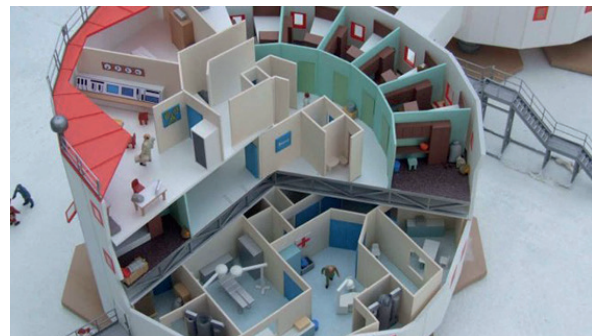
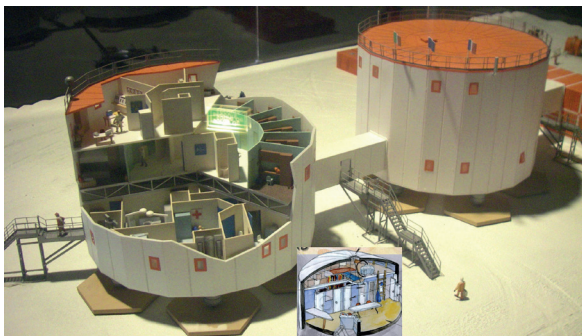
34. Équipage de Concordia lors de l'hivernage de Cyprien Verseux

« La survie dans un lieu aussi isolé permet d'étudier la manière dont des voyageurs de l'espace réagiraient à la solitude dans un environnement hostile »⁶⁸

⁶⁸ Slavid (Ruth), *Architecture des limites : construire en milieu hostile, du dessert au vide interplanétaire*, chapitre 5 : Espace, Seuil, 2009, page 1985



35. Axonométrie de la station Concordia



36. Maquette de la station Concordia

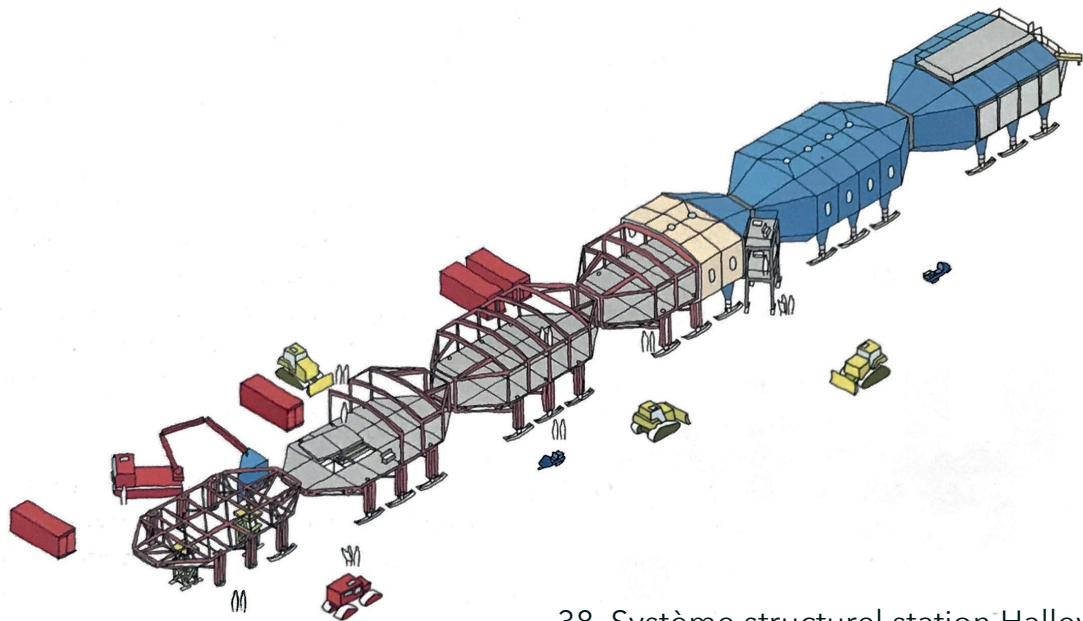
3.2.2 Station Halley VI

La station Halley VI fait partie de la dernière génération des stations Halley qui débute dès 1956. La sixième base britannique située en Antarctique sur la banquise de Brunt a été conçue pour être la première station de recherche en milieu polaire entièrement relocalisable et constamment occupée. Or, depuis la découverte d'une faille sur la banquise de Brunt en 2017 menaçant de couper la station du reste du continent Antarctique, celle-ci reste inhabitée l'hiver étant donné qu'aucun secours n'est possible. Placée sur une couche de glace flottante se déplaçant vers la mer, la durée de vie d'une station sans possibilité de mobilité est compromise. Les conditions de vie dans ce milieu sont très rudes, les températures hivernales pouvant atteindre les -55°C , avec une température annuelle moyenne autour des -10°C . Les capacités d'accueil de la station britannique évoluent en fonction de la saison, elle peut accueillir soixante dix personnes en été et quatorze en hiver. La nuit polaire se déroule du 2 mai au 11 août et le jour polaire du 30 octobre au 12 février. Ainsi, la base Halley VI n'est accessible que durant les trois mois de l'été austral.

En 2004, la British Antarctic Survey (BAS) lance un concours public pour la conception de la nouvelle station Halley. L'année suivante, le concours est remporté par l'agence Hugh Broughton Architectes & Faber Maunsell (actuellement AECOM). L'architecte Hugh Broughton cumule de l'expérience dans les milieux extrêmes et a remporté de nombreux prix internationaux pour la qualité de son œuvre. Parmi son travail on retrouve la base Antarctique espagnole Juan Carlos 1er et l'observatoire de la surveillance atmosphérique au Groenland. Cependant les défis des architectes et ingénieurs sont nombreux, les températures extrêmes, l'accumulation de neige (1,2 m par an) et les longs mois d'obscurité compliquent la mission.



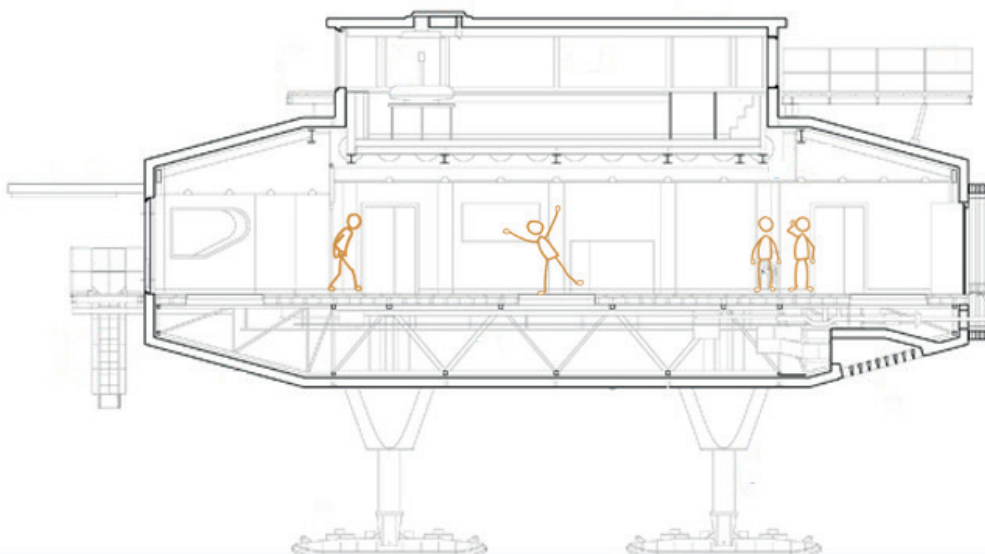
37. Vue de la station Halley VI



38. Système structural station Halley VI



39. Vue du module commun en double hauteur



40. Coupe longitudinale



La station Halley a été pensée en huit unités indépendantes et liées entre elles, ces dernières sont montées sur des skis (3,9m x 1,1m) facilitant le transport vers de nouveaux sites et sont surélevées de 4m par rapport au niveau de la glace. Les modules doivent être construits à partir d'un kit de pièces facilement transportable, la période estivale étant limitée à 12 semaines un bon nombre de pièces sont préfabriquées hors site. La construction de la station s'étend de 2007 à 2012, elle est constituée de « module bleu » où l'on retrouve les unités de repos, les laboratoires ou les locaux techniques et d'un « module rouge » central englobant les activités communes⁶⁹. Ce dernier module flexible se développe en double hauteur et est le véritable cœur du projet, comme le dit Hugh Broughton « c'est le seul espace à double hauteur de l'Antarctique ». L'architecte a également fait appel à un psychologue pour développer une palette de couleurs assurant dans le décor de la station un sentiment de bien-être et de sérénité. Ainsi, les seuils des modules sont marqués par des zones de couleurs vives et des vues sur le paysage environnant. En effet pour rompre avec la monotonie des longs couloirs traversant les modules de Halley VI, chacun d'entre eux présente une palette de couleurs différentes. Par ailleurs, afin d'améliorer le rythme biologique des chercheurs et préserver leur rythme circadien des éclairages artificiels simulant le naturel ont été installés. Ces installations que ce soit les couleurs ou les lumières nous permettent de nous rendre compte de l'importance du travail collégial entre les concepteurs et les scientifiques afin d'améliorer le bien-être dans les architectures en milieu extrême.

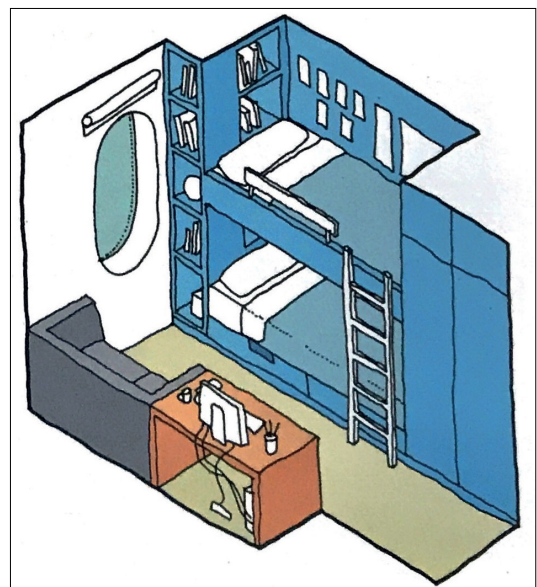
Cette base permet les recherches sur le réchauffement climatique, sur la météorologie spatiale et sur la couche d'ozone. De plus, comme la station Concordia, la Halley VI contribue aux études de l'ESA⁷⁰ sur les équipages en milieu confiné en prévision des futurs voyages spatiaux et de séjours prolongés sur Mars. Primée par de nombreuses récompenses, la station Halley VI a redéfini l'architecture et l'ingénierie polaire puisqu'elle est encore considérée comme un modèle pour le confort dans les milieux extrêmes. L'objectif de la conception était alors de mettre la question du confort au cœur de la problématique. En effet, la station Halley VI a particulièrement été remarquée pour sa qualité de vie (salle de sport, usage de la couleur, espace de plantation ...). Ces avantages peuvent nous permettre de comprendre le rôle du bien-être pour que les scientifiques se sentent bien dans cet environnement hostile.

⁶⁹ cf. tableau en annexe, Module rouge : 497m² Module bleu : 152m²

⁷⁰ European Space Agency (ESA)



41. Couloirs de la station Halley VI

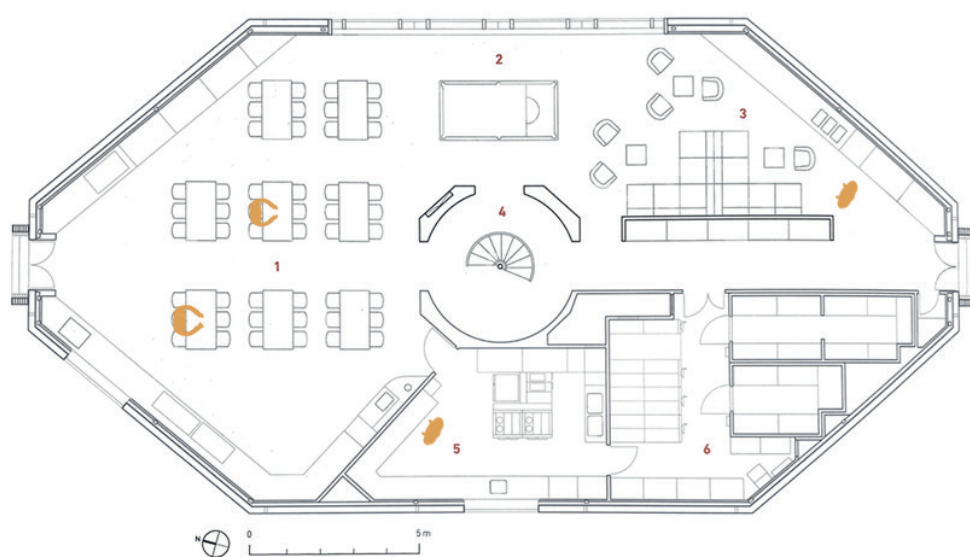


42. Photographie et croquis des chambres



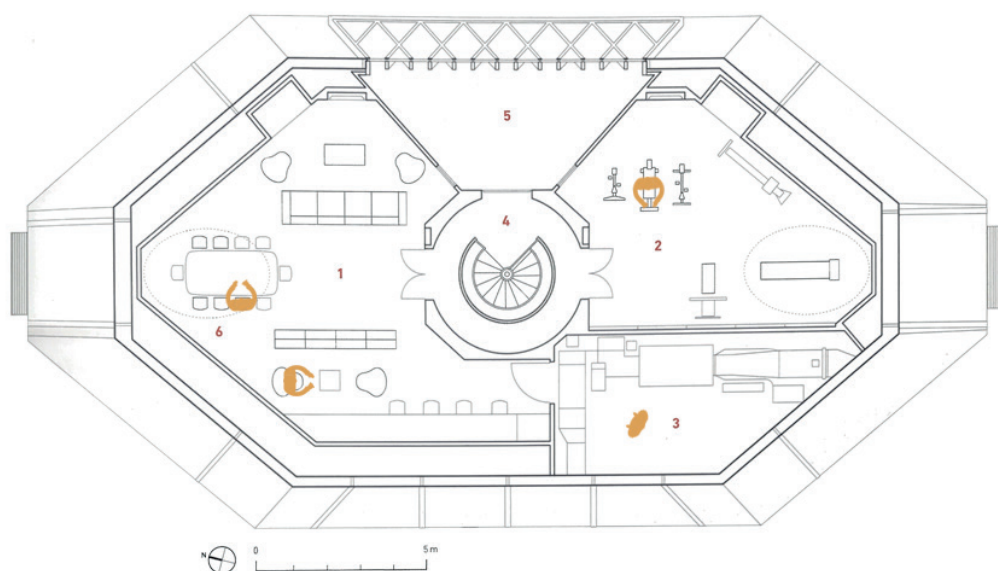
Module de repos

- 1 : Chambre
- 2 : Salle de douche
- 3 : Toilette
- 4 : Magasins de produit d'hygiène
- 5 : Local technique
- 6 : Espace seuil



Module commun

- 1 : Espace de repas
- 2 : Espace de jeu (double hauteur)
- 3 : Espace bar
- 4 : Escalier
- 5 : Cuisine
- 6 : Magasins alimentaires



Module commun Étage 1

- 1 : Espace TV et de rencontre
- 2 : Salle de sport
- 3 : Local technique
- 4 : Escalier
- 5 : Double hauteur
- 6 : Aperçu du toit du cockpit



Modules de repos

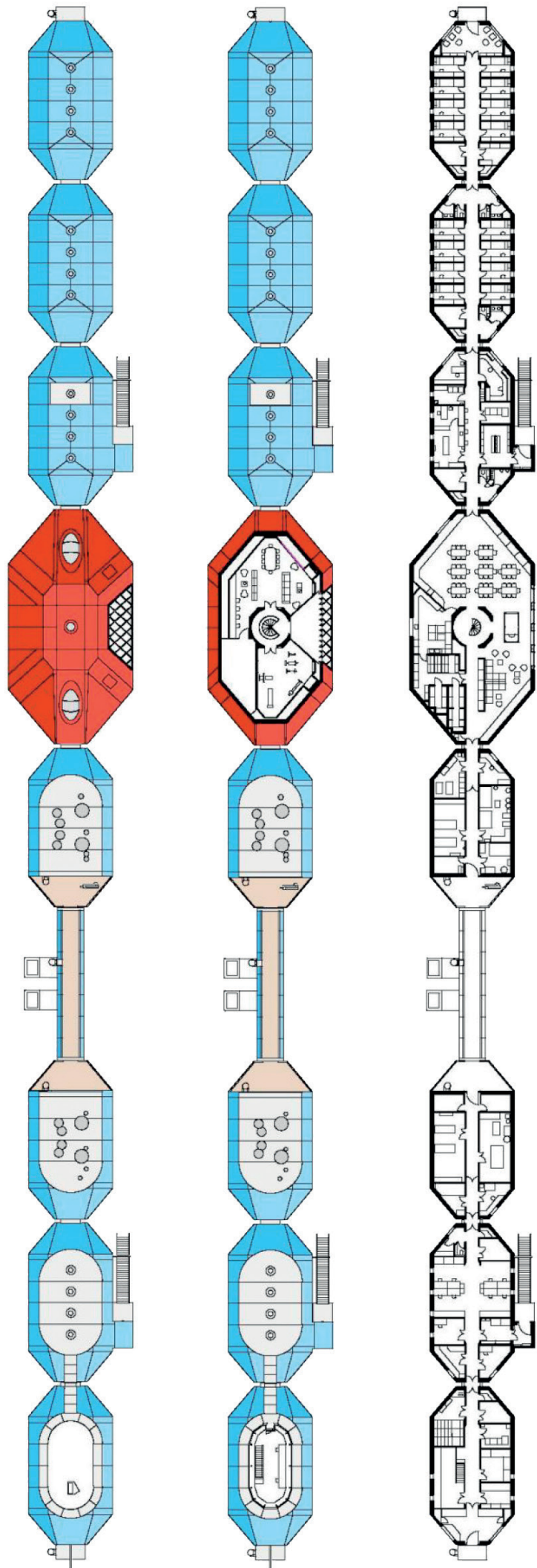
Module de commande

Module commun
(repas, sport, cuisine ...)

Modules technique

Modules de recherche

0 5 10 20m



3.2.3 Flashline Mars Arctic Research Station (FMARS)

Flashline Mars Arctic Research Station (FMARS) est une base scientifique créée en 2000 et entretenue par Mars Society. Elle constitue le premier habitat simulé d'une vie sur Mars pour cette organisation américaine.

Cette station est située à Nunavut sur l'île Devon au Canada dans l'Extrême Arctique. La station est assise sur le bord du cratère Haughton mesurant 15 km de diamètre et ayant 39 millions d'années. Cette localisation permet aux scientifiques de séjourner dans l'un des plus grands environnements analogues à la planète Mars sur Terre. Le climat polaire est similaire à l'atmosphère de la planète Mars. Les enjeux de cette mission sont multiples, dans un premier temps l'objectif est d'expérimenter et de reproduire la vie que pourront connaître les premiers colons de Mars. En effet, les alentours de cette station sont dépourvus de présence humaine et les paysages s'apparentent à un autre monde. De plus, les six scientifiques présents dans la base ont également pour mission d'étudier les technologies, les stratégies, la conception architecturale et les facteurs humains impliqués dans les missions humaines sur Mars.

L'équipe de FMARS doit être autonome en ressource, l'énergie est assurée par un générateur fonctionnant 9 heures par jours permettant le chauffage, les communications, les cuissons ... Les scientifiques s'approvisionnent en eau à la rivière située à une centaine de mètre du dôme. Dans un rapport de mission datant du 16 août 2017, les scientifiques témoignent de ces compromis quotidiens : « nos opérations doivent être beaucoup plus autonomes et autosuffisantes au quotidien. Les communications sont plus limitées, nécessitant une indépendance de pensée et d'action »⁷¹.

Flashline Mars Arctic Research Station est composée d'un cylindre de 8 mètre de diamètre à deux étages servant de lieu de vie et d'hébergement. Son architecture étant très similaire au station HI-SEAS et MDRS (se référer à 3.2.4 et 3.2.5), le premier niveau comprend un laboratoire, des sanitaires, une salle d'eau, du stockage et un sas simulé (sas de pressurisation). Le second niveau accueille les six chambres, un espace de travail et une salle à manger.

⁷¹ Rapport de mission publié en 2017 sur le site : fmars.marssociety.org/



43. Alexandre Mangeot profitant de la lumière naturelle

44. Chercheur équipé d'un scaphandre

45. Vue de FMARS

46. Intérieur de FMARS

3.2.4 Mars Desert Research Station (MDRS)

Mars Desert Research Station (MDRS) est le deuxième habitat simulé exploité et entretenu par Mars Society. Il s'agit d'un laboratoire de recherche soutenu par la NASA et par Mars Institute. Ce dernier a été construit en 2001 et se situe dans le désert de l'Utah, aux États-Unis.

Cette station pouvant accueillir jusqu'à six chercheurs a pour objectif une étude rigoureuse de l'environnement mais aussi des recherches sur le facteur humain. L'objectif de ces courtes missions de 2 à 3 semaines est de simuler ce qui pourrait être une base habitée sur Mars : les conditions climatiques, d'isolement et de confinement étant analogues à celles sur la planète rouge. De plus, les courtes missions effectuées à MDRS permettent également de sélectionner les candidats pour des séjours plus longs dans les stations HI-SEAS ou Mars500⁷² par exemple. Cyprien Verseux, scientifique français ayant séjourné à MDRS évoque cet élément : « au cours des deux dernières semaines, la représentation que nous nous faisons [...] est passée d'une idée abstraite, basée sur quelques descriptions et photographies de la base, à une image concrète. Nous pouvons beaucoup mieux concevoir notre quotidien là-bas. Plus que jamais, j'espère être sélectionné [pour HI-SEAS] »⁷³. L'objectif est de découvrir comment les différents candidats réagissent et se comportent avec les autres coéquipiers mais aussi comment ils s'adaptent aux scaphandres et à l'environnement hostile (chambre sommaire, température extrême ...).

La station de recherche se compose de différentes entités, la première d'entre elles nommée « l'Habitat » correspond au bâtiment principal. Ce dernier est cylindrique (8 mètre de diamètre) et comprend deux étages servant de lieu de vie et d'hébergement. Le premier niveau comprend un laboratoire, des sanitaires, une salle d'eau, du stockage et un sas simulé (sas de pressurisation). Le second niveau accueille les six chambres, un espace de travail et une salle à manger : « nous visitons le second étage, dont la moitié est dédiée à une salle commune éclairée par quatre hublots. L'espace contre la paroi extérieure abrite des comptoirs de cuisine et des bureaux, et une table trône au centre de la pièce. L'autre partie de l'étage est constituée de six petites chambres ou, comme on les appelle ici, des « compartiments individuels ».

⁷² Mars500 est un programme expérimental russe simulant sur Terre les conditions rencontrées par un équipage lors d'une mission aller et retour vers la planète Mars (source : wikipedia.org)

⁷³ Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017, p.45

Chacune mesure un peu plus de la largeur d'une porte et la longueur d'un lit, et seule celle du commandant a le luxe d'être équipée d'un hublot. Elles s'encastrent les unes dans les autres : le lit de l'un - ou plutôt la planche de bois sans aucune literie - est situé au-dessus ou en dessous du lit de l'un des voisins »⁷⁴ nous confie Cyprien Verseux. On retrouve également au côté du cylindre principal, un observatoire solaire : « Observatoire Musk », un bâtiment scientifique : « Science Dome », un atelier robotique et module d'ingénierie : « RAM »⁷⁵ et une serre nommée « Greenhab »



47. Vue de MDRS, on y voit les différentes entités de la station

⁷⁴ Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017, page 33-34

⁷⁵ Il s'agit du module de l'ingénieur de bord comprenant tous les outils

3.2.5 Hawaï Space Exploration Analog and Simulation (HI-SEAS)

La station de recherche Hawaï Space Exploration Analog and Simulation (HI-SEAS) se situe sur le Volcan Mauna Loa à Hawaï à 2500 mètres d'altitude. Ce site isolé bénéficie d'un climat sec et variant peu au cours de l'année. Le sol recouvert de pierre de lave rouge rend la surface du volcan comparable à l'environnement extraterrestre de la planète Mars sur Terre. Le projet de recherche financé par la NASA et géré par l'Université de Hawaï à Manoa depuis 2013 a pour objectif d'accueillir des missions scientifiques de 4 à 12 mois.

Le dôme géodésique blanc de 360m³ a été préfabriqué et pensé par Blue Planet Research, conçu pour accueillir un équipage de six membres. De façon adjacente à ce volume vient se positionner un atelier. Cette station sous forme de dôme comprend un rez-de-chaussée accueillant, une salle de séjour en double hauteur, une cuisine, une salle à manger, un laboratoire, une zone de travail, une salle d'eau et un sas simulé (sas de pressurisation). L'étage héberge les six chambres et des sanitaires.

L'enjeu est de reproduire les conditions d'une vie sur Mars : les membres de la missions simulent des sorties extravéhiculaires en scaphandre et maintiennent un délai de vingt minutes entre chaque communication avec la mission support. Le site a une géologie très semblable à celle de Mars : le régolithe martien est similaire au sol basaltique de l'île d'Hawaï. Cela permet à l'équipage d'effectuer des travaux géologiques sur le terrain et d'ajouter du réalisme à la simulation. Parallèlement à l'aspect scientifique de ces séjours, l'un des enjeux prioritaire de HI-SEAS est d'effectuer des recherches comportementales, de comprendre les changements psychologiques et psychosociaux qui se produisent dans la vie des individus durant ces mois d'isolement. La première mission HI-SEAS a débuté en Avril 2013 pour une durée de 4 mois. Le 28 Août 2015, la troisième mission, HI-SEAS IV a été lancée pour une durée d'un an. Cette expérience constitue la plus longue simulation de l'Espace financée par la NASA. L'équipage de HI-SEAS IV comportait entre autres le scientifique français Cyprien Verseux et un architecte, spécialiste des milieux extrêmes Tristan Bassingthwaighte. Leurs expériences racontées dans le livre *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge* et ou lors d'interviews permettent de mieux comprendre l'impact de ce séjour prolongé sur le corps et la gestion du stress, « nous ne devons pas oublier la raison première de notre présence ici : évaluer l'impact sur l'équipage des conditions de vie d'une mission sur Mars » évoque Cyprien Verseux⁷⁶.

⁷⁶ Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017, p.107

Selon l'expérience de Tristan Bassingthwaighe, le dôme a été fabriqué de façon trop technique en ignorant pratiquement le besoin de bien-être humain. Cet habitat, dû à ces choix de matériaux de constructions légers (toile et contreplaqué) assurant sa mobilité, souffre d'une mauvaise isolation acoustique frein à l'intimité de chacun des équipiers. Dans une interview donnée au magazine Architect, le jeune architecte dénonce le manque d'intimité et de distanciation entre l'espace privé et public.



48. Vue intérieure de HI-SEAS



49. HI-SEAS depuis le ciel

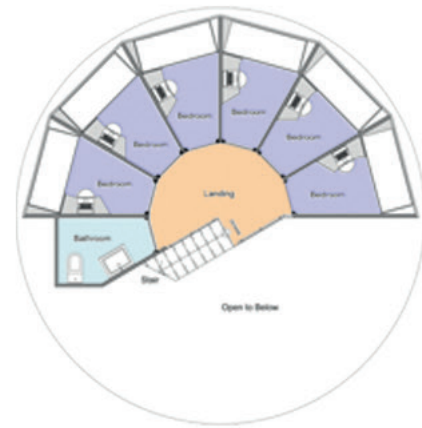
3.2.6 Comparaison graphique des stations terrestres

HI-SEAS

- Espace commun
- Cuisine et stockage
- Laboratoire
- Salle d'eau et sanitaire
- Chambre individuelle
- Circulation
- Local technique



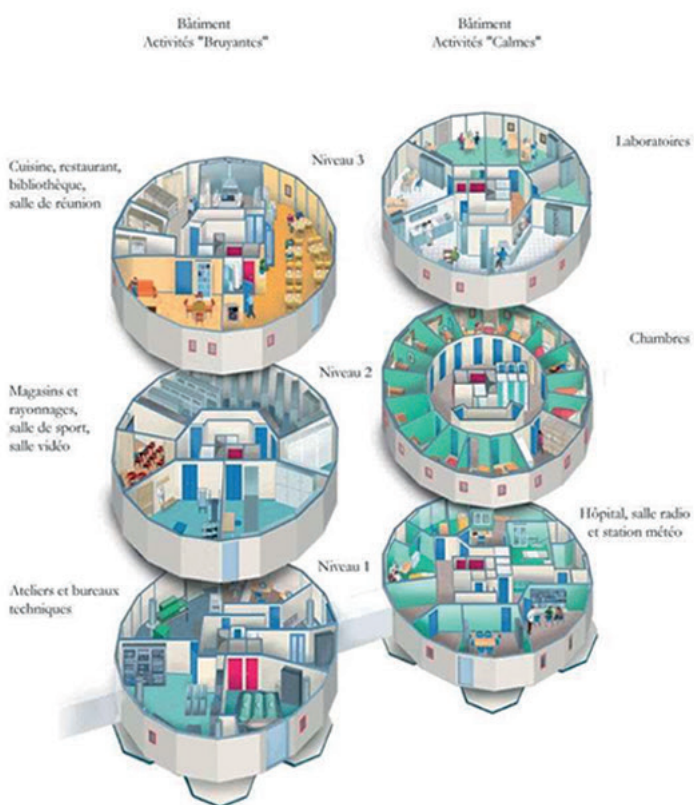
Premier niveau



Deuxième niveau

source : sensoria.space/hiseas

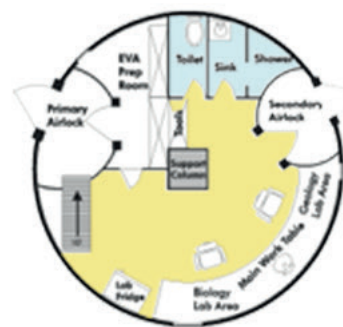
Station Concordia



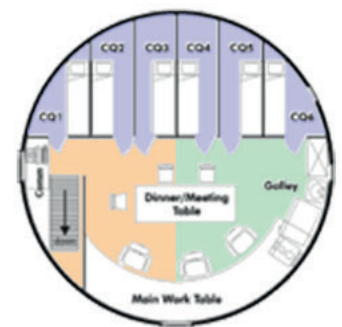
Axonométrie Station Concordia _ sans échelle
(se référer au point 3.2.1)

source : esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Concordia_floor_plan

Mars Desert Research Station (MDRS)



Premier niveau



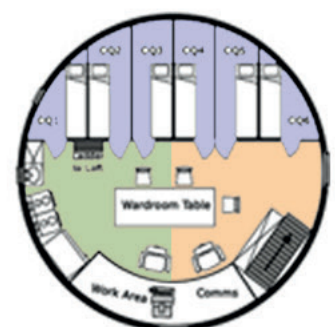
Deuxième niveau

source : planete-mars.com/la-simulation-mdrs-185-commence-le-16-decembre/

Flashline Mars Arctic Research Station (FMARS)



Premier niveau

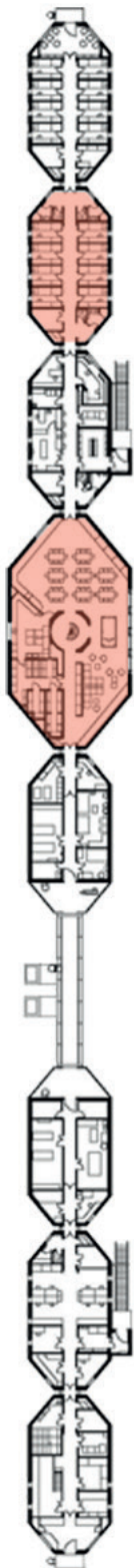


Deuxième niveau



source : mars-bust.blogspot.com/2012/09/

Station Halley VI



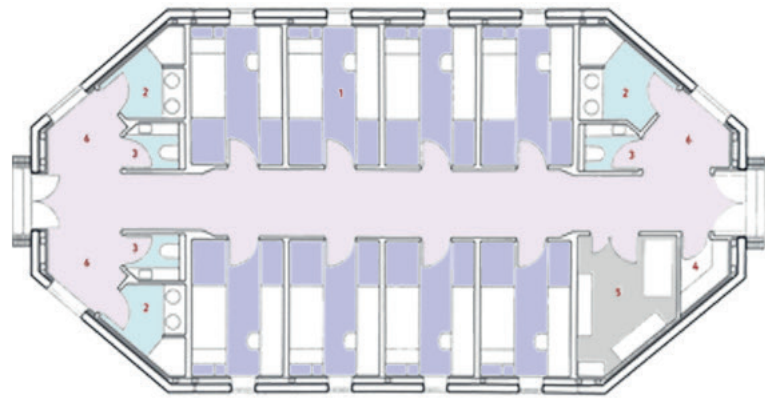
Modules de repos

Module de commande

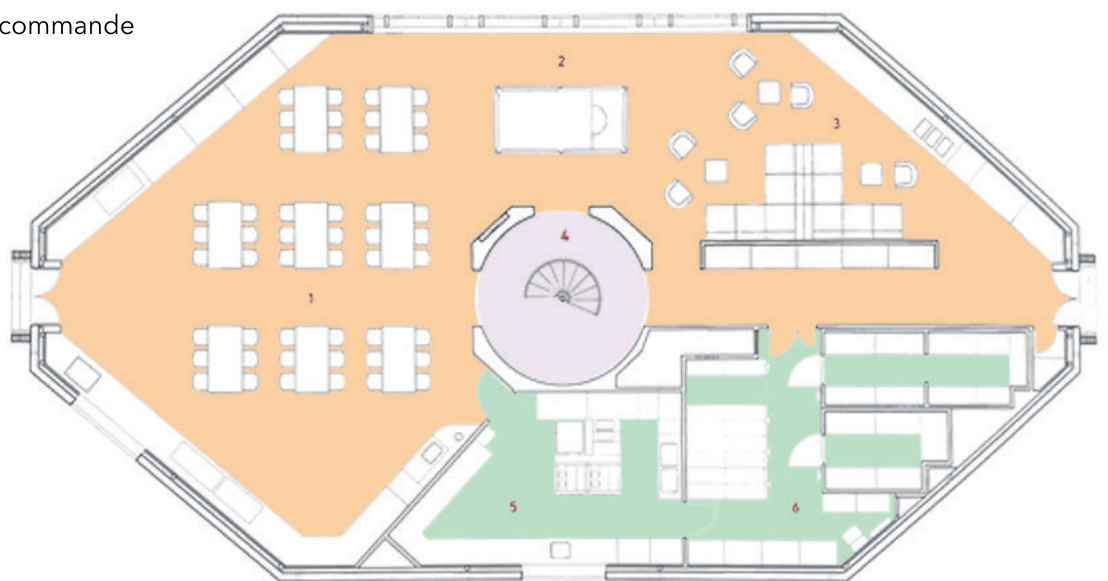
Module commun

Modules technique

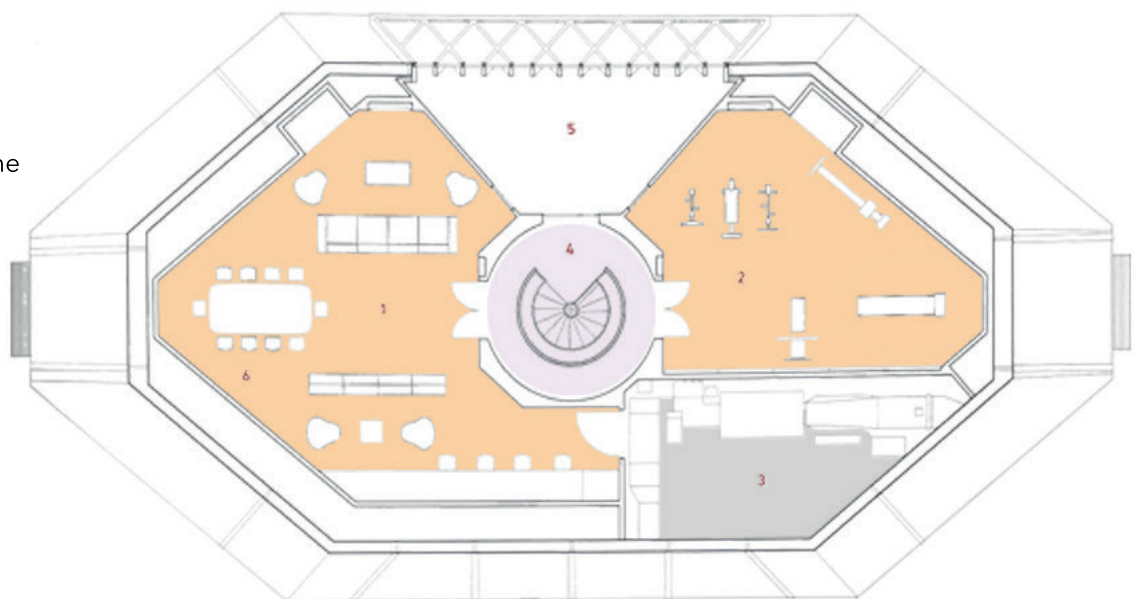
Modules de recherche



Module de repos



Module commun _ Niveau 1



Module commun _ Niveau 2

Halley VI Antarctic Research Station
Platform Plans
Hugh Broughton Architects
AECOM

3.3. DE L'ŒUF AU CERCLE, DE L'HOMME FŒTAL À L'HOMME DEBOUT

3.3.1 Le plan circulaire: une forme géométrique aux multiples avantages

Depuis que l'Homme a commencé à construire son habitat, la géométrie du cercle s'est régulièrement imposée, elle est utilisée dans les plus vieilles constructions ou monuments connus à ce jour, tel est le cas de Stonehenge⁷⁷. De nombreux peuples ont utilisé cette forme : on la retrouve dans des habitats tels que les tipis, les yourtes, les igloos, les tourelles ou bien les huttes. Dans le cadre du mémoire, l'ensemble des stations spatiales et quatre des stations terrestres présentées en étude de cas présentent un plan circulaire. Nous sommes alors en mesure de nous demander pourquoi les stations et plus particulièrement les stations terrestres sont construites autour de cette forme ?

Les avantages des constructions circulaires sont variés. Tout d'abord d'un point de vue thermique, ces dernières permettent une meilleure répartition de l'air ambiant, les pertes thermiques sont donc minimisées. Sur Terre, la prise au vent de ces constructions est également réduite, cet avantage est très important notamment pour les architectures en milieu extrême. La robustesse des constructions circulaires est également très bonne.

D'un point de vue architectural, la facilité d'agencement de ces constructions est meilleure. Il est vrai qu'un seul pilier en général central fait office de mur porteur, cela permet un éventuel décroisement total et un agencement libre de l'espace, la modularité est alors le maître mot.

Nous pouvons également faire un parallèle entre le cercle et le caractère sacré ou mystique qui lui a été attribué par certain peuple. D'après ces croyances, les formes arrondies connecteraient l'Homme à l'énergie cosmique, ce dernier se sentirait aussi comme dans le ventre maternel en faisant référence à la position fœtale prise par le nourrisson. D'autres croyances suggèrent que la forme sphérique favoriserait la connexion des deux hémisphères cérébraux qui s'harmonisent alors en créant un état de relaxation pour le cerveau. La forme circulaire peut aussi évoquer la protection, l'équilibre, l'union mais aussi un échange équitable entre les Hommes, dans la forme circulaire aucune hiérarchie ne peut prendre place.

⁷⁷ Stonehenge est un monument préhistorique situé en Angleterre et composé d'un ensemble de pierre dressées autour d'une structures circulaires. Le monument aurait été construit entre -2800 et -1100 avant J-C.

3.3.2 FMARS, MDRS, HI-SEAS : des stations terrestres aux formes circulaires

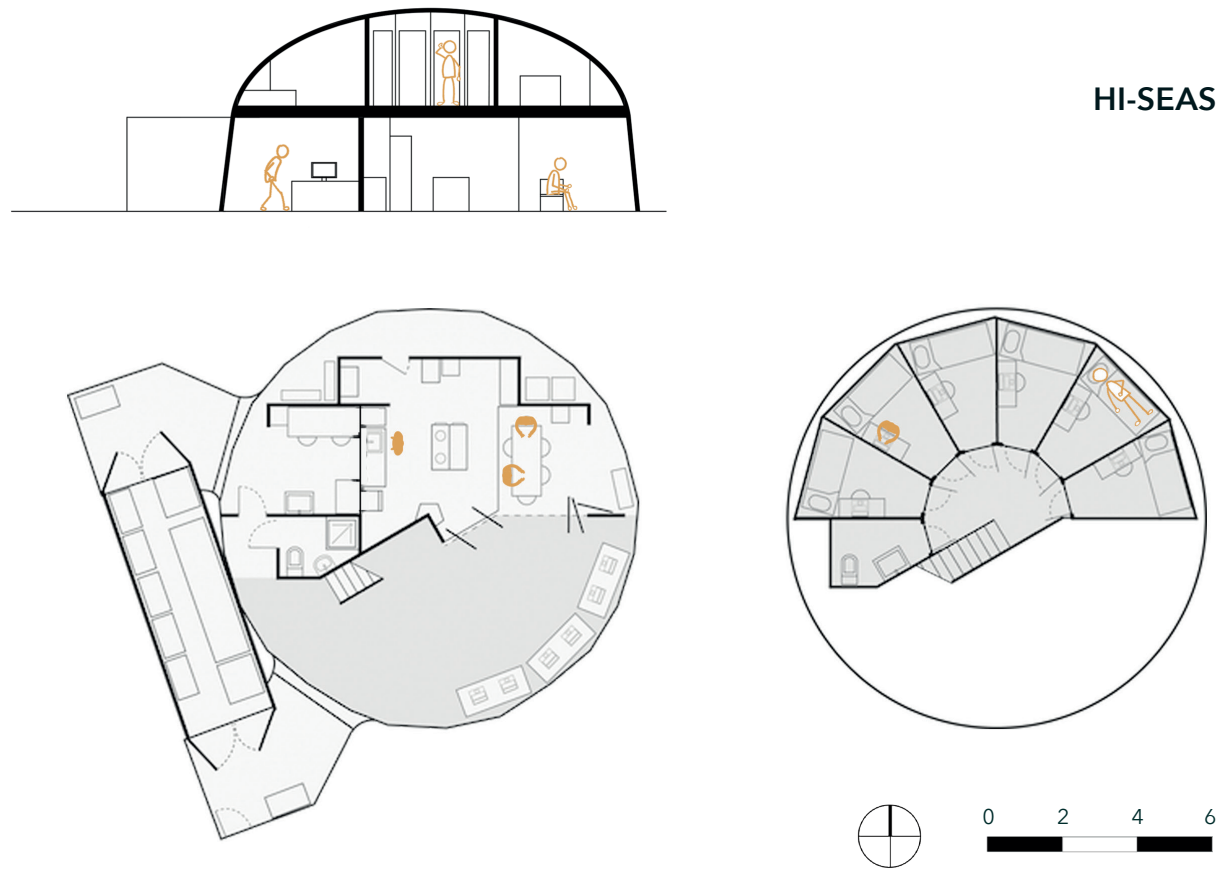
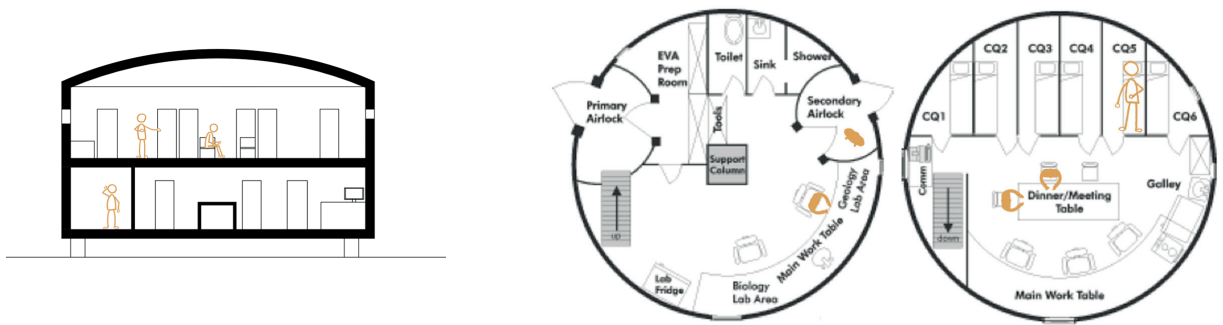
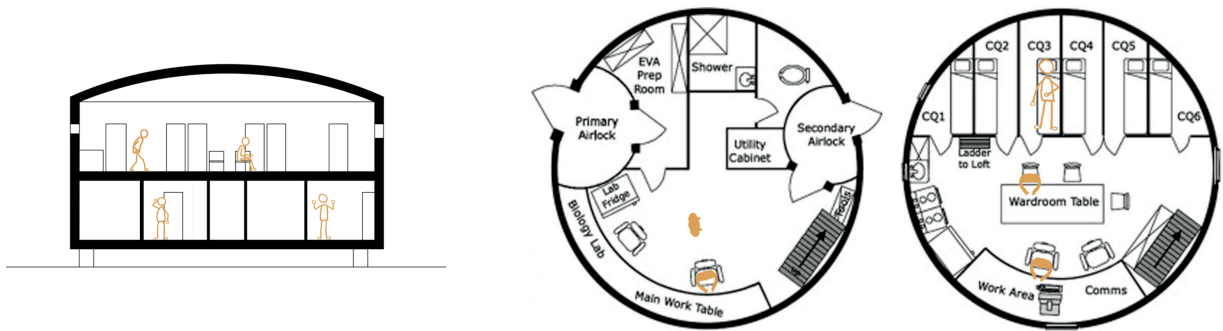
Au travers de cette partie nous allons nous intéresser aux stations FMARS, MDRS et HI-SEAS. Ces dernières présentent des plans en cercle et un diamètre allant de 8 à 11 mètres, leurs dimensionnements sont établis sur des référentiels humains. Ces trois stations sont destinées à accueillir six personnes pendant des périodes allant de deux semaines à 365 jours.

Pour comprendre au mieux leur architecture intérieure et le rapport au corps de ces architectures circulaires, j'ai réalisé sur les bases des plans existants, des coupes de principes montrant les corps en mouvement dans ces espaces. Nous pouvons constater que dans ces trois stations, le corps devient le référentiel premier. C'est notamment le cas pour les chambres individuelles qui reprennent la longueur d'un lit. Ces dernières mesurent de ce fait entre 5 et 6 m².

Les ouvertures ont également été optimisées, ces dernières se situent essentiellement dans les espaces communs comme la pièce de vie. Les chambres quant à elles sont dépourvues d'ouverture à l'exception de la chambre du commandant dans les stations FMARS et MDRS.

« Le Cercle, symbole le plus répandu dans la Nature a une signification universelle. Il est l'une des premières formes tracées par les humains. Il n'a ni commencement ni fin, ce qui en fait un symbole universel d'éternité, de perfection, de divinité, d'infini ... »⁷⁸

⁷⁸ L'Instant Bleu, La symbolique du cercle, [consulté le 22 novembre 2020], disponible en ligne : www.linstantbleu.com/blog/symbolique/symbolique-du-cercle.html



« Mon quartier de sommeil est en face d'un des grands hublots. Chaque matin, je me réveille avec la vue de cette fenêtre sur un monde extraterrestre. Mais vous ne pouvez pas toujours voir quoi que ce soit au-delà du verre transparent. La condensation à l'intérieur du Hab rend tous les hublots embués. Plusieurs fois par jour, nous essuyons le verre de toute humidité »⁷⁹

MDRS

« Nous montons quatre marches et entrons dans le cylindre par une petite porte taillée dans la paroi extérieure [...] Bien que l'on soit dans la journée, l'éclairage est principalement électrique : cet étage n'a que quatre hublots en guise de fenêtres »⁸⁰

« L'escalier qui relie les deux [étages] est raide, presque une échelle [...] Chacune mesure un peu plus de la largeur d'une porte et la longueur d'un lit, et seule celle du commandant a le luxe d'être équipée d'un hublot »⁸¹

« Dans l'idéal, ils devraient y avoir un lieu non seulement pour dormir, mais aussi pour le travail privé et la détente »⁸²

HI-SEAS

« Des choses très générales seraient d'inverser la programmation du deuxième étage du dôme. Au lieu de faire monter l'escalier directement au centre de l'habitat et [les chambres individuelles] en haut en demi-cercle, j'aurais fait de tout le haut un demi-mur solide, j'aurais fait monter l'escalier en courbe douce à l'arrière, en passant par la porte du téléporteur, de sorte que l'escalier soit semi-privé, que le couloir soit complètement privé, et que vos chambres, expérimentées, soient aussi éloignées de tout le reste »⁸³

⁷⁹ FMARS, Rapport du journaliste, Anastasiya Stepanova, publié le 11 août 2017, [consulté le 12 décembre 2020], disponible en ligne : fmars.marssociety.org

⁸⁰ Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017, page 32

⁸¹ Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017, page 33-34

⁸² Extrait de l'interview menée avec Paul Sokoloff, scientifique de MDRS, traduction personnelle, texte original : « Ideally, they should be a place not only for sleeping, but for private work and relaxation as well » Paul Sokoloff, scientifique de MDRS »

⁸³ Extrait du magazine, *Architect*, 2016, « Q+A: HI-SEAS Mission IV Crew Architect Tristan Bassingthwaite » par TIMOTHY A. SCHULER, version originale : « Super generalized things would be to flip the programming of the dome's second floor. Instead of having the staircase go straight up the center of the habitat and [the individual bedrooms] at the top in a semi-circle, I'd have made that whole top half a solid wall, have the stairs gently curve up and around in the back, going over the teleporter door, so that the staircase is semi-private, the hallway is completely private, and your rooms, experientially, are as far away from everything else »

04



LE BIEN-ÊTRE SPATIAL, UN NOUVEL ENJEU ARCHITECTURAL

4.1. MÉTHODES

Cette dernière étape a pour objectif d'établir un bilan des méthodes appliquées durant le mémoire et de répondre à la problématique posée. Tout d'abord, nous avons effectué un tour d'horizon historique afin de comprendre les étapes de la conquête terrestre et spatiale. Nous avons pu comprendre le rôle central des architectes et des concepteurs dans le bien-être de l'équipage notamment à partir du travail de Galina Balashova et Raymond Loewy.

Dans un second temps nous avons découvert l'impact du corps contraint, du confinement et de l'isolement sur les scientifiques mais aussi sur la population terrestre. En effet, en faisant un parallèle entre le confinement généralisé dû à la pandémie mondiale et celui vécu par les astronautes dans les stations, nous avons pu faire émerger quelques hypothèses sur les facteurs influençant le confort. Parallèlement à cela, le mémoire a développé une approche plus technique en comparant les rythmes de vie et les rythmes circadiens Terre-Espace. Cela nous a permis d'élargir nos horizons et de comprendre en quoi ces études sont utiles pour concevoir des espaces dédiés au bien-être.

Le choix du corpus autour de cinq cas d'études de stations spatiales présentés dans la troisième partie du mémoire, nous a permis de découvrir les avancées en terme de confort du domaine spatial depuis les premières stations dans les années 1950. Parallèlement, un corpus de cinq études de cas terrestres a également été sollicité afin de développer une analyse plus concrète et tangible. Les études de cas nous ont permis d'émettre des hypothèses sur les facteurs à prendre en compte pour développer des espaces de vie dédiés au confort.

Les méthodes déployées dans les trois premières parties du mémoire nous ont permis de faire éclore des hypothèses quant aux éléments qui influencent le confort. Nous pouvons citer : la lumière, les dimensions, les espaces privés, les espaces dédiés au confort, la fonctionnalité. Afin de déterminer plus précisément les facteurs qui doivent être pris en compte et de confirmer ou d'infirmer nos hypothèses, trois professionnels ayant expérimenté la vie dans des conditions extrêmes ont accepté de répondre à mes questions.

4.2. ENTRETIENS

4.2.1 Les facteurs qui influencent le confort : témoignages de trois scientifiques

Dans le cadre de ce mémoire et dans le but d'éclairer les consciences sur la problématique posée, j'ai été amenée à échanger avec des professionnels ayant vécu dans des stations terrestres en milieu extrême. L'objectif de ces questions étaient d'en découvrir davantage sur la vie dans des stations mais aussi de comprendre quels facteurs influencent le plus le confort. Ces témoignages serviront de support pour répondre à la problématique.

Les entretiens ont donc été menés avec trois personnes, le premier d'entre eux est Michal Krzysztofowicz, un photographe qui a séjourné dans la station Halley VI en Antarctique. Le second, Paul Sokoloff est un chercheur qui a vécu son expérience dans la station en milieu extrême Mars Desert Research Station (MDRS). La dernière personne interrogée est Eva Wu qui a séjourné dans McGill Arctic Research Station. Parallèlement aux entrevues menées avec ces personnes (entretiens : disponible en annexe), le témoignage apporté par le scientifique français Cyprien Verseux dans ces deux livres, *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge* et *Mars la blanche, un hiver Antarctique* retraçant respectivement son expérience d'une année dans la base HI-SEAS et son hivernage dans la base Concordia, a également été d'une grande aide dans la détermination des facteurs influençant le confort.



50. Séjour de Michal Krzysztofowicz dans la station Halley VI



51. Séjour de Paul Sokoloff dans Mars Desert Research Station



52. Séjour d'Eva Wu dans McGill Arctic Research Station

4.2.2 Tableau de comparaison des entretiens

Les entretiens et lectures, nous ont permis de distinguer sept facteurs qui influencent particulièrement le bien-être et le confort des occupants dans une station en milieu extrême :

La fonctionnalité

Les espaces privés (couchette individuelle, possibilité de s'isoler ...)

La luminosité (ouverture vers l'extérieur ...)

Les espaces dédiés au confort et à la détente (salle de sport, salle de jeux ...)

Les dimensions

La matérialité (couleurs, matières ...)

Les repères terrestres (pesanteur, apesanteur, vues ...)

Il s'agit des facteurs les plus évoqués dans les entretiens et analyses effectués. Cette liste n'est pas exhaustive, bon nombre d'autres éléments peuvent influencer le confort. En effet, nous avons découvert au départ de ce mémoire que le confort ou le bien-être sont des notions subjectives : ce qui aura de l'importance pour une personne peut devenir dérisoire pour une autre. Cependant, au regard des méthodes développées dans le mémoire, ces facteurs semblent prépondérants. Parallèlement, ces derniers ont également été classés du plus au moins influent d'une manière intuitive en fonction des témoignages et lectures. La fonctionnalité ou bien les espaces privés semblent ainsi jouer un rôle plus central dans le bien-être que la matérialité ou les repères terrestres. De cette manière, les facteurs les plus influents ont été placés à l'extrémité des diagrammes circulaires tandis que les moins influents se situent vers le centre (cf. diagrammes bilans, pages suivantes).

4.3. OBSERVATIONS

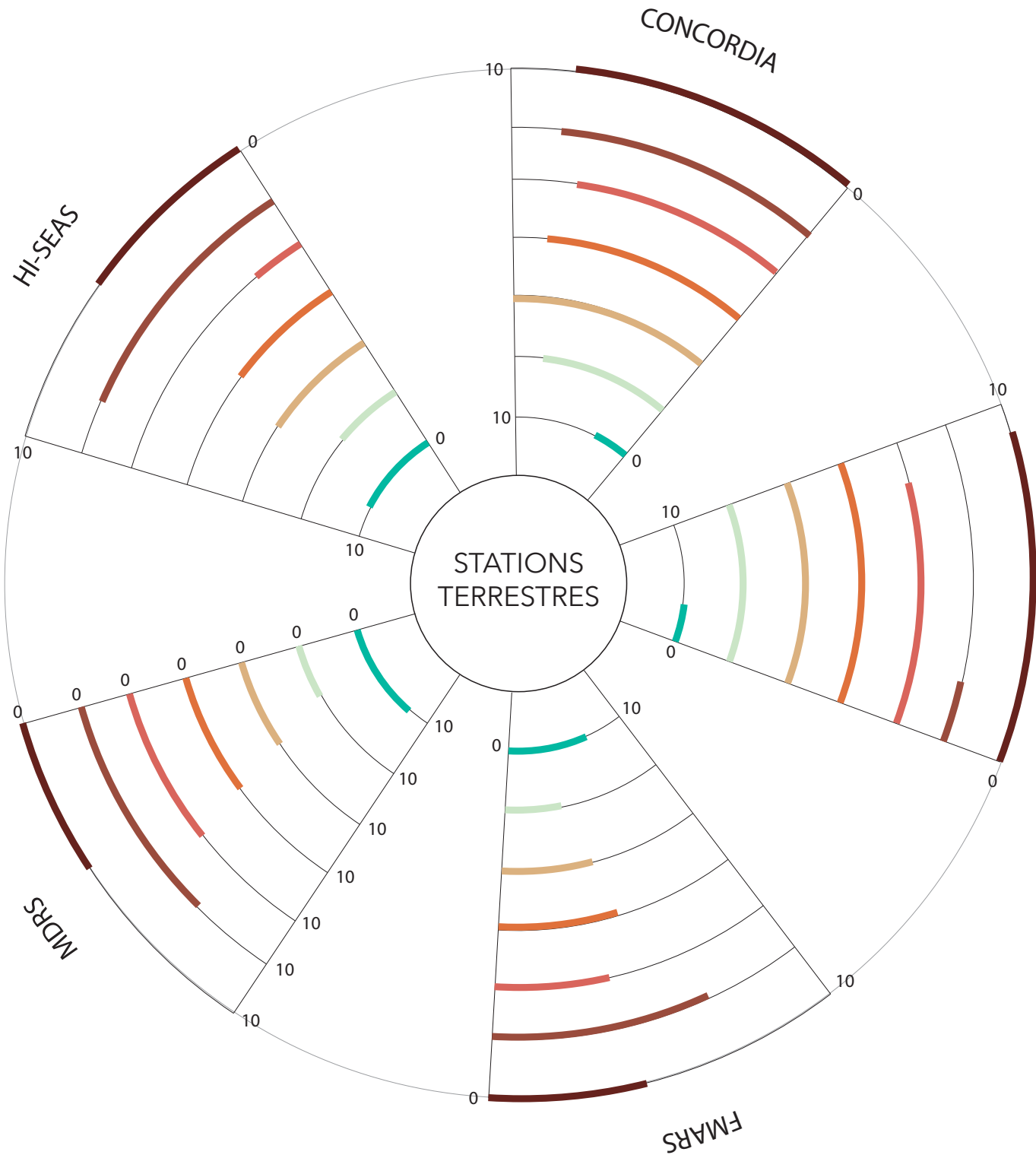
4.3.1 Stations terrestres et spatiales : en quête de bien-être ?

Grâce aux méthodes développées dans le mémoire, nous avons établi une série de facteurs influençant le confort. Ces derniers vont nous permettre de comparer nos études de cas terrestres et spatiales. Dans le cadre de cette étude, il ne s'agit pas de déterminer la station la plus confortable mais d'effectuer des diagrammes bilans qui nous permettent de voir graphiquement, quels sont les facteurs où les stations obtiennent des bons résultats et ceux où les résultats sont plus modérés. Les diagrammes ont été réalisés grâce à la synthèse des différentes informations disponible sur les études de cas (voir tableaux en annexe).

Nous pouvons tout de même nuancer notre propos puisque les stations à l'étude ne sont pas de la même année de conception, n'ont pas les mêmes objectifs scientifiques ou le même nombre d'occupants. En fonction de cela une attention plus ou moins particulière a donc été donnée au confort. Parallèlement le temps de confinement dans ces stations diffère allant de 365 jours pour la station HI-SEAS à deux semaines pour les stations FMARS ou MDRS. Cette donnée influence également fortement le soin qui est donné au bien-être dans ces habitats.

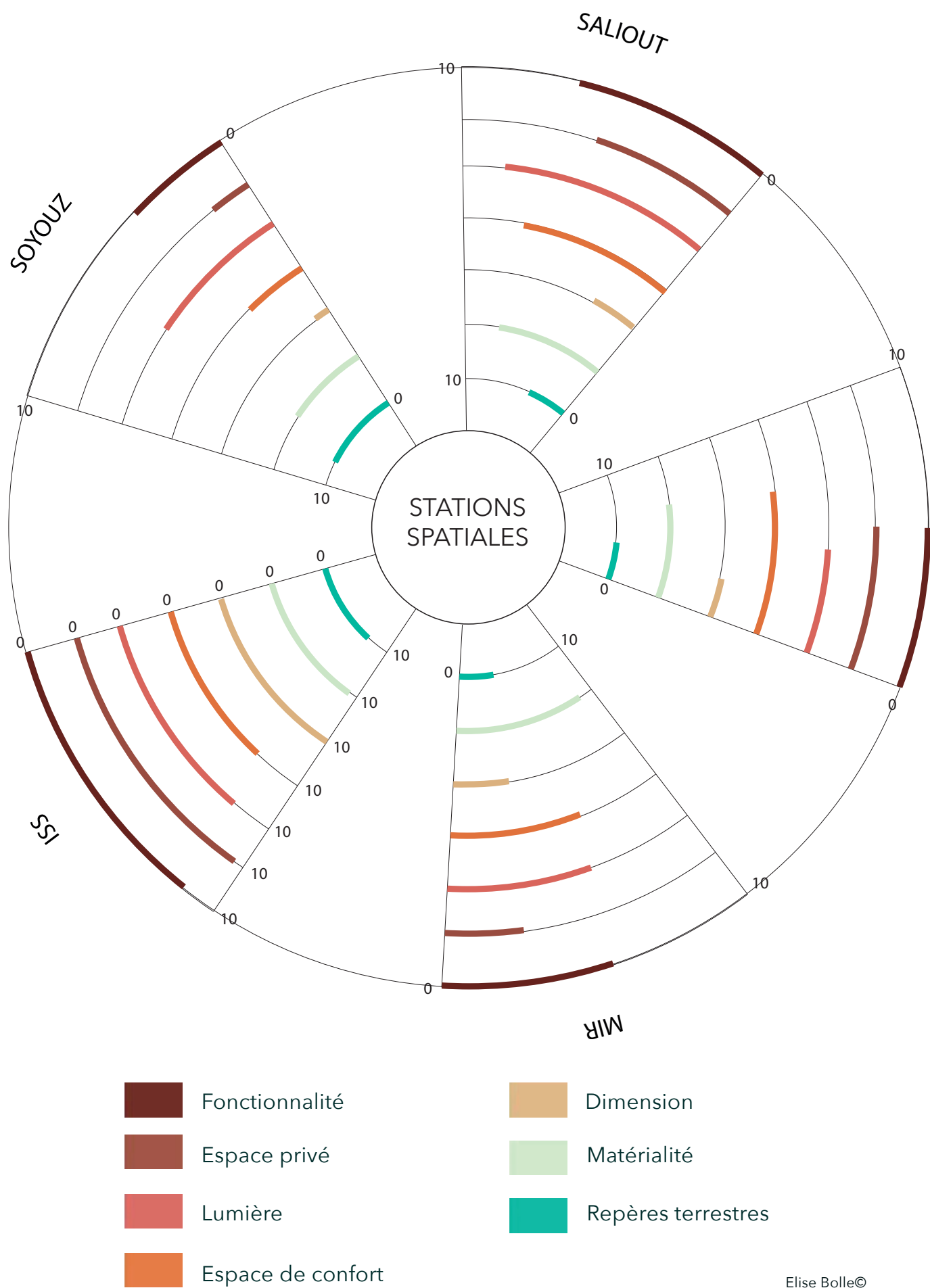
Plus globalement, nous pouvons dire que depuis les années 2000 une attention plus particulière est donnée au confort dans les stations. C'est par exemple, le cas de l'ISS qui présente de bons résultats dans l'ensemble des facteurs sélectionnés. De la même manière, la station Halley VI, dont la conception a été remportée en 2005 par l'architecte Hugh Broughton et la compagnie d'ingénierie AECOM propose un niveau de confort plutôt élevé, comme nous le confie Michal Krzysztofowicz dans le cadre de nos échanges pour ce mémoire.

4.3.2 Stations terrestres entre expérience et bien-être



- | | | | |
|---|-------------------|---|--------------------|
|  | Fonctionnalité |  | Dimension |
|  | Espace privé |  | Matérialité |
|  | Lumière |  | Repères terrestres |
|  | Espace de confort | | |

4.3.2 Stations spatiales entre technique et bien-être



4.4. UN REGARD SUR L'AVENIR

Bien que le bien-être dans les stations en milieu extrême soit un sujet à l'importance croissante, les étapes sont encore longues pour atteindre dans ces habitats des niveaux de confort comparables aux architectures que nous connaissons. Elon Musk, le patron de SpaceX, entend développer le tourisme spatial et entreprendre la conquête de Mars dans la prochaine décennie. Ces volontés utopistes induisent nécessairement un accroissement du confort dans les stations. Les premiers touristes spatiaux souhaiteront certainement passer quelques jours dans un environnement le plus agréable possible, loin des préoccupations de corps contraint des premiers astronautes. En effet, les futurs habitats spatiaux devront accueillir dans leurs aménagements intérieurs des éléments de la vie courante sur Terre comme des zones d'hygiène (salle de bain), des espaces de culture de produit frais, une bonne connexion réseau ou bien encore des espaces pour les soins médicaux ... De plus, à mesure que les ambitions de conquête spatiale augmentent, les besoins en confort des occupants vont s'étendre. Voici donc le défi des architectes dans les prochaines décennies : penser des habitats qui tiendront compte des besoins humains et non pas des architectures auxquelles les Hommes devront s'adapter.

Dans le futur, les architectures en milieu extrême et plus particulièrement les architectures spatiales prendront certainement d'autres formes, emploieront des matériaux innovants et des techniques de constructions novatrices.

Parallèlement, le temps de séjour et le nombre d'occupants des futures stations augmentent les besoins de confort. Il sera alors important de développer des architectures créatives qui sauront cultiver l'ensemble des facteurs influençant le confort. Mais aussi résoudre les nombreuses contraintes engendrées par les environnements extrêmes, que ce soit du point de vue humain ou technique.



53. La Terre observée depuis l'Espace

« La Terre est l'habitat-source pour toute habitation humaine, celles, si diverses, qui ont lieu sur Terre et celles qui pourront éventuellement s'inscrire ailleurs, au prix d'une technologie très sophistiquée. À supposer que les êtres humains aillent un jour sur Mars, leur séjour ne pourra en fait avoir lieu que dans la mesure où l'on sera capable de reproduire des conditions terrestres sur la planète voisine »⁸⁴



54. La Terre vue depuis l'Espace

⁸⁴ Paquot (Thierry), *Habiter, le propre de l'humain*, Villes, territoires et philosophie, La Découverte, 2007, page 31

Cette page est laissée blanche intentionnellement

CONCLUSION

Nous arrivons au terme de ce parcours entre Terre et Espace, où nous avons pu ouvrir notre esprit sur une nouvelle manière de concevoir et voir l'espace, en comprenant l'importance majeure du corps dans la conception architecturale. Au début de la course spatiale en pleine période de Guerre Froide, peu de place était accordée au bien-être des astronautes. Les objectifs principaux des deux nations alors rivales, les États-Unis et l'URSS, étaient de gagner cette surenchère technologique qui a conduit à de nombreux exploits spatiaux tels que le premier homme dans l'Espace en 1961 ou le premier pas sur la Lune en 1969. Au vu du progrès du domaine spatial, dès les années 1970, les agences spatiales ont commencé à questionner la notion du bien-être mais aussi les conséquences physiques et psychologiques d'un voyage spatial prolongé sur les corps des occupants. En effet, dans les premières années de la conquête spatiale, les vaisseaux étaient très technologiques et la place du corps était peu considérée. Le corps des astronautes était contraint physiquement de par l'agencement intérieur des stations : corps fœtal, replié et mouvements limités. Ce dernier était aussi contraint psychologiquement dû au confinement et à l'isolement engendré par ces semaines dans l'Espace. Dans ce contexte, les agences spatiales ont commencé à solliciter des architectes et designers afin de réduire les effets du corps contraint. Parmi les professionnels appelés nous pouvons distinguer deux architectes et designers qui ont grandement contribué à faire évoluer les esprits sur la notion de bien-être dans les milieux extrêmes. L'architecte Galina Balashova rentre au programme spatial soviétique en 1963 où elle contribue à l'aménagement, à la décoration et au design intérieur de nombreux programmes spatiaux dont, les vaisseaux Soyouz (Soyouz T, TM, 19), les stations spatiales Saliout 6 et 7 ou bien encore la station spatiale Mir. Dès 1967, le designer franco-américain Raymond Loewy rejoint le service de la NASA où il travaille avec son équipe sur l'intérieur de la première station américaine : Skylab. Ces deux protagonistes ont été des précurseurs dans la notion du confort dans la conception des habitats dans un environnement extrême. Bien que la technique est un élément avec lequel les architectes doivent concevoir, ces pionniers de l'architecture spatiale ont sans nul doute donné la première impulsion à des futures générations d'architectes ou de designers spatiaux.

Avec l'accroissement des connaissances spatiales, la durée des missions et le nombre d'occupants dans les stations ont commencé à croître, la question du bien-être de l'équipage devenait alors prédominante. Dès la fin du XX^e siècle, pour

mieux comprendre les effets du corps contraint et surmonter les difficultés liées au confinement et à l'isolement, les chercheurs se sont tournés vers des milieux extrêmes sur Terre, considérés comme des sites semblables à d'autres planètes telle que Mars. Malgré certaines conditions dissemblables, ces sites analogues constituent une source inestimable d'information pour les scientifiques. Ils permettent de mener de nombreuses expérimentations sur les éléments d'influence du confort dans les milieux extrêmes mais aussi d'en apprendre davantage sur le facteur humain. Les expériences dans ces architectures en milieux extrêmes sont également plus économiques et accessibles. Parallèlement, ces milieux analogues offrent aux architectes un immense champ des possibles pour développer des architectures innovantes et futuristes. L'ensemble de ces habitats en milieux extrêmes que ce soit sur Terre ou dans l'Espace constituent un formidable tremplin pour mieux envisager la conquête spatiale dans les prochaines décennies.

Dans le cadre de ce mémoire, nos études de cas situées dans des milieux extrêmes sur Terre nous ont fourni des informations importantes afin de répondre à la problématique posée. En effet, le corpus de dix cas d'études spatiales et terrestres nous a permis de découvrir les avancées en terme de confort et d'émettre des hypothèses sur les facteurs à prendre en compte pour développer des espaces de vie dédiés au confort. Les méthodes développées dans le mémoire ainsi que les entretiens effectués avec Michal Krzysztofowicz, Paul Sokoloff et Eva Wu, trois professionnels ayant expérimenté la vie dans des stations situées en milieu extrême, nous ont permis de mettre en lumière sept facteurs d'influence du bien-être et du confort. Les facteurs sont les suivants : la fonctionnalité, les espaces privés, la luminosité, les espaces dédiés au confort et à la détente, les dimensions, la matérialité et les repères terrestres.

Depuis le premier vol soviétique de Youri Gagarin en 1961, les progrès en matière de confort dans les stations spatiales sont considérables. Grâce à leur travail de conception, les architectes et designers imaginent l'environnement humain actuel tout en façonnant et posant les fondations des conceptions architecturales de demain. Ces expérimentations et avancées du domaine spatial vont certainement se retrouver dans notre quotidien dans les prochaines décennies. Cependant, bien que la question du bien-être dans les stations en milieu extrême soit l'une des préoccupations des agences spatiales, la route est encore longue pour atteindre dans ces architectures un niveau de confort permettant d'y travailler et d'y vivre durant des périodes prolongées.

Ce mémoire avait pour objectif d'enquêter sur le rôle de l'architecte dans la conception en milieu extrême et sur les possibilités d'intervention et les solutions qu'il pourra apporter pour concevoir des espaces de vie adaptés. L'architecte est un professionnel polyvalent capable de répondre aux besoins humains dans tous les milieux, de la Terre à l'Espace. De plus, ce mémoire permet d'éveiller les consciences sur la place du corps dans l'habiter et plus généralement dans la conception architecturale.

Ce travail de mémoire se situe aux prémices du champ des possibles lorsque nous parlons d'architecture extrême sur Terre et dans l'Espace. Il serait intéressant de poursuivre ce travail de recherche sous d'autres angles comme par exemple, les méthodes de construction ou bien les matériaux innovants de demain. En effet, les milieux extrêmes offrent des possibilités illimitées tant le domaine est vaste et les évolutions dans les prochaines décennies vont être importantes. L'Homme ne restera sûrement pas confiné à la planète Terre et développera certainement des technologies et habitats lui permettant de s'épanouir sur une autre planète.



55. Astronaute dans l'Espace

Entretien Michal Krzysztofowicz _ Station Halley VI

1. Which aspects were the most complicated during this mission ? (e.g. psychological aspects, food habits, privacy, relationship with the crew members ...)

Everyone had their own challenges - for some it was the isolation and missing out on family events back home, or home sickness; for others it was the relations with other crew members, or even boredom.

I personally loved every minute of my time in Antarctica. I think the most challenging bit was the lack of privacy and very little of time on my own, especially during the summer seasons, where there was up to and over a 100 people on station.

2. Which daily actions were the most frequent in the dome/station ? (e. g. going from the room to the laboratory, from the kitchen to the room ? Etc)

This was again different for everyone and it depended on the job one was doing. For me it was the "daily commute" from my pit room (another word for bedroom) to the science office where my desk was. The pit rooms were at the Northern end of the station while the Science Office was at the Southern end, so I'd have to walk the whole length of the station (about 180m). Not bad for a daily commute!

3. What was the place where you felt most comfortable ? According to you, why ?

This would depend on the day and my mood! Most often it would have to be my own pit room - during the winter we all had our pit rooms to ourselves (there was no need to share), and you could make your pit room your own with your personal items, some pictures or other decorations, maybe a comfortable blanket, etc. I would often just stay in and read a book, work on my pictures, listen to music or relax. This was one of the few places you could experience some solitude and have some privacy.

4. In terms of comfort, what is the most important thing ? (light, space, materiality, dimension, functionality, calm, open or close space ...)

First and foremost I think stuff has to work correctly and as intended. There's no point in having nice materials or colours if you can't set the temperature, there are bad smells, noises or other malfunctions.

So in order of preference, for me, would be:

- Temperature and humidity (being able to regulate yourself in the area you're in), as some people are cold when others feel warm at the same temperature
- Comfortable furniture with space for storage, as well as comfortable place to sit down or lie down
- Having a window to look outside is a great feature, but you should be able to close the blind (especially important during perpetual daylight)
- Bright colours and nice quality materials - Open spaces

5. According to you, what could be the role of architecture in the conception of a base/ station on Mars ? If you could, what would you change in terms of architecture ? (e.g. modularity, twin rooms ...)

I think personal space is important. While not the most optimal in terms of efficiency (a room for two people is not necessarily twice as large as a single room), it is important for your own sanity to be able to isolate yourself from others when you need to.

It's easy to forget, that unlike in the real world, with typical jobs and typical lives, people in Antarctica (and Mars, and similar environments) not only work together for 8 hours a day; they also live together, eat together, play together. There's no possibility to go and see friends from outside of work, or family, to decompress.

6. According to you, what would be an ideal station ? How could the comfort aspect be improved ?

Halley VI is close to it. It would need more storage space (as that was at premium and we struggled to store large amount of kit we had, both in terms of clothing, as well as sometimes bulky pieces of kit).

7. During your mission, how did you relax and chill out ? (e.g. Sport ? Music ? Light therapy ? Etc.)

Different people did this differently. Whenever the weather was good, all outdoor activities were very popular, from ski-joring (an act of being pulled behind a ski-doo / snow scooter, while skiing), kite skiing, sledging, even running or football. On some weekends we'd also make a trip out to the edge of the ice shelf for some ice climbing or to visit the penguin colony.

During the winter, when the weather was more challenging, for me it was working on my photography project which I called Antarctica366 – taking pictures of my surroundings every day of the year 2016 (which was a leap year – had 366 days, hence the name). Take a look at <http://antarctica366.com/>

Finally the usual stuff like listening to music, watching movies, socializing, some sports in the gym, etc.

8. According to you, which difficulties prevent the comfort in the station and what challenges still need to be overcome to dream of a Martian life ?

The cost of running a station well is the main issue I think. It's easy to just look at how much it costs to run a station and then to try to "optimize" the spend, but what it typically leads to is severe issues which the crew on station has to deal with, and which complicate their lives quite significantly. I think a project like that would have to be run, in principle, not from the cost-benefit point of view (financially) but as a mission for the humanity.

For Mars, specifically, I think a big challenge is the distance, and therefore the time it takes to even get there and back. At best I think it's about 6 months of flight to get from Earth to Mars, and then another that for the travel back (but not at any time – the two planets will have to be in a correct orbital configuration against each other). To make the journey worth it, the crew will need to be sent out there for a long time – they would need to spend easily more than a year or two on Mars. That is a huge commitment from anyone, to be away from everything and everyone you know for so long, not to mention the uncertainty of even being able to come back.

9. What do you think about science fiction movies showing life on Mars ? Do you think they describe a correct picture of Martian reality ?

I'm not too much into Sci-Fi, but I think The Martian (based on the Andy Weir's book) did a pretty good job of conveying a correct image of what it is like to live and work in an extreme environment. There were a lot of parallels between the movie story and what we've experienced at Halley!

10. In your opinion, can we dream of living one day on Mars or is it only an illusion ?

I think so, absolutely!

1. Which aspects were the most complicated during this mission ? (e.g. psychological aspects, food habits, privacy, relationship with the crew members ...)

A: I think privacy and relationships with other crew members can be the most complicated aspects of the mission. Most people have their own way of doing things and sometimes different perspectives on shared, or even personal tasks can cause tension. Allocation of chores can also be complicated, especially when there is no rotation.

2. Which daily actions were the most frequent in the dome/station ? (e. g. going from the room to the laboratory, from the kitchen to the room ? Etc)

A: Probably going from the hab to the science dome, then back again. Going up and down the ladder inside the station was quite common too.

3. What was the place where you felt most comfortable ? According to you, why ?

A: two places – my bunk for privacy (and the whole crew was very good about respecting everyone's privacy - and the science lab, as I think that's my element (as a scientist I like being in that environment – maybe because there I felt most like I was doing something important in there.

4. In terms of comfort, what is the most important thing ? (light, space, materiality, dimension, functionality, calm, open or close space ...)

A: I think a functional space with privacy and light is important. Given that spaces will be small as a matter of necessity its important for them to be as comfortable as possible. Ideally, they should be a place not only for sleeping, but for private work and relaxation as well.

5. According to you, what could be the role of architecture in the conception of a base/ station on Mars ? If you could, what would you change in terms of architecture ? (e.g. modularity, twin rooms ...)

A: in most habs all the sleeping rooms are close together, if possible, spreading peoples personal quarters throughout the base might be better for safety (not

having everyone all together in case of emergency) but also offer more personal space during extended missions.

6. According to you, what would be an ideal station ? How could the comfort aspect be improved ?

A: I think that increasing the amount to small common spaces where people can find areas to relax would be very important, and increasing the amount of exercise equipment and space would be important too.

7. During your mission, how did you relax and chill out ? (e.g. Sport ? Music ? Light therapy ? Etc.)

A: music, movies with the group and privately, and yoga sessions with the crew.

8. According to you, which difficulties prevent the comfort in the station and what challenges still need to be overcome to dream of a Martian life ?

A: I think the harsh environment and the small sizes necessary to a Martian habitat might hinder comfort – the development of new materials that will allow larger habitats, or the exploration of subterranean living space in lava tubes might allow the space needed to lead a comfortable life on Mars.

9. What do you think about science fiction movies showing life on Mars ? Do you think they describe a correct picture of Martian reality ?

A: Most don't, but recent movies like The Martian do a good job of representing what Mars will really be like.

10. In your opinion, can we dream of living one day on Mars or is it only an illusion ?

A: I think it will happen one day. It might take a bit longer than most of us might like, but I think it will happen. I do think that these expeditions will be scientific for a long time before any sort of long term colonization will happen.

1. Which aspects were the most complicated during this mission ? (e.g. psychological aspects, food habits, privacy, relationship with the crew members ...)

For us the largest complication would probably have been privacy and relationships in my opinion. Though everyone was friendly and tried our best to be helpful to one another, we were selected for our academic traits and not for how well we would interact. Since it was a short trip, this was not extremely crucial but had this been a much longer trip, this could have posed problems. The privacy and relationships tensions were not helped by the close quarters, the lack of ventilation, the inability to have a dark and private space (during the times of 24hr sunlight), and the forced socialization when we were unable to perform our daily tasks outside due to weather.

In our case we also had difficulty towards the end entertaining ourselves towards the end of the research mission. We weren't expecting a major snowstorm to hit and strand us for super long period of time, so we didn't have much in the cabin to keep us occupied, but that was just bad planning and ill-preparation on our part.

2. Which daily actions were the most frequent in the dome/station ? (e. g. going from the room to the laboratory, from the kitchen to the room ? Etc)

In our situation, our most frequent and regular activity was in gathering for meals together. As a small team of 8, we took the time allocated for breakfast, lunch, and dinner to regroup, socialize and plan out key activities that need to be taken by the team. This enabled us to have a better group bonding experience and also made sure that everyone was on the same page in terms of priorities, task distribution, and checking in on mental/ physical health statuses.

3. What was the place where you felt most comfortable ? According to you, why ?

For me I was happiest when I was able to go outside and have a little time to myself. Because the MARS station had risks for polar bears, wolves, and other general risks, we always had to travel in pairs when we left on longer excursions for our research. During our limited time off, we were able to go outside in the area near the base (with direct visibility to the main hut) on our own with a walkie-talkies. This allowed everyone to have a little bit of personal space in a place where everyone was grouped tightly into a few buildings.

When the snowstorms came however this daily excursion was no longer an option. During this time my most comfortable spot was in a corner of the main gathering hut by the fire and the window. This was a spot that, though everyone gathered, we all had enough space to give everyone their own spot to relax, read, and reflect while still socializing with the rest of the team.

4. In terms of comfort, what is the most important thing ? (light, space, materiality, dimension, functionality, calm, open or close space ...)

For us surprisingly it was the ability to regulate the amount of sunlight we had exposure to. We were at the station during a time where we went from 24hr daylight to near constant twilight. We found that controlling out light exposure with curtains and eye masks really helped regulate our circadian rhythms, which was a huge contributor to our overall health. It made us recognize that, even though we were isolated and did not necessarily need a regular schedule, our health and wellbeing really depended on controlling our schedules with sunlight, meals, and regular activities that told us exactly what period of the day we were living through.

5. According to you, what could be the role of architecture in the conception of a base/station on Mars ? If you could, what would you change in terms of architecture ? (e.g. modularity, twin rooms ...)

We were very fortunate at MARS because the station had undergone many additions and repairs during the years that it was in operation. For us the modularity of the station not only enabled us to have personal space and separate rooms to contain our research, sleeping quarters, dining, etc. but also had enough space in-between each building that we had some exercise and fresh air each day when we navigated between the buildings. The bathroom on the side of the mountain with a view of the glaciers was really a treat each day too, even in the snow. This was especially helpful when we were stuck inside during snowstorms, because the buildings were far enough for us to have a quick walk in the snow but not far enough for us to get lost in the storm. This of course is also mainly possible because the MARS station does not operate during the winter season. Overall the architecture and layout really helped our mental and physical wellbeing. There was also plenty of art, books, and artifacts on the walls of the main "hang-out" hut for us to have some fun objects to brighten up the rooms.

If improvements for the station could be made with the resources available, or for other stations being built, separate buildings or rooms to do research would

be great. We performed all our work in our relaxation space as well, and it meant work would still be on a lot of people's minds because all our equipment would be crowded into the room when we had our time off. At the station in the PCSP Resolute Bay station this separation allowed us to truly take time off and separate work from leisure time, which helped our mental health. This would have also enabled us to have cleaner spaces since we worked a lot in water and soils so our relaxation spaces would never be very clean nor smell-free.

6. According to you, what would be an ideal station ? How could the comfort aspect be improved ?

An ideal station for me would, I think, have a lot of the qualities that MARS had. Modularity that divided daily tasks between buildings really helped. If possible having more rooms for the inhabitants would be great as well, because we were mainly in bunk beds that were tightly packed together. In peak season there would be 10 people in a small room, which also had to house our personal items so there wasn't a lot of space to move around. The other rooms available were also permanent vinyl huts, so they would get fairly cold and drafty when the temperature drops. A common area with comfortable seating and enough people for everyone to gather would be great as well. We saw that this sort of arrangement worked really well at the PCSP base in Resolute Bay worked really well to grow relationships and have social interactions.

7. During your mission, how did you relax and chill out ? (e.g. Sport ? Music ? Light therapy ? Etc.)

On MARS we definitely relaxed and chilled out, but everyone took their own ways to do it. Some of the researchers hung out together, while others went for a walk over the hill to read to watch the "fake sunset" even if we had a long day outside. Even with all the time outside, personal time outside that doesn't relate to work was so important. Separation from work and play (just like in our current isolation time) was our main way of staying healthy. This did mean that we should have been more prepared to bring hobbies and leisure activities to the station, which we didn't prepare for at all. Fortunately we had a lot of books available and some people had a few movies on a hard drive, but those quickly got old and we also had limited power supply since everything was run off of diesel.

For us we didn't have a too bit problem for light therapy because there was 24hr sunlight, but towards the end when the sun stopped coming up for a very long

time we definitely would have liked to have sunlamps or had more sources of light in general, since all our light pretty much came from the windows or two small lightbulbs.

There weren't any musical instruments and no internet, but if instruments were available it would have been great for morale.

8. According to you, which difficulties prevent the comfort in the station and what challenges still need to be overcome to dream of a Martian life ?

Personal hygiene wasn't too big of a problem, but better facilities definitely would have helped. Late in the season we couldn't go out much, and any amount of smell accumulated since we couldn't open windows very often. Ventilation and fresh air cycling through the building is pretty crucial and to prevent tensions between team members.

Soft surfaces to absorb noises and create more comfortable spaces could have been great additions to bring comfort. Understandably, cleanliness may pose some challenges but carpeting, soft walls, or other methods of reducing hard surface could have made the rooms feel warmer and more welcoming as well. I found that the thing I missed a lot was having a feeling of warmth and softness, even though temperature-wise the room was never super cold. I think these soft surfaces could have really improved health and connectedness for the team. Overall sound-proofing between the rooms would be great as well.

It wasn't much of a problem on MARS, but on Axel ambient noise from generators and central air movement could have been reduced to provide some quiet time, since it was quite noisy and constant throughout the day.

Improvements to Martian life! We had our best times when we could cook and get creative. Having team members be able to have time in the kitchen helped team bonding and relaxation. Overall everything was pretty great up there so I don't have much more to add. Once again, private sleeping space would have been nice.

9. What do you think about science fiction movies showing life on Mars ? Do you think they describe a correct picture of Martian reality ?

The movie and book *The Martian* actually had a huge impact on how we lived our lives and planned for problems at MARS! In a sense it helped us because it acted as a guide to be intuitive, use ingenuity, and plan for every possible circumstance

while we were in an isolated environment. We also saw that the book and movies were well researched because a lot of similarities could be found between our stations and overall layouts, through theirs was definitely much better in terms of modularity, cleanliness, and personal space which we would have loved to have. The book and movie was also a huge morale booster during snowstorm times when we couldn't do much but sit in the main hut, so we watched the movie together several times over and everyone ended up reading the book. It was actually a lot of fun and really cool.

10. In your opinion, can we dream of living one day on Mars or is it only an illusion ?

In my opinion I think it can be a reality. In terms of human innovation and the ability to produce all the necessary components to bring life and sustain life on MARS can be accomplished with time and funding. Plus, with the examples of stations like MARS and other remote locations where there are very small groups (we had 8 which is pretty typical, and the station only has 100+ for a few weeks during peak summer season) it can be shown that we as humans are able to live in isolation for an extended duration and still want to come back for more (some researchers have been there for decades). I think the main question is what priority life on MARS would be for humans and whether or not this would be a project that perseveres and gets executed through the ages.

<div> <div>Michal Krzysztofowicz</div> <div>Paul Sokoloff</div> <div>Eva Wu</div> <div>CONCLUSION</div> </div>				Les éléments récurrents
<div> <div>Station Halley VI</div> <div>Mars Desert Research Station</div> <div>McGill Arctic Research Station</div> </div>				
Quels aspects sont les plus compliqués lors des missions ?	<p>Manque d'intimité Relations avec les autres personnes L'isolement Le manque de ses proches L'ennui Peu de temps pour soi</p>	<p>Manque d'intimité Relation avec les autres personnes Répartition des tâches Manque de temps pour soi</p>	<p>Manque d'intimité Relation avec les autres Pas d'espace privé Manque de ventilation</p>	<p>Manque d'intimité Relations avec les autres personnes Peu de temps pour soi</p>
Dans quel espace vous sentiez vous le mieux, le plus confortable ?	<p>La chambre (notamment l'hiver : une chambre seule)</p>	<p>La couchette privée Le laboratoire scientifique</p>	<p>L'extérieur à proximité de la station (pour avoir du temps pour soi)</p>	<p>Chambre/couchette privée</p>
Qu'est-ce qui est le plus important en terme de confort dans les stations ?	<p>La température et l'humidité (pour réguler soit même) Fonctionnalité (stockage, lieu confortable) Fenêtre/lumière Couleurs vives/de beaux matériaux Lieux ouverts</p>	<p>Fonctionnalité Intimité Lumière Idéal : pièce pour dormir avec espace de travail personnel et de relaxation</p>	<p>Réguler la quantité de lumière du soleil pour réguler son rythme circadien</p>	<p>Fonctionnalité Lumière Lieu confortable Intimité</p>
Selon vous, quel pourrait être le rôle de l'architecture dans la conception des bases de vie ?	<p>Améliorer les lieux privés (comme la chambre)</p>	<p>Plus d'espace personnel Répartition des quartiers personnels dans toutes la base pour plus de sécurité</p>	<p>Modularité Avoir de l'espace entre les bâtiments : sport, extérieur Fenêtre sur l'extérieur</p>	<p>Améliorer et concevoir les espaces privés Créer des espaces ouverts sur l'extérieur</p>
Comment améliorer le confort dans les stations ?	<p>Station Halley VI (très bien) Beaucoup de stockage</p>	<p>Plus d'espace commun pour se relaxer Plus d'équipement de sport Plus d'espace</p>	<p>Beaucoup de qualité de MARS Modularité qui répartit les tâches quotidienne entre les bâtiments Plus de chambres La ventilation Le recyclage de l'air Surface absorbante pour diminuer les bruits</p>	<p>Disposer de plus d'espace commun Espaces modulables Stockage</p>
Lors de vos missions, qu'est-ce qui vous a permis de vous évader/changer les idées ?	<p>Activité en extérieur (jeu, balade ...) Travailler sur des projets photographiques Écouter de la musique Film Sport ...</p>	<p>Musique Films en groupe ou seul Yoga</p>	<p>Marcher Lecture</p>	<p>Sport ou relaxation Musique Film</p>
Selon vous, quels films, livres ... représentent le mieux la vie sur une autre planète ?	<p>The Martian</p>	<p>The Martian</p>	<p>The Martian</p>	<p>The Martian (Seul sur Mars, en français)</p>

	FONCTIONNALITÉ	ESPACE PRIVÉ	LUMIÈRE	ESPACE DE CONFORT	DIMENSION	MATÉRIALITÉ	REPÈRE TERRESTRE
Concordia	Bâtiment "bruyant" Bâtiment "calme" Séparation des différents usages Travail de l'architecte Jean Dubourg	16 chambres individuelles	Hublots dans les chambres et dans les principales fonctions de la station	Salle de sport Salle vidéo Magasins Restaurant Bibliothèque	Divisé en deux bâtiments : 9000m ²	Multiplicité des matériaux Usage de matériaux chaud (bois)	En Antarctique (jour ou nuit prolongé)
Halley VI	Séparation des différents usages Travail de l'architecte Hugh Boughton	Chambre partagée (6m ²)	Ouvertures multiples Eclairages artificiels simulants le rythme circadien	Salle de sport Salle de télévision Espace de repos	Module rouge : 497m ² Module bleu : 152m ²	Travail très important sur les couleurs pour assurer le bien-être	En Antarctique (jour ou nuit prolongé)
FMARS	Pas séparation des différents usages	Chambre individuelle (5/6m ²)	4 hublots (selon les plans) Pas de hublot dans les chambres sauf une	Pratique sportive dans l'espace commun du RDC	Diamètre : 8 m	Matérialité peu travaillé Espace technique	Alternance jour-nuit Vues extérieures Sortie en scaphandre
MDRS	Pas séparation des différents usages	Chambre individuelle (5/6m ²)	7 hublots (selon les plans) Pas de hublot dans les chambres sauf une	Pratique sportive dans l'espace commun du RDC	Diamètre : 8 m Hauteur : 8m	Matérialité peu travaillé Espace technique	Alternance jour-nuit Vues extérieures Sortie en scaphandre
HI-SEAS	Pas séparation des différents usages	Chambre individuelle (5m ²)	1 hublot (selon les plans) Pas de hublot dans les chambres	Pratique sportive dans l'espace commun du RDC	Diamètre : 11m Volume : 360m ³ Surface au sol : environ 140m ²	Matérialité peu travaillé Espace technique	Alternance jour-nuit Ouverture vers l'extérieur Sortie en scaphandre

	FONCTIONNALITÉ	ESPACE PRIVÉ	LUMIÈRE	ESPACE DE CONFORT	DIMENSION	MATÉRIALITÉ	REPÈRE TERRESTRE
Soyouz	Capsule au dimension restreinte	Absence d'espace privé : les astronautes partagent un module de vie	Lumière artificielle	Absence d'espace de « confort »	Masse : 7 tonnes Longueur : 9m	Travail de l'architecte Galina Balashova pour Soyouz, Soyouz T et Soyouz TM et Soyouz 19	Apesanteur Hublots
Saliout	Travail sur la fonctionnalité fait par l'architecte Galina Balashova (<i>fauteuil et des espaces de confort, de rangement ...</i>)	sacs de couchage des cosmonautes accrochés à la structure de la station Non privé	Lumière artificielle Couleurs lumineuses et claires avaient été choisies pour palier au manque d'éclairage	Douche	Longueur : 23m Diamètre : 4m	Travail sur les couleurs fait par l'architecte Galina Balashova	Apesanteur Peu d'ouverture sur l'extérieur
Skylab	Travail sur la fonctionnalité fait par Raymond Loewy (table des officiers) Manque de rangement selon l'équipage	Dortoirs séparés de l'espace de travail (3 personnes) Non privé	Lumière artificielle	Module d'espace de vie et de travail Appareil d'exercice sportif Espace séparé et dédié à l'hygiène	Longueur : 25,1m (sans Apollo CSM) Largeur : 17m Diamètre : 6,61m	Travail intérieur fait par Raymond Loewy	Apesanteur Peu d'ouverture sur l'extérieur

	FONCTIONNALITÉ	ESPACE PRIVÉ	LUMIÈRE	ESPACE DE CONFORT	DIMENSION	MATÉRIALITÉ	REPÈRE TERRESTRE
Mir	Espace privilégié était destiné aux repas collectifs Pas d'indicateur de direction simulé de haut et de bas	Uniquement deux cabines privées pour une capacité d'ailleurs supérieur	Lumière artificielle	Aire d'hygiène (sanitaire, lavabo, douche en 1989) Appareil d'exercice sportif	Volume : 380 m³ Poids : 135 tonnes Longueur : 19m Largeur : 31m Hauteur : 27,5m	Travail intérieur fait par l'architecte Galina Balashova	Apesanteur Peu d'ouverture sur l'extérieur
ISS	Equipements intérieurs modulaires et standardisée L'intérieur a été adapté par l'équipage pour être fonctionnel et répondre à leurs besoins	Couchette individuelle (2,1m³ de volume intérieur et un hublot de 20 cm de diamètre)	Lumière artificielle Hublots dans les espaces privés La Cupola	Espace pour la pratique sportive Pas de douche Module d'espace de vie	Masse : 420 tonnes Longueur : 110 m Largeur : 74 m de Hauteur : 30 m Quatre fois plus grandes que la station Mir et cinq fois plus grande que la station Skylab	La Cupola Hublots dans les espaces privés Alternance jour-nuit toutes les 90 minutes Apesanteur	

Tableau réalisé par Elise Bolle©

COMPARAISON STATION TERRESTRE	Lieux & Température Extérieure	Dimension & Capacité d'accueil	Conception	Objectifs des missions
Station Concordia 1999 - 2004	Antarctique Température minimum enregistré : - 84°C	Dimension : 9 000 m² Capacité : En hiver : 15 personnes En été : environ 60 personnes	<u>Architecte :</u> Jean Dubourg avec l'entreprise Ingénieur structure : ECSB 1993 : sous l'influence de l' <i>Institut polaire français - Paul Émile Victor</i> (IPEV) et <i>Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente</i> (ENEA)	Expériences scientifiques, biologie, glaciologie, climatologie et spatiale
Station Halley Première station Halley : 1956 2004 : début du concours pour la station Halley VI 8 juillet 2005 : Hugh Broughton Architectes & Faber Maunsell (actuellement AECOM) remporte le concours 2007 - 2012 : Construction	Antarctique Température moyenne : -10 °C Hiver : -55 °C	Dimension : Les modules sont surélevés de 4m par rapport au niveau de la glace Skis : 3,9 x 1,1 m Surface intérieure : 1510m² Module rouge : 497m² Module bleu : 152m² Capacité d'accueil : En hiver : 14 personnes En été : 70 personnes	<u>Architecte :</u> Hugh Broughton , associé avec l'ingénieur : Faber Maunsell Coût : 29 millions d'euros	Expériences scientifiques, recherche sur le réchauffement climatique, niveau de la mer, couche d'ozone ...

COMPARAISON STATION TERRESTRE	Lieux & Température Extérieure	Dimension & Capacité d'accueil	Conception	Objectifs des missions
Mars Desert Research Station (MDRS) Année de construction : 2001 Début des missions : 2002	Utah (Etats-Unis)	Dimension : Diamètre : 8 m Capacité : 6 personnes	Entreprise NASA et Mars Institute	L'objectif est d'étudier la faisabilité de l'exploration humaine sur Mars, en utilisant le désert de l'Utah comme lieu simulant les conditions de vie sur la planète rouge
Hawai Space Exploration Analog and Simulation (HI-SEAS) Début de la première mission : Avril 2013	Hawai	Dimension : Diamètre : 11m Volume : 360m ³ Surface au sol : environ 140m ² Capacité du dôme : 6 personnes	Financé par le Human Research Program de la NASA	Impacts psychologiques de la mission Comprendre les problèmes qu'un voyage sur Mars pourrait poser
Flashline Mars Arctic Research Station (FMARS) Construite : été 2000 Première mission : 2001	Nunavut (l'île Devon), Canada	Dimension : Diamètre : 8 m Surface au sol : ø m ² Capacité : 6 personnes	Créés et entretenus par Mars Society	Etudes sur les technologies, les stratégies, la conception architecturale et les facteurs humains impliqués dans les missions humaines sur Mars Laboratoires compacts

COMPARAISON STATION DANS L'ESPACE		Lieux & Température	Dimension & Capacité d'accueil	Conception	Objectifs des missions
Skylab 1973 - 1979		En orbite terrestre Dans l'Espace : -126 °C et 149 °C	Dimension : Longueur : 25,1m (sans Apollo CSM) Largeur : 17m Diamètre : 6,61m Capacité : 3 minium	Première station spatiale lancée par l'agence spatiale américaine, la NASA	Observations scientifiques Observation du Soleil Etude de l'adaptation de l'homme à l'espace
Soyouz Année de lancement : 1962 Premier vol : 21 avril 1967 Désigne une famille de vaisseaux spatiaux habités		En orbite terrestre Dans l'Espace : -126 °C et 149 °C	Dimension : masse de 7 tonnes et long d'environ 9 mètres Capacité : 3 astronautes	Conception soviétiques , puis russes	2011 - Soyouz est devenu le seul vaisseau capable d' assurer la relève de l'équipage permanent de la station spatiale (ISS) Soyouz peut effectuer un vol autonome d'une durée comprise entre trois et quinze jours, ou rester dans l'espace amarré à la station spatiale jusqu'à 200 jours
Saliout (première appellation Almaz station militaire) 1971 - 1986 Huit stations Saliout dont trois sont des stations militaires Almaz		En orbite terrestre Dans l'Espace : -126 °C et 149 °C	Dimension : 23 m de long et un peu plus de 4 m de diamètre Les stations Saliout Pesaient entre 20 et 25 tonnes Capacité : Elles pouvaient accueillir jusqu'à 3 astronautes	Conception soviétiques	Objectifs militaires (Guerre Froide)

COMPARAISON STATION DANS L'ESPACE		Lieux & Température	Dimension & Capacité d'accueil	Conception	Objectifs des missions
International Space Station (ISS) Année de lancement : 1998		En orbite terrestre à une altitude maintenue autour de 330-420 kilomètres Ecart de température compris entre -126 °C et 149 °C (les parois de la station doivent être équipées pour supporter de telles différences)	Dimension : 110 m de longueur, 74 m de largeur et 30 m de hauteur et a une masse d'environ 420 tonnes en 2019 16 modules pressurisés Capacité : 6 astronautes pour une durée de séjour de 3 à 6 mois	Ce programme, lancé et piloté par la NASA , est développé conjointement avec l'agence spatiale fédérale russe , avec la participation des agences spatiales européennes, japonaise et canadienne	Recherche scientifique
		En orbite terrestre Dans l'Espace : -126 °C et 149 °C Température de l'environnement de Mir entre 64°F et 82°F (soit 18°C et 28°C) Humidité : entre 20% et 70%	Dimension : 19m de long, 31m de large, 27,5m de haut Volume : 380 m³ Poids : 135 tonnes environ Elle pouvait accueillir un équipage résident de trois astronautes et plus lors de séjours de courte durée (jusqu'à 13 personnes)	La station a été lancée par l' Union soviétique dans le cadre de ses efforts pour maintenir un avant-poste de recherche à long terme dans l'espace Conçue à l'origine pour 2 personnes, la station comprenait que 2 cabines (en russe kayutkas)	Laboratoire de recherche en micropesanteur Expériences en biologie, biologie humaine, physique, astronomie, météorologie et sur les systèmes spatiaux Développement des technologies nécessaires à l'occupation permanente de l'espace Première station spatiale permettant l'exploitation spatiale habitée à long terme

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages	145
Mémoires et travaux d'étudiants	146
Articles Web	147
Sites Web	150
Filmographie et vidéos	151
Événements et visites	152

Callebaut (Vincent), *Paris 2050, les cités fertiles face aux enjeux du XXI^{ème} siècle*, Michel Lafon, 2015

Coué (Philippe), *Rêves de Mars, les projets d'expéditions habitées vers la planète rouge*, L'esprit du temps, 2018

Collinet (Cécile), Delalandre (Matthieu), *L'injonction au bien-être dans les programmes de prévention du vieillissement*, Presses Universitaires de France, 2014

De Smet (Elsa), *Voir l'espace astronomie et science populaire illustrée (1840-1969)*, Presses universitaires de Strasbourg, 2018

Friedman (Yona), *Comment habiter la terre*, L'éclat poche, 1976

Häuplik-Meusburger (Sandra), *Architecture for Astronauts : An activity-based Approach*, Vienne, Springer-Verlag, 2011

Les grandes découvertes de l'espace : de l'Antiquité à nos jours, éditions Atlas et Glénat, 2011

Les Others Magazine, Volume n°11, Delirium, 2020

Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015

Petranek (Stephen L.), *Comment nous vivrons sur Mars*, Marabout, 2015

Paquot (Thierry), *Habiter, le propre de l'humain, Villes, territoires et philosophie*, La Découverte, 2007

Slavid (Ruth), *Architecture des limites : construire en milieu hostile, du dessert au vide interplanétaire*, chapitre 5 : Espace, Seuil, 2009

Slavid (Ruth), *Ice Station: The Creation of Halley VI. Britain's Pioneering Antarctic Research*, Park Books, 2015

Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017

Verseux (Cyprien), *Mars la blanche, un hiver Antarctique*, Hugo Image, 2019

Villain (Jacques), *Irons-nous vraiment un jour sur Mars ?*, Vuibert, 2011

Villain (Jacques), *A la conquête de l'espace. De Spoutnik à l'homme sur Mars*, Vuibert, 2007

Sparrow (Giles), *Mars planète rouge*, Delachaux et Niestlé, 2016

Mémoires et travaux d'étudiants

Demirbas (Yazgi), In/side/out [La Conscience] [Le Corps] [L'Environnement], PFE Exploring the in-between ou slow train home avec Paul Gresham et Noel Dominguez, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Belleville, 2019

Girona (Sarah), La conquête de l'Espace, une aventure architecturale, entre utopies cosmiques & perspectives concrètes d'habitat spatial, mémoire sous la direction de HALGAND Marie-Paule, Ecole Nationales Supérieure d'Architecture de Nantes, 2018

Hennard (Benjamin), Habiter sur la lune, avenir ou fiction ?, mémoire sous la direction de DUFRASNES Emmanuel, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg, 2019

Hilaire (Vincent), Mars architecture : société, ville, technologies, futurs, environnement, mémoire sous la direction de Denis Bocquet, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg, 2016

Meyer (Claire), Vivre ailleurs architecture extra-terrestre et ses apports pour nos villes sur terre, mémoire sous la direction DUFRASNES Emmanuel et de WETZEL Jean-Paul, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg, 2017

Sargenti (Justin), La notion de confort dans l'architecture en milieu hostile : les stations polaires, la station Halley VI, rapport d'étude sous la direction de ROSSANO Frédéric, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg, 2019

Sleilati (Chadi), Habiter les extrêmes : la conceptions des habitats dans les milieux reculés, mémoire sous la direction de Pascal Joanne et Ignacio Requena-Ruiz, Ecole Nationales Supérieure d'Architecture de Nantes, 2019

BIGMAT, Galina Balashova: Architect of the Soviet Space Programme at DAM Frankfurt, publié le 5 September 2015 [consulté le 17 mars 2020], disponible en ligne : <https://www.bmiaa.com/galina-balashova-architect-of-the-soviet-space-programme-at-dam-frankfurt/>

Boutard (François), Raymond Loewy, le pionnier du design industriel, publié le 30 juin 2016 [consulté le 17 mars 2020], disponible en ligne : <https://blog.design-market.fr/raymond-loewy-le-pionnier-du-design-industriel/>

Decourt (Rémy), Tera, Marsha : les futurs habitats martiens imprimés en 3D, récompensés par la NASA, mis en ligne le 04/10/2019 [consulté le 14/10/19], disponible en ligne : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/colonisation-mars-tera-marsha-futurs-habitats-martiens-imprimes-3d-recompenses-nasa-77771/>

Demain la ville, le blog, La colonisation spatiale nous fera-t-elle vivre dans l'espace ?, publié le 8 décembre 2018, [consulté le 3 juin 2020], disponible en ligne : <https://www.demainlaville.com/la-colonisation-spatiale-nous-fera-t-elle-vivre-dans-lespace/>

Destination Orbite, La Station Spatiale Mir, [consulté le 30 avril 2020], disponible en ligne : <https://exploration.destination-orbite.net/stations-spatiales/mir.php#-tab-4>

Esslinger (Olivier), L'ISS : la station spatiale internationale, mise à jour le 13 octobre 2019 [consulté le 30 avril 2020], disponible en ligne : <https://www.astronomes.com/divers/liss-la-station-spatiale-internationale>

Garcia (Victor), Vivre sur Mars, difficile mais pas impossible, publié le 25 avril 2018, [consulté le 23 octobre 2019], disponible en ligne : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/bienvenue-sur-mars_1999735.html

Garcia (Victor), Qui se rendra sur Mars en premier ?, publié le 24 avril 2018 , mis à jour le 25 avril 2018, [consulté le 23 octobre 2019], disponible en ligne : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/mars-et-le-tourisme-spatial-en-route-pour-la-planete-rouge_1998202.html

Garcia (Victor) L'express, Mission extrême au pôle Sud, publié le 23 juin 2018, [consulté le 12 décembre 2020], disponible en ligne : www.lexpress.fr/actualite/sciences/mission-extreme-au-pole-sud_2010449.html

Gévaudan (Camille), Comment se passe le voyage dans un vaisseau Soyouz

?, publié le 19 novembre 2016 [consulté le 15 novembre 2020], disponible en ligne : https://www.liberation.fr/futurs/2016/11/19/comment-se-passe-le-voyage-dans-un-vaisseau-soyouz_1529421#:~:text=Mais%20globalement%2C%20d'apr%C3%A8s%20ce,%2C%20fa%C3%A7on%20boulet%20de%20canon.%C2%BB

Hawai'i Space Exploration Analog and Simulation, long duration Mars simulations operated by the University of Hawai'i at Manoa, disponible en ligne : <http://hi-seas.org/>

HI-SEAS, Article : Who will explore Mars and how will they get along isolated for years far from Earth ? http://hi-seas.org/wp-content/uploads/2016/01/HI-SEAS-Media-Kit_01Jan2017b.pdf

Hue (Benjamin), La NASA a peut-être trouvé la solution pour habiter sur Mars, publié le 07/03/2017, consulté le 23/10/19, disponible en ligne : www.rtl.fr/actu/futur/vie-sur-mars-nasa-champs-magnetique-7787567800

Koren (Marina), When a Mars Simulation Goes Wrong, The Atlantic, publish on June 22, 2018, disponible en ligne : www.theatlantic.com/science/archive/2018/06/mars-simulation-hi-seas-nasa-hawaii/553532/

Lahalle (Mooréa), Six mois dans l'espace pour Thomas Pesquet : quels impacts sur son corps et son mental ?, publié le 02/06/2017, disponible en ligne : <https://www.francebleu.fr/infos/insolite/thomas-pesquet-les-impacts-du-retour-sur-terre-1496399893>

Lecomte (Erwan) et Rouat (Sylvie), Il y a 15 ans, la station Mir se désintégrait dans l'atmosphère terrestre, le 23.03.2016, mis à jour le 23.03.2016 [consulté le 27 avril 2020], disponible en ligne : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/exploration/il-y-a-15-ans-la-station-mir-se-desintegrait-dans-l-atmosphere-terrestre_101984

Lee (Pascal), Seti Institute : Mars on earth: the NASA, Haughton Mars Project, Preparing for Mars in a unique public/private and international setting, publish on June 2002, disponible en ligne : <https://space.nss.org/media/Ad-Astra-Magazine-v14n3F1.pdf>

Legouge (Matthieu), Soyouz : tout ce qu'il faut savoir sur le vaisseau spatial russe, publié le 4 juillet 2019, modifié le 3 mars 2020, [consulté le 4 juin 2020], disponible en ligne : www.clubic.com/mag/sciences/conquete-spatiale/article-857452-1-soyouz-decryptage.html

Le Parisien, Une astronaute va revenir sur Terre en plein confinement : «C'est sur-réaliste», publié le 10 avril 2020, [consulté le 22 septembre 2020], disponible en

ligne : www.leparisien.fr/societe/une-astronaute-va-revenir-sur-terre-en-plein-confinement-c-est-surrealiste-10-04-2020-8297895.php

Lorek (Sarah), constructible, SpaceX to Mars City : How to build on Mars, mis en ligne le 01/03/2019, consulté le 20/10/2019, disponible en ligne : constructible.trimble.com/construction-industry/spacex-to-mars-city-how-to-build-on-mars

Lorek (Sarah), SpaceX to Mars City, article, How to Build on Mars, publish on March 2019, disponible en ligne : constructible.trimble.com/construction-industry/spacex-to-mars-city-how-to-build-on-mars

Novak (Matt), Raymond Loewy's NASA Designs Are The Space Future That Never Was, publié le 13 octobre 2014 [consulté le 25 mars 2020], disponible en ligne : paleofuture.gizmodo.com/raymond-loewys-nasa-designs-are-the-space-future-that-n-1645668220

Rosières (Gregory), Les maisons sur Mars de la Nasa pourraient ressembler à ça, mis en ligne le 30/07/2018, mis à jour le 31/07/2018, consulté le 12 octobre 2019, disponible en ligne : www.huffingtonpost.fr/2018/07/30/les-maisons-sur-mars-de-la-nasa-pourraient-ressembler-a-ca_a_23492156/

Sup'Biotech, Vivre sur Mars » : retour sur la conférence événement de l'astrobiologiste

Cyprien Verseux, publié le 17 novembre 2017, consulté le 23 mars 2020, disponible en ligne : www.supbiotech.fr/blogs

S. Williams (Matthew), What Would a Martian Colony Look like ?, publish on June 2019, disponible en ligne : interestingengineering.com/what-would-a-martian-colony-look-like

Tema.archi, Marie Crabié, Comment nos logements s'adaptent au confinement : vos témoignages en plans, publié le 13 avril 2020, [consulté le 5 octobre 2020], disponible en ligne : tema.archi/articles/plan-releve-habite-exercice-etudiant-architecture-confinement

Tema.archi, Marie Crabié, Quand le confinement redéfinit notre rapport au logement, publié le 3 avril 2020, [consulté le 5 octobre 2020], disponible en ligne : tema.archi/articles/rapport-au-logement-confinement-temoignages-habiter-architecture-sociologie-habitants-0

ESA : www.esa.int/fre/ESA_in_your_country/France

FMARS : fmars.marssociety.org/

ARCHES : www.arches.urbicoop.eu/index.html

Verseux (Cyprien), Mars la blanche (blog), disponible en ligne : marslablanche.com/

Verseux (Cyprien), Walking on red dust (blog), disponible en ligne : walking-on-red-dust.com/about/

Filmographie et vidéos

European Space Agency (ESA), Full Space Station tour with Thomas, YouTube, 19 minutes 49 secondes, 2019, consulté en avril 2020

L'odyssée interstellaire : à la recherche d'une vie extra-terrestre, ARTE, 51 minutes, 2019, consulté en octobre 2019

Nolan (Christopher), Interstellar, Obst Lynda et Thomas Emma, 169 minutes, 2014, consulté en février 2020

Scott (Ridley), Seul sur Mars (titre d'origine The martian), 141 minutes, 2015, consulté en novembre 2019

Verseaux (Cyprien), Un an en Antarctique, c'est comme un voyage sur Mars, disponible sur : www.youtube.com/watch?v=tWw_OYB8OkE

Winocour (Alice), Proxima, Tisé Émilie et Madelaine Isabelle, 146 minutes, 2019, consulté en décembre 2019

Événements et visites

Participation à la journée ARCHES, le 22 novembre 2019 au Centre National d'Etude Spatiale (CNES) à Paris

Visite de l'exposition, Le monde merveilleux de Charlotte Perriand, Fondation Louis Vuitton, Paris, février 2020

CNES, Les mardis de l'Espace, conférence en ligne avec Romain Charles (ingénieur, expérience Mars500), Cyprien Verseaux (scientifique, expérience HI-SEAS et Concordia) et Michel Viso (astronaute), le 28 avril 2020

Conférence en ligne de l'astronaute Jessica Meier, « From Strasbourg to the Moon », organisée par l'ISU (International Space University), le 18 décembre 2020

TABLE DES ILLUSTRATIONS

1. France 24, *L'avenir de l'humanité est-il vraiment dans l'espace ?*, publié le 25 juin 2017, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.france24.com/fr/20170625-lavenir-lhumanite-est-il-vraiment-lespace
2. Sputnik News, *Comment le vol de Gagarine a subjugué la presse mondiale*, publié le 12 avril 2016, mis à jour 13 avril 2016, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : fr.sputniknews.com/photos/201604121024152423-gagarine-presse-mondiale/
3. NASA, *50 Years Ago Apollo 11 Launches Into History*, publié le 16 juillet 2019, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.nasa.gov/image-feature/50-years-ago-apollo-11-launches-into-history
4. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 14
5. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 70
6. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 15
7. ROOM, *Eating in space: from Michelin-starred chefs to self-sufficiency*, disponible en ligne : room.eu.com/article/Eating_in_space_from_Michelinstarred_chefs_to_selfsufficiency
8. ALAMY, *La douche sur Skylab. Jack R. Lousma astronaute prend une douche dans l'espace équipage de la station spatiale Skylab en orbite terrestre*, disponible en ligne : www.alamyimages.fr/photo-image-la-douche-sur-skylab-jack-r-lousma-astronaute-prend-une-douche-dans-l-espace-equipage-de-la-station-spatiale-skylab-en-orbite-terrestre-33976409.html
9. Vue de la Terre depuis la Cupola, crédit photo Scott Kelly©
10. NASA, *Human Research Program*, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.nasa.gov/hrp
11. RFI, *Thomas Pesquet, quatrième Français à sortir dans l'espace*, publié le 13 janvier 2017, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.rfi.fr/fr/emission/20170113-thomas-pesquet-quatrieme-francais-sortir-espace
12. RFI, *Thomas Pesquet, quatrième Français à sortir dans l'espace*, publié le 13 janvier 2017, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.rfi.fr/fr/emission/20170113-thomas-pesquet-quatrieme-francais-sortir-espace

13. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, pages 52-53
14. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, pages 74-75
15. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, pages 74-75
16. Häuplik-Meusburger (Sandra), *Architecture for Astronauts : An activity-based Approach*, Vienne, Springer-Verlag, 2011, page 46
17. Häuplik-Meusburger (Sandra), *Architecture for Astronauts : An activity-based Approach*, Vienne, Springer-Verlag, 2011, page 49
18. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 6
19. Wikipédia, Skylab, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : wikipedia.org/wiki/Skylab
20. Wikipédia, Skylab, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : wikipedia.org/wiki/Skylab
21. Pinterest, Station Skylab, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.pinterest.fr/pin/392376186286705872/
22. Pinterest, Station Skylab, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.pinterest.fr/pin/392376186286705872/
23. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 88
24. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 88
25. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 92
26. Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015, page 91
27. Tom's Hardware, *L'ISS passe à Linux*, publié le 8 mai 2013, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.tomshardware.fr/liss-passe-a-linux/
28. Pinterest, ISS, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.pinterest.fr

29. Pinterest, ISS, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.pinterest.fr
30. Daily Geek Show, *16 témoignages insolites qui vous immergent dans la vie d'un astronaute en mission dans l'espace*, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : dailygeekshow.com/quotidien-astronautes-espace/
31. Cartograf, *carte du monde vierge*, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.cartograf.fr/monde/monde-pays-vierge.php
32. Science Source Images, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.sciencesource.com/archive/Concordia-Research-Station-SS2296996.html
33. Mars la blanche, *L'esthétique du surgelé*, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : marslablanche.com
34. Paris Match, *Concordia : les Martiens de l'Antarctique*, publié le 25 novembre 2019, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.parismatch.com/Actu/Environnement/Concordia-les-Martiens-de-l-Antarctique-1660962
35. PART 3. WHITE MARS, publié le 7 juin 2016, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : blogs.esa.int/concordia/2016/06/07/part-3-white-mars/
35. Planète Mars, *Des chercheurs de l'ESA à Concordia*, publié le 26 décembre 2011, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : planete-mars.com/des-chercheurs-de-l%E2%80%99esa-a-concordia/
37. Photographie station Halley VI, Michal Krzysztofowicz©
38. Slavid (Ruth), *Ice Station: The Creation of Halley VI. Britain's Pioneering Antarctic Research*, Park Books, 2015
39. Slavid (Ruth), *Ice Station: The Creation of Halley VI. Britain's Pioneering Antarctic Research*, Park Books, 2015
40. Slavid (Ruth), *Ice Station: The Creation of Halley VI. Britain's Pioneering Antarctic Research*, Park Books, 2015
41. Slavid (Ruth), *Ice Station: The Creation of Halley VI. Britain's Pioneering Antarctic Research*, Park Books, 2015
42. Slavid (Ruth), *Ice Station: The Creation of Halley VI. Britain's Pioneering Antarctic Research*, Park Books, 2015
43. FMARS : fmars.marssociety.org
44. FMARS : fmars.marssociety.org

45. FMARS : fmars.marsociety.org

46. FMARS : fmars.marsociety.org

47. MDRS : www.marsociety.org

48. HI-SEAS : <http://hi-seas.org>

49. HI-SEAS : <http://hi-seas.org>

50. Photographie station Halley VI, Michal Krzysztofowicz©

51. MDRS : www.marsociety.org

52. Aerial view of McGill Arctic Research Station (MARS) located at 79 deg 26' N, 90 deg 46'W [Photo credit: Dale Andersen]

53. Courrier International, *Espace.Ravitaillement de l'ISS : le cargo russe en chute libre vers la Terre*, publié le 30 avril 2015, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.courrierinternational.com/article/espace-ravitaillement-de-liss-le-cargo-russe-en-chute-libre-vers-la-terre

54. Slate, *L'Europe peut-elle gagner la guerre des étoiles?*, publié le 25 octobre 2019, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.slate.fr/story/183252/europe-gagner-guerre-etoiles-conquete-spatiale

55. Pinterest, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.pinterest.fr/pin/392376186286705872/

Plan FMARS : ScienceDirect, Four-month Moon and Mars crew water utilization study conducted at the FMARS, Devon Island, Nunavut, disponible en ligne : www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273117709000386

Plan MDRS : planete-mars.com/la-simulation-mdrs-185-commence-le-16-decembre/

Plan HI-SEAS : Verseux (Cyprien), *Vivre sur Mars, 366 jours pour tester la vie sur la planète rouge*, Michel Lafon, 2017, page 147

Plan station Halley VI : Slavid (Ruth), *Ice Station: The Creation of Halley VI. Britain's Pioneering Antarctic Research*, Park Books, 2015

Source image, couverture et 4^e de couverture : www.dreamstime.com

Sources des images, page partie 1 :

Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015

Pinterest, Raymond Loewy rendering, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : <https://www.pinterest.fr/pin/258253359856011656/>

Meuser (Philipp), *Galina Balashova : Architect of the Soviet Space Programme*, DOM publishers, 2015

Sources des images, page partie 2 :

MailOnline, *Russian Soyouz capsule*, disponible en ligne : www.dailymail.co.uk/news/arScle-2167538/Soyuz-capsule-Astronauts-Donald-Pent-Oleg-Kononenko-Andre-Kuipers-Earth.html

Science & Vie, *Un webdoc sur l'astronaute ScoM Kelly : l'ISS comme si vous y étiez*, publié le 24 juin 2016, mis à jour 27 fév 2019 à 14h43, disponible en ligne : www.science-et-vie.com/archives/un-webdoc-sur-l-astronaute-scoM-kelly-l-iss-comme-si-vous-y-eSez-21978

Franceinter, *L'astronaute Thomas Pesquet de retour sur Terre après 196 jours dans l'espace*, publié le 2 juin 2017 à 6h00, disponible en ligne : www.franceinter.fr/sciences/l-astronaute-thomas-pesquet-de-retour-sur-terre-apres-196-jours-dans-l-espace

Sources des images, page partie 3 :

THALES, *TRANQUILITY AND CUPOLA, A STELLAR COMBO BENEFITING MANKIND SINCE 2010*, publié le 02 août 2020, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/news/tranquility-and-cupola-stellar-combo-benefiting-mankind-2010

Verseux (Cyprien), *Mars la blanche* (blog), disponible en ligne : marslablanche.com/

Pinterest, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.pinterest.fr

Sources des images, page partie 4 :

Airbus, *Airbus livre le premier module de service européen pour la capsule Orion de la NASA*, [consulté le 2 janvier 2021], disponible en ligne : www.airbus.com/newsroom/press-releases/fr/2018/11/Airbus-delivers-first-European-Service-Module-for-NASAs-Orion-spacecraft.html

Wikipédia, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Tracy_Caldwell_Dyson_in_Cupola_ISS.jpg

THALES, *TRANQUILITY AND CUPOLA, A STELLAR COMBO BENEFITING MANKIND SINCE 2010*, publié le 02 août 2020, [consulté le 27 décembre 2020], disponible en ligne : www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/news/tranquility-and-cupola-stellar-combo-benefiting-mankind-2010

Espace

Habiter

Isolement

Confinement

Corps contraint

Architecture spatiale

Bien-être

Confort

Architectures en milieux extrêmes

Conquête spatiale

Presque soixante-dix ans après le début des premiers exploits spatiaux, la recherche spatiale est un domaine en plein essor, les agences spatiales consacrent un effort important à envoyer des Hommes dans l'Espace. Dans cet univers technique de la station spatiale, une donnée reste essentielle : le corps. L'architecte est donc un protagoniste fondamental afin de penser les manières d'habiter et d'appréhender l'espace, en alliant architecture du bien-être et technique nécessaire au progrès spatial. Au travers des notions de « corps contraint », de bien-être et de confort, ce mémoire enquêtera sur le rôle de l'architecte dans la conception en milieu extrême sur Terre et dans l'Espace. Ce travail de recherche éveillera les consciences sur la place du corps dans l'habiter et plus généralement dans la conception architecturale. Pour cela, il développera des hypothèses sur les facteurs d'influence du bien-être dans les milieux extrêmes, afin de proposer des espaces de vie agréables répondant aux problématiques d'isolement et de confinement engendrées dans ces espaces.

