

FORME, ESPACE ET CORPS

Une étude typologique rétroactive de l'habitat Orbital

Janvier 2021, NARDINI Eric,

Ecole Polytechnique Federale de Lausanne

Thèse de master en architecture

Prof. Jeffrey Huang

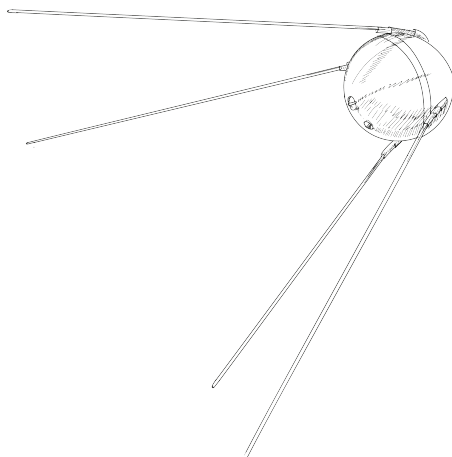
Maitre EPFL: Mikhael Johanes

Ce document est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution (CC BY <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

Les contenus provenant de sources externes ne sont pas soumis à la licence CC BY et leur utilisation nécessite l'autorisation de leurs auteurs.
Les contenus provenant de la NASA sont en libre pour un usage non commercial (<https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>)

Sommaire

Introduction	2
Contexte	4
Définitions	6
Les Trois genres de l'Architecture Spatiale	13
Le voyage de l'esprit	16
Man in a Can	22
Trans-gravity	27
Etudes de cas	31
Salyut – Almaz	32
Skylab	40
ISS	50
Conclusion	57
Bibliographie	62



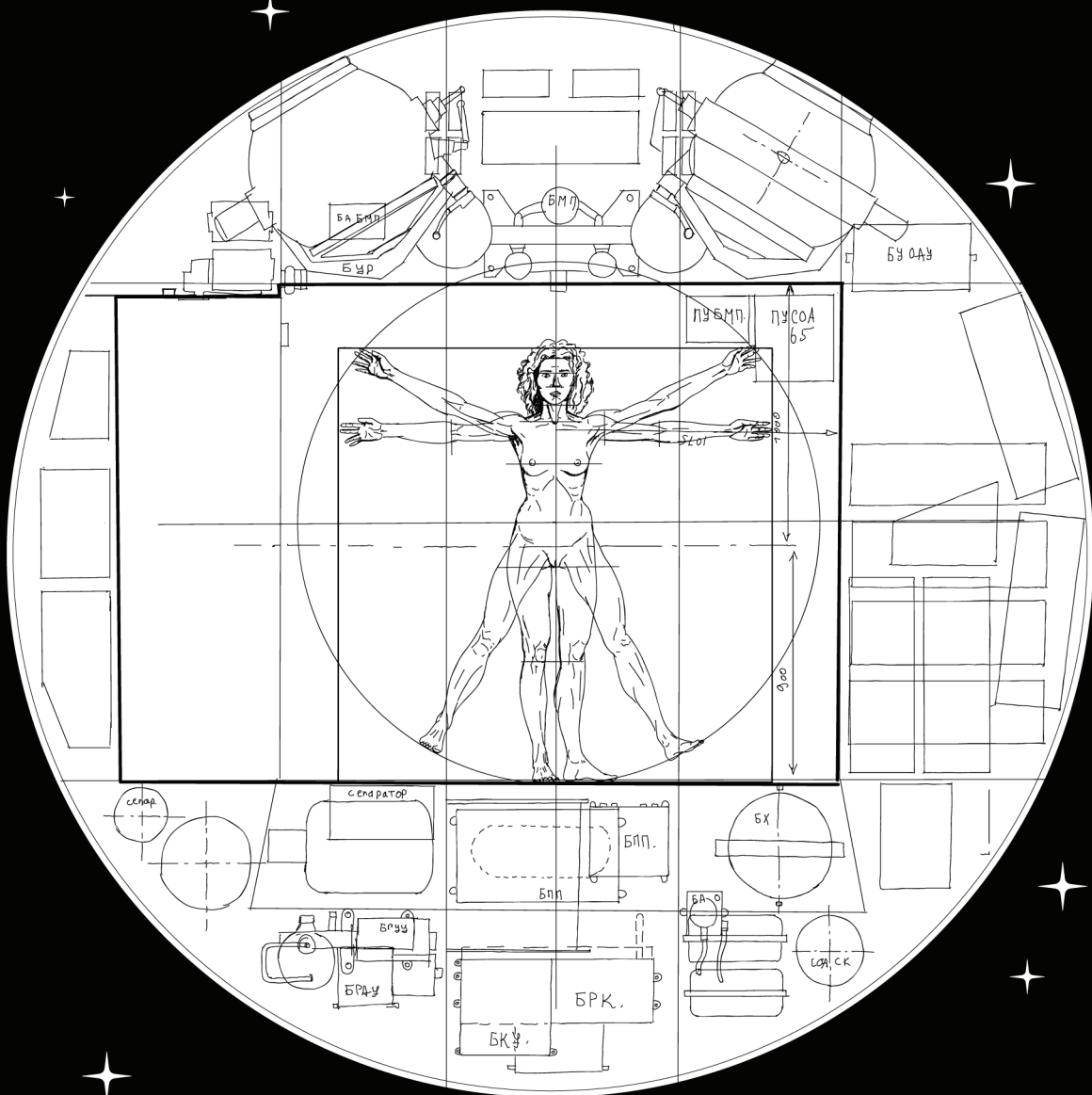
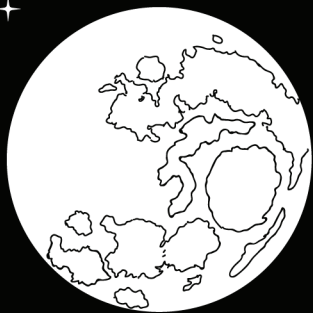
Introduction

L'habitat peut se définir comme « le mode d'occupation de l'espace par l'être humain, afin de se loger »¹. Il peut alors prendre différentes formes architecturales selon l'hostilité du contexte, et doit offrir un certain niveau de service afin de garantir son habitabilité. Or la transcription de l'habitat en architecture, n'implique pas uniquement la prise en compte de l'aspect pratique², mais aussi d'en saisir toutes les dimensions esthétiques, sociales, ou spatiales. Ces questions sont au cœur même de l'architecture et génèrent le caractère propre d'une réalisation. Il est alors possible de répertorier ces caractères par « types », et de les lier par des filiations formelles ou théoriques.³ C'est en cela que consiste la typologie architecturale. Bien entendu l'immense majorité de ces études concernent l'habitat humain terrestre, mais ce n'est pas le seul contexte possible ! Depuis plus de cinquante ans, l'humanité a franchi sa dernière grande frontière : sortir de l'atmosphère terrestre. La présence humaine dans l'Espace est depuis lors régulière, et même continue depuis plus de vingt ans. Cela implique la fabrication de vaisseaux permettant à des êtres humains de vivre, et d'habiter dans ces conditions particulièrement extrêmes. Cette problématique, fut presque toujours traitée par des ingénieurs, alors même qu'elle propose une réflexion profondément architecturale. Les réflexions qui en découlent remettent en question les notions fondatrices de l'art de bâtir : la notion de haut et de bas, la façon de se mouvoir ou encore le concept de la façade. Cette étude propose une analyse typologique des réalisations passées au travers d'études de cas, afin de saisir les enseignements possibles pour l'art de bâtir et de se loger au-delà de notre Terre.

1. « Habitat humain ».

2. « Architecture ».

3. Lamunière, « Le classement typologique en architecture ».



Contexte

Le climat actuel est très pessimiste, peu de chose inspirent au rêve. Les grands espoirs des années 70 se sont transformés en caricatures d'un futur idéal consommant un maximum de ressource, terreau idéal pour des théories du grand effondrement. Il est toutefois fondamental de rêver, élément clé permettant de stimuler la créativité et l'imagination. De fait l'espace reste probablement le dernier grand sanctuaire du rêve, le dernier endroit où on est encore capable d'investir des milliards pour tenter de réaliser de purs fantasmes, dont l'utilité directe est toute discutable. Faire rêver des générations est-elle une raison suffisante pour envoyer des êtres humains dans l'espace ? Je ne saurais y répondre, mais je suis personnellement convaincu que le rêve est un besoin vital. C'est une feuille blanche, aux contraintes techniques incroyablement nombreuses, une feuille blanche totalement inhospitalière. Mais c'est justement parce qu'elle est blanche que tout y paraît possible.

De plus la réflexion sur l'environnement Spatial, la façon de l'habiter, d'y aller ou encore d'y exploiter des ressources, permet à mon sens, de se rendre compte des limitations et des qualités incroyables de notre Terre. Et si nous étions tous des astronautes à bord du vaisseau Terre, nous comporterions nous comme cela ? C'est pour moi une ellipse de pensée nécessaire, pour avoir un regard neuf et prendre du recul sur les questions terrestres. Le but est aussi de me confronter à une question peu étudiée dans le monde de l'architecture, une question « d'ingénieur », qui peut paraître inintéressante et trop spécifique. La présente étude n'a pas prétention d'en traiter tous les aspects, la question étant très vaste, mais se concentre sur le cœur de la question architecturale en orbite.

Définitions

Intégration

Nom couramment donnée à l'assemblage final d'un véhicule Spatial, et en particulier à l'étape de mise en place de la charge utile sur son lanceur. Il existe deux manières principales d'effectuer cette étape : horizontalement ou verticalement. L'industrie Spatiale russe assemble et intègre lanceur et charge utile à l'horizontale, cela en raison du gain financier que cela permet par rapport aux installations au sol (ne nécessite pas de bâtiments de grande hauteur). A l'inverse l'industrie américaine et européenne intègre les lanceurs à la verticale ce qui évite la délicate manœuvre d'érection du lanceur une fois terminé, et qui simplifie les techniques l'assemblage.

Astronaute, Cosmonautes, Spationaute...

Mots désignant la même profession, celle de voyageur de l'Espace. C'est dans la langue française le seul métier dont le nom change en fonction de la nationalité du professionnel ! Cette particularité absurde provient bien entendu de la guerre froide, durant laquelle Youri Gagarine, premier homme dans l'espace, fut désigné comme Cosmonaute par la propagande soviétique. Les américains, quelques temps plus tard réussirent le même exploit, mais ne voulaient pas employer le même mot que les soviétiques. Ainsi, Astronaute désigne une personne de nationalité américaine, Cosmonaute de nationalité russe, Spationaute de nationalité européenne, et Taïkonaute chinoise. Cela ne fait aucun sens en effet...⁴

4 « Astronaute ».



La saturne V devant son bâtiment d'assemblage (VAB) 1969. (NASA)



Fusée de type Soyouz TM en court d'assemblage, 2004. (Wikipedia)

Orbite

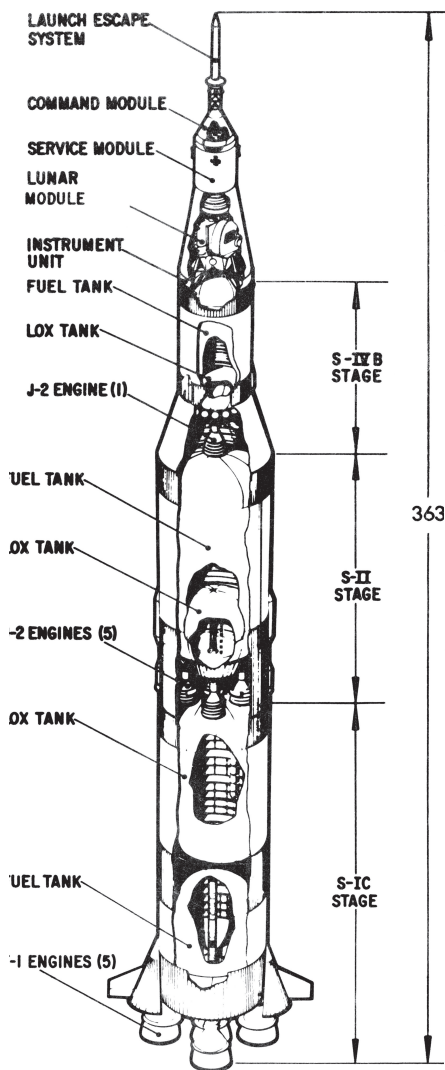
« En mécanique céleste et en mécanique spatiale, une orbite est la courbe fermée représentant la trajectoire que dessine, dans l'espace, un objet céleste sous l'effet de la gravitation et de forces d'inertie. »⁵ Dans cet ouvrage, il est souvent question d'orbite basse, ou d'orbite géostationnaire, qui sont deux des orbites les plus utilisés. L'orbite basse ne représente pas une trajectoire particulière mais, une plage d'altitudes entre 100 et 2000km. On y trouve une grande diversité d'objets humain, de la Station Spatiale Internationale, aux micro-satellites de communication. L'orbite géostationnaire, en revanche est quelque chose de beaucoup plus précis : situé à 35'786km d'altitude, c'est une trajectoire circulaire dans le plan de l'équateur, avec une période de révolution est égale à celle de la Terre (24h). Par conséquent, les objets s'y trouvant sont en permanence à la verticale de la même région terrestre.

LEM, Saturne V, et les missions Apollo

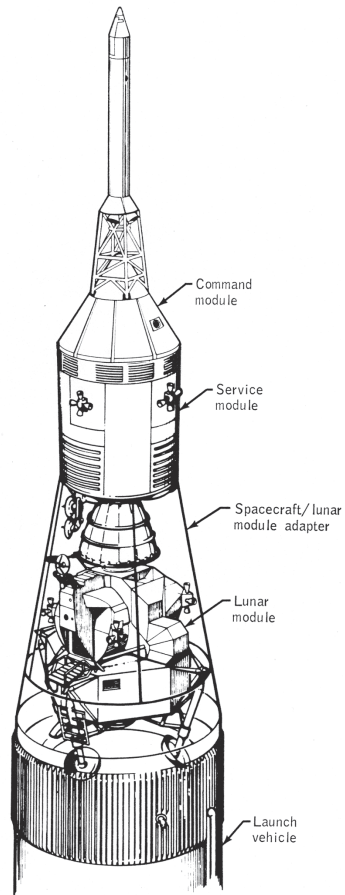
Le programme Apollo est un programme spatial américain des années 60-70 lancé par le président JFK en mai 1961, qui permis aux USA d'aller sur la Lune 8ans plus tard. Ce programme de très (très) grande ampleur, permet le développement de la famille de fusée Saturne. La plus célèbre, la Saturne V détient de nombreux records pour l'époque. Elle permet d'envoyer en un seul tir le « train lunaire », assemblage de 2 vaisseaux, qui chacun se séparent en 2, ce qui implique donc un train composé de 4 sous parties. Le LEM (pour « Lunar Exploration Module ») est l'un de ces deux vaisseaux, celui destiner à se poser sur la Lune.⁶

5 « Orbite ».

6 Loff, « Apollo ».



SATURN V



APOLLO LAUNCH CONFIGURATION FOR LUNAR LANDING MISSION

Saturne V en details (NASA)

Ergols

Constitué chimique étant soit carburant soit comburant, permettant de former le propergol qui est le composé réactif propulsant une fusée. En général il a deux ergols dans une fusée : un carburant (Kérozène, Hydrogène, Alcool, méthane...) et un comburant (oxygène) stocké tout deux sous forme liquide dans le corps de la fusée. Cela peut toutefois varier, avec le moteur à ergol solide par exemple, aussi appelé moteur à « poudre ». ⁷ La propulsion Spatiale est un domaine vaste et passionnant !

Eva

Sortie Extra véhiculaire, ou "Extra Vehicular Activity" en anglais. Sortie dans le vide Spatial que les astronautes effectuent pour de la maintenance en général, au moyen de scaphandres.

⁷ Techniques Spatiales, Comprendre les flammes des fusées (1/2).

Les Trois genres
de l'Architecture
Spatiale

Les cieux nocturnes inspirent l'être humain depuis bien longtemps, ils invitent à la réflexion ainsi qu'aux rêves les plus fous. Longtemps peuplé de mythes et de divinités diverses, il faut attendre la renaissance et ses avancées scientifiques, pour qu'enfin il soit possible de comprendre les phénomènes célestes à l'œuvre derrière le spectacle du firmament. C'est à cette période aussi que les premières réflexions sur le voyages Spatial et les habitats qui en découle furent écrites. Cette première étape que l'on nomme « le voyage de l'esprit »⁸ est le premier pas de la conquête Spatiale, le laboratoire où bon nombre de concepts ont été inventé. La seconde étape, « Man-in-a-Can » est la réalisation des premiers vaisseaux, et englobe les réalisations des différentes agences Spatiales à travers le monde. Enfin la troisième étape voit des acteurs extérieurs entrer en jeu tel que des architectes et des designers, extérieurs aux agences traditionnelles. Cette dernière étape n'est pas encore réellement atteinte, mais sera une obligation dans le cas où l'humanité se développe au-delà de Terre. Cette segmentation en trois « genre » de l'architecture spatial fut proposée en 2004 par Barbara Imhof et Susmita Mohanty dans leur article de recherche « Trans-Gravity : The third genre in Space architecture ».

8. Mohanty et Imhof, « Trans-Gravity ».

Le voyage de l'esprit

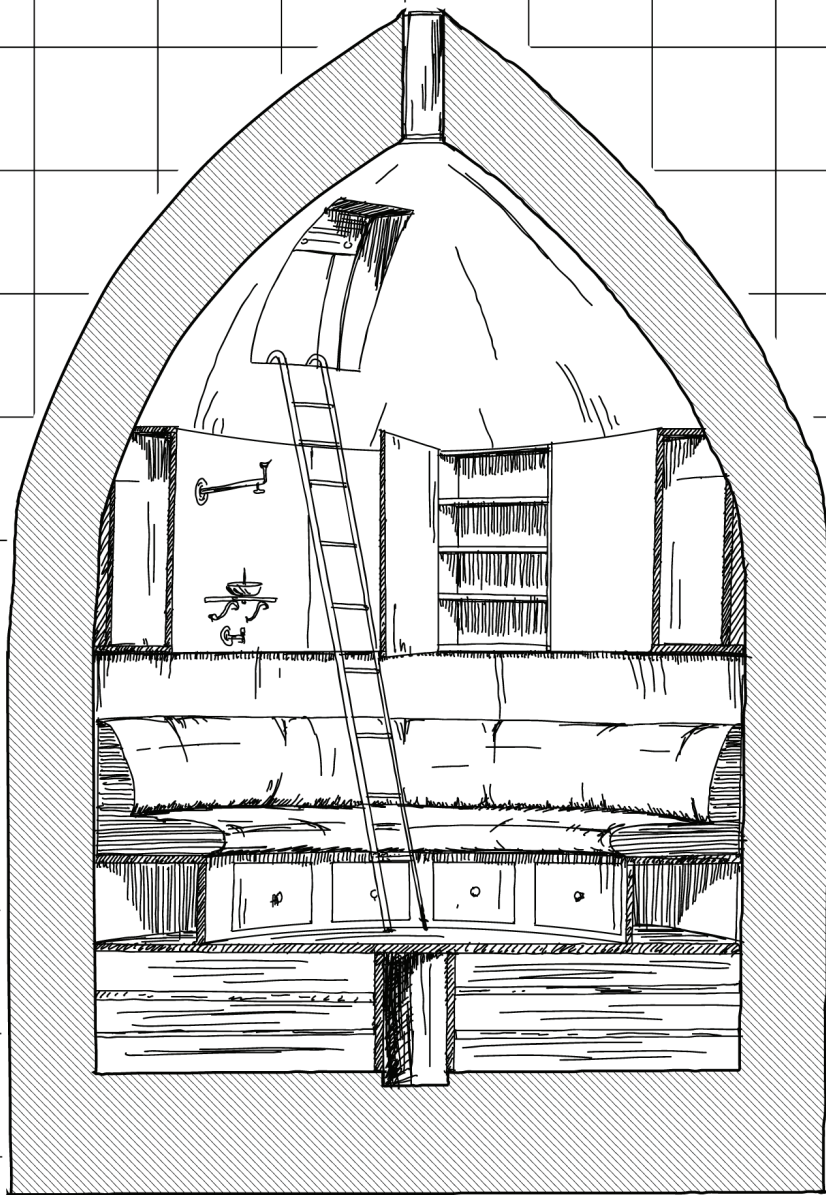
On considère la nouvelle de l'astronome Johannes Kepler « *Somnium* » comme étant la première histoire de science-fiction⁹. Publié en 1615, c'est à cette même période (entre 1609 et 1619) qu'il publia les trois lois mathématiques portant son nom et décrivant le mouvement des planètes autour du soleil. Cette évolution du modèle héliocentrique était une très grande avancée pour l'époque, et permit plus tard à Newton d'en déduire les lois de la gravitation. Il est bon de noter que ces lois (de Newton et Kepler) sont toujours valables de nos jours ! « *Somnium* » fut largement inspirée par ses travaux scientifiques, il y raconte les aventures d'un jeune héros utilisant la magie pour voyager jusqu'à la Lune, rêve qui sera réalisé quelques 352ans plus tard avec la mission Apollo 11. Il y fait preuve d'une justesse impressionnante pour l'époque en décrivant l'astre ainsi que son mouvement et la trajectoire à adopter pour y aller. C'est à ce moment que la fiction rencontra la science.

Le voyage entre la Terre et la Lune est un bon exemple du rapport qu'entretiennent la science et la fiction. De Kepler à Hergé¹⁰ en passant par Jules Vernes ce périple fut de maintes fois imaginé, décrit dans ses moindres détails, et ce bien avant les premières missions Apollo. Jules Vernes par exemple, dans son œuvre au titre évocateur « *De la Terre à la Lune* » de 1875, nous décrit une technique complexe, doublée de données scientifiques de l'époque. Le lecteur est aussi invité à imaginer l'architecture intérieure d'un vaisseau Spatial simple : le mobilier, les matériaux et les dimensions, tout y est décrit. Enfin il y développe longuement un moyen de propulsion inédit : le canon orbital. Malheureusement, les effets des facteurs de charges sur l'humain étaient inconnus à l'époque, et avec une accélération de plus de 20g¹¹ (contre 2 à 3 pour les fusées actuelles), un tel ca-

9. Sagan, *Kepler's Dream Come True*.

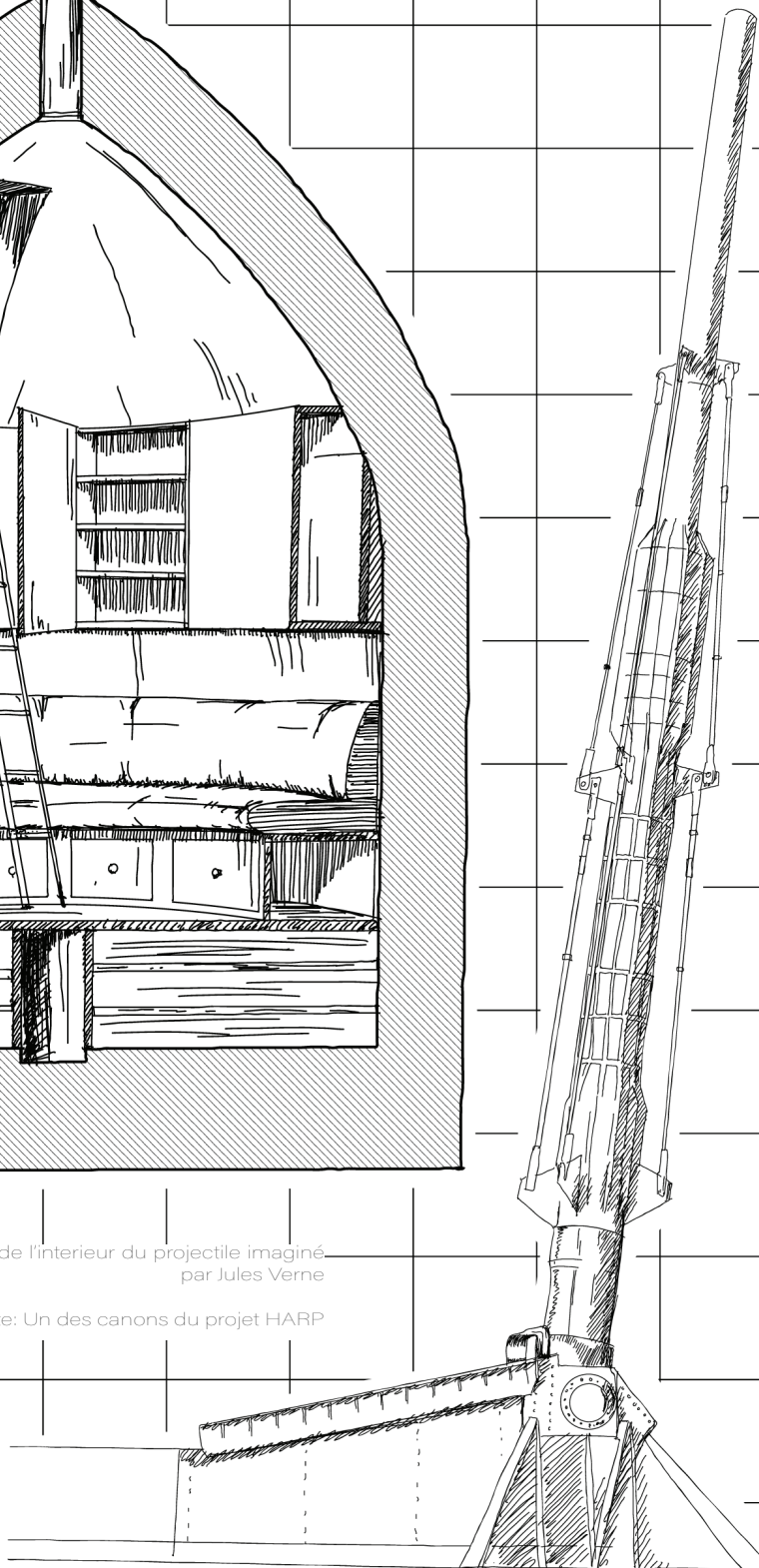
10. Hergé, *Objectif Lune*.

11. 1g représente la gravité terrestre, à 20g un corps pèse 20 fois son poids terrestre.



En haut: une vue de l'intérieur du projectile imaginé
par Jules Verne

A droite: Un des canons du projet HARP



non n'aurait pas laissé indemne les occupants du projectile.¹² Toutefois à peine un siècle plus tard, ce concept incroyable fut testé par plusieurs équipes d'ingénieurs : on peut citer le projet HARP notamment, qui permit de lancer des projectiles expérimentaux hors de l'atmosphère au cours des années soixante¹³, sans toutefois démontrer la fiabilité¹⁴ de cette technique. Les écrits de Jules Vernes furent fondateurs pour le style littéraire qu'est la science-fiction. La justesse scientifique, et la représentation des connaissances de son époque en sont deux des principaux pivots, qu'il illustra remarquablement dans ses nombreux romans d'anticipation.

L'épopée compté dans « De la Terre à la Lune » inspira un certain russe : Konstantin Tsiolkovsky. Connu pour être l'un des quatre « pères » de l'astronautique moderne (avec Robert Esnault-Pelterie, Herman Oberth et Robert Goddard). Il ne sera reconnu qu'à la fin de sa vie pour ses nombreux travaux, autant philosophique que mathématique concernant le voyage Spatial. Les romans de Vernes lui inspirèrent le concept d'ascenseur Spatial, qui est encore aujourd'hui impossible techniquement. Cela consiste en un câble de très gros diamètre (plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres), tendu entre la surface de la terre et un corps en orbite géostationnaire¹⁵. Une nacelle peut alors s'y accrocher permettant d'emmener des marchandises à moindre effort. Ce concept fut plus tard largement développé et popularisée par Arthur C. Clarke dans son roman « Les fontaines du paradis » publié en 1979. Tsiolkovsky est aussi à l'origine du concept de fusée à étages, architecture qui est la plus utilisée de nos jours pour les lanceurs orbitaux. Enfin il s'intéressa aux stations orbitales et aux différentes façons d'habiter

12. Billig, « "From the Earth to the Moon" What Would It Take to Build Jules Verne's Space Cannon? »

13. Graf, « A Brief History of the HARP Project ».

14. Hugo Lisoir, *Un CANON SPATIAL pour atteindre l'orbite ?*

15. L'orbite géostationnaire, aussi appelé GEO, est caractérisé par une période orbitale égale à la période de rotation de la Terre, ce qui permet à un corps placé sur cette orbite de rester toujours à la verticale du même lieu terrestre. Cet orbite se trouve autour des 36'000km d'altitude.

dans l'Espace.

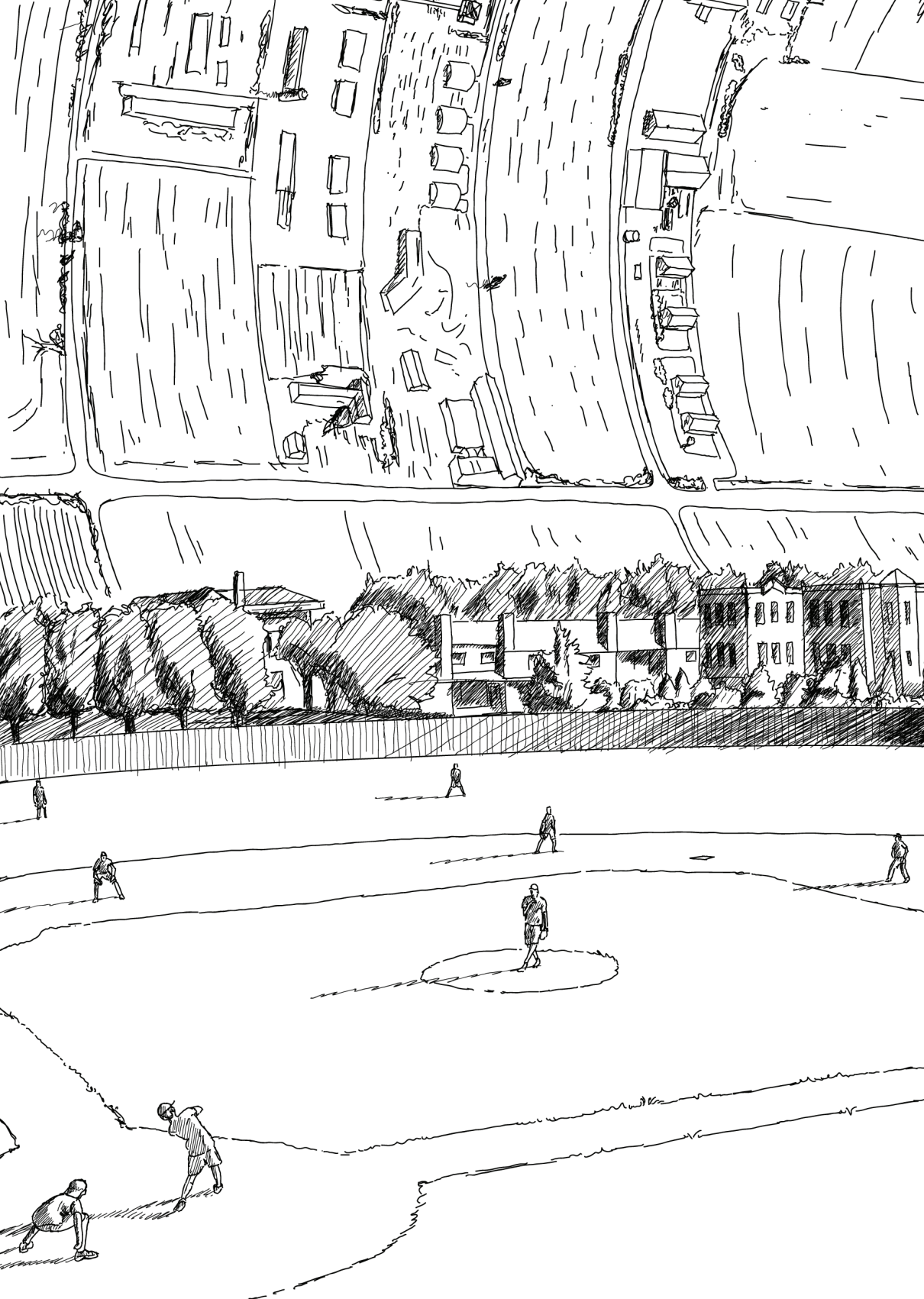
En 1975 la NASA organisa une université d'été, présidée par Dr. Gerard K. O'Neill, en collaboration avec l'université de Stanford. Cette initiative avait pour but de favoriser l'émergence de nouveau concept afin d'habiter l'Espace à très long terme. Pour cela des architectes et des sociologues furent invités à y prendre part. Les résultats furent compilés dans un ouvrage devenu célèbre par la suite « Space resources and Space settlements » publié en 1979¹⁶. Plusieurs concepts furent proposés au cours d'une étude typologique concernant la disposition volumétrique d'une station pour 10'000 personnes. Quatre types y sont développés : tore, sphère, cylindre et « crystal palace » (sorte d'agglomération de tore côte à côte). Le type toroïdal connu maintenant sous le nom de tore de Stanford, reprend l'idée d'une roue habitée géante, tournant sur elle-même afin de simuler une gravité terrestre. Cette configuration avait déjà été explorée par Arthur C. Clarke dans son roman « Les gouffres de la lune » en 1961, et on la retrouve aussi dans le film « 2001 : L'odyssée de l'espace » réalisé par Stanley Kubrick et sorti en 1968, auquel Clarke a collaboré étroitement. Le type sphérique lui est une idée plus ancienne car déjà évoqué en 1929 par John Bernal¹⁷. Toutefois la version de la NASA, aussi appelée « Island one » ou sphère de O'Neill, propose de faire tourner cette sphère sur elle-même, toujours dans le but de générer une gravité artificielle. Enfin le type cylindrique que l'on peut notamment retrouver dans le film « Interstellar » de 2014, réalisé par Christopher Nolan, est plus connu sous le nom de cylindre d'O'Neill. Tous ces différents types de vaisseaux sont traités d'un point de vue très factuel dans l'étude d'O'Neill, et peu de vue d'artiste y sont disponibles. Le peu que l'on peut y apercevoir, représente toujours un intérieur urbanisé comme peut l'être la ville conceptuelle « Broadacre city » de Frank Lloyd Wright : un paysage très vert et souvent agricole pour répondre aux besoins de la population, ainsi qu'une répartition uniforme du tissu urbain majoritairement résidentiel.

16. O'Neill et al., « Space Resources and Space Settlements ».

17. Bernal, « The World, the Flesh and the Devil ».

Il est à noter que le côté urbanistique, pourtant si présent dans un projet pour 10'000 habitants (capacité qui sera multiplié par 10 dans les différentes itérations proposées en suite par O'Neill et son équipe) n'est quasiment pas abordée, voir complètement absente. En effet ces études « typologique » ne sont basées que sur des questions de science physique pure, tel que le volume de matériaux, ou la quantité de lumière naturelle. La réflexion architecturale doit pourtant y avoir sa place, en effet « Dans les missions spatiales humaines de longue durée, le facteur humain et son environnement dans l'Espace deviendront essentiels à la viabilité de la mission [...] L'interaction entre les humains et leur environnement le plus proche sont des facteurs cruciaux pour le succès de la mission »¹⁸. La santé mentale des habitants dépend de la façon de concevoir de telles structures, et c'est en cela que consiste le rôle de l'architecte.

18. Mohanty et Imhof, « Trans-Gravity ». Traduction de "In long-duration human space missions, the human factor and their in-space environment will become crucial to mission viability [...] Interaction between humans and their closest environment – the habitat – are crucial factors for mission success."



Man in a Can

Il est bon de rappeler que contrairement à l'observation ciel et à la science qui en découle, l'astronomie, la science du vol est très récente. Agée d'à peine plus d'un siècle¹⁹ cette technologie fut très vite liée à l'armée. Ainsi les deux guerres mondiales virent nombre d'innovations, entraînant une course technologique aux armements. Les avions toujours plus gros, puis les premiers hélicoptères et moins de 40 ans après le premier vol des frères Wright, les premiers véhicules capables d'aller dans l'espace. En effet ce sont les missiles V2 du régime nazi, qui les premiers²⁰ en 1944 parvinrent à franchir l'altitude de 100km, limite symbolique entre l'atmosphère et l'Espace²¹. Puis le développement des missiles intercontinentaux au cours des années 1950-60 permit les débuts de l'exploration spatiale. En effet les fusées utilisées pour lancer Sputnik, Youri Gagarine²² ou encore Alan Shepard n'étaient autre que des missiles dont on avait remplacé la charge nucléaire par un satellite ou une capsule habitée. « C'est à partir des fusées intercontinentales de la première génération que l'on a pu inventer les outils de la conquête spatiale. [...] Et lorsqu'on nous demanda de concevoir une telle fusée dotée d'une tête nucléaire, nous comprîmes que nous allions aussi pouvoir mettre en œuvre certain de nos projets personnels »²³ raconte Vassili Michine, ingénieur en chef du programme spatial soviétique entre

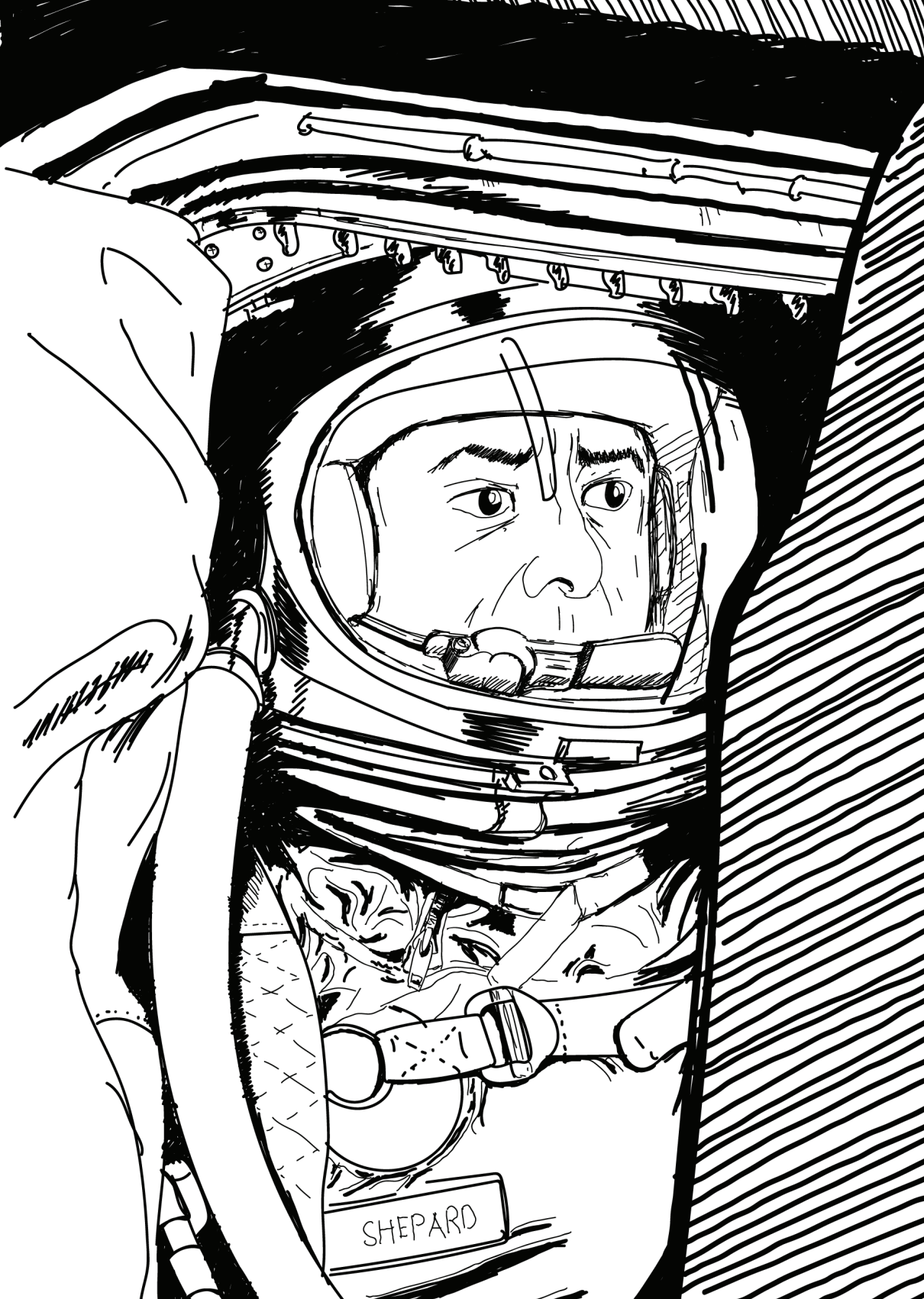
19. Le premier vol motorisé des frères Wright date de 1903, « Wright Brothers | Biography, Inventions, & Facts ».

20. « Peenemünde - Cradle of Space Flight - Peenemunde, Peenemuende Enthusiasts », 2.

21. Cette altitude, appelé aussi Limite de Kàrmàn, représente l'altitude à partir de laquelle l'atmosphère terrestre est trop ténu pour les applications aéronautiques.

22. Youri Gagarine, premier humain dans l'espace, décolla à bord d'une fusée Vostok, dont la base n'est autre que le missile intercontinental R7. Cette fusée est toujours utilisée de nos jours dans des version modernisées. Alan Shepard quant à lui décolla quelques mois plus tard du côté américain à bord d'une Mercury-Redstone, dérivée du missile balistique Redstone.

23. Ast et Eyermann, *RED SPACE TRAVEL, The Rise and Fall of a Cosmic Superpower*

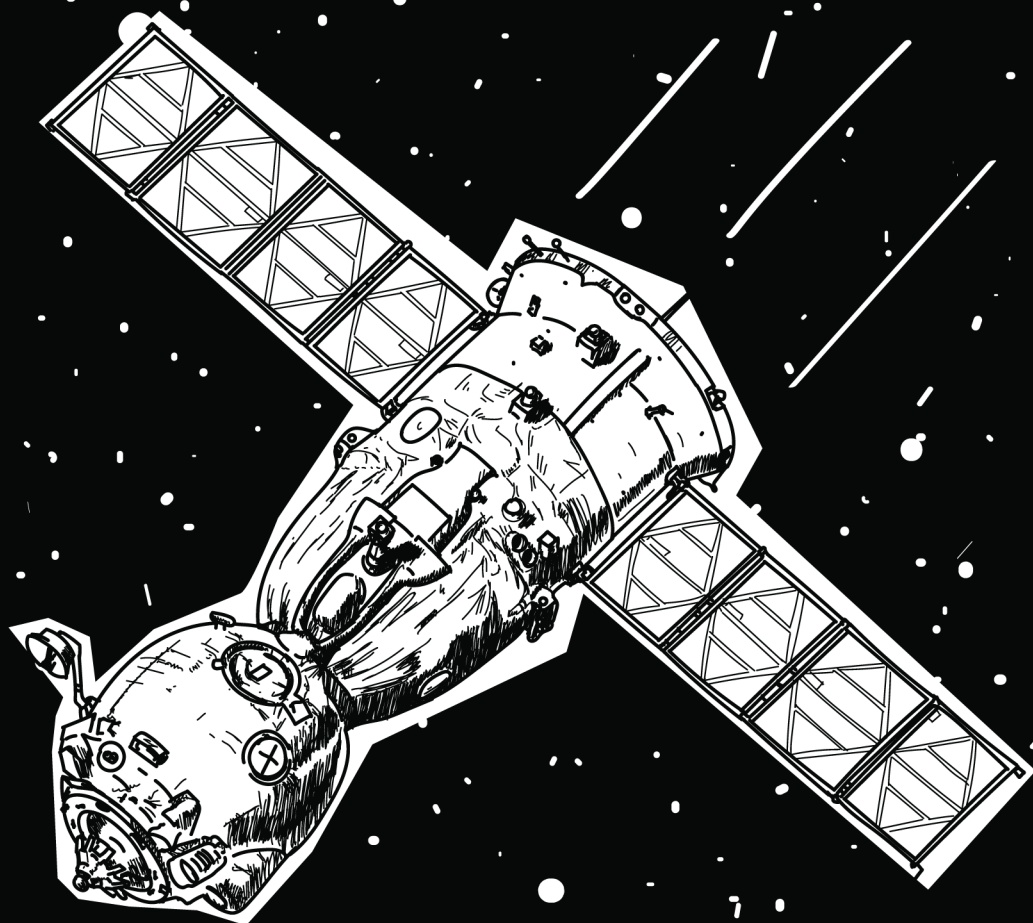


SHEPARD

1966 et 1974. L'exploration spatiale civile n'intéressait que peu les gouvernements au début, et les premiers exploits servirent des buts idéologiques et politiques. Très peu de considérations étaient apportées à l'habitabilité des vaisseaux, le temps de vols étant relativement court et les équipages, recrutés dans les rangs de l'armée, étaient entraînés au pire.

L'intérieur des premières capsules américaine ou soviétique ressemble beaucoup à des cockpits, où les instruments sont disposés de façon purement utilitaire, sans aucune recherche de confort. C'est à partir du milieu des années soixante que les premières recherches furent faites en termes d'habitabilité des capsules. Le président Kennedy ayant lancé la « course » à la Lune quelques années plus tôt, il était nécessaire de concevoir des habitats vivables pendant plusieurs jours : le trajet jusqu'à notre satellite prenant environ une semaine. Bien que les américains eussent gagné cette course, ce sont toutefois les soviétiques qui furent en pointe sur les questions d'habitabilité. En effet Galina Balashova architecte de métier, fut intégrée au début du programme Soyouz. À l'inverse, la NASA n'eut jamais de tel poste dans les processus de développement des vaisseaux Apollo, ni même pour la navette spatiale²⁴. Elle fut chargée de concevoir le module d'habitation du vaisseau Soyouz. Ce vaisseau a la particularité de se séparer en trois modules : un module de service à l'arrière avec les moteurs et les réservoirs, un module de descente au centre servant de poste de pilotage et doté d'un bouclier thermique pour l'entrée dans l'atmosphère, et enfin d'un module d'habitation se trouvant à l'avant. Cette petite sphère (le module d'habitation) permet à l'équipage de deux à trois personnes, de profiter d'un lieu de vie plus confortable que l'exiguë cockpit du module de descente. Galina Balashova en conçut la répartition intérieure, en étroite collaboration avec ingénieurs et cosmonautes. Son regard neuf sur une telle question lui permit de développer un certain nombre d'idées qui sont toujours d'actualité. Ainsi elle opta pour une disposition « terrestre » avec un haut et un bas, orienté en fonction des hublots, et

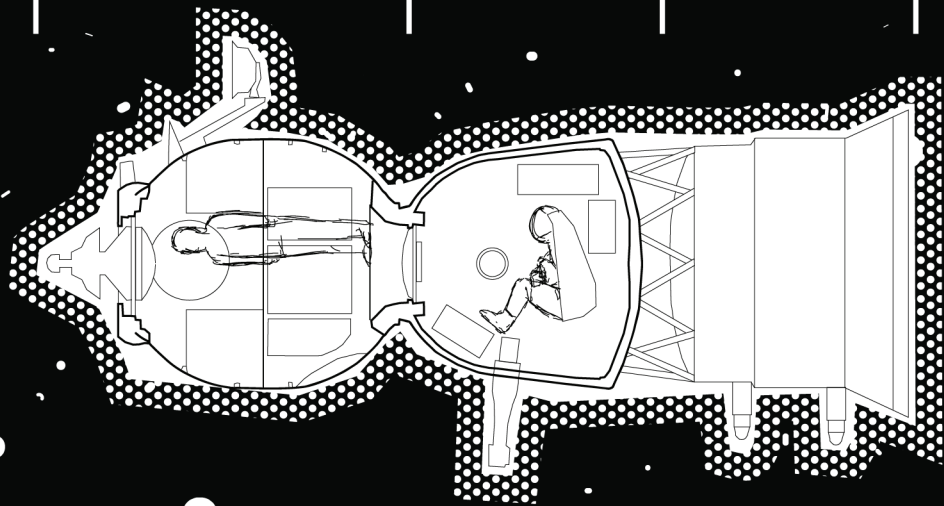
24. Meuser et Balashova, *Galina Balashova*.



Module de
Habitation

Module de
Descente

Module de
Service



des dispositifs techniques. Cela permet d'intégrer des éléments de mobilier familiers comme une banquette, doté de velcro pour que l'on puisse s'y assoir même en condition de micro gravité. Cette notion de haut et de bas, devait être donné par des éléments visuels principalement. Pour cela l'éclairage était disposé dans la partie supérieur du module, peinte dans une teinte claire, tandis que les parties inférieures était plus sombre. Elle conclut que l'usage de la couleur était très important : cela permet de donner non seulement une orientation et une notion de haut et de bas, mais aussi cela rendait plus humain et accueillante ces machines invraisemblables. Il est à noter que le vaisseau Soyouz est toujours utilisé aujourd'hui 50 ans après son premier vol, et que le temps à prouver la justesse de la conception de l'architecte.

Ce deuxième genre de l'architecture spatiale est encore actuel, bien que des travaux comme ceux de G.Balashova, annonce déjà une évolution vers un réel mouvement de l'architecture Spatiale, ou architectes et designers seront intégré et nécessaires à la conception de futurs habitats au-delà de notre Terre.

Trans-gravity

L'expression « Architecture Spatiale » sonne comme un pléonasme, en effet l'architecture n'est-elle pas la discipline traitant de la construction de l'espace ? La polysémie du mot espace n'aide pas pour traiter de ce sujet, et il est couramment admis que le mot Espace avec une majuscule désigne le milieu au-delà de l'atmosphère terrestre tandis qu'en l'absence de majuscule, il désigne le volume habitable d'un ouvrage. L'approche de Barbara Imhof et Susmita Mohanty apporte une vision différente²⁵ sur la question. En effet, plutôt que de séparer architecture Spatiale et architecture terrestre, elles proposent une approche globale de la question concevant l'architecture dans « continuum Terre-Espace »²⁶. Pour elles, il est nécessaire de concevoir les questions architecturales de façon fluide entre les différents contextes, que ce soit sur Terre ($g=1$), en orbite ($g=0$), ou sur un autre corps céleste comme Mars ou la Lune ($1/xg$), d'où le nom de « Trans-Gravity ». Ainsi les solutions trouvées dans un des contextes peuvent être réutilisées ailleurs, et influencer la réflexion globale concernant l'habitat humain. Nombre d'innovations provenant de la conquête spatiale sont utilisées tous les jours, de la couverture de survie aux poêles anti adhésives en passant par le GPS, la recherche Spatiale peut trouver de nombreuses applications quotidiennes. Il en serait alors de même avec l'application de la Trans-gravity, mais cette fois dans le domaine de la conception architecturale. Un des principaux problèmes des habitats Spatiaux actuels est l'habitabilité, en effet leur conception est largement dominée par des ingénieurs, et très peu de place est accordée à une réflexion sur la qualité de l'environnement au sens architecturale. Cela devient d'autant plus important que les temps de vols seront amenés à s'allonger (il faut compter au moins 2 ans et demi pour aller sur Mars et en revenir). Les facteurs environnementaux comme la lumière et la priva-

25. Mohanty et Imhof, « Trans-Gravity ».

26. Mohanty et Imhof. « The third genre is inspired by the concept of the earth-space continuum »

cité ont un impact très important comportement humain.²⁷ L'émergence d'un courant architectural à part entière, indépendant des agences spatiales classique, peut amener à une importante évolution. Pour cela architectes, designer et scientifiques devront arriver à communiquer ensemble.

La Trans-gravity peut aussi apporter des réflexions dans des domaines plus classiques de l'architecture et de l'urbanisme. Un exemple peut concerner l'urbanisme et le concept de « Smart-City » développé à la fin des années 90²⁸. Les technologies de l'information rendent les villes « intelligentes » et « communicante », mais la question préoccupante de la durabilité est loin d'être résolue. Cependant les besoins d'une ville sont en partie commun avec ceux d'un vaisseau Spatial : approvisionnement en énergie, qualité de l'air et de la nourriture, gestion de l'espace en fonction du nombre d'habitant. Un vaisseau utilise de complexes systèmes de régulations pour gérer tous ces paramètres, car au-delà de l'atmosphère terrestre, tout doit être fait en circuit fermé : très peu de ressource peuvent être prélevée à l'extérieur. Ce contexte est bien plus contraignant que celui d'une ville, mais il force les concepteurs à ne rien gaspiller. Ce type de logique pourrait améliorer la durabilité de nos villes, en ouvrant la voie à de nouvelles technologies de traitement des eaux usées, de nouveaux systèmes de ventilation ou encore de gestion de l'énergie. Cela peut aussi stimuler l'imaginaire, la ville comme un vaisseau spatial ouvre l'esprit sur une image bien plus forte que le faisait le concept de smart city. La ville-vaisseau amène aussi une démarche plus profonde et philosophique. Et si nous étions tous des astronautes sur le vaisseau terre ? Aussi naïf que cela peut paraître, un tel questionnement place notre propre fragilité au centre de futures réflexions.

27. Schlacht et Birke, « Space Design ».

28. Pisani, « Mais d'où vient cette idée bizarre de « ville intelligente » ? »

Etudes de cas

Salyut – Almaz

Les premiers projets concrets de station spatiale prennent place durant les années soixante, les américains avec le projet MOL (Manned Orbital Laboratory) projetèrent à partir de 1963 de lancer une station purement militaire, servant de plateforme d'observation. Toutefois le coût moindre des satellites automatiques, et leur plus grande flexibilité furent rapidement préférées. En 1969, Apollo 11 réussit l'exploit de se poser sur la Lune, marquant la défaite de l'union soviétique dans la course à notre satellite. Bien qu'officiellement l'URSS a toujours clamé qu'elle ne participait pas à une telle course, la défaite idéologique et technique était cuisante. Il fallait trouver de nouveaux objectifs pour démontrer la supériorité. Le programme Salyut – Almaz visant à concevoir une série de station militaire et civile fut lancé. Les stations civiles Salyut (Salut) étaient à but scientifique et servait de vitrine technologique, tandis que les stations Almaz (Diamant) étaient des plateformes d'espionnages déguisées en station civile.

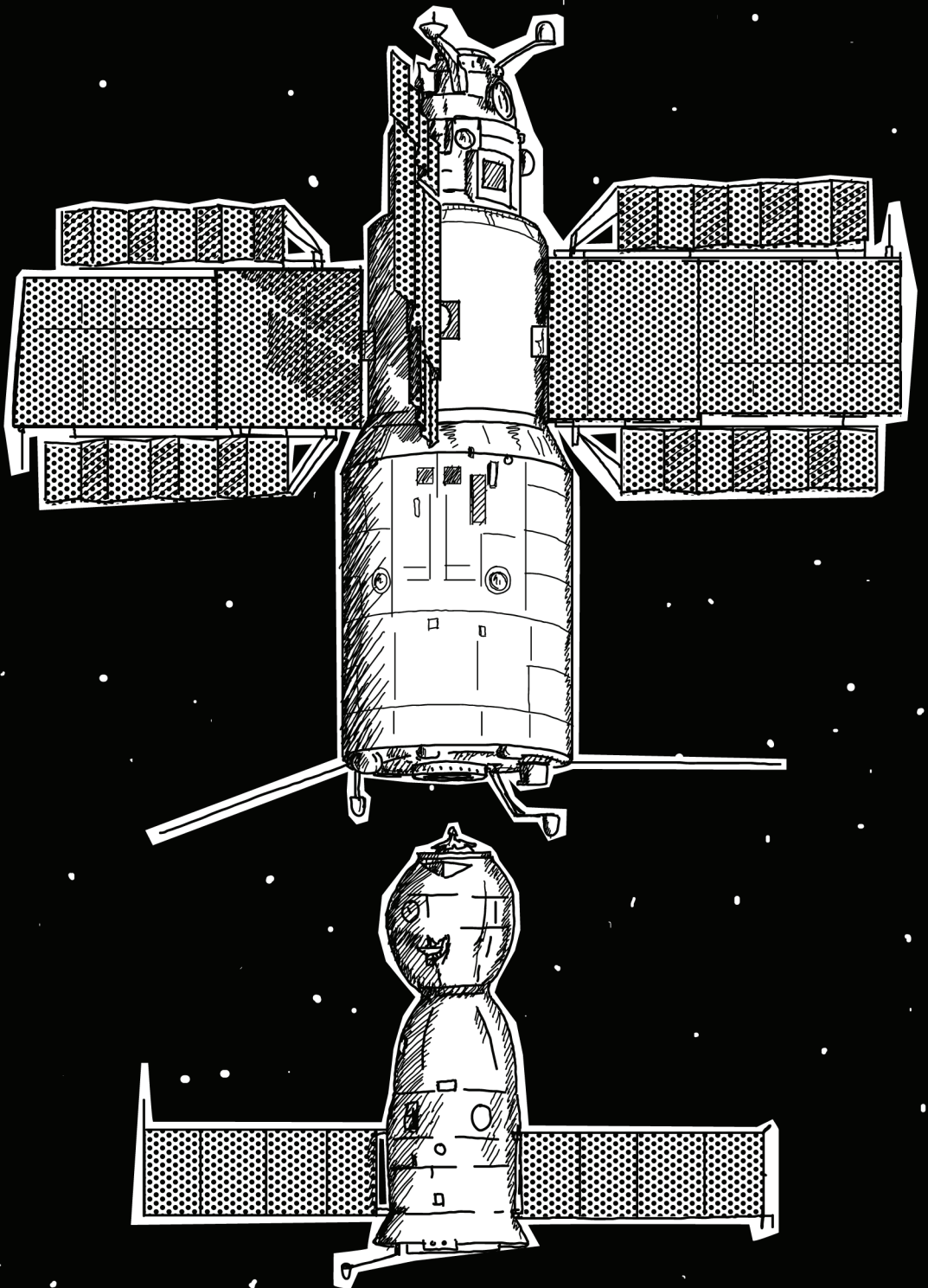
La première station orbitale de l'histoire fut Salyut 1 lancé le 19 avril 1971²⁹. Elle souffrait de nombreux défauts et ne fut utilisé que quelques mois. Cette période entachée d'incidents et accidents graves³⁰, ne découragea pas les ingénieurs. Elle fut rapidement remplacée par Salyut 2, puis Salyut 3 lancée en 1974 (qui était en réalité une station Almaz à but militaire). Cette dernière fut la première station soviétique réellement fonctionnelle³¹. Doté de nombreuses améliorations techniques elle marqua un tournant dans le programme des stations habitées, avec un temps en orbite records de 213 jours. C'est aussi à partir de l'année 1974 que l'architecte Galina Balashova fut intégrée au programme des stations orbitales³². Son expérience acquise concernant la

29. Andelin et Naismith, « SALYUT: Soviet Steps Toward Permanent Human Presence in Space ».

30. Des problèmes d'amarrages, un feu électrique ainsi que la dépressurisation et la mort de l'équipage de Soyouz 11

31. Heidelberg, *Des mitrailleuses dans l'espace !*

32. Meuser et Balashova, *Galina Balashova*.



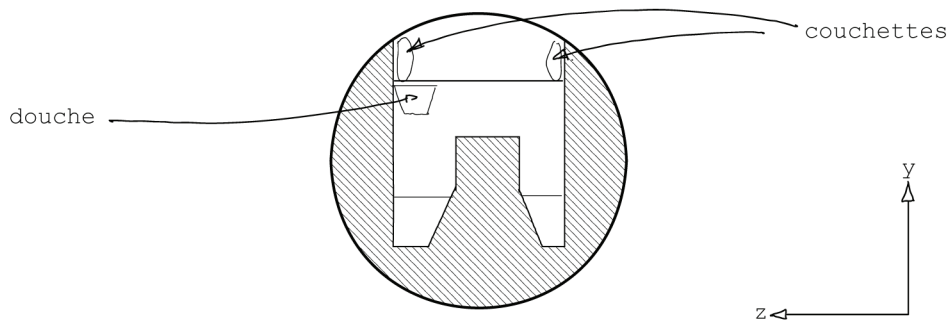
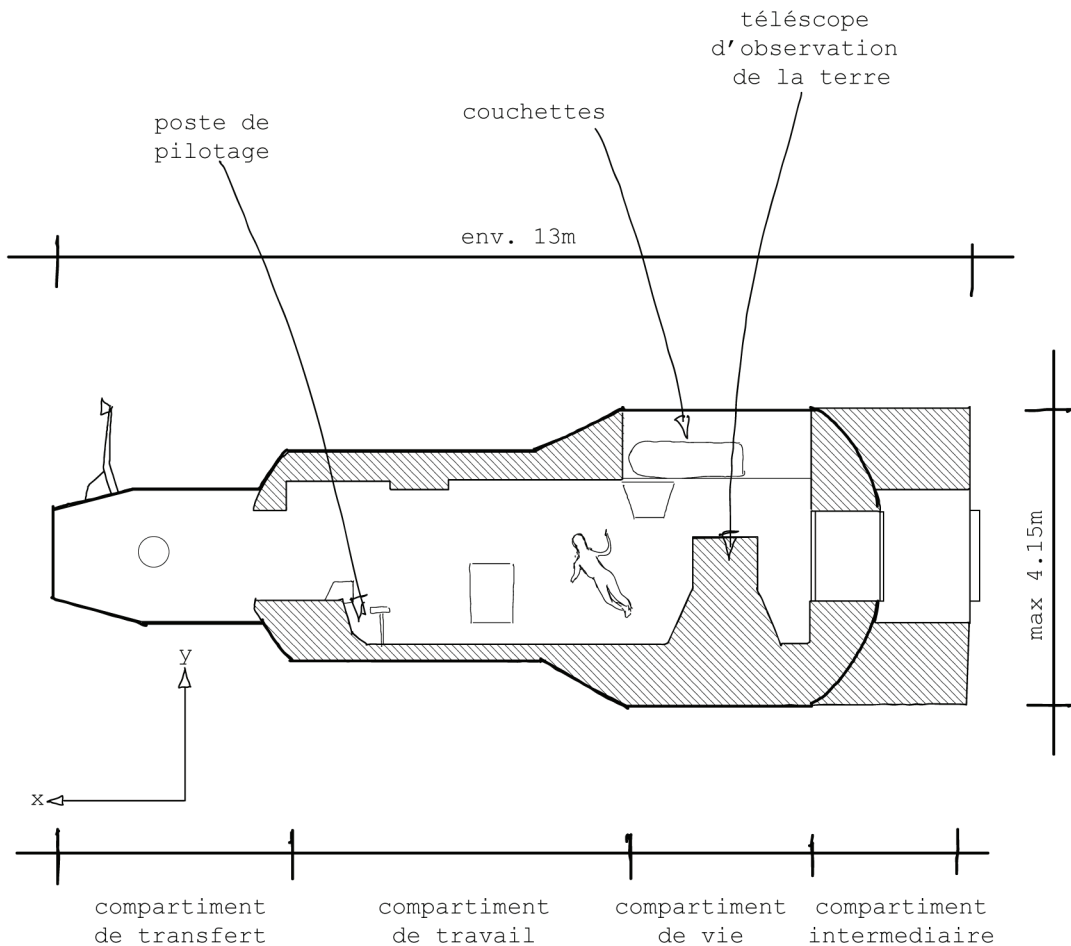
typologie intérieure d'un vaisseau habité, permit d'améliorer les versions suivantes. En effet Salyut 6 et 7³³ rencontrèrent un franc succès de nombreux cosmonautes y séjournèrent. C'est à partir de ces stations dites de seconde générations³⁴, que l'on peut réellement parler de vol de longue durée dépassant les 600 jours cumulés d'occupation humaine. Dotées de deux ports d'amarrages, il en fin possible de venir ravitailler les occupants en vivres et ainsi rallonger le temps des missions. A partir de Salyut 6 le programme soviétique des stations orbitales devient exclusivement civil, les militaires se tournèrent vers des systèmes automatisés, moins coûteux et plus endurant. A l'inverse le programme civil devint rapidement une vitrine internationale du savoir-faire technologique soviétique.

Les stations Salyut – Almaz sont toutes basées sur la typologie dite monolithique : un unique module regroupant tous les organes nécessaires, lancé en un seul tir de fusée. Aucun assemblage en orbite n'est nécessaire. Composés à l'intérieur de 3 cylindres concentriques, ces stations s'articulent autour d'un unique espace habitable. Il n'existe pas de séparations physiques entre les différents programmes (cuisine, sport, poste de pilotage, sommeil...) Pour des raisons d'intégrations, l'espace s'organise horizontalement : une disposition dans la longueur des cylindres permet un accès plus aisé lors de la construction sur terre. Toutefois G. Balashova³⁵ explique que cette disposition certes commode pour les ingénieurs, implique que les cosmonautes doivent travailler, manger et dormir dans le même espace : aucune intimité n'est possible. Une conception verticale en revanche aurait pu permettre une telle séparation : un étage pour le travail, et un autre pour les espaces de vies. De plus, cela permet de disposer des hublots tout autour du corps de la station. Ce type de construction ne fut toutefois jamais

33. Salyut 4 et 5 n'apportèrent pas d'avancée significative, et ne seront pas traitées ici.

34. Andelin et Naismith, « SALYUT: Soviet Steps Toward Permanent Human Presence in Space », p.25

35. Meuser et Balashova, *Galina Balashova*. P.41 à propos de MIR et Salyut



mis en œuvre du côté soviétique ou russe. L'intérieur des stations Salyut – Almaz fut conçu dans la continuité des principes architecturaux développés par G. Balashova au cours du programme Soyouz : l'espace intérieur est orienté avec une notion de haut et de bas donnée par les matériaux ainsi que par la lumière. Le « sol » était de couleur sombre (brun et vert) tandis que le plafond d'un blanc chaud accueillait les dispositifs d'éclairage artificiels. Les dispositifs techniques ainsi que les instruments scientifiques étaient disposés en périphérie, permettant de protéger l'équipage par une épaisse couche de matériels. Seul le massif du télescope fait exception à cette règle et s'intègre du sol vers le plafond au milieu de l'espace habitable, les couchettes se répartissant autour de cet imposant équipement. Pouvant accueillir jusqu'à 6 personnes, l'équipage classique était plutôt composé de 2 à 3 personnes. Une douche « terrestre » fut inventée et testée : un système d'aspiration en bas récupérait l'eau tombant d'un pommeau, le tout étant fermé dans une enceinte de rideaux. Conçu comme étant démontable, cette douche ne fut que peu utilisée, son montage peu aisé demandait plusieurs heures à l'équipage, et l'eau malgré l'aspiration était difficilement contrôlable du fait de l'absence de gravité. Après plusieurs itérations, les équipes en conclurent que les savons sans rinçages et les lingettes étaient bien plus efficaces.

La disposition intérieure des stations soviétiques était caractérisée par un espace en « couloir orienté », offrant une notion de « haut » et de « bas ». Cette particularité provenant des travaux de Balashova, est toujours visible dans les modules russes de la Station Spatiale Internationale.



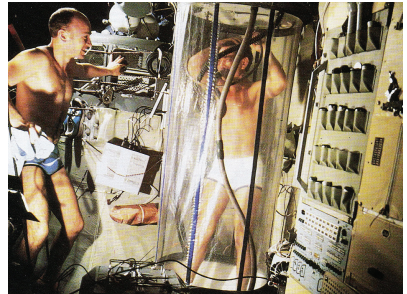
Salyut 7, (spacefacts.de / RKK Energia)



Salyut 7, personnalisation des tenues vestimentaires (spacefacts.de / RKK Energia)



Salyut6, équipage soyouz 35
(spacefacts.de / RKK Energia)



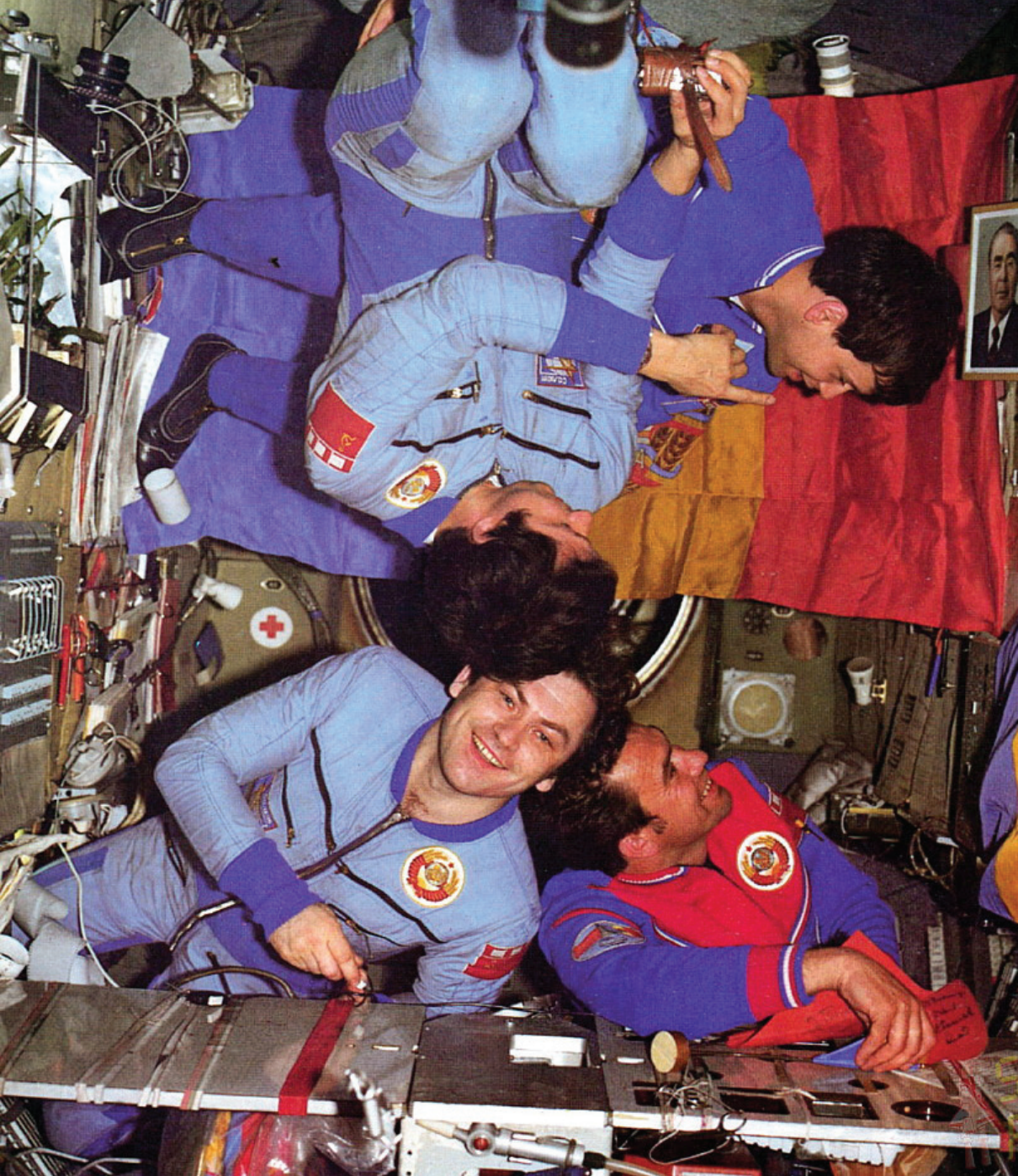
Salyut 7, test d'un modèle de douche
(spacefacts.de / RKK Energia)



Salyut 7, entraînement au sol on remarque les effets de la gravité sur les corps (spacefacts.de / RKK Energia)



Salyut 7, expedition soyouz t-5, La vie a bord dans un espace étroit (spacefacts.de / RKK Energia)

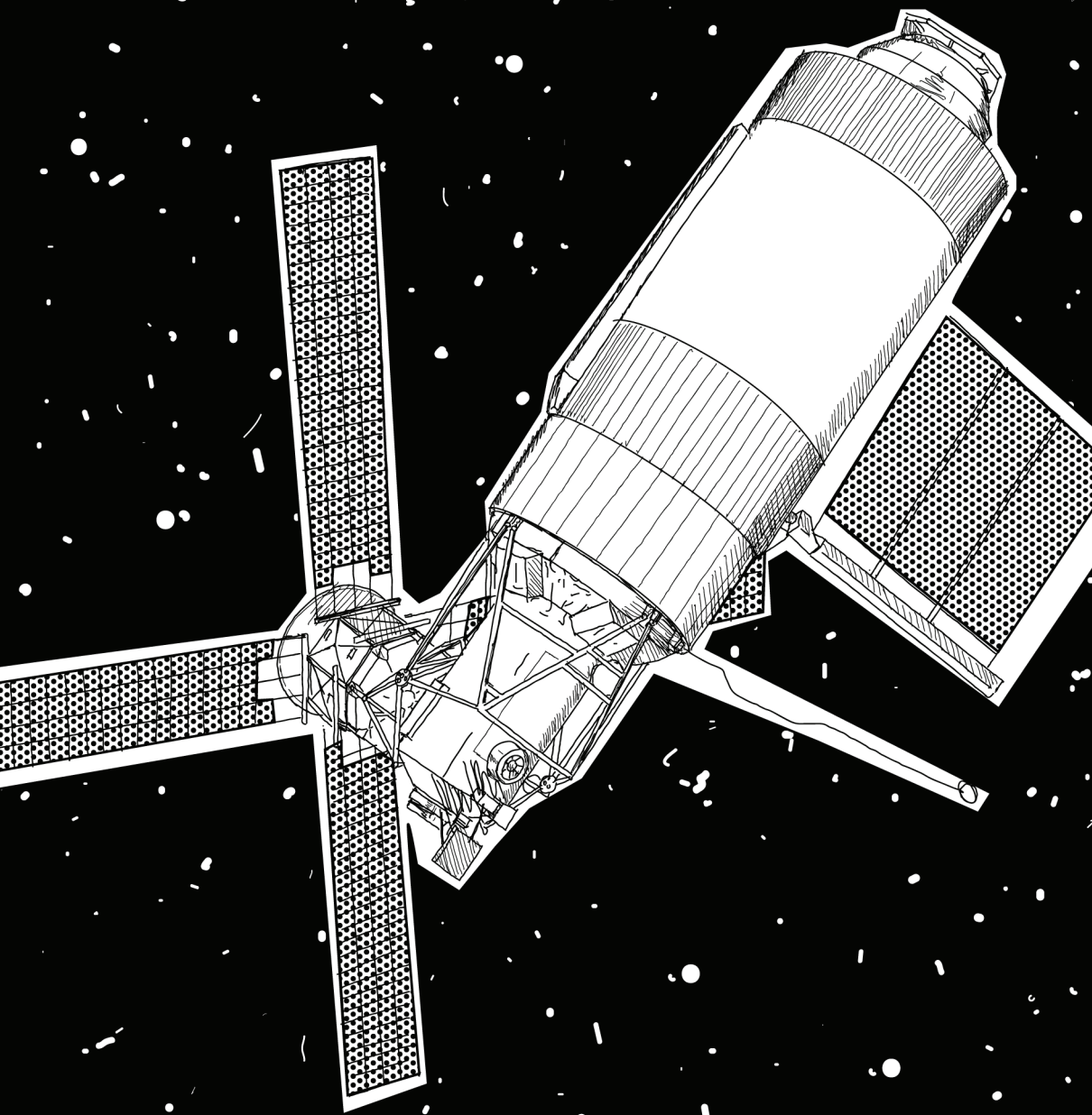


Salyut 6, expedition soyouz t-4, Couleurs et décorations étaient de mise dans les stations soviétiques (spacefacts.de / RKK Energia)

Skylab

En 1969, alors que l'équipage d'Apollo 11 venait de poser le pied sur la lune, l'administration de la NASA commença déjà à réfléchir à la suite. Dans des études préliminaires datant de 1964, les ingénieurs du programme lunaire avaient proposé de remplacer le LEM par une petite station Spatiale. Ce concept portant le nom d'Apollo X, servi de base pour la suite de la réflexion post-Apollo³⁶. Werner Von Braun, le concepteur et responsable du programme Apollo, avait lui-même pensé à utiliser un deuxième étage de la fusée Saturne V, qui une fois utilisé aurait pu être transformé en station. Le principe de sa proposition était le suivant : une fois que ce deuxième étage à fini de bruler tout son carburant, il ne reste plus qu'une immense coquille vide, qui finit par se consumer dans l'atmosphère. Pourquoi ne pas réutiliser ce débris en le plaçant en orbite et en l'aménageant. Il est à noter que cet étage ne brule que de l'oxygène et de l'hydrogène, ses réservoirs restent donc « propres » une fois vidés, car ces deux ergols ne laissent pas de résidus au contraire du kérosène par exemple. Ce concept est connu sous le nom de « laboratoire humide » car l'espace occupé par les futurs habitants d'une telle station, fut avant utilisé comme réservoir. A l'époque le concept faisait rêver : le deuxième étage de la Saturne V est gigantesque avec ses 10m de diamètre, et 25m de longueur. Une telle station orbitale aurait fait la taille d'un petit immeuble. Toutefois, les efforts à déployer pour réaliser un tel chantier auraient été si grands, qu'il fut décidé de faire autrement, l'argent venant à manquer. L'arrêt prématuré des missions lunaires avec l'annulation d'Apollo 18 à 20, mis à disposition du programme Skylab un nombre important d'équipements, incluant une Saturne V entière, prête à voler. Il parut alors plus judicieux aux yeux des ingénieurs, d'utiliser cette colossale fusée pour directement placer en orbite leur projet de station Spatiale. Cette dernière étant assemblée sur Terre, afin d'éviter un très coûteux chantier en orbite. Ce fut donc le troisième étage de

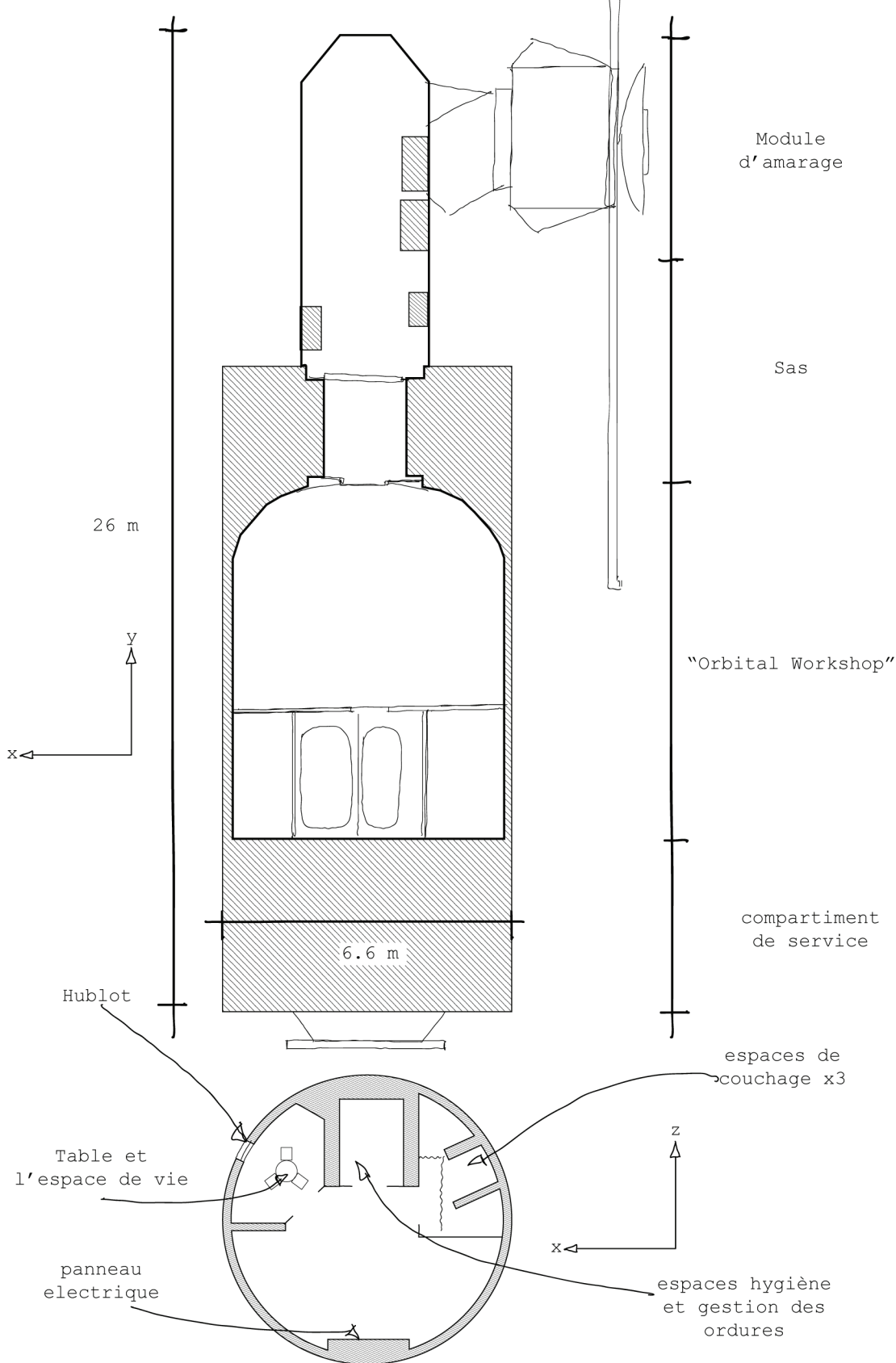
36. Heidelberg, *SKYLAB - VIVRE DANS UN RESERVOIR DE FUSEE*.



cette fusée (aussi appelé S IV-B) qui fut choisi : la conversion étant réalisé en atelier, Skylab devint un laboratoire « sec », l'étage n'étant jamais utilisé dans son rôle original. Les immenses réservoirs furent remplacés par tout le matériel nécessaire pour faire vivre 3 astronautes pendant plusieurs semaines. La Station Skylab était née. Lancée en 1973, la station rencontre de nombreux soucis dès ses premières heures. Surchauffe, problèmes d'alimentation en énergie, ventilation défectueuse, la liste des problèmes critiques s'allongea rapidement, ce qui transforma le premier équipage devant lui rendre visite, en équipe de dépannage. Cette première expédition (Skylab II) permettra de sauver la station. Les mission suivantes, Skylab III puis IV, battent tout deux les records de durée en orbite, avec 84 jours consécutif dans la station pour l'équipage de la dernière mission. Les budgets de la NASA pour le vol habité furent, après cette mission, redirigé vers le développement de la navette spatiale. Il fut alors décidé de ne plus envoyer d'équipage vers Skylab tant que la navette ne serait pas opérationnelle. Malheureusement, ce nouveau vaisseau s'avéra plus compliqué que prévu et le calendrier pris beaucoup de retard. Skylab, inhabitée pendant 5 ans et sans moyen de se rehausser sur son orbite, se consuma dans l'atmosphère le 11 juillet 1979.

De la même façon que les stations Salyut, Skylab est de type monolithique, c'est d'ailleurs la plus grosse station de ce type qui fut réalisée dans l'histoire. Toutefois à l'inverse de son pendant soviétique qui a une disposition en « couloir orienté », Skylab est conçu comme un bâtiment à étages. La totalité de l'espace habitable de la station prends place dans l'ancien réservoir d'hydrogène, tandis que l'ancien réservoir d'oxygène du S VI-B sert au stockage des déchets, les deux étant séparé par des dispositifs de pressurisation³⁷. Le volume habitables est surmonté d'une longue extension servant à l'amarrage des vaisseaux Apollo, ainsi que de sas permettant d'effectuer des EVA. Cette grande extension en forme de cylindre, était un espace relativement peu utilisé par l'équipage, et peut-être considéré comme un espace

37. Kitmacher, « Design of the Space Station Habitable Modules ».



de service. Sa disposition intérieure était très peu appréciée des équipages, à tel point que William Pogue, membre de d'équipage de la dernière mission Skylab dira : « Si vous cherchez un très bon exemple de ce qu'il ne faut pas faire lors du design d'un module, le module d'amarrage est le meilleur exemple »³⁸. L'espace principal était divisé en deux niveaux : l'étage inférieur servait de quartier de vie à l'équipage avec 3 cabines séparées, une cuisine, une salle pour l'hygiène, et un espace pour des expériences et du rangement. A noter la présence de cabines individuelles, ce qui est un luxe non négligeable pour un habitat orbital. Les deux niveaux étaient séparés par un planché constitué d'une grille triangulaire en aluminium, motif qui se retrouvait à divers endroits dans les espaces de vie. Les astronautes portaient des chaussures rappelant celles porté par les coureurs de fond, et dont la semelle s'ornait un motif s'ajustant parfaitement à la grille du planché. De cette façon, ils pouvaient se tenir debout sans efforts, en se « verrouillant » au sol, cela permettant aussi de « marcher ». Toutefois, les trois équipages qui se succédèrent dans Skylab, ont tous favorisé une autre manière de se mouvoir : se glisser sur le coté³⁹ en se tenant avec les mains au plafond ou aux murs. Bien qu'ils leur fussent possible de flotter librement, dans l'étage supérieur notamment, la position verticale fut toujours préférée. En effet malgré l'absence de gravité dans la station, elle était conçue comme s'il y en avait une. Il y avait une notion de haut et de bas clair et visible partout, définie par l'architecture du lieu. Les astronautes trouvaient alors bien plus confortable de « s'aligner » à cette orientation locale. Joe Kerwin, scientifique du premier équipage rapporte : « Il s'avère que vous portez avec vous votre propre monde, orienté selon votre corps, indépendant de tout, et dans lequel le haut est au-dessus de votre tête, le bas sous vos

38. Kitmacher. Traduit de "Well, all I gotta say is, if you are looking for a very good example of how not to design and arrange a compartment, the docking module adapter is the best example... every time I think about how stupid the layout is in there I get all upset." p.4

39. Kitmacher.



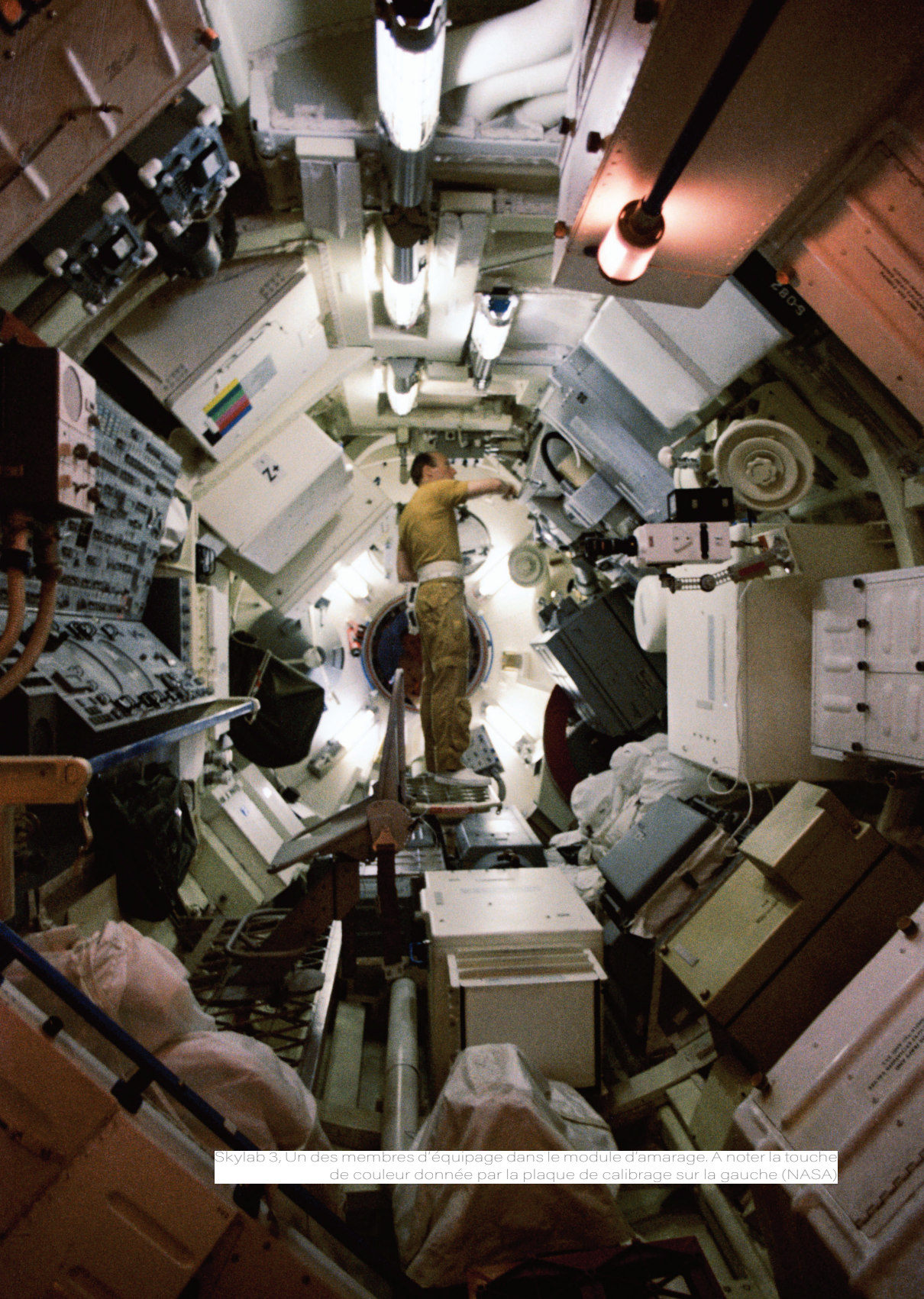
Equipage Skylab 4, Poque et Carr compactant des ordures tout en discutant (NASA)

pieds, la droite d'un coté et la gauche de l'autre... »⁴⁰. Là est probablement un des enseignements les plus durables de Skylab pour les futurs architectes d'outre Espace : l'habitant porte en lui un référentiel qui lui est propre. Le lieu quand a lui, peut proposer une multitude d'orientation différentes. En effet il est possible d'imaginer un habitat où la notion de haut et de bas change entre chaque pièce, permettant une densification extrême du logement. Quelque chose d'aussi radical pourrait toutefois être très perturbant pour l'habitant.

Une des particularités de Skylab était son très large volume laissé libre dans l'étage supérieur. Les astronautes y ayant vécu, recommandent que de tels espaces puissent être intégrés aux habitats orbitaux de demain. Ed Gibson, scientifique de la dernière mission Skylab, avait pris l'habitude de parler quotidiennement aux contrôleurs de vol à propos de l'architecture des nouvelles stations. Une de ses pensées concernait la nécessité de disposer un large volume laissé libre aux habitants : « comme un lieu où les personnes peuvent échapper à la claustrophobie que peuvent provoquer les petits espaces... au moins un peu. J'ai le sentiment que si je devais rester ici des mois durant, il aurait un moment où je me sentirais comme dans une cellule. »⁴¹ Cet aspect psychologique induit par l'enferment, et relatif directement à l'architecture de l'habitat orbital, fut étudié des deux coté du rideau de fer à cette époque. Bien que le programme soviétique employât une architecte à plein temps, la NASA n'eut jamais de tel poste dévolu aux questions d'habitabilité, par opposition à la survivabilité, notion relative aux ingénieurs. La NASA sollicite toutefois l'aide de Raymond Loewy lors du développement de Skylab. Célèbre designer, et malgré ses plus de 70ans, il dû se battre contre les ingénieurs qui ne voyaient pas l'intérêt de ses propositions. Il milita en faveur d'un environnement coloré, pour éviter « l'ennui et la déprime », particulièrement

40. Kitmacher. Traduit de "It turns out you carry with you your own body-oriented world, independent of anything else, in which up is over your head, down is below your feet, right is this way and left is that way..." p.3

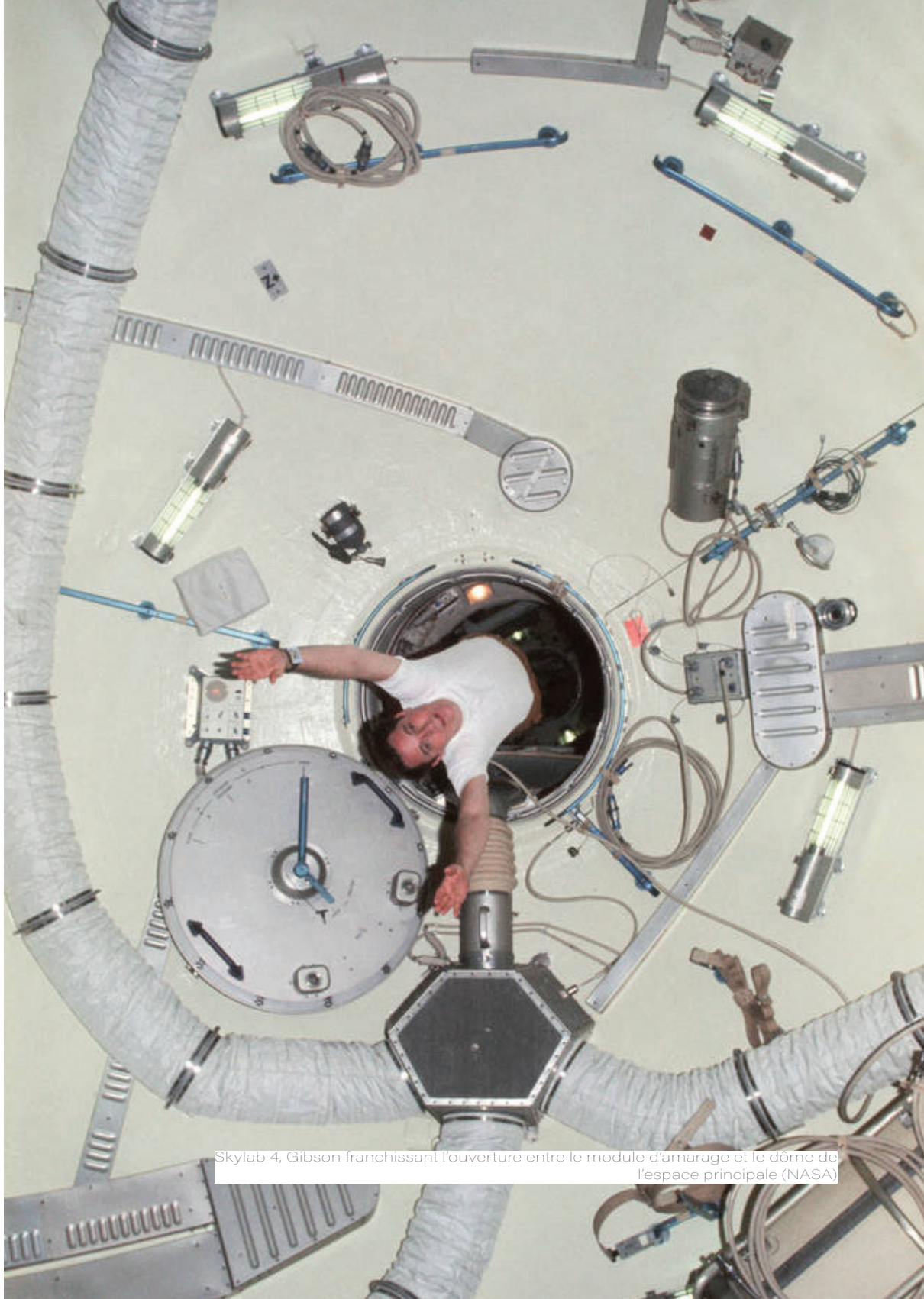
41. Kitmacher.



Skylab 3, Un des membres d'équipage dans le module d'amarage. A noter la touche de couleur donnée par la plaque de calibrage sur la gauche (NASA)

des couleurs chaudes, car une surabondance de nuances bleutées pouvait accentuer le teint pâle des astronautes⁴² selon lui. Il conseilla aussi de placer des desseins d'enfant comme décorations, toujours dans le même but. Il fut un fervent militant en faveur du hublot de Skylab, qui devint le lieu favori des astronautes, qui passèrent des heures à regarder la Terre se dérouler sous leurs yeux. Malgré cela, Skylab reste marqué par un intérieur en nuance de gris et de bruns, et ses conseils ne furent pas tous appliqués. Les comportements des astronautes lui donnèrent raison par la suite : les couleurs leurs manquaient tellement, qu'ils se surprenaient à fixer les plaques de calibration servant à régler leurs appareils photos, rapporte Gerald Carr dans un interview au New York Times de septembre 1994. De plus l'équipage de Skylab IV déplora cette « monotonie visuelle » qui fut un des facteurs qui conduisit à la dégradation rapide de leur condition psychologique. Combinée avec un planning de travail très chargé, ils souffrirent d'insomnies, d'irritabilité et de dépression, amenant à des relations très tendu avec le contrôle au sol. Les problèmes soulevés par Loewy étaient nombreux, et ouvra la réflexion vers une nouvelle approche de l'habitat orbitale à la NASA, se focalisant plus sur l'habitabilité, notion primordiale pour les missions dépassant la dizaine de jours. Toutefois, cette notion reste largement secondaire encore de nos jours, l'accent étant plus mis sur le suivi psychologique des astronautes.

42. Karafantis, « Sealab II and Skylab ».



Skylab 4, Gibson franchissant l'ouverture entre le module d'amarrage et le dôme de l'espace principale (NASA)

ISS

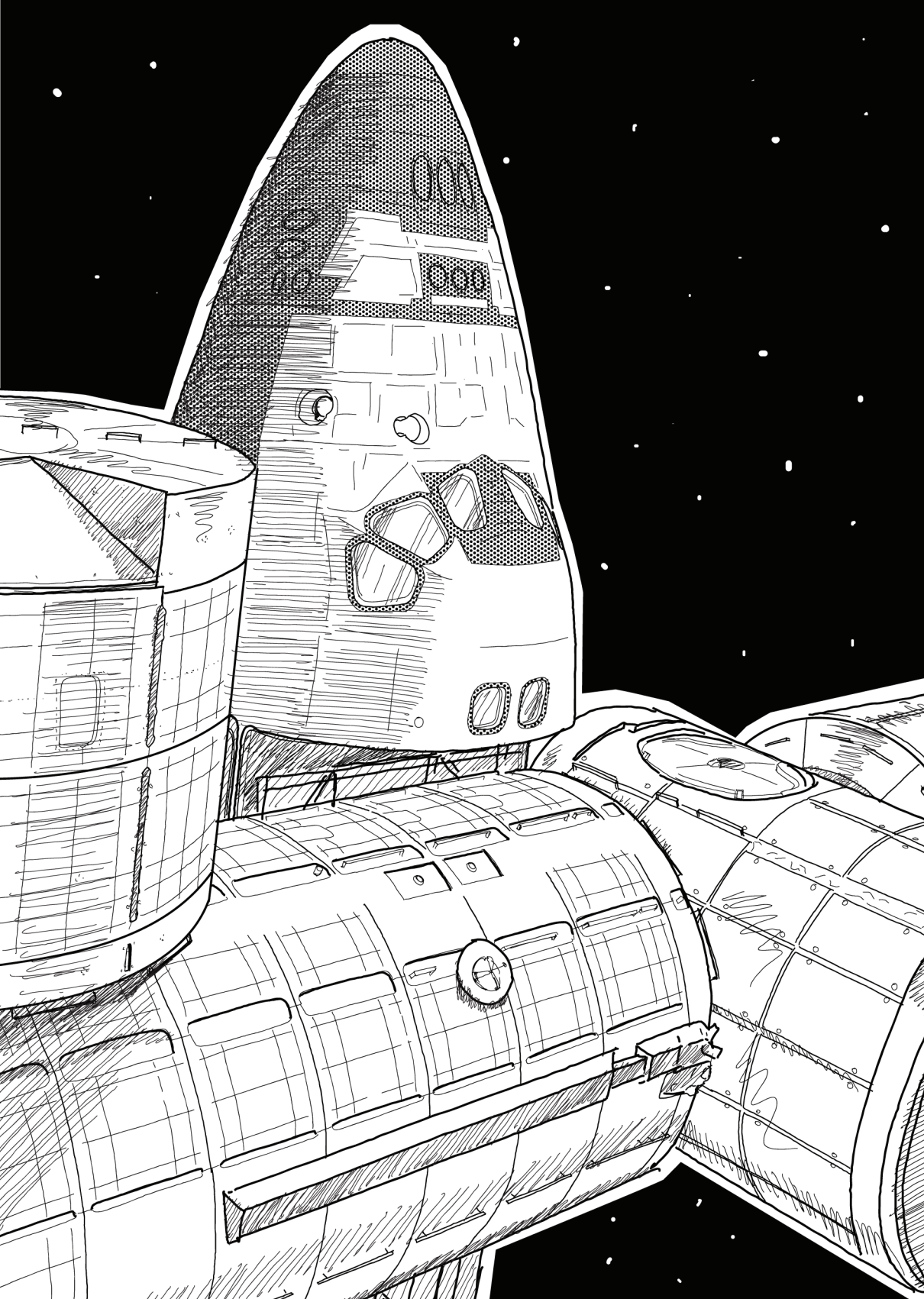
Le projet de la station Spatial International prend racine dans différents projet nationaux. Les américains en effet travaillaient depuis le milieu des années 1980 sur le projet de station « Freedom », les européens eux planifiaient de construire le MTFF et enfin les Russes avait pour projet de remplacer leur célèbre station MIR par une station MIR 2⁴³. C'est le projet « Freedom », lancé par l'administration Reagan en 1984 qui servi de base. Les objectifs y étaient les suivant⁴⁴ :

- Un laboratoire dans l'Espace, pour la recherche scientifique et le développement de nouvelles technologies,
- Un observatoire permanent, pour l'observation de la Terre et du cosmos,
- Un nœud de transport pour la réception, le stationnement, et la préparation de véhicules et de marchandises vers d'autres destinations,
- Une plateforme d'entretien permettant la réparation des véhicules Spatiaux,
- Un centre d'assemblage, permettant de construire de larges structures en orbite,
- Un lieu de fabrication permettant d'ouvrir de nouvelles possibilités commerciales (par exemple fabrication de nouveau matériaux),
- Un centre de stockage de marchandises,
- Une tête de pont pour de futur missions au-delà de l'orbite basse (Lune, Mars...).

Le projet évolua et se vit réduire en taille rapidement pour des questions budgétaires. Le Canada, le Japon, et les l'Europe vinrent ensuite se joindre au projet en 1988 après 3 années de négociations, suivit de la Russie en 1993. Ce nouveau partenaire fut crucial pour la suite du développement : c'est le début de la première station internationale à proprement parler. Cette collaboration est avant tout motivée

43. Heidelberg, *ISS: 400 tonnes en orbite basse !!!*

44. Smith, « NASA'S Space Station Program: Evolution of Its Rationale and Expected Uses ».



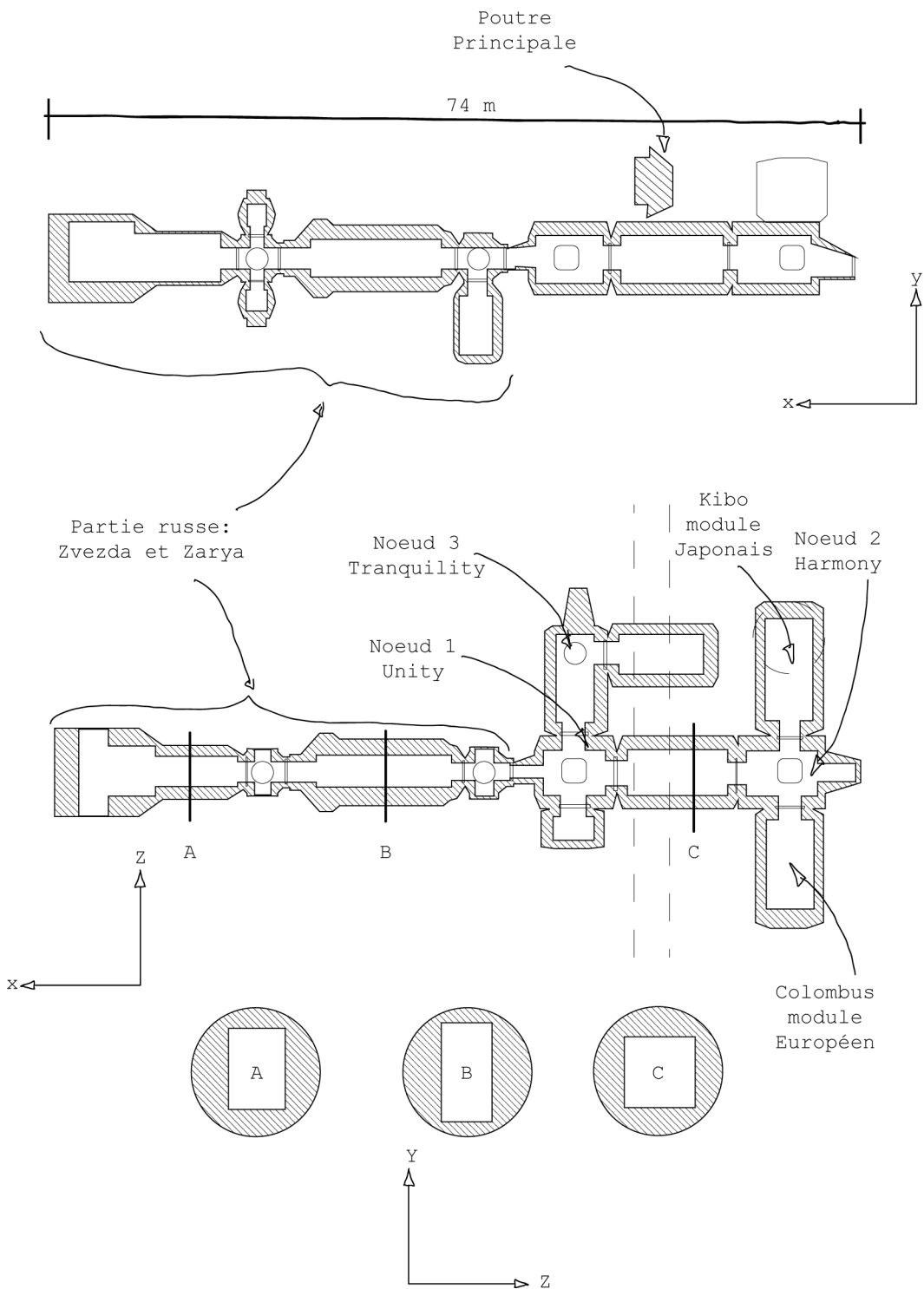
par la question du financement d'un tel projet : La Russie n'a plus les moyens d'assurer la construction d'une station aussi impressionnante que MIR, et l'agence spatiale européenne (ESA) connaît de nombreux désaccords en son sein concernant le vol habité.

Le premier module de la station fut Russe : Zarya lancé le 20 novembre 1998, c'est officiellement le début de l'ISS en orbite. Puis le nœud Unity fut livré deux semaines plus tard, par la première mission navette (STS-88) à destination de l'ISS⁴⁵, permettant d'accrocher quelques mois plus tard le module Zvezda, cœur de la station avec son poste de pilotage. Le 31 octobre 2000 s'envola le premier équipage, composé de deux russes et d'un américain, devant rejoindre la station pour y séjourner 140 jours.

À la suite de l'accident de la navette Columbia en 2004, la NASA annonça la fin prévue des missions navette pour 2011, or ce lanceur était indispensable pour la suite de la construction de la station. La priorité fut donc donnée au programme ISS et la plupart des modules de l'ISS furent assemblés entre 2005 et 2011. Depuis le premier équipage, la station est habitée en permanence, avec des relèves tous les six mois environ.

L'ISS est de type modulaire, deuxième station de ce type à avoir été placée en orbite, la première étant MIR. Cette dernière d'ailleurs, servi de base pour le développement de nombreux systèmes de la Station Spatiale Internationale. Du fait de sa conception partagée par plusieurs pays, son étude typologique est un peu plus complexe que les précédents cas. De plus, avant la construction de l'ISS, seul l'union soviétique avait de l'expérience dans la conception de stations pouvant permettre de très longs séjours. La disposition intérieure de la station suit deux typologies très différentes : Americano-européenne et Russe. La première pourrait être qualifiée de « couloir non orienté », permet une grande modularité de configuration, mais est caractérisée par une atmosphère froide, les couleurs étant le blanc (toutes les surfaces) et le bleu (les poignées uniquement). Il est à noter que l'orientation s'y fait grâce à des panneaux et

45. Loff, « Unity Module ».



autres inscriptions directement sur les surfaces. La typologie Russe, la même que dans Salyut, dégage une atmosphère plus familière⁴⁶, sa configuration mise beaucoup sur de grandes baies de rangement de part et d'autre du module, et les couleurs chaudes employées aident à l'orientation⁴⁷. Les astronautes ayant séjourné à bord de l'ISS reconnaissent que les modules russes sont plus habitables, que la consommation de nourriture épicée et l'attitude informelle des astronautes russes apportaient une ambiance plus familière. Cela met en lumière un problème important de l'ISS et en particulier de la partie américano-européenne : l'absence « d'ambiance » propre au lieu, causant ainsi un sentiment d'impersonnalité et de froideur. Le sentiment de privacité est aussi absent, alors même que les astronautes ont exprimé dans une étude de 2005, que c'était probablement le facteur le plus important à travailler pour un habitat de longue durée. Cet inconfort est principalement dû à l'absence de couleurs, et l'apparent chaos des équipements. Cela induit des désorientations spatiales, ainsi que la difficulté à distinguer les instruments ou les compartiments de rangement⁴⁸.

On peut supposer qu'un tel problème provienne du processus de conception de l'ISS, dans lequel il n'existe aucune supervision globale directe : il n'y a pas d'architecte de l'ISS. À l'inverse Galina Balashova apporta une cohérence aux réalisations soviétiques, dont l'héritage est toujours très présent dans les modules russes de l'ISS. Ses études sur la disposition spatiale, la couleur, les matériaux, l'éclairage, ou encore sur les relations entre corps humain et espace habités, prouvent encore aujourd'hui l'utilité d'un regard extérieur au domaine de l'ingénierie. Le reste de la station est une accumulation de modules destinés à remplir des missions scientifiques en *permettant à des êtres humains d'y vivre*. De fait l'ISS est toujours une réalisation de la période « Man In a Can ». Sa grande imperfection en termes d'habitabilité permet toutefois de mettre en lumière les points cruciaux à

46. Schlacht et Birke, « Space Design ».

47. Schlacht et Birke, p.498

48. Schlacht et Birke, p.499.



L'équipage de l'ISS (2019) partage un repas dans le module russe Zvezda (NASA)

Un des membres de l'équipage préparant une expérience dans le module Destiny (NASA)



Conclusion

Les projets de nouvelles stations orbitales se font nombreux de nos jours, et nombre de d'entre eux concernent des « hôtels » privés. Aucun de ces projets n'a abouti jusqu'à présent, et la majorité se sont avérés soit irréalistes, soit de pures arnaques, misant avant tout sur l'imaginaire du public. L'Espace, est un milieu extrême, et l'effort pour y vivre est considérable. Très peu de projet viable existent, le coût d'une telle construction étant colossal. Toutefois il n'est pas dit que cela restera toujours ainsi, des acteurs privés peuvent dans le futur changer drastiquement les choses, en trouvant le moyen de rentabiliser de telles installations. Dans ce cas de nouvelles typologies d'habitat orbitaux sont à prévoir. De plus les projets de voyages vers Mars impliquent le développement d'environnements habitables fiables, le voyage vers la planète rouge étant très long à notre échelle. Mais l'architecture Spatiale restera encore longtemps une niche très particulière, et les impératifs techniques des vaisseaux sont si fort, que cela peut décourager. Malgré tout, la filière aérospatiale pourrait prendre exemple sur l'aéronautique commerciale ou le secteur automobile, où designers et ingénieurs trouvent des façons de travailler ensemble. De plus, je pense que la station orbitale en tant qu'objet architectural, peut avoir un grand potentiel dans l'enseignement de l'architecture : un volume très réduit, remettant en question tous les acquis innés de l'être humain en termes d'espace, me semble être un exercice d'humilité, et en même temps une façon très directe de comprendre les besoins vitaux d'un logement. La station orbitale nous interroge sur notre façon de vivre. Le concept de Trans-gravity ouvre la voie pour l'enseignement de ces problématiques.

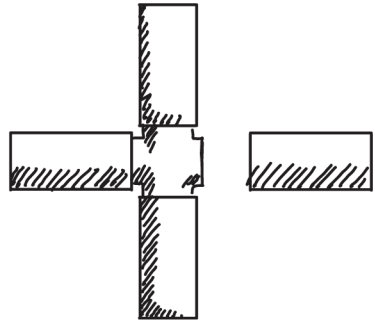
En conclusion, un certain nombre d'enseignements directs sont à tirer des réalisations en orbite passées :

- La fenêtre ou hublot, est un élément indispensable en termes de sécurité et de stabilité psychologique⁴⁹,
- Les couleurs des surfaces, aident l'état psychologique, et permettent un repérage aisé. Dans un espace sans gravité, les couleurs deviennent des éléments architecturaux à part entière,
- La notion de « monotonie visuelle » doit être évitée absolument, le changement et la variation dans les stimulus visuels sont primordiaux,
- Un espace de vie commune est indispensable pour des vols de longue durée, pouvant prendre la forme d'une simple table ou bien d'un espace séparé du reste, il permet la cohésion et le lien social de l'équipage,
- L'intimité et la possibilité d'être seul est nécessaire pour la stabilité mentale,
- La possibilité de personnaliser l'espace est primordiale pour s'approprier un lieu comme étant un foyer,
- La disposition intérieure ne peut être pensée comme sur terre si la différence d'apesanteur est trop importante. Dans des conditions de micro gravité il devient possible d'utiliser l'espace habitable à son maximum, mais il est important d'en conserver une logique pour éviter la désorientation et le chaos visuel,
- En l'absence d'un système d'éclairage efficace et agréable, l'architecture ne peut être considérée comme réussie.

49. Schlacht et Birke, 505.



Monolithe



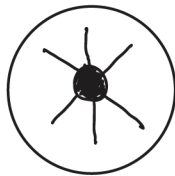
Modulaire



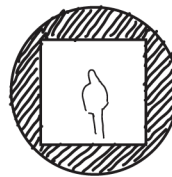
immeuble -
étages



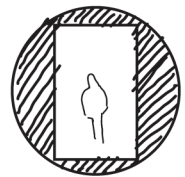
axial



centre plein



non-orienté



orienté



Grumman



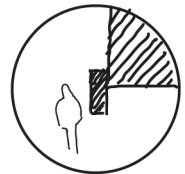
Mc Donnell



centre vide



Rockwell



Poutre
centrale

Bibliographie

Andelin, John, et Nancy Naismith. « SALYUT: Soviet Steps Toward Permanent Human Presence in Space ». Technique. Washington, D.C: U.S. Congress, Office of Technology Assessment, décembre 1983.

« Architecture ». In *Wikipédia*, 14 décembre 2020. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Architecture&ol-did=177627711>.

Ast, Jürgen, et Kariheinz Eyermann. *La faucille, le marteau et les cosmonautes*. Vol. 1. 2 vol. ARTE, 2011. <https://www.youtube.com/watch?v=bAulYC2vzgc>.

« Astronaute ». In *Wikipédia*, 28 décembre 2020. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Astronaute&ol-did=178153931>.

Bernal, John Desmond. « The World, the Flesh and the Devil », 1929. <http://bactra.org/Bernal/>.

Billig, Paul. « "From the Earth to the Moon" What Would It Take to Build Jules Verne's Space Cannon? », s. d., 1.

Graf, Richard. « A Brief History of the HARP Project ». Consulté le 22 décembre 2020. <http://www.astronautix.com/a/abriefhistoheharpproject.html>.

« Habitat humain ». In *Wikipédia*, 24 novembre 2020. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Habitat_humain&ol-did=176933605.

Heidelberg, Vincent. *Des mitrailleuses dans l'espace ! Stardust*, 2017. https://www.youtube.com/watch?v=R3afVk_vdx0.

—. *ISS : 400 tonnes en orbite basse !!!* Podcast. Stardust, 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=zXa7Z06x-5Q>.

- . *SKYLAB - VIVRE DANS UN RESERVOIR DE FUSEE*. Podcast. Stardust, 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=IEyImygy6qs>.
- Hergé. *Objectif lune*. Les aventures de Tintin, Hergé ; 16. Tournai: Casterman, 2007.
- Hugo Lisoir. *Un CANON SPATIAL pour atteindre l'orbite ? LDDE*, 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=lN6cb-scVOwc>.
- Karafantis, Layne. « Sealab II and Skylab ». *Historical Studies in the Natural Sciences* 43, n° 5 (1 novembre 2013): 551-88. <https://doi.org/10.1525/hsns.2013.43.5.551>.
- Kitmacher, Gary H. « Design of the Space Station Habitable Modules », 10 octobre 2002, 18.
- Lamunière, Jean-Marc. « Le classement typologique en architecture ». *Section romande de l'Union suisse pour l'amélioration du logement*, 1988. <https://doi.org/10.5169/SEALS-128866>.
- Loff, Sarah. « Apollo ». Text. NASA, 19 février 2015. http://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/index.html.
- . « Unity Module ». Text. NASA, 15 novembre 2018. http://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/unity.
- Meuser, Philipp, et Galina Balashova. *Galina Balashova: architect of the Soviet space programme*. Basics 43. Berlin: Dom Publishers, 2015.
- Mohanty, Susmita, et Barbara Imhof. « Trans-Gravity: The Third Genre in Space Architecture », 2004-01-2370, 2004. <https://doi.org/10.4271/2004-01-2370>.
- O'Neill, Gerard, John Billingham, William Gilbreath, et Brian O'Leary. « Space Ressources and Space Settlements ». Washington, D.C: NASA, Scientific and Technical Information Branch, 1979.

- « Orbite ». In Wikipédia, 18 octobre 2020. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Orbite&ol-did=175687845>.
- « Peenemünde - Cradle of Space Flight - Peenemunde, Peene-muende Enthusiasts ». Consulté le 25 décembre 2020. <http://www.v2rocket.com/start/chapters/peene/peene-muende.html>.
- Pisani, Francis. « Mais d'où vient cette idée bizarre de « ville intelligente » ? » Information. La Tribune, 16 janvier 2015. <https://www.latribune.fr/blogs/aux-coeurs-de-l-innovation/20150116trib4e9bdc2e1/mais-d-ou-vient-cette-idee-bizarre-de-ville-intelligente.html>.
- Sagan, Carl. *Kepler's Dream Come True*, 2009. <https://www.youtube.com/watch?v=zFCQCsS75BQ>.
- Schlacht, Irene Lia, et Henrik Birke. « Space Design: Visual Interface of Space Habitats ». *Personal and Ubiquitous Computing* 15, n° 5 (juin 2011): 497-509. <https://doi.org/10.1007/s00779-010-0326-4>.
- Smith, Marcia S. « NASA'S Space Station Program: Evolution of Its Rationale and Expected Uses ». Technique. Washington, D.C: Congressional Research Service, 20 avril 2005.
- Techniques Spatiales. *Comprendre les flammes des fusées (1/2)*. Podcast. Vol. 1. 2 vol. Comprendre les flammes des fusées, 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=hex0PTPjm-A>.
- Encyclopedia Britannica. « Wright Brothers | Biography, Inventions, & Facts ». Consulté le 25 décembre 2020. <https://www.britannica.com/biography/Wright-brothers>.

